



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
INSTITUTO DE CIENCIAS
CENTRO DE AGROECOLOGIA
MAESTRIA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

**SUSCEPTIBILIDAD DE OCHO VARIEDADES DE MAÍZ PARA EL
CULTIVO COMERCIAL DE HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis*) EN
NOPALUCAN DE LA GRANJA, PUEBLA - MÉXICO.**

Tesis para obtener el grado de Maestría en:
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

Presenta:
I.A. Omar Garcilazo Rahme

COMITÉ TUTORAL

DIRECTOR DE TESIS
Dr. Isaac Tello Salgado

CO-DIRECTOR DE TESIS
Dr. Omar Romero Arenas

ASESORES
Dr. Gerardo Mata Montes de Oca
Dr. Dionicio Juárez Ramón

REVISOR DE TESIS
Dr. José Filomeno Conrado Parraguirre Lezama

Puebla, Pue., 30 de Junio 2020



BUAP

La presente tesis, titulada: “**Susceptibilidad de ocho variedades de maíz para el cultivo comercial de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en Nopalucan de la Granja, Puebla - México.**”, realizada por el alumno **IA. Omar Garcilazo Rahme**, bajo la dirección del Comité Tutoral indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: _____
Dr. Isaac Tello Salgado

CO DIRECTOR: _____
Dr. Omar Romero Arenas

ASESOR: _____
Dr. Dionicio Juárez Ramón

ASESOR EXTERNO: _____
Dr. Gerardo Mata Montes de Oca

REVISOR EXTERNO: _____
Dr. José Filomeno Contrado Parraguirre Lezama

Puebla, Pue., 30 de Junio de 2020.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	4
I. AGRADECIMIENTOS.....	6
II. INTRODUCCIÓN.....	7
III. ANTECEDENTES	9
Los hongos comestibles contexto socio-cultural.....	10
Los hongos comestibles y su contexto en la actualidad	11
IV. MARCO TEÓRICO.....	13
V. JUSTIFICACIÓN	16
VI. OBJETIVOS	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
Metas y alcances.....	18
VII. HIPÓTESIS	20
VIII. MÉTODOS	21
Área de estudio	21
Variedades de maíz	21
Material biológico	22
Inoculación en campo	22
Caracteres estudiados	24
Análisis químico proximal de <i>U. maydis</i> de diferentes variedades de maíz.....	26
Elementos minerales	27
Análisis de datos.....	28
IX. RESULTADOS	29
X. DISCUSIÓN.....	40
XI. CONCLUSIONES.....	46
LITERATURA CITADA.....	48
XII. ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios y categorización de la Severidad de la cepa MA-Um1 de acuerdo al porcentaje de cobertura presente en la mazorca.	24
Tabla 2. Características productivas del huitlacoche obtenido en Nopalucan de la Granja.	31
Tabla 3. Análisis de Regresión de superficie de respuesta de RPH vs. Variedad de Maíz, PI, SEV.	35
Tabla 4 . Resultados de análisis bromatológico de las agallas obtenidas en las variedades de maíz utilizadas en Nopalucan de la Granja, Pue. (Contenido Nutricional g/100g de materia seca).	37
Tabla 5 Contenido de minerales presente en las agallas colectadas de cada variedad de maíz evaluada	39
Tabla 6. Tabla de composición de alimentos y productos alimenticios, (comparativo Huitlacoche con maíces, otras semillas y otros hongos comestibles)	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de maíz criollo blanco con presencia de los brotes de las sedas o inicios de etapa fenológica R1	23
Figura 2. Maíz criollo blanco, con presencia del desarrollo de las agallas o tumoraciones producidas por la inoculación con la cepa MA-Um1.	29
Figura 3. Climograma de Nopalucan de la Granja, Puebla, México, durante el año 2017 (Estación meteorológica del INIFAP, San José Ovando 26032).	30
Figura 4. Huitlacoche de mayor peso neto obtenido (833g) para la variedad de maíz criollo blanco.....	32
Figura 5. Acumulado de grados de severidad expresada en porcentaje, presentado por la cepa MA-Um1 de <i>U. maydis</i> , para cada variedad de maíz en	

Nopalucan de la Granja, Puebla-México.*Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$).33

Figura 6. Porcentaje de incidencia e índice de severidad presentado por la cepa MA-Um1 de U. maydis, para cada variedad de maíz en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. *Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$).33

Figura 7. Rendimiento potencial ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de U. maydis, para cada variedad de maíz en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. *Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).36

Figura 8. Sintomatología del adecuado desarrollo de agallas U. maydis en maíz híbrido Gavilán Asgrow.40

I. AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Agroecología perteneciente al Instituto de Ciencias de la BUAP, por la oportunidad de realizar esta investigación, cursar un posgrado y concluir un nivel superior de estudios.

A mis maestros y compañeros del posgrado, por los momentos compartidos y el apoyo recibido, durante todo el proceso.

A mis amigos y familiares que me acompañaron durante las horas de estudio, dedicación y desarrollo de mi proyecto de investigación.

Un especial agradecimiento para la Vicerrectora de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y al CONACyT por el financiamiento otorgado a este proyecto de investigación con CVU: 857845.

Agradeciendo también el apoyo financiero Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Puebla (CONCYTEP), para la conclusión del proyecto de investigación.

“La naturaleza no cambia, pero sin embargo invariablemente cambia con el tiempo la forma de mirarla. No importa la época, la agricultura natural existe desde siempre como fuente de la agricultura”

- Masanobu Fukuoka -

II. INTRODUCCIÓN

El vínculo existente entre los productores locales de maíz de Nopalucan de la Granja, Puebla y el Centro de Agroecología (CENAGRO) perteneciente al Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, dio origen a la presente investigación. En primera instancia, con el propósito de mejorar las condiciones de los productores del campo poblano, integrando técnicas y conocimientos que permitan potenciar, tanto la producción de alimentos naturales en términos de calidad, así como los ingresos de los productores locales de la región, para en un segundo momento, y motivo de otro trabajo, sistematizar un modelo de acompañamiento de productores que permita replicar la experiencia en otros municipios cuya actividad principal agrícola sea el cultivo de maíz, considerando el modelo como una herramienta sinérgica con su actividad actual.

Este trabajo de investigación se circunscribe a la exploración de distintas variedades de maíz para evaluar su capacidad como hospederos al inóculo del huitlacoche, un hongo comestible que fortalece y diversifica el sistema producción de maíz, basado en la interacción de la diversidad biológica y cultural de México, con potencial de crecimiento en términos económicos, al integrarse como producto dentro del mercado de los alimentos funcionales debido a sus propiedades nutrimentales.

La importancia de la presente investigación, radica en la posibilidad de agregar valor a los sistemas producción de maíz a cielo abierto, uno de los principales cultivos de alcance nacional, y uno de los ejes del sistema de alimentación mexicano. El proyecto postula alternativas complementarias para fortalecer el trabajo de los pequeños y medianos productores, y sobretodo mejorar sus posibilidades de ingresos.

El desarrollo del proyecto de investigación, se realizó en el municipio de Nopalucan de la Granja en Puebla, en colaboración con los productores locales durante las

etapas de inoculación, incubación y cosecha, con ello se realizará un comparativo entre ocho variedades de maíz; de las cuales cuatro de ellas son variedades criollas nativas de la región, a fin de adaptar y añadir la técnica de inoculación del hongo comestible, en un sistema de producción local utilizando la diversidad biológica domesticada con sus respectivos recursos fitogenéticos desarrollados y/o adaptados localmente y ello permitirá disertar si hay diferencias significativas en términos de características nutricionales y el potencial productivo de cada variedad de maíz dispuesta para la evaluación.

III. ANTECEDENTES

Actualmente, los pequeños y medianos productores de maíz de temporal enfrentan bajos rendimientos lo que, entre otros factores, genera pobreza, marginación y migración; ésta investigación tiene como prioridad acercar a pequeños y medianos productores una herramienta viable para la producción de un hongo comestible de calidad nutrimental que permita agregar valor en el sistema producción de uno de nuestros principales cultivos tanto a nivel estatal como nacional, para con ello mejorar los rendimientos de actual sistema que utilizan para la producción de maíz, traduciéndose en una mejora de su situación económica (Boltvinik, 2003; Morales, 2005; De Ita Caro *et al.*, 2016).

La selección artificial *in situ* es un mecanismo de domesticación incipiente que se lleva a cabo en el presente, y posiblemente desde los tiempos pre-agrícolas; la tolerancia, la inducción y protección selectiva de individuos de especies útiles durante perturbaciones intencionales de la vegetación, ya que mediante éste manejo se pueden determinar procesos de selección artificial (selección *in situ*) y ocasionar divergencias morfológicas significativas entre poblaciones silvestres y manejadas, como lo ilustran los casos de los quelites, de árboles como los guajes o como cactáceas “columnares y nopales” (Casas *et al.*, 2000; Boege Schmidt *et al.*, 2008), por lo que a través de un proceso fundamentado en este principio de selección, se realizará la evaluación de la susceptibilidad al inóculo de huitlacoche (*Ustilago maydis* (Persoon) Roussel) desarrollado e incubado en el Centro de Agroecología de la BUAP, en ocho variedades de maíz (*Zea mays* L.) utilizadas por los productores de Nopalucan de la Granja, Puebla.

El alcance de la presente investigación puede dimensionarse en tres áreas: la primera, de plazo inmediato, asociada a capacitar y presentar con los productores locales de la zona de estudio una técnica viable y con un costo accesible para la producción comercial de huitlacoche a cielo abierto; la segunda concentrada en identificar una o varias variedades de maíz para utilizarse como hospederas en la

producción de huitlacoche comercial en la zona de Nopalucan de la Granja, para finalmente decantar en la obtención de variedades de maíz funcionales como hospederas altamente productivas, para la producción comercial de huitlacoche, con la intención de replicar a futuro dicha técnica de producción comercial, teniendo una mayor cantidad de elementos que permitan garantizar con favorables resultados la obtención del huitlacoche para productores de maíz del campo poblano y mexicano.

Los hongos comestibles contexto socio-cultural

Los hongos comestibles por su variedad, sabor y forma, en cualesquiera de sus tamaños, sabores y colores incitan a la fantasía, la buena comida tiene el atributo de distinguir al hombre de los demás animales y en este orden de ideas, los hongos que se producen en México tienen la magia de deleitarnos, especialmente si se combinan con otros productos de la tierra, como son el maíz, el frijol, el chile, la flor de calabaza, el epazote y en fin, una serie de ingredientes que enriquecen nuestra gastronomía local.

Mucho antes del descubrimiento de América, o como hoy suele decirse, el encuentro de dos mundos, los olmecas conocían el exquisito sabor de los hongos y las setas, que aparecían en el llano, luciendo sus puntas de diversos colores después de un torrencial aguacero y de una noche de luna, nuestros ancestros creían que la aparición de los hongos, tenía algo o mucho de magia porque, ¿Cómo explicarse que de la tierra brotara una delicada especie de carne? He ahí por qué los antiguos pobladores de México, llamaron a los hongos silvestres “nanácatl” voz que deriva de nacatl, que significa “carne”.

El hongo biotrófico dimórfico *U. maydis* es el causante de la enfermedad conocida como carbón común del maíz (Krombach *et al.*, 2018). En México, se tiene referencia sobre su consumo desde la época prehispánica; los aztecas lo llamaban como “cuitlacohtli”, cuitla (tl) (suciedad, basura o excremento) y cochtli (dormido)

raíz proveniente del náhuatl, que coloquialmente en la actualidad, ha derivado a huitlacoche; término que se empleará en lo consiguiente para su denominación en el presente trabajo de investigación.

Es considerado como platillo exótico de la cocina mexicana, con una alta fuente de proteínas, ácidos grasos esenciales, carbohidratos y compuestos de naturaleza fenólica (López, 1988; Juárez-Montiel *et al.*, 2011; Paredes López *et al.*, 2013).

La producción de este hongo comestible puede generarse a través de infecciones naturales y al azar, ya que la aparición del hongo en el maíz depende de las condiciones ambientales que conducen a la infección y a la asociación entre la etapa en el desarrollo del hospedante durante el periodo de infección y el tejido de la planta; en el cual se forman las agallas (Pataky *et al.*, 1991; Aguayo-Gonzalez *et al.*, 2016), la mayor producción se concentra en los meses de julio y agosto, obteniendo entre 300 a 500 ton por año (Kealey *et al.*, 1981; Guevara-Vazquez *et al.*, 2009; Pimentel-González *et al.*, 2011).

Por décadas el cultivo de hongos comestibles en México fue una de las actividades más herméticas y poco conocidas del sector agroalimentario, existía un desconocimiento público en lo referente a sus componentes y variables socioeconómicas, estructuras, relaciones, patrones de desarrollo e interrelaciones con otros sectores. Es hasta inicios de 1990, a través de la promoción de la investigación y vinculación entre la academia y el sector productivo, que se obtiene información y conocimiento sobre las características de la producción comercial de hongos comestibles, permitiendo de esta forma dimensionar su relevancia social, económica y ecológica (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

Los hongos comestibles y su contexto en la actualidad

En los últimos veinte años, la producción en México de hongos comestibles ha tenido un crecimiento significativo. Durante el periodo de 1991 a 2011, la producción

pasó de 9 mil 036 a 62 mil 374 toneladas de hongos frescos por año, se ha sextuplicado el volumen de producción en el país. Por lo cual, México se posicionó como el mayor productor de hongos comestibles de Latinoamérica, al generar el 80.8% de la producción para la región, seguido por Brasil (7.7%) y Colombia (5.2%). A nivel mundial México se ubica en el décimo tercer lugar de los países productores de hongos comestibles (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

El sector agroalimentario microbiano de los hongos comestibles, funcionales y medicinales genera un flujo comercial aproximado de 200 millones de dólares de forma anual; genera alrededor de 25 mil empleos directos e indirectos; entre las principales entidades productoras se encuentran Coahuila, Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, y Veracruz. Cabe destacar que esta actividad tiene una importancia ecológica sin igual por la utilización y reciclaje de más de 500 mil toneladas anuales de subproductos agrícolas, agroindustriales (Chang *et al.*, 2004; Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

Ubicándonos en éste contexto, es como se ha conformado en México la cadena agroalimentaria microbiana emergente de los hongos comestibles, funcionales y medicinales, la cual está evolucionando hacia una mayor especialización empresarial y regional. En este sentido, se estima que actualmente existen alrededor de 6 000 productores ubicados en la región central del país, que cuenta con una amplia biodiversidad y recursos genéticos de especies de hongos endémicas que pueden incorporarse en el corto plazo a la producción comercial. Por lo tanto, la región central del país cuenta con un gran potencial para desarrollar esta actividad agroalimentaria bajo un modelo que genere beneficios económicos, sociales y ecológicos.

IV. MARCO TEÓRICO

El consumo de alimentos naturales no sólo de buen sabor, sino también inocuos, nutritivos y con propiedades benéficas para la salud, representa la gran tendencia mundial de la alimentación humana en el siglo XXI. Durante los últimos años ha surgido la necesidad de elaborar, estudiar o redescubrir los alimentos que, además de proporcionarnos los beneficios nutricionales que los caracterizan, puedan cumplir una función específica, como mejorar la salud o reducir el riesgo de contraer enfermedades. (Juárez-Montiel, *et al.*, 2011). Por este motivo, el conocimiento del valor nutrimental de los alimentos es importante para que estos tengan una mejor aceptación entre los consumidores.

Si bien es cierto, los hongos comestibles se consumen por su excelente sabor, aroma y textura; sin embargo, es poco conocido su gran potencial como alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud. Estas propiedades son únicas y diferentes a las aportadas por otros alimentos ampliamente consumidos, ya que los hongos constituyen un reino de la naturaleza independiente de las plantas y los animales. (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

La producción de hongos comestibles inició como una auténtica biotecnología tradicional, basada en técnicas sencillas de propagación, hace aproximadamente 1 400 años en China, con el cultivo empírico de las “orejas de ratón” (*Auricularia* spp.) y del “shiitake” [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler]. De la misma forma, aunque como proceso independiente, también comenzó en Francia hace más o menos 350 años con el cultivo del champiñón (*Agaricus bisporus*). A través del tiempo, ha sido posible la incorporación y desarrollo de tecnologías que han mejorado substancialmente la producción comercial a gran escala no tan sólo de los hongos comestibles mencionados, sino también de otras especies potencialmente cultivables (Chang y Miles, 2004; Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

La mayoría de los investigadores cuyos estudios tienen como finalidad la producción comercial de huitlacoche describen que los factores que pueden afectar la producción de huitlacoche son: la producción eficiente del inoculante, el momento de la inoculación y cosecha, las características del maíz utilizado para su incubación, y finalmente la cepa de *U. maydis* utilizada. (Vanegas *et al.*, 1995; Pataky y Chandler, 2003) Características tales como, el sabor, el aroma y el valor nutricional de huitlacoche son factores que dependen de la variedad de maíz y el estado de desarrollo en el que el hongo se cosecha. (Valdez-Morales *et al.*, 2010).

Los estudios realizados para la producción comercial de huitlacoche en los últimos 12 años, se han centrado en la infección por inoculación postulada por Zimmerman desde 1992 (Zimmerman y Pataky, 1992), mencionan que; las agallas se pueden inducir mediante la inyección de una suspensión esporádica en el canal de seda presente en el jilote o a través de hojas de cáscara, poco después de que emerjan los jilotes (Pataky y Chandler, 2003). Los jilotes de maíz son susceptibles a la inoculación a partir de la emergencia tisular de 8 a 14 días, con infecciones más graves a los 4 a 8 días después de la media sedimentación; definida como jilotes emergidos en el 50% de las plantas (Du Toit y Pataky, 1999; Pataky y Chandler, 2003). Sin embargo el periodo de inoculación sugerido para realizar un cultivo selectivo es de 2 a 4 días después de la aparición de la seda (Thompson y Raizada, 2018).

La gran mayoría de las variedades de maíz presentan algún grado de resistencia al ataque de *U. maydis*, siendo las variedades de maíz dulce las más susceptibles (Pataky *et al.*, 1995). Los principales factores que pueden afectar la producción comercial de huitlacoche son: a) La cepa utilizada en el inoculante, b) El periodo de inoculación después de la aparición de la seda y c) Condiciones ambientales (Vanegas *et al.*, 1995; Pataky y Chandler, 2003). Así mismo, el sabor, el aroma y el valor nutricional de huitlacoche son factores que dependen de la variedad de maíz y el estado de desarrollo en el que el hongo se cosecha (Valdez-Morales *et al.*, 2010).

Las áreas cálidas y moderadamente secas con temperaturas de 26 a 34 °C, con alta humedad relativa de un 60 - 80% y precipitación de 43 a 53 mm incrementan la incidencia en condiciones de temporal (Bolaños y J.F., 1998, Villanueva *et al.*, 1999; Martínez-Martínez *et al.*, 2000). Además, altas cantidades de nitrógeno y suelos abonados con materia orgánica, predisponen a las plantas para una mejor producción comercial del hongo comestible (Texas Plant Disease Handbook, 1996). La evaluación de variedades de maíz para fines de producción comercial de huitlacoche, permite conocer su nivel de susceptibilidad genética y seleccionar variedades altamente productivas para cada zona de estudio (Pan *et al.*, 2008).

Con base en el contexto presentado, el objetivo de esta investigación se centró en evaluar la susceptibilidad al inóculo de huitlacoche (*U. maydis*) en ocho variedades de maíz (*Zea mays* L.) en Nopalucan de la Granja, Puebla-México; sembrado en condiciones de cielo abierto; postulando la propuesta como una técnica alternativa que permita a los productores de la zona la selección de una variedad adecuada para la producción comercial de huitlacoche en cultivos de temporal, aprovechando la creciente demanda y su gran potencial en el mercado de los alimentos funcionales.

V. JUSTIFICACIÓN

El huitlacoche también se ha caracterizado como un hongo nutraceutico de alta calidad, por contener β -glucanos, azúcares libres, sustancias antimutagénicas (Valdez-Morales *et al.*, 2010), además de ser utilizado para enriquecer otros alimentos; debido a su sabor extraordinario y calidad excepcional, consumiéndose principalmente en México, América Central y Estados Unidos, obteniendo ganancias para los agricultores de huitlacoche hasta los \$25 (USD) por kg de agallas (Tracy *et al.*, 2007; Valverde *et al.*, 2015; Thompson y Raizada, 2018).

Reiterando lo mencionado por Pan *et al.* (2008), la evaluación de variedades de maíz para fines de producción comercial de huitlacoche, permite conocer su nivel de susceptibilidad genética y seleccionar variedades altamente productivas para cada zona de estudio (Pan *et al.*, 2008).

De acuerdo con los datos presentados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el estado de Puebla, México, se siembran 515 616 hectáreas de maíz, donde el 90% son de temporal con un rendimiento promedio de 1 966 Kg por hectárea. Asimismo, el municipio de Nopalucan de la Granja para el año 2017 tuvo una producción de maíz de 17 304 Ton en 7 210 hectáreas de temporal, con un rendimiento promedio de 2 400 Kg/ha (SIAP, 2019).

Una vez revisado el contenido del marco teórico, podemos destacar la relevancia de incentivar la producción comercial de huitlacoche así como el apoyo a productores del campo poblano, para mejorar sus ingresos a través del cultivo de este hongo comestible que; no sólo representa el preservar nuestra identidad cultural y gastronómica, sino también la posibilidad de mejorar sus ingresos a través de proyectos que rescatan nuestra identidad en el campo.

Es sumamente importante destacar que la tecnología de producción comercial de huitlacoche postulada en éste trabajo de investigación es totalmente factible y

replicable ya que si bien se evaluó con un conjunto de productores de Nopalucan de la Granja, Puebla, los resultados preliminares nos indican que se trata un postulado tecnológico con gran potencial, con capacidad de replicarse con pequeños y medianos productores al estar altamente vinculado con el maíz, un cultivo eje de nuestro sistema de producción agrícola.

VI. OBJETIVOS

Objetivo general

- ~ Evaluar la susceptibilidad de ocho variedades de maíz para el cultivo comercial de huitlacoche (*Ustilago maydis* (Persoon) Roussel), en Nopalucan de la Granja, Puebla-México.

Objetivos específicos

- ~ Analizar las diferencias en cuanto a potencial productivo y virulencia del inóculo de *U. maydis* en las variedades de maíz postuladas para evaluación.
- ~ Determinar las características nutricionales de las agallas de huitlacoche resultantes del proceso de inoculación y evaluar las posibles diferencias existentes de acuerdo a la variedad de maíz hospedero.

Metas y alcances

- ~ Determinar la variedad de maíz con mayor rendimiento productivo para el cultivo comercial de *U. maydis* en la zona de Nopalucan de la Granja, Puebla.
- ~ Presentar a los productores la variedad con mejores características en términos de productividad/rentabilidad, para estructurar una producción estable y constante con los ciclos de siembra.
- ~ Establecer un esquema de condiciones base para el agroecosistema, que sirva para replicar el modelo productivo en otras zonas que cuenten con potencial para su desarrollo.

- ~ Potenciar el uso de la variedad de maíz de mejor productividad como hospedero para *U. maydis*, procurando la preservación de la diversidad de variedades de maíz existentes en el campo mexicano.

VII. HIPÓTESIS

“La evaluación de las variedades de maíz de temporal en el municipio de Nopalucan de la Granja en el estado de Puebla, permitirá determinar la mayor susceptibilidad a la cepa MA-Um1 para el cultivo de huitlacoche”

- ~ La producción de huitlacoche presentará diferencias de acuerdo a la variedad de maíz utilizada como hospedero.
- ~ El contenido nutricional y mineral de las agallas obtenidas presentará diferencias de acuerdo con la variedad de maíz que la hospeda.

VIII. MÉTODOS

Área de estudio

El experimento fue realizado en parcelas de cultivo de maíz de temporal en Nopalucan de la Granja, Puebla; que se ubica entre los paralelos 19° 06' y 19° 17' de latitud norte; los meridianos 97° 43' y 97° 55' de longitud oeste; altitud entre 2 300 y 3 200 msnm. Colinda al norte con el estado de Tlaxcala, los municipios de Rafael Lara Grajales y San José Chiapa; al este con los municipios de San José Chiapa, Rafael Lara Grajales, Mazapiltepec de Juárez y Soltepec; al sur con los municipios de Soltepec, Acatzingo, Tepeaca y Acajete; al oeste con el municipio de Acajete y el estado de Tlaxcala.

En la zona los tipos de suelo predominan de la siguiente manera Regosol (31%), Durisol (17%), Luvisol (14%), Fluvisol (14%), Phaeozem (11%), Solonchak (5%) y Leptosol (3%).

Las condiciones climáticas de la región se comportan de la siguiente manera: una temperatura que oscila entre 12 – 16°C, precipitaciones que van de 500 – 900 mm y un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (38%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (33%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (29%), valores absolutos en la climatología de la región. (INEGI, 2019).

Variedades de maíz

Se evaluaron cuatro variedades híbridas de maíz utilizadas por los productores de la zona, que son: Halcón y Gavilán comercializadas por ASGROW, AS722 de ASPROS y Z60 de Hartz seed y cuatro variedades de maíz criollo (blanco, blanco cremoso, amarillo y azul), proporcionadas de igual forma por los productores de la región, obteniendo una N total de 2 000 plantas de maíz dispuestas para el proceso de inoculación y evaluación.

Material biológico

El inóculo utilizado se desarrolló a base de teliosporas de la cepa MA-Um1, a una concentración de 1×10^6 teliosporas/mL. La cepa MA-Um1 se encuentra resguardada en el Cepario de Hongos Comestibles del Centro de Agroecología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, dónde se mantiene activa en cajas de Petri con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar-BIOXON) incubadas a 30 °C (Villanueva *et al.*, 2007).

Inoculación en campo

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar considerando ocho tratamientos (uno para cada variedad de maíz evaluada); cada unidad experimental compuesta por surcos de 10 m de longitud y 85 cm de separación; De acuerdo con Madrigal - Rodríguez *et al.*, (2010); para que se presente la infección ideal, el maíz debe inocularse en etapa de jilote (brotes de las sedas o inicios de la etapa fenológica R1), (**Figura 1**), en donde la producción de grano de maíz será el sustrato alimenticio para el desarrollo del hongo y así producir agallas de mejor tamaño, por disponer de una alta concentración de carbohidratos como ya lo mencionaban anteriormente Pataky y Chandler, (2003).

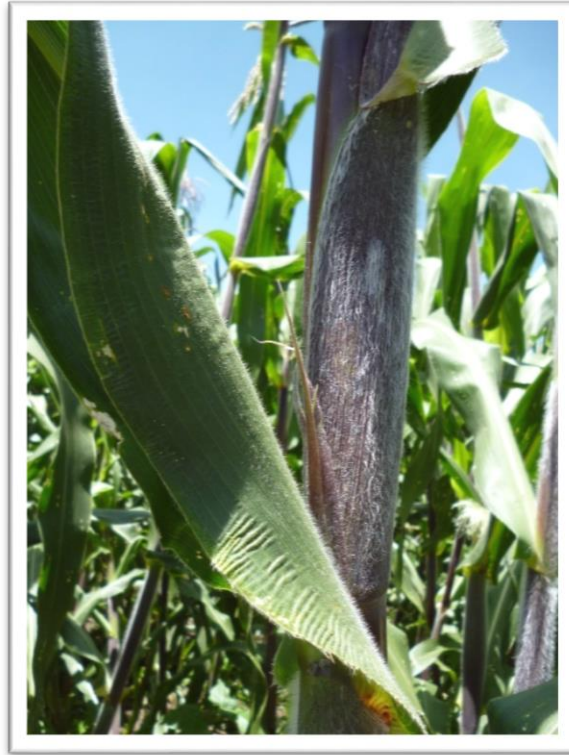


Figura 1. Planta de maíz criollo blanco con presencia de los brotes de las sedas o inicios de etapa fenológica R1.

Se realizó la inoculación de 2 000 plantas a los 4 días posteriores a la aparición del canal de la seda, aplicando 2 mL del inóculo por medio de una jeringa Vet-Matic® en dos puntos equidistantes a lo largo del jilote o brotes de las sedas con las características adecuadas (**Figura 1**) (Pataky y Chandler, 2003; Villanueva *et al.*, 2007; Thompson y Raizada., 2018).

La densidad de siembra empleada por los productores en la zona de estudio corresponde a 60,000 plantas de maíz por hectárea y para los ocho tratamientos, se empleó la dosis de fertilización 240-60-60, aplicándola al momento de la siembra; el 50% de nitrógeno, 100% el fósforo y potasio y la otra mitad de nitrógeno, a los 45 días después de la siembra. Con la finalidad de mantener las parcelas de cultivo libres de malezas se aplicó Atrazina (25%) y Metolachlor (25%) en dosis de 4 L ha⁻¹ y se hicieron dos escardas mecánicas (20 y 40 días después de siembra). Durante el periodo de infección (20 y 25 días) la temperatura se mantuvo entre los 16°C y

32°C, precipitaciones con un promedio de 110mm y la humedad relativa entre el 70 y 80%.

Caracteres estudiados

Inicialmente se procedió a la recolección del huitlacoche producido en las diferentes variedades de maíz. Esta se realizó con elotes que presentaran una masa de color negro, denominadas agallas (Banuett y Herskowitz, 1996), se les cortaron las brácteas en el punto de inserción del pedúnculo con el tallo para evitar lesiones mecánicas que indujeran mayor oxidación y deterioro en las agallas obtenidas a los 30 días post-inoculación (Valdez-Morales *et al.*, 2010). Una vez cosechado el huitlacoche, se realizó la colecta de datos para evaluar las siguientes características productivas: peso neto, peso de la hoja, peso del olote, peso del hongo desgranado o gramos de agallas producidos por mazorca infectada (GMI); presente en las plantas infectadas, así como altura y ancho de cada una de éstas.

Para la medición de severidad (SEV_i), se consideró la proporción del elote cubierta con las agallas del hongo como lo menciona (Villanueva *et al.*, 1999) donde se definieron cinco categorías de severidad para el desarrollo de las agallas en el elote (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios y categorización de la Severidad de la cepa MA-Um1 de acuerdo al porcentaje de cobertura presente en la mazorca.

Categoría*	Cobertura de la mazorca por agallas (%)	Criterio de categorización
SEV1	0	Sin presencia de agallas.
SEV2	>0 - 25	Menor o igual a $\frac{1}{4}$ del largo de la mazorca con presencia de agallas.
SEV3	>25 - 50	Mayor a $\frac{1}{4}$ y menor o igual al $\frac{1}{2}$ del largo de la mazorca con presencia de agallas.
SEV4	>50 - 75	Mayor a $\frac{1}{2}$ y menor o igual al $\frac{3}{4}$ del largo de la mazorca con presencia de agallas.
SEV 5	>75 - 100	Mayor a $\frac{3}{4}$ y cobertura total del largo de la mazorca con presencia de agallas.

*SEV_i=Severidad

El porcentaje de incidencia (PI) se obtuvo al dividir el total de elotes infectados de acuerdo a la categoría de severidad en la unidad experimental, entre el total de elotes inoculados multiplicado por 100 (Madrigal-Rodríguez, *et al.*, 2010).

$$PI = \left[\frac{(\text{No. Elotes con SEV2}) + \dots + (\text{No. Elotes con SEV5})}{\text{Total de elotes inoculados}} \right] \times 100$$

El índice de severidad (ISE) se obtuvo con base en lo mencionado por (Villanueva *et al.*, 1999), mediante la expresión:

$$ISE = \left[\frac{(\text{NESEV1} * 0) + (\text{NESEV2} * 0.25) + (\text{NESEV3} * 0.50) + (\text{NESEV4} * 0.75) + (\text{NESEV5} * 1.0)}{\text{Total de elotes infectados}} \right] \times 100$$

Donde:

ISE= Índice de severidad

NESEVi= número de elotes para cada categoría de severidad.

Los rendimientos potenciales por hectárea de huitlacoche se calcularon mediante:

$$RPH = [(PI \times \text{Densidad de siembra}) \times (GMI)] / 1000$$

Donde:

RPH: Rendimiento potencial de huitlacoche por hectárea (Kg-ha⁻¹).

PI: Porcentaje de incidencia.

GMI: Gramos por mazorca infectada.

DS: Densidad de siembra utilizada en Nopalucan de la Granja (60,000).

Análisis químico proximal de *U. maydis* de diferentes variedades de maíz

El análisis químico proximal se realizó siguiendo los procedimientos recomendados por los reglamentos de la Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C. 1990; Feldsine, *et al.*, 2002). Las muestras se molieron hasta alcanzar un tamaño de partícula de 0.5 a 1 cm. Se secaron en estufa a 55 °C, durante 48 h. A los residuos deshidratados, se les realizó la determinación de proteína cruda (PC) con el método Micro-Kjeldahl (De Carvalho *et al.*, 2015), el factor de conversión de N x 4.28 (A.O.A.C., 1990; 2004). La determinación de los lípidos fue llevada a cabo por la técnica de Golfish AOAC No. 954.02 (A.O.A.C., 1990). Las cenizas se determinaron a través de la incineración a 550 °C (A.O.A.C., 1990), mientras que la fibra cruda se realizó por el método de Van Soest (Van-Soest, 2002). La materia seca se mantuvo durante 36 h a una temperatura de 55 °C (%MS= [peso final de la muestra / peso inicial de muestra] x100) (Seibel, 1989).

El contenido de carbohidratos presentes en las muestras fue calculado utilizando el método de carbohidratos totales por diferencia, este valor se calcula según la expresión:

$$\%HC = 100 - (\% \text{ Agua} + \% \text{ Proteína} + \% \text{ Grasa} + \% \text{ Fibra dietética} + \% \text{ Ceniza})$$

Los métodos por «diferencia» pueden incorporar algún error derivado de la determinación de cada componente. (Charrondiere *et al.*, 2011).

El valor energético fue calculado utilizando los factores específicos de Atwater, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Kcal/100g} = P = X * (4) + CD = X * (4), G = X * (9), FD = X * (2)$$

Donde:

P=proteínas.

CD=carbohidratos disponibles (excluida la fibra dietética).

G=grasas.

FD=fibra dietética.

Realizando por triplicado los análisis correspondientes para cada una de las muestras obtenidas para cada variedad de maíz evaluada (Charrondiere *et al.*, 2011).

Elementos minerales

Para evaluar la composición de materia mineral presente en las agallas de huitlacoche obtenidas en cada tratamiento, se utilizó el método de digestión con microondas. Previamente se secaron muestras de hongo fresco en un horno con extracción a 60 °C, posteriormente se colocaron 0.5 g de muestra seca y pulverizada en vasos de tetrafluorometoxilo (TFM). En cada uno de ellos se adicionaron 9 mL de HNO₃ 65% (v/v) y 3 mL de HCl (1:1). Cada recipiente fue calentado en el horno de microondas durante 5 minutos con una potencia de 700 W hasta una temperatura de 180 °C y se mantuvo a la misma temperatura durante 10 minutos con una potencia de 500 W, que fue constatado con una sonda de temperatura en un vaso control. Una vez finalizada la digestión se dejaron enfriar los recipientes y la solución resultante se filtró para separar las posibles partículas residuales. Finalmente, el sobrenadante se transvasó a un matraz y se aforó a 25 mL con agua desionizada. La solución resultante se conservó en botes de plástico, previamente lavados con agua desionizada y se almacenó a 4 °C hasta su determinación por espectrometría de emisión óptica (ICP-OES), para determinar los contenidos minerales (Na, Ca, Mg, P, Fe, Zn y Mn) de las muestras digeridas, utilizando ICP de Varian (Kaçar y Inal, 2008; Aydogdu y Golukcu, 2017).

Los resultados obtenidos se contrastaron con los valores presentes en el reporte de requerimientos de vitaminas y minerales de la FAO, el informe de esta consulta

conjunta de expertos FAO / OMS reporta las cantidades diarias recomendadas para el consumo de los componentes minerales en la dieta humana para adultos entre 10 y 65 años, de acuerdo con el siguiente listado : Ca es de 1000, Mg de 260, Zn entre 4.2 a 14, I de 130 y Fe entre 9 a 27, todos ellos en mg/día por día, a excepción de Se 34 µg/día (FAO, 2011).

Análisis de datos

Para evaluar las características productivas: peso neto, peso de la hoja, peso del olote, GMI, altura y ancho; presente en las plantas inoculadas, así como el análisis químico proximal y elementos minerales de agallas provenientes de las diferentes variedades de maíz, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar si existen diferencias significativas entre las variables anteriormente mencionadas, el porcentaje de incidencia (PI) y el índice de severidad (ISE) se expresaron en porcentajes, donde se transformó con arco coseno angular $\sqrt{x + 1}$. Los datos se analizaron mediante un modelo cuadrático de regresión de superficie de respuesta para los rendimientos potenciales por hectárea de huitlacoche y la prueba de grupos homogéneos a un nivel de significancia de $P < 0.05$; empleando el programa estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows.

IX. RESULTADOS

Los síntomas considerados para validar una adecuada inoculación fueron esencialmente la formación de tumores, tal cual se aprecia en la imagen del maíz blanco (**Figura 2**), las tumoraciones características de *U. maydis* se presentaron a los 30 días post-inoculación en las 2,000 plantas estudiadas. La infección parece verse favorecida por la concentración teliospórica de la cepa CP-MAUm1, además de las condiciones ambientales favorables que presentó el municipio de Nopalucan de la Granja, Puebla-México (**Figura 3**).



Figura 2. Maíz criollo blanco, con presencia del desarrollo de las agallas o tumoraciones producidas por la inoculación con la cepa MA-Um1.

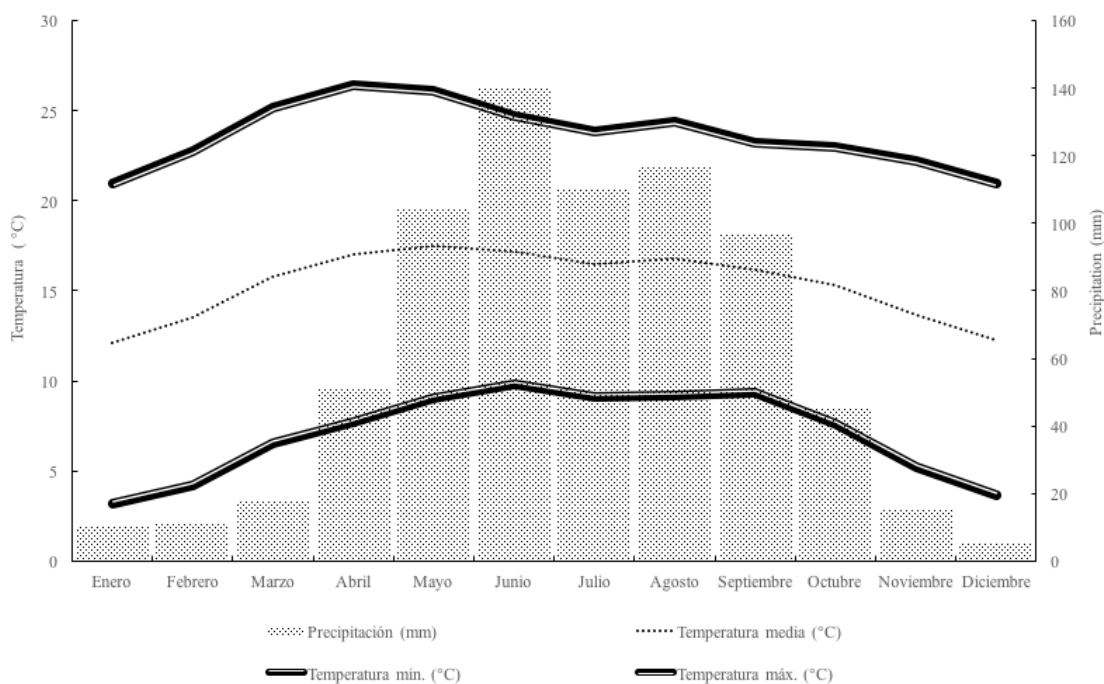


Figura 3. Climograma de Nopalucan de la Granja, Puebla, México, durante el año 2017 (Estación meteorológica del INIFAP, San José Ovando 26032).

Por otra parte, los resultados obtenidos presentan diferencias significativas con una probabilidad ($P > 0.05$) en las características productivas de *U. maydis* de la cepa MA-Um1 en las diferentes variedades de maíz evaluadas (**Tabla 2**). No obstante, se puede apreciar que la variedad criollo blanco (b) presentó el mayor peso neto con 833 g (**Figura 4**), así como el peso de la hoja, sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas en el peso desgranado en todos los tratamientos. Para la altura y el ancho presentados en las mazorcas infectadas con presencia de agallas, se obtuvo que la variedad de maíz AS 722 Aspros presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos con 26.58 y 10.13 cm respectivamente, sin embargo el ancho no presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, a excepción de la variedad Criollo Azul con 6.33 cm, reportando el valor más bajo en la presente investigación. En relación a los gramos de agallas producidos por mazorca infectada (GMI), la variedad de maíz criollo blanco cremoso presentó el mejor resultado al obtener (249.7 g), seguido de la variedad híbrida Halcón Asgrow (220.10 g).

Las variedades criollo blanco, Z-60 y As-722 no presentaron diferencias significativas considerando una probabilidad de (P=0.23) entre ellas, sin embargo, los criollos amarillo y azul y el híbrido Gavilán de Asgrow, obtuvieron los valores más bajos en la presente investigación.

Tabla 2. Características productivas del huitlacoche obtenido en Nopalucan de la Granja.

Características Productivas						
Variedad de Maíz	Peso neto (g)	Peso Hoja (g)	Peso Olote (g)	GMI (g)	Altura (cm)	Ancho (cm)
Criollo Blanco	515.33±43.99 ^a	107.25±19.67 ^a	101.92±17.38 ^{abc}	190±0.00 ^c	19.54±1.52 ^b	9.54±0.53 ^{ab}
Criollo Blanco-Cremoso	499±38.43 ^{ab}	80.58±10.21 ^{ab}	137.08±17.71 ^a	249.7±0.06 ^a	19.42±1.83 ^b	10±0.48 ^a
Criollo Amarillo	348.25±26.11 ^{cd}	52.50±8.14 ^b	67.50±11.61 ^{bc}	150.1±0.00 ^d	16.73±1.2 ^c	7.92±0.37 ^{bc}
Criollo Azul	300.08±41.66 ^d	67.25±10.10 ^{ab}	51.67±6.27 ^c	152.2±0.00 ^d	16.44±1.48 ^c	6.33±0.53 ^c
Halcón Asgrow	439±27.77 ^{abc}	87.58±6.45 ^{ab}	118.75±13.48 ^{ab}	220.1±0.00 ^b	20.71±1.65 ^b	9.25±0.42 ^{ab}
Gavilán Asgrow	475.67±36.46 ^{abc}	97.92±12.78 ^{ab}	130.08±10.25 ^a	155.9±0.00 ^d	20.42±0.88 ^b	9.63±0.48 ^{ab}
AS-722 Aspros	479.58±24.63 ^{abc}	100.33±30.71 ^{ab}	133.83±7.53 ^a	179.6±0.00 ^c	26.58±1.75 ^a	10.13±0.30 ^a
Z-60 Hartz seed	364.83±26.76 ^{bcd}	61.92±9.05 ^{ab}	73.25±14.07 ^{bc}	200.4±0.00 ^{bc}	15.35±1.51 ^c	10.53±0.42 ^a

*Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05).



Figura 4. Huitlacoche de mayor peso neto obtenido (833g) para la variedad de maíz criollo blanco.

El grado de severidad SEV_i dominante que se presentó en el caso de las ocho variedades de maíz fue el grado 4 (**Figura 5**), donde fluctuó de 72% (180 plantas) para la variedad AS 722 a 42% (104 plantas) de la variedad de maíz Criollo Blanco Cremoso, obteniendo diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de ($P=0.004$).

Respecto al Porcentaje Incidencia (PI), se encontraron diferencias estadísticamente significativas (**Figura. 6**) en los maíces criollos y las variedades híbridas. Los criollos de las variedades criollo blanco (74.27%) y criollo blanco cremoso (73.90%) no presentaron diferencia estadística significativa con un valor de probabilidad ($P=0.62$), con respecto a los híbridos Z-60 y Halcón de Asgrow 80.25 y 77.38% respectivamente. Sin embargo, las variedades con menores porcentajes de incidencia (PI) fueron Gavilán Asgrow (63.31%), AS-722 (65.86%) y los criollos, amarillo (66.22%) y azul (69.84%).

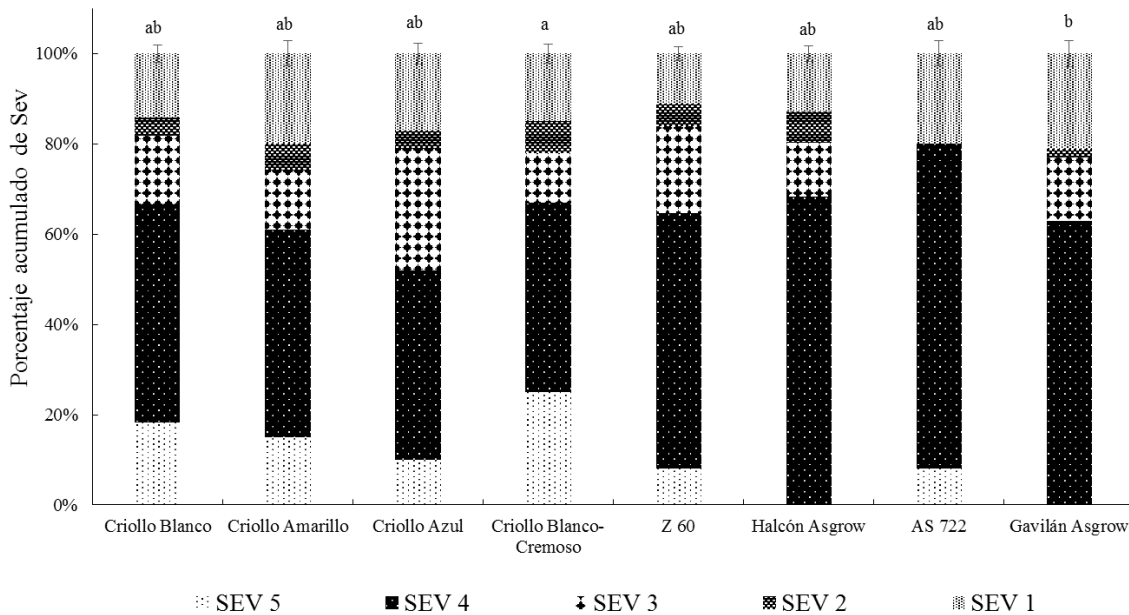


Figura 5. Acumulado de grados de severidad expresada en porcentaje, presentado por la cepa MA-Um1 de *U. maydis*, para cada variedad de maíz en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. *Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

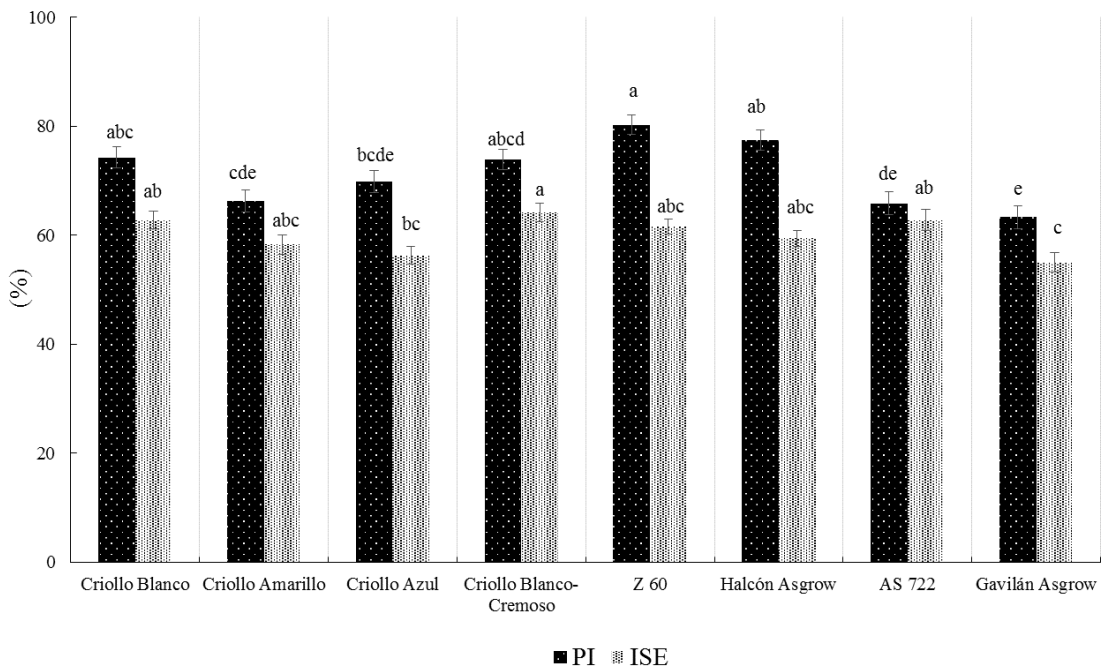


Figura 6. Porcentaje de incidencia e índice de severidad presentado por la cepa MA-Um1 de *U. maydis*, para cada variedad de maíz en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. *Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

En cuanto al índice de severidad (ISE) el valor promedio más alto fue para la variedad AS-722 VVVV con diferencias estadísticas altamente significativas considerando la probabilidad ($P=0.01$) respecto a las demás, con valores que van de un 64.14 a 55.01% (**Figura. 5**). Siendo la variedad de maíz Gavilán Asgrow, la que presentó el menor (ISE) con 55.01%, en la presente investigación.

Al realizar el análisis de regresión múltiple en los datos experimentales para el rendimiento potencial por ha (RPH), se obtuvo modelo polinómico de segundo orden:

$$Y_1 = 2557 + 439.0 (X_1) - 61.7 (X_2) - 3633 (X_3) - 51.11 (X_1^2) + 1.993 (X_2^2) + 194.3 (X_3^2) + 0.205 (X_1 * X_2) + 51.1 (X_1 * X_3) + 27.1 (X_2 * X_3).$$

Donde Y_1 es el rendimiento potencial por ha^{-1} previsto para la cepa MA-Um1 de *U. maydis*; y X_1 , X_2 y X_3 son los parámetros codificados para variedad de maíz, % de incidencia y SEV_i respectivamente. Los resultados del análisis de regresión de superficie de respuesta para el modelo, se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Análisis de Regresión de superficie de respuesta de RPH vs. Variedad de Maíz, PI, SEV.

Origen	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	37281510943	4142390105	2441.79	<0.001
Lineal	3	17898430762	5966143587	3516.82	<0.001
X ₁ =Variedad de Maíz (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).	1	95671267	95671267	56.39	<0.001
X ₂ = PI (% de incidencia)	1	104228713	104228713	61.44	<0.001
X ₃ =SEV _i (1, 2, 3, 4 y 5).	1	5308899	5308899	3.13	<0.077
Cuadrado	3	181098371	60366124	35.58	<0.001
X ₁ ²	1	79006159	79006159	46.57	<0.001
X ₂ ²	1	28362348	28362348	16.72	<0.001
X ₃ ²	1	43519284	43519284	25.65	<0.001
Interacción de 2 factores	3	51679520	17226507	10.15	<0.001
X ₁ *X ₂	1	95710	95710	0.06	0.812
X ₁ *X ₃	1	8809578	8809578	5.19	<0.023
X ₂ *X ₃	1	6307372	6307372	3.72	0.054
Error	199	3375951088	1696458		
	0				
Falta de ajuste	146	3375951087	2309132	1.86E+1	
	2			0	
Error puro	528	0	0		
	199				
Total	9	40657462030			
S=1302.48					
R ² =91.7%					
Cuadrado Ajustado R ² =91.66%					
Cuadrado Predictivo R ² =91.6%					

Para el rendimiento potencial por ha⁻¹ (RPH) se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos con una probabilidad de (P=0.001), donde el maíz criollo blanco cremoso mostró mayor producción (12,759.21 Kg·ha⁻¹) presentando 75% de agallas de primera calidad. El híbrido Halcón Asgrow, se caracterizó por generar la segunda mayor producción (11,670.35 Kg·ha⁻¹) con 75% de agallas de primera calidad, la menor producción se presentó en el criollo amarillo (7,167.88 Kg·ha⁻¹) presentando el 20% de plantas con el grado de severidad SEV₁ (sin presencia de agallas) (**Figura. 7**). Teniendo como resultante un rendimiento para las ocho variedades de maíz oscilando entre 7,167.88 a 12,759.21 Kg·ha⁻¹.

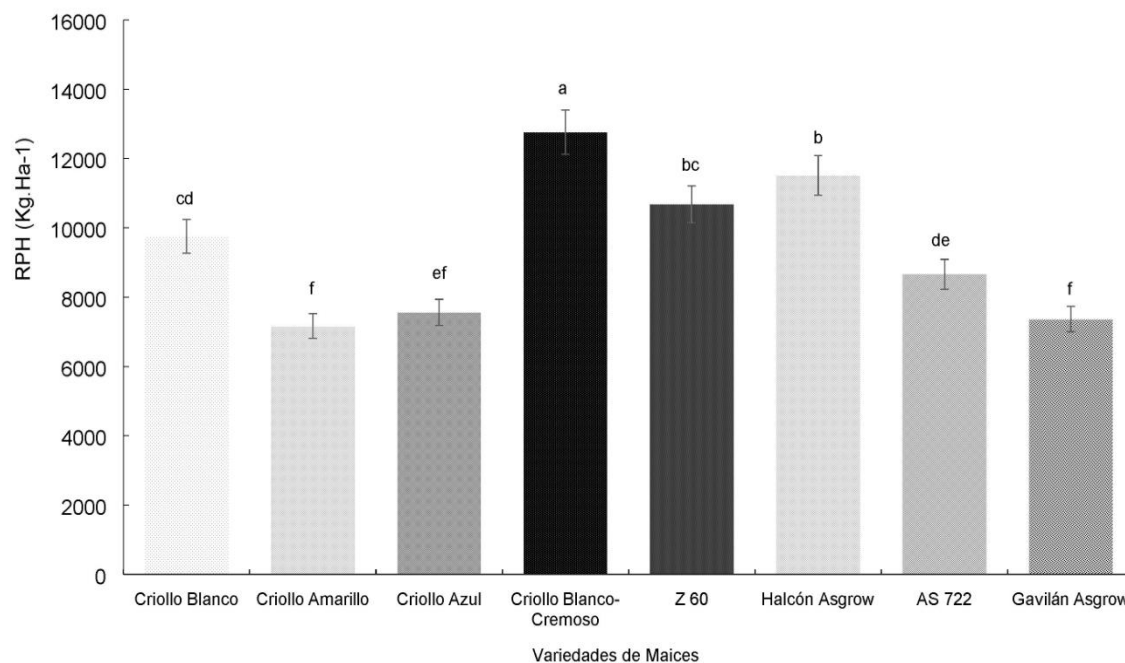


Figura 7. Rendimiento potencial (Kg·ha⁻¹) de *U. maydis*, para cada variedad de maíz en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. *Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Los resultados bromatológicos para cada uno de los tratamientos son incluidos en la (Tabla 4). Se detectaron mayores niveles de proteína cruda en el maíz criollo blanco con 15.31% y maíz AS 722 Aspros un contenido de 14.65%, presentando diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de ($P= 0.02$) con las demás variables de maíz, sin embargo, el porcentaje menor de proteína oscilo entre 10.22% para el maíz criollo azul y 10.25% el criollo blanco cremoso y 10.67% del maíz Halcón Asgrow. En cuanto al extracto etéreo (EE) contenido en de las agallas de *U. maydis*, la variedad de maíz criollo blanco cremoso y criollo blanco presentaron el mayor contenido con 3.32 y 3.24% respectivamente, cabe mencionar que el maíz Halcón Asgrow obtuvo el menor contenido de EE con 0.63%. Se encontraron diferencias significativas con una probabilidad de ($P=0.04$) en la Fibra Cruda (FC), con un porcentaje promedio de 0.148+-0.40%.

Tabla 4 . Resultados de análisis bromatológico de las agallas obtenidas en las variedades de maíz utilizadas en Nopalucan de la Granja, Pue. (Contenido Nutrimental g/100g de materia seca).

Variedad de Maíz	Humedad total (Proteína cruda	Extracto etéreo %	Fibra cruda	Carbohidratos)	Kcal/100 g (base seca)	Kcal/100 g (base fresca)
Criollo Blanco	90.22±.32 ^a	15.31±.20 ^a	3.24±.16 ^a	0.012±.02 ^d	76.24±.02 ^c	395.38±.43 ^a	38.67±.26 ^a
Criollo Blanco Cremoso	90.42±.50 ^a	10.25±.28 ^d	3.32±.23 ^a	0.012±.01 ^d	81.22±.05 ^{ab}	395.78±.76 ^a	37.92±.37 ^a
Criollo Amarillo	89.93±.30 ^a	12.84±.40 ^c	2.23±.04 ^b	0.319±.02 ^b	79.41±.04 ^b	389.71±.91 ^b	39.24±.05 ^b
Criollo Azul	89.66±.17 ^a	10.22±.16 ^d	0.84±.04 ^d	0.015±.02 ^d	83.73±.02 ^a	383.37±.37 ^c	39.64±.34 ^c
Halcón Asgrow	89.56±.15 ^a	10.67±.11 ^d	0.63±.06 ^d	0.067±.02 ^c	83.43±.01 ^a	382.22±.24 ^c	39.90±.14 ^c
Gavilán Asgrow	90.72±.24 ^a	11.37±.04 ^{cd}	1.86±.08 ^c	0.048±.02 ^{cd}	81.52±.01 ^{ab}	388.40±.14 ^{bc}	36.04±.12 ^{bc}
AS-722 Aspros	90.29±.17 ^a	14.65±.18 ^b	2.50±.02 ^b	0.570±.01 ^a	77.08±.02 ^c	390.56±.42 ^b	37.92±.21 ^b
Z-60 seed Hartz	90.38±.11 ^a	14.32±.22 ^b	1.5±.02 ^c	0.044±.02 ^{cd}	78.94±.02 ^c	386.61±.51 ^{bc}	37.19±.18 ^{bc}

*Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05).

El mayor contenido de calorías por cada 100 g en fresco fue registrado en las agallas producidas en la variedad Halcón Asgrow, registrando un contenido de 39.90 Kcal/100 g, presentando diferencias en los demás tratamientos, siendo la variedad de maíz Gavilán Asgrow con 36.04 Kcal/100 g que presentó el menor contenido de Kcal en fresco de las agallas resultantes de la inoculación con la cepa MA-Um1.

El porcentaje de minerales obtenidos para cada uno de los tratamientos son incluidos en la (**Tabla 5**), donde muestra diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). El híbrido Halcón Asgrow obtuvo la mayor concentración de Ca (25.0 mg/100 g), la menor concentración se observó en la variedad criollo blanco con 19.0 mg/100g, para Mg, la mayor concentración se presentó en el criollo amarillo con 80 mg/100g presentando diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos, sin embargo, el híbrido Z-60 Hartz Seed presentó el menor porcentaje de Mg en el presente estudio. Para el Zn el híbrido AS-722 Aspros obtuvo el mayor porcentaje (2.3 mg/100 g), seguido de el criollo blanco cremoso y el híbrido Halcón Asgrow con ambos con 2.23 mg/100 g. La menor concentración de Zn se presentó en el híbrido Gavilán Asgrow con 1.39 mg/100g presentando muestra diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Para el caso de Fe, el criollo blanco cremoso presentó la mayor concentración con 2.87 mg/100 g, Halcón de Asgrow obtuvo la menor concentración (1.4 mg/100 g) presentando diferencias significativas en la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Tabla 5 Contenido de minerales presente en las agallas colectadas de cada variedad de maíz evaluada

Variedad de Maíz	Ca	Mg	Se	Zn	Fe	I
	(mg /100 g)					
Criollo Banco	19.10±.77 ^c	68.00±.24 ^f	N/D ^b	1.98±.19 ^c	N/D ^f	N/D ^b
Criollo Blanco Cremoso	N/D ^d	73.00±.17 ^d	N/D ^b	2.23±.35 ^b	2.87±.14 ^b	N/D ^b
Criollo Amarillo	N/D ^d	80.00±.11 ^b	N/D ^b	1.84±.29 ^d	1.93±.17 ^c	N/D ^b
Criollo Azul	N/D ^d	69.00±.08 ^f	N/D ^b	1.71±.04 ^d	2.21±.24 ^c	N/D ^b
+CDR (mg / día)	1000^a	260^a	34^a	4.2 – 14^a	9.0 – 27^a	130^a
Halcón	25.10±.39 ^b	66.00±.24 ^g	ND ^b	2.23±.02 ^b	1.40±.19 ^d	N/D ^b
Asgrow Gavilán	N/D ^d	72.60±.48 ^e	N/D ^b	1.39±.55 ^e	N/D ^f	N/D ^b
Asgrow AS-722 Aspros	N/D ^d	78.00±.53 ^c	N/D ^b	2.33±.39 ^b	2.20±.11 ^{bc}	N/D ^b
Z-60 Hartz Seed	N/D ^d	56.60±.61 ^h	N/D ^b	1.85±.26 ^{cd}	N/D ^f	N/D ^b

*Medias con letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05).
+CDR cantidad diaria recomendada en mg/día.

X. DISCUSIÓN

El uso de hongos comestibles en la dieta de los seres humanos ha prevalecido debido a su sabor y olor característico. Sin embargo, en los últimos años el interés por los hongos comestibles, se ha intensificado, ya que constituyen una fuente importante de nutrientes, proteínas, vitaminas y minerales (Cano-Estrada y Romero-Bautista, 2016).

La producción de huitlacoche depende de factores como las condiciones ambientales, etapa del desarrollo de la planta de maíz, la susceptibilidad genética de la semilla y patogenicidad del hongo (Pataky, 1991; Pataky *et al.*, 1995; Pan *et al.*, 2008). En la inoculación efectuada en Nopalucan de la Granja, Puebla, las tumoraciones características de huitlacoche se presentaron a los 30 días post-inoculación, esto concuerda con lo descrito por Ruiz Herrera, (2008), donde menciona que la aparición de síntomas observados en plantas de maíz infectadas presentó clorosis, enanismo, malformaciones, e hiperdesarrollo radicular, características que se pueden observar con claridad en la (**Figura 7**) que presenta el desarrollo de las agallas en el híbrido Gavilán Asgrow.



Figura 8. Sintomatología del adecuado desarrollo de agallas *U. maydis* en maíz híbrido Gavilán Asgrow.

Las condiciones ambientales pueden influir en el desarrollo de la infección, en particular durante la penetración e infección del huésped. Aydoğdu (2015), informa que la temperatura más favorable para el desarrollo varía entre 27.2 °C y 30.7 °C, en este sentido, la temperatura osciló durante el desarrollo del cultivo entre 16-32 °C, una fluctuación entre el 70 y 80% para la humedad relativa y precipitaciones de 100 – 110mm; parámetros favorables durante la temporada de crecimiento y desarrollo de *U. maydis* (Villanueva *et al.*, 1999; Martínez-Martínez *et al.*, 2000).

El huitlacoche se produce comercialmente en algunos cultivares de maíz dulce (Pataky, 1991; Valverde *et al.*, 1993; Toit y Pataky, 1999a, b). Sin embargo, Aydoğdu (2015), descubrió que en condiciones de cielo abierto el cultivo de maíz (*Zea mays* var. *indentata*), variedades: Ada-523, Pioneer-3394 y Side; así como (*Zea mays* var. *indurata*), variedades: Karaçay y Karadeniz Yıldızı, eran más adecuados para el rendimiento del huitlacoche que las variedades maíz dulce (*Zea mays* var. *saccharata*), variedad Merit y Vega y (*Zea mays* var. *everta*), variedad Antcin-98.

El grado de severidad SEVi dominante en el proceso de inoculación con la cepa MA-Um1 para las ocho variedades evaluadas fue el SEV4, con una fluctuación de 72 al 42% del total de plantas evaluadas. En este sentido, Calderón, (2010), reporta que el valor del (ISE) generado por cada cepa de huitlacoche no está totalmente relacionado con la variedad ni el color del maíz, lo que indica que aun cuando las variedades de maíz blanco son las más susceptibles, esto más bien depende de la virulencia de la cepa. Por otra parte, Madrigal - Rodriguez *et al.*, (2010) obtienen un índice de severidad (ISE) del 90% en el híbrido H-58 en 62 500 plantas·ha⁻¹, resultados mayores a los obtenidos para la evaluación de MA-Um1 en la zona de Nopalucan de la Granja, sin embargo, la variedad Cóndor presentó el 59.38% de severidad, resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación que tuvo como resultante un valor promedio para el ISE de 69% comportándose sin diferencias estadísticas significativas entre las ocho variedades.

En cuanto a la variable PI, se observa que la cepa MA-Um1 de *U. maydis* tuvo un alto potencial infectivo; dado que todas las variedades estudiadas presentaron algún grado de infección resultando un valor para (PI) entre el 79 y 88.70%, (Salazar Torres, *et al.*, 2014) Obtuvieron PI más altos con los híbridos Cobra (85.83%), Oso (84.50%), A7573 (78.52%) y en los criollos R12 (85.00%), B7 (83.37%) y B3 (73.05%), el resto de los criollos presentaron un PI menor a 70%. Así mismo, Valdez *et al.* (2009) evaluaron la producción de huitlacoche en 15 variedades criollas, y reportaron valores de PI que variaron de 30.90 a 92%, datos que se asemejan a los obtenidos para la evaluación a cielo abierto realizada en la presente investigación. Valdez *et al.* (2009) así como Salazar *et al.* (2013) mencionan que utilizando el método de inoculación artificial y bajo condiciones controladas en la producción, llegaron a obtener rendimientos de hasta 15 t ha⁻¹ con maíces criollos, en la presente investigación el maíz criollo blanco cremoso mostró mayor producción (12,759.21 Kg·ha⁻¹), presentando un 75% de agallas de primera calidad, sin embargo, las ocho variedades de maíz presentaron rendimientos óptimos con valores potenciales productivos entre 7,167.88 a 12,759.21 Kg·ha⁻¹, resultados similares a los reportados por Aguayo-González *et al.* (2016). Así mismo, Martínez *et al.* (2000) obtuvieron rendimientos de 9.11, 8.42, 8.20 y 8.00 T·ha⁻¹, respectivamente de las 300 familias evaluadas con base en una muestra de 19 plantas inoculadas a una densidad de 60,000 plantas por hectárea, por otra parte, Pataky y Chandler, (2003) obtuvieron un rendimiento de 131 g de huitlacoche por mazorca de maíz, inoculado 6 días después de la etapa de crecimiento de seda, resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación.

Los hongos comestibles generalmente contienen 90% de agua, 1.0 a 4.0% de proteína, 0.2 a 0.8% de grasa, 0.3 a 2.8% de carbohidratos, 0.3 a 7.0% de fibra y 0.6 a 1.0% de cenizas; con potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc y cobre que representan la mayor parte del contenido mineral (Barros *et al.*, 2007; Valdez-Morales, 2010).

El porcentaje de proteína por cada 100g de base seca osciló entre 15.31% para el maíz criollo blanco y 10.22% en el criollo azul, presentando diferencias estadísticas significativas. Estos resultados son semejantes a los encontrados por Valdez-Morales *et al.* (2010) donde mencionan que los porcentajes de proteína en huitlacoche tuvieron en promedio 11.3%. De la misma manera Mehmet Aydoğdu y Muharrem Gölükçü (2017), mencionan que el huitlacoche tiene una cantidad considerable de proteína (12% base seca). Pimentel-González y Rodríguez-Huezo (2011), obtuvieron 13.46% de proteína en la variedad de maíz Bengala, resultados mayores a los obtenidos en la presente investigación, sin embargo para la variedad de maíz QPM se presentó 11.18% de proteína, resultados similares en la variedad Gavilán Asgrow en la presente investigación. Valdez-Morales *et al.* (2010) encontraron una cantidad considerable de proteína cruda en maíz criollo de 9.8% y 11.3% en maíz híbrido.

Se encontró un promedio de 2.01% de extracto etéreo (base seca) en el presente estudio, resultados similares a los reportados por Beas *et al.* (2011), donde presentan muestras procedentes de 8 variedades de maíz de colectado en diferentes localidades Aguascalientes y Jalisco, reportando entre 2.4 y 3.6% extracto etéreo. Así mismo, Paredes *et al.* (2006) reporta el contenido de grasa para huitlacoche de 2.70 a 6.50%, resultados mayores a los reportados en la presente investigación.

Mehmet Aydoğdu y Muharrem Gölükçü (2017), mencionan que el huitlacoche tiene una cantidad considerable de Carbohidratos (45% base seca); sin embargo, en el presente estudio, el contenido de carbohidratos resultante para las ocho variedades obtuvo un valor promedio de 80.2% del contenido de la base seca, dato que equipara lo mencionado por Vanegas *et al.* (1995) que reportan un valor que fluctúa entre 77 a 82.7% para las 14 variedades de híbridos dulces evaluadas.

El mayor contenido de calorías fue registrado en las agallas producidas en el híbrido Halcón Asgrow, presentando 39.90 Kcal/100 g de hongo fresco, siendo la variedad

de maíz Gavilán Asgrow con quien obtuvo el menor contenido de Kcal por cada 100 g a base seca de las agallas de la cepa MA-Um1.

La determinaciones de minerales presentes en las ocho variedades estudiadas, presentó variaciones entre híbridos y criollos, sin embargo el híbrido Halcón Asgrow obtuvo la mayor concentración de Ca (25.01 mg/100 g). Mehmet Aydoğdu y Muharrem Gölükçü (2017), mencionan que el contenido de calcio y de magnesio fueron de 18.61 y 262.69 mg/kg respectivamente, resultados mayores a los obtenidos en la presente investigación, además, la mayor concentración de magnesio se presentó en el criollo amarillo con 80 mg/100g. El contenido de Zn se mantuvo entre 2.33 a 1.71 mg/100 g, valores cercanos a lo reportado por Turlo *et al.* (2007), donde mencionan que valores cercanos a los 5 mg de Zn, favorece el crecimiento y desarrollo de los hongos comestibles.

U. maydis al igual que otros hongos comestibles como *Agaricus sp.*, *Boletus sp.*, *Ramaria sp.*, *Lactarius sp.* y *Pleurotus sp.* (Cano-Estrada y Romero-Bautista, 2016), tiene un elevado contenido de agua, proteínas y minerales, componentes que oscilan entre el 91% para el contenido de agua y en el 9% restante de materia seca tenemos un 15% de proteína y un generoso contenido de minerales, del que podemos destacar al Zn y Fe con un promedio de 2 y 2.1 mg/100 g respectivamente, valores bastante considerables para los 4.2 y 9 mg/100 g de la cantidad diaria recomendada por la FAO en la ingesta de estos (FAO, 2011).

Si bien es de suma importancia para la dieta humana contar con un adecuado balance de los macronutrientes, la información obtenida en el análisis bromatológico de las agallas de *U. maydis* resultantes de la inoculación realizada en Nopalucan de la Granja, Pue (**Tabla 4**), no debemos relegar la presencia de su complemento y balance con los micronutrientes tales como los componentes minerales, ya que la deficiencia de los mismos en la dieta pueden llegar a producir la problemática conocida como “*hambre oculta*”, ésta se presenta cuando la calidad de alimentos que comemos no cumplen con nuestras necesidades de nutrientes y no se estaría

recibiendo las vitaminas y minerales esenciales necesarios para un crecimiento y desarrollo adecuados. (ONU, 2004; Aguirre-Becerra *et al.*, 2017).

Actualmente la deficiencia del Zn como micronutriente, presente en los alimentos es una problemática grave que enfrentamos en todo el mundo, ya que las dietas con bajo contenido de micronutrientes afectan fuertemente a la población global en términos nutricionales y en muchos casos contribuyendo a muertes infantiles. (Blanco Bazzi *et al.*, 2013).

Aunque la disponibilidad de éste micronutriente depende de muchos factores como el contenido de Zn en el suelo, pH, materia orgánica, temperatura del suelo y humedad regímenes, distribución de raíces y efectos de rizosfera incluyendo composición microbiana; *U. maydis* es un basidiomiceto cuyas asociaciones e interacción con la planta del maíz para obtener nutrientes, así como los mecanismos utilizados para ello, aún no han sido descritas en su totalidad, de acuerdo con Martha-Paz *et al.* (2019) en su trabajo “Captación de zinc en Basidiomycota: caracterización de transportadores de zinc en *U. maydis*”

XI. CONCLUSIONES

La susceptibilidad al inóculo de la cepa MA-Um1 presentó resultados bastante favorables en las ocho variedades de maíz evaluadas en Nopalucan de la Granja Puebla, conjuntamente de las condiciones ambientales (temperatura entre 16 a 32 °C y humedad relativa con una fluctuación entre el 70 - 80%) fueron favorables para la producción de huitlacoche en condiciones a cielo abierto durante el mes de agosto al 15 de septiembre de 2017.

En el bioensayo realizado con la cepa MA-Um1 en Nopalucan de la Granja, Puebla-México para producir huitlacoche en condiciones a cielo abierto, el maíz criollo blanco cremoso mostró mayor producción ($12,759.21 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) presentando 75% de agallas de primera calidad, seguido del híbrido Halcón con $11,670.35 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que fue explicado por los mayores porcentajes de incidencia 73.90 y 77.38% e índice de severidad 64.14 y 59.41% respectivamente.

El mayor contenido de calorías fue registrado en las agallas producidas en la variedad Halcón Asgrow con un valor de (39.9 Kcal/100 g de hongo fresco). El híbrido Halcón Asgrow presentó la mayor concentración de Ca (25.01%), el híbrido AS-722 Aspros mostró el mayor porcentaje de Zn (2.33%) y el Criollo blanco cremoso presento la mayor concentración de Fe (2.87%).

Con base en el contexto mencionado en la discusión respecto a los micronutrientes y su importancia podemos destacar la presencia de Zinc, con un promedio de 2 mg para cada 100 g de materia seca, valor bastante considerable para los 4.2 mg de cantidad diaria recomendada por la FAO en la ingesta de este micronutriente.

Se detectaron mayores niveles de proteína cruda en las agallas producidas en el maíz criollo blanco con 15.31% y maíz AS-722 Aspros un contenido de 14.65%, presentando diferencias significativas con respecto a las demás variedades evaluadas.

La investigación integra hasta ahora conocimientos multidisciplinarios que buscan sustentar la inclusión del huitlacoche (*U. maydis*) dentro del sistema producción de maíz, postulando una alternativa para el escalamiento y ejecución de una producción comercial adaptable a pequeña o gran escala para un hongo comestible basado en un cultivo de prioridad e importancia dentro de México y su cultura, logrando como resultado un hongo comestible con destacables características nutrimentales sobre el que aún se cuenta con exiguo conocimiento para lograr un óptimo desarrollo de un sistema para la producción comercial, los principios aquí citados buscan colaborar a seguir construyendo una base sólida para continuar con el desarrollo de un mejor sistema productivo, cualquiera que sea el método de incubación del cual se disponga, demostrando que aún en condiciones de sembradío a cielo abierto pueden obtenerse resultados bastante favorables en términos productivos para el sistema maíz de temporal/huitlacoche.

Los resultados obtenidos con la cepa MA-Um1 son prometedores y abren la posibilidad de cultivar a cielo abierto esta especie para escalar a una producción comercial, lo que permitiría impulsar el desarrollo tecnológico en la producción de huitlacoche en Nopalucan de la Granja Puebla, México, logrando así, un resultado puede traducirse en mejoras de índole nutrimental, cultural, económico y social tanto para los involucrados en su producción como para el mercado objetivo que reciba las virtudes de ésta interacción hongo/planta.

LITERATURA CITADA

Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1990. Direct method. Numbers 920.34, 934.01, 942.05. (16a Edit. ed.). International Gaitherstourg, E.U.U.: Asociation of Official Analytical Chemists.

Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 2004. Official Methods of Analysis of AOAC International. 19 th ed. Gaithersburg, Md.: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-83-7.

Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1990. Direct method. Numbers 920.34, 934.01, 942.05. Association of Analytical Chemists, International Gaitherstourg E.U.U. 70 p.

Aguayo-González, D., Acosta-Ramos, M., Pérez-Cabrera, L., Guevara-Lara, F., García-Munguía, F. 2016. Producción natural de Huitlacoche [*Ustilago maydis* (DC) Corda] en el estado de Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(5): 1043-1050.

Aguirre-Becerra, H., García-Trejo, J., Vázquez-Hernández, M., Alvarado, A., Romero-Zepeda, H. 2017. Panorama general y programas de protección y seguridad alimentaria en México. Revista Médica Electrónica. 39 (1): 741-749.

Aydoğdu, M. 2015. Huitlacoche yield in some maize varieties in the Mediterranean region of Turkey. Food Science and Technology. 35: 386-390.

Aydogdu, M., Golukcu, M. 2017. Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by *Ustilago maydis*. Food Science and Technology. 37(4): 531-535.

Banuet F. and Herskowitz I. (1996). Discrete developmental stages during teliospore formation in the corn smut fungus *Ustilago maydis*. Development 122, 2965–2976.

Beas, F., Loranca, P., Guzmán, M., Rodriguez, G., Vasco, M., Guevara, L. 2011. Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 42(2): 36-44.

- Blanco Bazzi, O., Reyes Matos, E., Madruga Soto, R., Fiel Iglesias, L. 2013. Algunos aspectos relacionados con el zinc como elemento esencial en la nutrición infantil. *Revista de Información Científica*. 77(1): 19 p.
- Boege-Schmidt, E., Vidrales-Chan, G. 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 344 p.
- Bolaños, T. 1998. Guía fitosanitaria para el cultivo de maíz. Obtenido de Publicaciones Sanidad Vegetal: <http://www.iicasaninet.net/publsoft/fotorep/maíz/índice.htm>
- Boltvinik, J. 2003. Tipología de los métodos de medición de la pobreza. *Comercio Exterior*. 5 (53): 13 p.
- Calderón, F. 2010. Caracterización clásica y molecular del *Ustilago maydis* D.C. (Corda), hongo de importancia social y económica en la Región Central de México. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Cano-Estrada, A., Romero-Bautista, L. 2016. Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición*. 43(1): 6 p.
- Casas, A., Vázquez, M., Viveros, J., Caballero, J. 2000. Plant management among the Nahua and the Mixtec of the Balsas River Basin: An Ethnobotanical Approach to the Study of Plant Domestication. *Human Ecology*. 24 (4): 455-478.
- CONEVAL. 2013. La pobreza por ingresos en México. Obtenido de <http://www.coneval.gob.mx>
- Chang, S., Miles, P. 2004. Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, environmental impact. Boca Raton: CRC Press.
- Charrondiere, U., Burlingame, B., Berman, S., Elmadfa, I. 2011. Guía para el estudio de la composición de los alimentos. Roma: The International Network of Food Data Systems, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- De Carvalho, C., Sales-Campos, C., de Carvalho, L., Minhoni, M., Saad, A., Alquati, G., Andrade, M. 2015. Cultivation and bromatological analysis of the

medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (Curt: Fr.) P. Karst cultivated in agricultural waste. African Journal of Biotechnology. 14(5): 412-418.

De Ita Caro, M., Damián-Huato, M., Romero-Arenas, O., Ocampo-Fletes, I., López-Olguín, J. 2016. Pobreza alimentaria y manejo de la milpa: el caso del municipio de Zautla, Puebla, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(7): 1513-1526.

Du Toit, L., Pataky, J. 1999. Effects of silk maturity and pollination on infection of maize ears by *Ustilago maydis*. Plant Dis. 83:621-6.

FAO. 2011. Human Vitamin and Mineral requirements (Report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok, Thailand). Roma: Food and Nutrition Division FAO Rome.

Feldsine, P., Abeyta, W., Andrews. 2002. AOAC International methods committee guidelines for validation of qualitative and quantitative food microbiological official methods of analysis. Journal of AOAC International. 85(5): 1187-1200.

Guevara-Vázquez, E., Valadez-Moctezuma, E., Acosta-Ramos, M., Espinosa-Solares, T., Villanueva-Verduzco, C. 2009. Identificación de levaduras asociadas al huitlacoche. Revista Chapingo, Serie Horticultura. 15:225-230.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Obtenido de Sitio web inegi.org.mx: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21104.pdf

INEGI. 2019. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado el 2019, de Sitio web inegi.org.mx: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21104.pdf

Juárez-Montiel, M., Ruiloba de León, S., Chávez-Camarillo, G., Hernández-Rodríguez, C., Villa-Tanaca, L. 2011. Huitlacoche (corn smut) caused by the phytopathogenic fungus *Ustilago maydis*, as a functional food. Revista Iberoamericana de Micología. 28 (2): 69-73.

Kaçar, B., Inal, A. 2008. Plant Analysis. Ankara Turkey (In Turkish): Nobel Publications and Distribution. 1241:891.

Kealey, S., Kosikowski, V. 1981. Corn smut as a food source. Perspectives on biology. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 15: 321-351.

Krombach, S., Reissmann, S., Kreibich, S., Bochen, F., Kahmann, R. 2018. Virulence function of the *Ustilago maydis* sterol carrier protein 2. New Phytologist. 220, 14p.

López, A. 1988. Factores que determinan el desarrollo de *Ustilago maydis* (D.C.) Cda. Tesis de maestría en ciencias, 84 p. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados. Fitopatología.

Madrigal-Rodriguez, J., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J. 2010. Ensayos de producción de huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) hidropónico en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura. Vol. 16 No.3, pp. 177 – 182.

Martha-Paz, A., Eide, D., Mendoza-Còzatl, D., Castro-Guerrero, N., Aréchiga-Carvajal, E. 2019. Zinc uptake in the Basidiomycota: Characterization of zinc transporters in *Ustilago maydis*. Molecular Membrane Biology. 35(1): 39-50.

Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., Martínez, W. 2007) México ante la globalización en el siglo XXI. En J. Sánchez, D. Martínez - Carrera, G. Mata, H. Leal, El Cultivo de Setas *Pleurotus* spp. en México. México D.F.: ECOSUR - CONACYT.

Martínez-Martínez, L., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J. 2000. Susceptibility and resistance of maize to the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda) improving its virulence. Revista Chapingo Serie Horticultura, 6 (2), 241-255.

Morales, C. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago de Chile: CEPAL. Diciembre 2005. 267p.

ONU. 2004. Los derechos económicos, sociales y culturales. El Derecho a la alimentación. Informe del Relator especial sobre el derecho a la alimentación, Jean Ziegler Consejo Económico y Social Comisión de Derechos Humanos. ONU.

- Pan, J., Baumgarten, M., May, G. 2008. Effects of host plant environment and *Ustilago maydis* infection of the fungal endophyte community of maize (*Zea mays*). *New Phytologist*. 178:147-156.
- Paredes López, O., Guevara Lara, F., Bello Pérez, L. 2013. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica. 205 pp.
- Pataky, J. 1991. Production of huitlacoche [*Ustilago maydis* (DS) Corda] on sweet corn. *HortScience*. 26(11): 1374-1377.
- Pataky, J., Chandler, M. 2003. Production of huitlacoche, *Ustilago maydis* Cda.: timing inoculation and controlling pollination. *Mycologia*. 96: 1261-1270.
- Pataky, J., Nankam, C., Kerns, M. 1995. Evaluation of a silk-inoculation technique to differentiate reactions of sweet corn hybrids to common smut. *Phytopathology*. 85 (10): 1323-1328.
- Pimentel-González, D., Rodríguez-Huezo, M., Campos-Montiel, R., Trapala-Islas, A., Hernández-Fuentes, A. 2011. Influencia de la variedad de maíz en las características fisicoquímicas del huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Rev. Mex. Ing. Quím.* 10(2): pp. 171 – 178.
- Ruiz-Herrera, J. 2008. *Ustilago maydis*: ascenso de un hongo mexicano de la gastronomía local al mundo científico. *Nova Scientia*. 1(1): 118-135.
- Salazar-Torres, J., Martínez-Trejo, E., Álvarez-Hernández, R., Méndez-López, A. 2014. Susceptibilidad de maíces híbridos y criollos al huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C. Cda). *Aportaciones en ciencias Agronómicas y Ambientales*. Primera Edición, Agosto 2014, pp.39-47.
- Seibel, W. (1989). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists*. 8th Edition. Paul/Minnesota, USA. 443 p.: Editorial Starch.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <https://www.gob.mx/siap/>
- Texas Plant Disease Handbook. 1996. Common smut symptoms on corn. Obtenido de n. [http:// cygnus.tamu.edu /Textlab/ Grains /corn /cs.html](http://cygnus.tamu.edu/Textlab/Grains/corn/cs.html).
- Thompson, M., Raizada, M. 2018. Fungal Pathogens of Maize Gaining Free Passage Along the Silk Road. *Pathogens*. 7(4): e81.

- Tracy, W., Vargas, C., Zepeda, L., Pataky, J., Chandler, M. 2007. Production and marketing of huitlacoche. Issues in new crops and new uses. (J. a. (eds.), Ed.) ASHS Press, Alexandria, VA. pp 233 – 236.
- Valdez, M., Valverde, G., Paredes, L. 2009. Procedimiento tecnológico para la producción masiva de Huitlacoche. CINVESTAV-Irapuato. Sinnco. pp. 1-16.
- Valdez-Morales, M., Barry, K., Fahey, G., Dominguez, J., Mejía, E., Valverde, M., Paredes-López, O. 2010. Effect of maize genotype, developmental stage, and cooking process on the nutraceutical potential of huitlacoche (*Ustilago maydis*). Food Chemistry. 119(2): 689-697.
- Valverde, M., Hernández-Pérez, T., Paredes-López, O. 2015. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. International Journal of Microbiology. Volume 2015, Article ID 376387, 14 pages.
- Van-Soest, P. 2002. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II A rapid method for the determination of fiber and lignin. 46:839-35.
- Vanegas, P., Valverde, M., Paredes-López, O., Pataky, J. 1995. Production of the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis*): Effect of maize genotype on chemical composition. Journal of Fermentation and Bioengineering. 80(1): 104-106.
- Van-Soest, P. 2002. Nutritional Ecology of the Ruminant, Second Edition. Comstock Publishing Associates. Cornell University Press. Ithaca and London. 500 p.
- Villanueva, C., Molina, J., Castillo, F., Zavaleta, E. 1999. Artificial production of "huitlacoche" (*Ustilago maydis* Cda.) influence of different conditions in the field. Micología Neotropical Aplicada. Vol. 12, pp. 41-47.
- Villanueva, V., Sánchez, R., Villanueva, S. 2007. El huitlacoche y su cultivo. México 96 p: Ed. Mundi Prensa.
- Zimmerman, S., Pataky, J. 1992. Inoculation techniques to produce galls of common smut on ears of sweet corn. Phytopathology. 82: e99

XII. ANEXOS

Tabla 6. Tabla de composición de alimentos y productos alimenticios, (comparativo Huitlacoche con maíces, otras semillas y otros hongos comestibles)

Tipo	Descripción	Porción comestible (%)	Energía (KJ)	Energía (Kcal)	Humedad (g)	Cenizas (g)	Extracto etéreo (g)	Proteína bruta(g)	Hidratos de carbono (g)	Fibra bruta (g)
Semillas de cereales y derivados	Maíz amarillo grano	0.92	1436.00	343.00	13.80	1.20	4.81	8.30	69.55	2.34
	Maíz amarillo tortilla	1.00	1015.25	239.06	42.20	0.83	3.02	5.50	47.47	0.98
	Maíz azul tortilla	1.00	1272.00	302.00	28.20	0.90	2.93	6.53	56.42	0.89
	Maíz blanco	0.92	1509.00	360.00	11.00	1.34	4.64	8.56	73.69	1.81
	Maíz blanco tortilla	1.00	853.00	204.00	47.80	0.80	1.00	5.40	44.90	*
Otras semillas	Avena hojuela	1.00	1586.00	379.00	6.30	1.50	6.52	16.20	67.70	1.20
	Amaranto grano	1.00	1540.00	366.00	9.00	2.69	6.13	13.38	65.50	2.94
	Amaranto grano	1.00	1552.11	365.34	8.10	1.77	2.34	7.11	78.90	1.72
Algas y hongos	Champiñón	1.00	122.00	29.00	86.10	2.20	0.11	4.69	4.58	2.32
	Huitlacoche	1.00	123.00	29.00	89.20	0.70	0.43	1.62	6.24	1.81
	Setas	1.00	134.00	32.00	90.50	0.70	0.42	2.07	5.44	0.90
	Hongo Clavito	1.00	138.00	33.00	89.73	0.90	0.46	5.90	5.30	1.56

*Valor no encontrado en fuentes consultadas

“En la práctica, los alimentos se analizan poco a poco, en la medida de los recursos y oportunidades, con la esperanza de enriquecer gradualmente la información nacional e internacional. En este sentido cabe destacar el importante papel que han jugado la creación hace unos años del Journal of Food Composition and Analysis y los esfuerzos del sistema INFOODS de la Universidad de las Naciones Unidas; sin duda, para fines científicos la información hasta ahora resumida es insuficiente, pero para fines prácticos es valiosa.

Los usuarios de la información sobre composición de alimentos deben estar conscientes de que, en el mejor de los casos, los datos que encuentran en las tablas se refieren estrictamente a la muestra o muestras analizadas y que otras muestras podrían diferir, amén de las diferencias por variedad, lugar de origen, estado de maduración, tratamientos culinarios o industriales y demás factores pertinentes...

La extensión, estructura y confiabilidad de las tablas de composición de alimentos es muy variable. Son más confiables las tablas que surgen de un trabajo analítico cuidadoso, que identifican las muestras analizadas con el mayor detalle posible y que señalan claramente los métodos y demás pormenores de cada análisis, de manera que el usuario conozca a que se refieren y cuáles son sus limitaciones. Conforme no cumplan estas características, la confiabilidad de las tablas se reduce, aunque puede haber fines en los que la precisión, el origen de los datos y que no correspondan realmente con una muestra definida no sea crítica. “

Referencia: Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión condensada 2015)

- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. 2015. Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión condensada 2015) / Tables of composition of foods and food products. (condensed version 2015). Dirección de Nutrición; Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Ciudad de México. ISBN: 978-607-7797-19-7.

El proyecto de investigación “Susceptibilidad De Ocho Variedades De Maíz Para El Cultivo Comercial De Huitlacoche (Ustilago Maydis) En Nopalucan De La Granja, Pue.” fue seleccionado como ganador de los **Premios de Innovación Juvenil en Maíz 2019 – América Latina**, en la categoría de investigación. Estos premios forman parte de los esfuerzos que el Programa de Investigación en Maíz del CGIAR realiza para promover la participación de mujeres y hombres jóvenes en los sistemas agroalimentarios basados en el maíz, en América Latina, que incluyen investigación para el desarrollo, sistemas de semillas, agroindustria e intensificación sustentable.

El Programa de Investigación en Maíz del CGIAR (CRP Maize o MAIZE), liderado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), es una alianza internacional de más de 300 colaboradores pertenecientes a los sectores público y privado, instituciones nacionales, centros internacionales de investigación y compañías semilleras. Esta es una asociación única que busca movilizar recursos mundiales en investigación y desarrollo para mejorar los sistemas agrícolas de África, Asia Meridional y América Latina, cuyo sustento principal sea el maíz.

Latinoamérica es el centro de origen de maíz, y contiene mucho de la diversidad genética del cultivo. El maíz es un alimento básico en la región y tiene un papel importante en la gastronomía y cultura local. Sin embargo, el maíz enfrenta muchos retos, desde altos niveles de sequía y calor relacionados con el cambio climático hasta plagas y enfermedades. Estos retos no pueden ser solucionados sin la participación de las y los jóvenes en cada nivel de la cadena de valor de maíz, incluyendo las y los agricultores, investigadores y agentes de cambio. Más que un cuarto de la población total en Latinoamérica tiene entre 15-29 años de edad – aproximadamente unos 156 millones de personas, la proporción más grande de jóvenes en la historia de la región. Al alentar y capacitar a los jóvenes para que desarrollen soluciones innovadoras a estos desafíos, podemos fortalecer los sistemas agroalimentarios de maíz y mejorar la seguridad alimentaria en América Latina y en todo el mundo.