



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**POSGRADO EN TECNOLOGIAS AGRICOLAS LIMPIAS**

**Análisis nutrimental y sensorial de los huitlacoques (*Ustilago maydis* (DC.), *Corda*), producidos, en variedades nativas de maíz (*Zea mays*) azul y blanca, del municipio de Calpan, Puebla.**

**TESIS**

Que para obtener el grado:

**MAESTRO EN TECNOLOGIAS AGRICOLAS LIMPIAS**

Presenta

**Miguel Ángel Terreros Lázaro**

Directora de tesis

**Dra. María Elena Ramos Cassellis**

Codirector: **Dr. Diego Ibarra Cantún**

Agosto 2025



**BUAP**

## MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS LIMPIAS

**Dr. Marco Antonio Marín Castro**  
**Coordinador de la Maestría en Tecnologías Agrícolas**  
**Instituto de Ciencias**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.**  
**PRESENTE:**

Los que suscriben, integrantes de la comisión revisora del Proyecto de Titulación del Alumno del Posgrado en Tecnologías Agrícolas Limpias:


Nombre del Alumno: **TERREROS LÁZARO MIGUEL ÁNGEL**


Comunican a usted la aprobación de la misma con la siguiente redacción:


Título del Proyecto **“Análisis nutrimental y sensorial de los huitlacoques (*Ustilago maydis* (DC.), *Corda*), producidos, en variedades nativas de maíz (*Zea mays*) azul y blanca, del municipio de Calpan, Puebla”.**

Con esta Fecha queda registrada en la Dirección de este Posgrado para los fines legales que el interesado convenga.

D.C.   
MA. DOLORES CASTAÑEDA ANTONIO

D.C.   
MARCO ANTONIO MARIN CASTRO

D.C.   
DIEGO IBARRA CANTÚN

D.C.   
JENARO REYES MATAMOROS

**Atentamente**  
**“Pensar bien, para vivir bien**  
**H. Puebla de Z., a 06 de agosto del 2025**

Maestría en Tecnologías  
Agrícolas Limpias

Edificio IC1  
Av. 14 Sur No. 6301, Ciudad Universitaria  
Col. San Manuel Puebla, Pue., C.P. 72570  
Tel. 222 229 55 00 Ext. 7350





# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

## INSTITUTO DE CIENCIAS

### CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



## MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS LIMPIAS

El trabajo de investigación denominado: **Análisis nutrimental y sensorial de los huitlacoques (*Ustilago maydis* (DC.), *Corda*), producidos, en variedades nativas de maíz (*Zea mays*) azul y blanca, del municipio de Calpan, Puebla.** Realizado en la parcela demostrativa del municipio de Calpan del estado de Puebla, el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA No. 255), instalaciones del Centro de Investigaciones en Ciencias Agrícolas (CICA-BUAP) y de la Facultad de Ingeniería Química- BUAP, dentro del programa de la Maestría en Tecnologías Agrícolas Limpias del Instituto de Ciencias, se llevó a cabo en colaboración con los:

Cuerpos Académico: **BUAP-CA-165 - Desarrollo Sustentable** a través de la LGAC de Sustentabilidad de los Sistemas Rurales y Urbanos.

Cuerpo Académico: **BUAP-CA-93 - Evaluación, Manejo y Conservación de Sistemas Agroproductivos y Forestales** a través de la LGAC de Fitotecnia y Manejo de suelos y agroecosistemas.

Cuerpo Académico: **BUAP-CA-262 - Ecología Molecular Microbiana** a través de la LGAC de Ecología Microbiana.

**Calpan, Puebla, México, Agosto 2025.**

## **Agradecimientos**

Al **CICA-BUAP**, por las facilidades de sus investigadores y personal en apoyarnos en las instalaciones, así como acciones de presentaciones donde nos dieron tiempo.

**Dra. María Elena Ramos Cassellis** por sus conocimientos, paciencia, así como todas las facilidades con materiales, laboratorio ya calidez humana para todo el trabajo.

**Dr. Diego Ibarra Cantún**, por las correcciones, así como conocimientos que enriquecieron el trabajo.

**Dr. Marco Antonio Marín Castro** por la coordinación de la maestría que siempre nos animó y apoyo en la medida de sus posibilidades, con conocimientos y pláticas.

A mis revisores **Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio** y **Dr. Jenaro Reyes Matamoros** por enriquecer y corregir este trabajo y que su apoyo se tendrá presente.

**CBTA 255** por permitir ajustar mis horarios para tener tiempos para poder realizar el posgrado.

**Los estudiantes y familias de los integrantes del servicio social del CBTA 255** que nos apoyaron a las pruebas de laboratorio fisicoquímicas y sensoriales, así como a los trabajos de campo y sus parcelas para inocular.

## Índice de contenido

Índice de tablas.....	I
Índice de Figuras.....	II
Resumen .....	III
Abstract.....	IV
I. Introducción.....	1
II. Problema de investigación .....	3
III. Justificación.....	4
IV. Hipótesis.....	5
V. Objetivos .....	5
V.I Objetivo general .....	5
V.I.I Objetivos específicos .....	5
VI. Marco teórico.....	6
6.1 ¿Qué es el huitlacoche? .....	6
6.1.1 Descripción del huitlacoche .....	7
6.1.2 Importancia del huitlacoche .....	7
6.1.2.1 Relevancia cultural y gastronómica.....	7
6.1.2.2 Relevancia nutricional .....	8
6.1.2.3 Relevancia como alimento funcional y potencial nutracéutico .....	9
6.1.2.4 Relevancia económica .....	9
6.1.2.5 Perspectiva contrapuesta (plaga contra delicia).....	9
6.1.3 Producción mundial del huitlacoche .....	10
6.1.4 Producción nacional del huitlacoche.....	11
6.1.5 Producción regional o local del huitlacoche .....	11
6.1.6 Normatividades de calidad de hongos (huitlacoche) .....	11
6.1.7 Análisis de calidad sensorial, nutrimental y fisicoquímicos de los Huitlacoche.....	12

6.1.8 Importancia económica, social y cultural del huitlacoche ( <i>Ustilago maydis</i> )	12
6.1.9 Valor nutrimental del huitlacoche ( <i>Ustilago maydis</i> )	13
6.1.10 Mercado de huitlacoche	13
6.2 Biotecnología en la producción de alimentos y hongos como el huitlacoche	14
6.2.1 Metodologías artificiales en la inoculación de huitlacoche	15
6.2.2 Cepas del <i>Ustilago maydis</i>	16
6.2.3 Ciclos de vida del huitlacoche ( <i>Ustilago maydis</i> )	16
6.3 Maíz	17
6.3.1 Importancia del maíz	18
6.3.2 Importancia del maíz nativos o criollos	18
6.3.3 Importancia económica del maíz	19
6.3.4 Importancia social del maíz	19
6.3.5 Importancia ecológica del maíz	19
6.3.6 Clasificación taxonómica del maíz ( <i>Zea mays</i> )	20
6.3.7 Ciclos de vida del maíz ( <i>Zea mays</i> )	20
6.4 Zona de estudio (Calpan, Puebla)	21
VII. Metodología	24
7. a Desarrollo experimental	24
7. b Metodología	25
7.1 Etapa 1. Trabajo en campo (labores culturales en el cultivo)	25
7.1.1 Limpieza del terreno por rastreo	26
7.1.2 Siembra y fertilización de precisión	27
7.1.3 Aplicación de hormonas	27
7.1.4 Fertilización granular y aporque	27
7.1.5 Control de plagas y tercera fertilización	27
7.1.6 Inoculación y cosecha del huitlacoche	28

7.1.6.1 Selección del material vegetal: .....	28
7.1.6.1.1 Análisis de las etapas de desarrollo del maíz .....	28
7.1.6.1.2 Proceso de inoculación .....	29
7.1.6.1.3 Monitoreo y seguimiento: .....	29
7.1.6.1.4 Evaluación del desarrollo .....	30
7.1.7 Cosecha y manejo .....	30
7.2 Etapa 1.2 Muestreo de huitlacoche de las diversas variedades de maíz.....	31
7.3 Etapa 2. Trabajo en laboratorio.....	32
7.3.1 Etapa 2.1 Análisis fisicoquímicos de calidad .....	32
7.3.1.1 pH.....	32
7.3.1.2 ° Brix.....	32
7.3.1.3 Acidez titulable .....	32
7.3.2 Etapa 2.2 Análisis sensorial de los huitlacoche .....	33
7.3.2.1 Prueba de aceptación.....	33
7.3.2.2 Pruebas discriminativas.....	34
7.3.3 Etapa 2.3 Análisis químicos proximales (nutrimentales) de los huitlacoche .....	34
7.3.3.1 Determinación de humedad .....	34
7.3.3.2 Determinación de azúcares reductores .....	34
7.3.3.3 Determinación de nitrógeno .....	35
7.3.3.4 Determinación de cenizas .....	35
7.3.3.5 Determinación de fibra cruda .....	36
7.3.3.6 Determinación extracto etéreo.....	36
7.4 Análisis estadístico .....	37
VIII. Resultados .....	38
IX. Conclusiones .....	51
X. Recomendaciones .....	52

XI. Referencias.....	55
Glosario.....	62
Anexos .....	63

## Índice de tablas

Tabla 1. Etapas de crecimiento del maíz .....	21
Tabla 2. Factores agronómicos de interés en el huitlacoche en variedades de maíces nativos de Calpan, Puebla. ....	43
Tabla 3. Análisis de contraste de dos variedades de huitlacoche de maíces nativos de Calpan, Puebla. Puebla. Huitlacoche de maíz azul (HAzP1), Huitlacoche de maíz blanco (HBP2).....	44
Tabla 4. Análisis fisicoquímicos de calidad en agallas de huitlacoche desarrolladas en maíces nativos de Calpan, Puebla. ....	46
Tabla 5. Análisis químicos proximales de los huitlacoques de maíces azules y blancos de Calpan.....	50

## Índice de figuras

Figura 1. Infografía de ¿Cómo inocular el Huitlacoche? (INIFAP, 2024).....	16
Figura 2. Representación esquemática del ciclo de vida de Ustilago maydis. Izquierda; se muestra la germinación de las teliosporas con la formación del promicelio y las cuatro basidiosporas (Herrera, 2008). .....	17
Figura 3. Principales países productores de maíz a nivel internacional (FAO, 2018). .....	18
Figura 4. Etapas fenológicas de la fase vegetativa y reproductiva del maíz. Retomado por Valdez et al. (2012) de Emerson Nafziger. ....	21
Figura 5. Localización del municipio de Calpan, en el Estado de Puebla y República Mexicana (López-González et al., 2018).....	22
Figura 6. Uso del suelo y vegetación en el municipio de Calpan (INEGI, 2010). ....	22
Figura 7. Ubicación geográfica de las principales zonas productoras y recolectoras de hongos comestibles silvestres en la sierra nevada poblana (Xochipa et al., 2024). .....	23
Figura 8. Mapa de trabajo, Fuente: Propia creado con Google Maps .....	24
Figura 9. Diagrama general del trabajo .....	25
Figura 10. Diagrama de trabajo de implementación de cultivos de maíz e inoculación del huitlacoche. ....	26
Figura 11. Plantas de maíz con diferente desarrollo .....	28
Figura 12. Plantas de maíz jiloteando .....	29
Figura 13. Evaluación de desarrollo del huitlacoche en planta de maíz.....	30
Figura 14. Ubicación de los sitios de muestreo dentro de la parcela .....	31
Figura 15. Diagrama de la descripción de la etapa. ....	32
Figura 16. a) Parcela antes de la limpieza b) Parcela después de la limpieza.....	38
Figura 17. a) maíz nativo blanco b) maíz nativo azul .....	38
Figura 18. Siembra y fertilización con sembradora de precisión .....	39
Figura 19. Aplicación de hormonas por medio de aplicación foliar por aspersora agrícola .....	39
Figura 20. Aporque de milpa con tractor .....	40
Figura 21. Control de plagas con apoyo de la aspersora agrícola .....	40
Figura 22. Inoculación artificial del maíz por medio de inyección con jeringa de plástico. ....	41

Figura 23. Inspección de la formación de agallas en maíz inoculado. ....	41
Figura 24. Momento idóneo de la cosecha de huitlacoques.....	42
Figura 25. Análisis de medias del porcentaje de infección en mazorcas infectadas con huitlacoche, desarrolladas en maíces nativos de Calpan, Puebla. Huitlacoche de maíz azul: HAZP1; Huitlacoche de maíz blanco: HBP2. contra variedad de huitlacoche por tipo de maíz. ....	44
Figura 26. Análisis de medias de gramos de mazorca infectada (GMI) con huitlacoche, desarrolladas en maíces nativos de Calpan, Puebla. Huitlacoche de maíz azul: HAZP1; Huitlacoche de maíz blanco: HBP2.....	45
Figura 27. Preferencias de agallas de huitlacoche de maíces nativos o criollos de Calpan.....	47
Figura 28. Perfil sensorial del huitlacoche en el maíz azul.....	48
Figura 29. Perfil sensorial del huitlacoche en el maíz blanco.....	48

## Resumen

En el municipio de Calpan, Puebla, el cultivo de *Ustilago maydis* (DC.), Corda (huitlacoche) ha cobrado relevancia por su valor cultural, gastronómico y potencial económico. Este hongo, forma parte del patrimonio biocultural de la región, donde se conserva una gran diversidad de variedades nativas. El objetivo del estudio fue analizar indicadores de rendimiento y parámetros de calidad de huitlacoche producidos en maíces nativos de las variedades azul y blanca, así como, evaluar sus características fisicoquímicas, sensoriales y nutrimentales. La investigación se dividió en dos fases. 1) En campo, se estableció el cultivo de maíz de dos variedades (azul y blanco) en una parcela demostrativa de un productor cooperante con manejo agronómico controlado (preparación del terreno, siembra, fertilización de precisión, control de plagas, aplicación de hormonas, aporque, inoculación y cosecha). Se recolectaron agallas de huitlacoche y se registraron variables agronómicas como porcentaje de infección, gramos de mazorca infectada (GMI) y días de presencia del hongo. 2) En laboratorio, se evaluaron parámetros agronómicos (porcentaje de infección, gramos de mazorca infectada y días de presencia del hongo), análisis fisicoquímicos (pH, °Brix, acidez titulable) y análisis químicos proximales (humedad, cenizas, grasas, proteínas, azúcares y fibra). Se complementó con un análisis sensorial discriminatorio considerando forma, apariencia, color, olor, sabor y textura. Los resultados mostraron diferencias significativas en la aceptabilidad sensorial, favoreciendo la variedad azul. Los parámetros fisicoquímicos y nutrimentales se compararon con datos de estudios previos en la región, encontrándose variaciones atribuibles a factores genéticos, de manejo y ambientales. Estos hallazgos indican que la producción de huitlacoche a partir de maíces nativos, especialmente el azul, no solo conserva la biodiversidad y tradiciones locales, sino que también presenta ventajas en calidad sensorial y potencial de valor agregado.

**Palabras clave:** análisis sensorial, calidad nutricional, huitlacoche, maíz nativo, *Ustilago maydis*.

## Abstract

In the municipality of Calpan, Puebla, the cultivation of *Ustilago maydis* (DC.), Corda (huitlacoche) has gained importance due to its cultural, gastronomic, and economic value. This fungus is part of the region's biocultural heritage, where a wide variety of native species are preserved. The objective of the study was to analyze yield indicators and quality parameters of huitlacoche produced in native blue and white corn varieties, as well as to evaluate their physicochemical, sensory, and nutritional characteristics. The research was divided into two phases. 1) In the field, two varieties of corn (blue and white) were planted on a demonstration plot belonging to a cooperating producer using controlled agronomic management (land preparation, sowing, precision fertilization, pest control, hormone application, ridging, inoculation, and harvesting). Huitlacoche galls were collected and agronomic variables such as percentage of infection, grams of infected corn cob (GMI), and days of fungal presence were recorded. 2) In the laboratory, agronomic parameters (percentage of infection, grams of infected corn cobs, and days of fungal presence), physicochemical analyses (pH, °Brix, titratable acidity), and proximate chemical analyses (moisture, ash, fat, protein, sugars, and fiber) were evaluated. This was complemented by a sensory analysis considering shape, appearance, color, smell, taste, and texture. The results showed significant differences in sensory acceptability, favoring the blue variety. The physicochemical and nutritional parameters were compared with data from previous studies in the region, finding variations attributable to genetic, management, and environmental factors. These findings indicate that the production of huitlacoche from native corn, especially blue corn, not only preserves biodiversity and local traditions but also offers advantages in terms of sensory quality and potential added value.

**Keywords:** sensory analysis, nutritional quality, huitlacoche, native corn, *Ustilago maydis*.

## I. Introducción

En el municipio de Calpan, del estado de Puebla, ha aumentado el interés en cultivar *Ustilago maydis*, conocido popularmente como huitlacoche. Este particular hongo posee un gran significado cultural y gastronómico en la zona, lo que se refleja en ferias dedicadas al maíz y eventos gastronómicos donde las quesadillas con huitlacoche son las estrellas. Las iniciativas recientes han suscitado el interés de los agricultores de la región, como indican Martínez (2018) y Montaña (2019), resaltando la rica variedad de maíces nativos y las técnicas agrícolas tradicionales. Con el objetivo de conservar el patrimonio biocultural, investigadores como Paredes (2018), subrayan la importancia del maíz local en áreas como la Sierra Nevada Iztapopocatepetl, (Pérez, 2023) se enfoca en experimentar con diversas variedades nativas de maíz para mejorar el cultivo de huitlacoche.

Esta tesina se realizó dentro de la maestría de Tecnologías Agrícolas Limpias en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), en su tercera línea de investigación sobre biotecnología agrícola donde se, “Describen los procesos de análisis de inocuidad y propiedades nutricionales de los productos agrícolas manejados con tecnologías limpias”, el trabajo de esta investigación fue el establecimiento de cultivos de maíz nativos y/o criollos, que después fueron inoculados artificialmente con cepas de *Ustilago maydis*. En esta tesina se analizaron los parámetros agronómicos en las agallas de huitlacoche que se produzcan de dos variedades criollas, en índice de infecciones en porcentajes, gramos obtenidos por mazorcas y días de cosecha; análisis fisicoquímicos de pH, ° Brix y acidez titulable, en el análisis sensorial se realizó prueba de aceptación entre las agallas de maíz azul y blanco, en la prueba sensorial discriminativa se hicieron las descripciones de características, de acuerdo a un panel de jueces no entrenados, en los análisis nutrimentales fueron los parámetros de determinación de humedad, azúcares reductores, determinación de nitrógeno, determinación de cenizas, determinación de fibra cruda y extracto etéreo. Lo anterior dando información de los factores de calidad del huitlacoche.

Los resultados obtenidos fueron desde la implementación de los dos cultivos y con producción de agallas de huitlacoche, donde se tiene una diferencia entre lo realizado en maíz azul y blanco de 42.7 % de mazorca infectada, y diferencia en promedio de 218 gramos por mazorca infectada (GMI), y teniendo una diferencia de 2 días en promedio de la presencia de los hongos, en mejores parámetros agronómicos en las inoculaciones en maíz azul. En los análisis sensoriales la aceptación y descripción de características en las agallas de huitlacoche de maíz azul son los mejores evaluados comparándolos con las de maíz blanco.

## **II. Problema de investigación**

Se están haciendo establecimientos de cultivos de huitlacoche en el municipio de San Nicolás de los Ranchos, colindante al municipio de Calpan, en el estado de Puebla, en diversas variedades de maíz, tanto en criollos e híbridos, sin conocer; las características nutrimentales, ni sensoriales, para la toma de decisiones de la mejor variedad ideal. Debido a los factores de rendimiento, tamaño de planta que facilita la inoculación, la integridad de la mazorca con el hongo, sin tomar en consideración las características nutrimentales: proteína, fibra dietética, ácidos grasos entre otros, además las propiedades sensoriales como olor y sabor tampoco son consideradas en el proceso de la inoculación por lo que se pretende obtener información fiable para su consideración en la decisión de selección de este cultivo.

Las principales inoculaciones artificiales que se dan en los cultivos de maíz en la zona, de preferencia se dan en híbridos blancos, ya que solo por el rendimiento de agallas de huitlacoche, se está considerando como único factor de decisión al realizar este cultivo.

Por lo que se proponen producciones de huitlacoche en maíces nativos o criollos preferentemente pigmentados, como alternativa para mejorar los ingresos de los productores de maíz, resultan variaciones de 2 a 5 veces más en el ingreso con la producción de este hongo. Como se ha visto en las zonas cercanas donde se venden los huitlacoche varía el precio y pueden considerarse varios factores, como empaques, presentaciones, más parámetros de calidad del huitlacoche que en los últimos años han sido la apariencia y contenido nutrimental principalmente, por lo que se propuso, que analizar los parámetros de calidad del huitlacoche ayudaría a conocer el precio del producto de acuerdo con los parámetros que cumpla. Por lo que el análisis sensorial y nutrimental ayudará a esto.

### III. Justificación

Una de las premisas del trabajo es sugerir la variedad de maíz nativa del municipio de Calpan, idónea para la inoculación de huitlacoche por aporte nutrimental, característica que el mercado mexicano comienza a realizar con mayor conciencia, como se ve en los nuevos cambios de etiquetado de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados (Información comercial y sanitaria), así también de las características sensoriales que los consumidores están considerando en los mercados diferenciados, alternativos y especializados, como son, por los atributos de sabor, textura, y forma. Las evaluaciones de variedades de maíz para fines de producción comercial de huitlacoche encontraron buenos resultados en híbridos y criollos blancos, realizadas por Garcilazo (2022), lo que permite conocer el nivel de susceptibilidad genética y seleccionar las variedades altamente productivas para cada zona de estudio. Por lo que se viene mencionado desde 2008 a fechas recientes, que es aún importante, ver de acuerdo con cada zona la susceptibilidad de las diversas variedades de maíz (Garcilazo, 2022; y Pan *et al.*, 2008). Lo que se ha manifestado; “Los maíces nativos son importantes por la susceptibilidad y el rendimiento elevado, pues rinden un 20-30% más que los maíces híbridos después de la inoculación”, tiende a realizar algunos ensayos en la zona Sierra Nevada del Iztapopocatepetl, para su verificación por Pérez (2023).

También pueden considerarse como atributos importantes de los maíces criollos, la mejor adaptación por zonas a las condiciones agroecológicas, entre las que destacan las relaciones con el temporal, como lo que reporta el SIAP, en el estado de Puebla, México, más del 90% es de temporal y en la zona del Iztapopocatepetl no es la excepción por lo que es importante que se analicen, materiales (maíces-inóculos de huitlacoche) que se pueden implementar bajo estas condiciones. Los parámetros de calidad de los hongos, así como se ha determinado en frutas y verduras, se consideran importantes para que los consumidores tengan garantizados un sabor, firmeza, así como mejores condiciones de almacenamiento. En los hongos a nivel mundial la norma general para los hongos comestibles y sus productos 1 CXS 38-1981, presenta pocos parámetros de calidad, por lo que puede ayudar tener en cuenta como parámetros extras de calidad, la evaluación sensorial y nutrimental.

## IV. Hipótesis

El huitlacoche proveniente de maíces nativos del municipio de Calpan, Puebla, presenta diferentes características de calidad: fisicoquímicas, sensoriales y nutrimentales.

**Ho:** No existen diferencias significativas en las características de calidad entre variedades de maíz y parcela donde se cultiva.

**Ha:** Existe diferencia significativa en las características de calidad del huitlacoche entre las variedades de maíz y la parcela donde se cultiva.

## V. Objetivos

### V.I Objetivo general

Analizar huitlacoche (*Ustilago maydis*) proveniente de variedades nativas de maíces del municipio de Calpan, Puebla: calidad fisicoquímica, sensorial y nutrimental.

### V.I.I Objetivos específicos

- Establecer el cultivo de maíz (*Zea mays*) de dos variedades (azul y blanca) en una parcela del municipio de Calpan, Puebla.
- Realizar las labores culturales en los cultivos de maíz para desarrollo óptimo de las plantas y obtener producción para la inoculación artificial del huitlacoche.
- Inocular las plantas de maíces nativos (azules y blancos) para obtener, las agallas de huitlacoche.
- Valorar los parámetros agronómicos (porcentaje de infección en la mazorca, gramos de mazorca infectada, días de presencia del hongo) en la producción del huitlacoche.
- Distinguir fisicoquímicamente los dos tipos de huitlacoques obtenidos.
- Describir y analizar las características sensoriales y de preferencia de los dos tipos de huitlacoques obtenidos, con un panel de jueces no entrenados.
- Examinar la composición química proximal de los huitlacoques obtenidos de la parcela establecida.

## VI. Marco teórico

### 6.1 ¿Qué es el huitlacoche?

Es un hongo visible a simple vista, que se clasifica dentro de los hongos "superiores", su forma es irregular y su color puede ir desde un tono gris azulado hasta negro dependiendo de su madurez (Valadez, 2011). El huitlacoche es un hongo comestible cuyo nombre científico es *Ustilago maydis* [(*Ustilago maydis* (D. C.) Corda)], (Salazar *et al.*, 2014). Forma parte del grupo de los Ustilaginales, que incluye hongos que causan enfermedades en plantas (Hernández *et al.*, 2023). En México, se reconoce como un manjar, (Chávez *et al.*, 2017) y ha sido consumido desde tiempos prehispánicos (Martínez *et al.*, 2008).

Desde un punto de vista científico, el huitlacoche se define como una relación entre el hongo *Ustilago maydis* y el maíz (*Zea mays* L.), (Villa, 2022). Se trata de la infección que este hongo provoca en las mazorcas jóvenes de maíz, donde da lugar a la aparición de agallas o tumores grandes y carnosos de tonalidad gris ceniza llenos de esporas negras (teliosporas) (Salazar *et al.*, 2014). Estas agallas también pueden aparecer en raíces, tallos, hojas y espigas, aunque se desarrollan principalmente en el elote, donde encuentran las condiciones más adecuadas (Hernández *et al.*, 2023).

En México, el huitlacoche tiene varios nombres que provienen del náhuatl. Inicialmente, los aztecas lo denominaban "cuitlacohtli" (Gámez, 2018), y otros nombres como "cujtlacocho", "cuitlacuchtlí" (Castañeda, 2018), "popoyotl" (maíz quemado), que se puede interpretar como "suciedad dormida" de acuerdo con Gámez (2018), o "mugre que crece sobre el maíz", "caca de cuervo", según Noyola (2018). En la región maya se le llamaba "Ta'wa nal chaak", que se traduce como excremento del dios Chaak (asociado con la lluvia) (Valadez *et al.*, 2015). La palabra "huitlacoche" es una adaptación contemporánea y coloquial de la lengua náhuatl (Garcilazo, 2020).

Aunque se le considera una enfermedad que afecta al maíz, conocida en otras partes del mundo como carbón común o carbón de ebullición, donde se le ve como una plaga dañina (López *et al.*, 2017), en México se valora por su sabor excepcional.

### **6.1.1 Descripción del huitlacoche**

La clasificación taxonómica del huitlacoche (*Ustilago maydis*)

- Reino: Fungí: Esta categoría agrupa a todos los hongos.
- División: Basidiomycota: Este grupo incluye hongos que forman basidios, estructuras reproductivas que liberan esporas basidiosporas.
- Subfilo: Ustilaginomycotina: Este subfilo comprende hongos que parasitan plantas, especialmente cereales.
- Clase: Ustilaginomycetes: Esta clase reúne hongos que causan enfermedades conocidas como "carbones" en sus huéspedes.
- Orden: Ustilaginales: Este orden incluye familias de hongos que infectan principalmente cereales y gramíneas.
- Familia: Ustilaginaceae: Esta familia comprende hongos que forman teliosporas, estructuras de resistencia que contienen basidios.
- Género: Ustilago: Este género agrupa hongos que parasitan principalmente cereales y gramíneas, incluyendo el maíz.
- Especie: *Ustilago maydis*: Esta especie es la que específicamente causa la enfermedad del huitlacoche en el maíz.  
(Pimentel *et al.*, 2011).

### **6.1.2 Importancia del huitlacoche**

La importancia se manifiesta en varios ámbitos: cultural, gastronómico, nutricional, funcional, medicinal y financiero, principalmente podremos considerar estos ámbitos para describirlos y poder entender más la importancia de este hongo. “Su importancia histórica, cultural, nutricional y funcional en México es notable. En años recientes ha crecido el interés por este alimento y se ha fortalecido su producción; es interesante destacar que, si bien su preparación conserva un carácter tradicional, también lo encontramos en platillos gourmet. Sin duda, conviene conocer qué nutrientes aporta su consumo, cómo se refleja esto en la salud de las personas y cuál es su potencial en el ámbito de la seguridad alimentaria” (Méndez y Chino 2025).

#### **6.1.2.1 Relevancia cultural y gastronómica**

El huitlacoche es un hongo comestible que se ha consumido en México y otros países latinoamericanos desde tiempos prehispánicos. En México, se le considera un

platillo especial o un manjar (López *et al.*, 2017) y su fama ha traspasado fronteras (Hernández, 2023). A pesar de su aspecto, que puede no resultar atractivo fuera de México, ha despertado el interés de chefs y comensales tanto nacionales como internacionales (Gámez, 2018). Recibe nombres como "caviar mexicano" o "trufa mexicana", tal como lo señala Medina *et al.* (2019). Es valorado por su sabor singular y delicioso (Escalante, 2013), que algunos describen como ligeramente ahumado (Medina *et al.*, 2019). La composición de azúcares, en la que predominan la glucosa y la fructosa, contribuye a su sabor distintivo (Gámez, 2018). Es parte integral de la diversidad gastronómica y cultural mexicana como lo indica Hernández (2023).

Puede ser preparado de múltiples maneras, siendo las quesadillas, tacos y tamales algunas de las más comunes. Sin embargo, también se utiliza en platos más elaborados como empanadas, canapés, cremas, crepas y sopas de acuerdo con lo expuesto por Gámez (2018). Se ha intentado integrarlo en productos como totopos horneados (Amador *et al.*, 2016). Se presenta fresco, procesado y enlatado. El consumo fresco es el más habitual, pero su vida útil es muy corta como afirma Medina *et al.* (2019).

#### **6.1.2.2 Relevancia nutricional**

Es una fuente considerable de proteínas (Beas *et al.*, 2011), con un contenido que varía entre el 10- 25% en base seca (Amador *et al.*, 2016), o de entre el 11.5-16.4% (Hernández, 2023). Contiene aminoácidos esenciales (Beas *et al.*, 2011), destacando su alto nivel de lisina (Amador *et al.*, 2016), que es escasa en el maíz (Gámez, 2018). La proteína del huitlacoche tiene un balance adecuado de aminoácidos esenciales para la alimentación de adultos según lo planteado por Salazar (2013). Proporciona ácidos grasos esenciales, como Omega 3 y Omega 6 tal como señala López *et al.* (2018), así como ácidos linolénico, linoleico y palmítico, de acuerdo con Amador *et al.* (2016). Su contenido de grasa oscila entre el 1.6-2.3%, o entre el 2.7-6.5% en base seca (Hernández, 2023). También contiene carbohidratos, siendo la glucosa y la fructosa las predominantes (Gámez, 2018). Es alto en fibra, con un contenido del 10-30% en base seca (Amador *et al.*, 2016), lo cual es beneficioso para la flora intestinal (Ansúrez, 2021). Es fuente de minerales (Gámez, 2018) y aporta fósforo (Ansúrez, 2021). Suministra vitaminas, entre ellas riboflavina, niacina,

biotina, ácido fólico, vitamina C y varias del complejo B (B1, B2, B12, niacina) Tal como lo señala Gámez (2018).

### **6.1.2.3 Relevancia como alimento funcional y potencial nutracéutico**

El concepto de alimentos funcionales se desarrolló en Japón en 1984, el cual define a los productos alimenticios de origen animal o vegetal, consumidos en la dieta diaria que además de aportar nutrientes poseen compuestos bioactivos que resultan benéficas para la salud. A lo largo del tiempo se han utilizado muchos términos para los alimentos funcionales, tales como son: alimentos diseñados, productos nutracéuticos, alimentos genéticamente diseñados, farmaalimentos, vitalalimentos, fitoalimentos/ fitonutrientes, alimentos de alto rendimiento, alimentos terapéuticos, alimentos inteligentes, alimentos de valor añadido, prebióticos/probióticos, alimentos superiores, alimentos reales, etc. (Morales *et al.*, 2015). Se considera un alimento funcional que posee un potencial nutracéutico como lo afirma Beas *et al.* (2011). Contiene compuestos fenólicos (López, 2018), que cuentan con propiedades antioxidantes (Beas *et al.*, 2011).

### **6.1.2.4 Relevancia económica**

En palabras de Medina *et al.* (2019) el huitlacoche es un cultivo con un gran potencial de producción y un valor económico significativo en la región, central de México. La comercialización del huitlacoche no es fácil ya que, por la acción del desgranado, recibe daños mecánicos, porque al estar expuestas las agallas, se abarca mayor superficie de contacto, son más vulnerables, la cubierta extrema recibe esfuerzo de composición que su límite elástico. Debido a la alta calidad metabólica, pérdida de agua acelerada y su falta de cutícula *U. maydis* su vida de anaquel es corta, de 3 a 4 días, lo cual sitúa con la alta desventaja comercial ya que se tiene que consumir de manera inmediata después de la cosecha (Mora *et al.*, 2019).

### **6.1.2.5 Perspectiva contrapuesta (plaga contra delicia)**

Mientras que en México se valora como un alimento, en otras partes del mundo se ve como una enfermedad perjudicial para el maíz, conocida como carbón común

o de ebullición, según Salazar (2017). Esta situación puede resultar en pérdidas considerables en los cultivos de maíz destinados a grano (Gámez, 2018). Es evidente que la discrepancia en la percepción ya sea como plaga o como alimento es significativa, como lo afirma Valadez *et al.* (2015).

Los microbios, como los hongos están siendo investigados como una fuente de proteína comestible, frecuentemente denominada proteína unicelular, gracias a las ventajas al cultivarlos: pueden crecer en medios relativamente económicos y tienen un crecimiento rápido, siempre que los medios cuenten con fuentes adecuadas de carbono. Aunque es claro que el contenido de metionina en las proteínas de los hongos es inferior al de la carne, sus aminoácidos son, en muchos casos, bastante similares, desde el punto de vista de Fox y Cameron (2009).

El huitlacoche se clasifica como un hongo que parasita el maíz, y necesita formar una estrecha y necesaria relación con esta planta. Este hongo se ha convertido en uno de los alimentos más relevantes cultural y gastronómicamente en México, debido a la relevancia del maíz, lo que le otorga una importancia que se remonta a la época prehispánica, según algunos historiadores. Sin embargo, otros señalan que su consumo se incrementó en la época colonial por campesinos y varias etnias indígenas. No obstante, es innegable que este hongo ha tenido siempre vínculo estrecho con la producción de maíz y, por lo tanto, con la gastronomía mexicana, como indican Medina y González (2023).

En la opinión de Jiménez (2015), se indica que, en México el huitlacoche posee un gran valor culinario; no obstante, en tiempos recientes ha sido reconocido en la gastronomía internacional como un ingrediente exótico de alta cocina, utilizado por renombrados chefs, empezando a ser referido como “trufa americana”.

### **6.1.3 Producción mundial del huitlacoche**

No se encontró información de la producción en la página <https://www.fao.org/faostat/es/#home> de la FAOSTAT, ni en la página web oficial de la Administración de Comercio Internacional. Se considera México como el principal productor para cubrir sus necesidades de consumo.

#### **6.1.4 Producción nacional del huitlacoche**

En el SIAP, no se encuentra información de la producción Nacional, pero en diversas publicaciones periodistas como en la BBC, 2019 (Najar-BBC, 2019), menciona que una cooperativa de Hidalgo exporta más de 100 toneladas anualmente a Estados Unidos. Actualmente en México, es un producto consumido en la región Centro-Sur de México para satisfacer los platillos tradicionales, como las quesadillas, sopas y carne preparada, mole, bebida entre otros. Dicho alimento tiene un gran valor económico que supera al valor de la mazorca, por lo que algunas empresas de sector alimentario lo han procesado para obtener enlatados para su exportación (Villanueva, 1997; Salazar *et al.*, 2021; Ramírez y Ortiz 2024).

#### **6.1.5 Producción regional o local del huitlacoche**

Como indica SAGARPA (2018), que se ha tecnificado la producción de huitlacoche en Puebla; con técnicas de inoculación para cultivarlo, los municipios de Huaquechula, Acatlán de Osorio y Atlixco, consiguen transformar 90 por ciento de cultivos de maíz en huitlacoche. De acuerdo con lo expuesto por Garcilazo (2020), la susceptibilidad de las especies se ha ido analizando en los últimos años a nivel nacional y el estado de Puebla, no es la excepción como se vio en su trabajo de tesis, en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. Por lo anteriormente reportado tanto en el 2018 y 2020 vemos diversas regiones del estado con producción actualmente, si se cuestiona en los mercados la procedencia del producto, podremos ver que la zona del valle de Atlixco y Tehuacán predominan en el estado de Puebla.

#### **6.1.6 Normatividades de calidad de hongos (huitlacoche)**

La norma general para los hongos comestibles frescos del Codex Alimentarius establece que deben estar sanos, limpios, firmes, sin daños y tener el olor y sabor propios de su especie. Esto en la norma general del Codex Alimentarius para los hongos comestibles frescos (CXS 38-1981). En México existe solo la norma Nom-010-Recnat-1996, para mencionar las características de recolección y de los predios por lo que de parámetros en calidad no existe. Por lo anterior será de importancia seguir las recomendaciones del CODEX. Si bien no existe una normativa específica

se considera al huitlacoche como un hongo fresco por lo que se adaptarían los parámetros (CODEX, 2022).

#### **6.1.7 Análisis de calidad sensorial, nutrimental y fisicoquímicos de los Huitlacoche**

Para la aceptabilidad de las proteínas unicelulares (ejemplo proteína de hongos), cuando se presenta como alimento humano aparte del aporte nutrimental según Smith (2004), considera otros factores de influencia tales como olor, color, gusto y textura. Algunos análisis sensoriales que se han realizado evaluaron el color, olor y textura del huitlacoche como ingrediente en una matriz alimentaria (Vázquez y Zarazúa, 2023), evaluaron pastas con 0 %, 10 % y 20 % de harina de huitlacoche, dando como resultado una adecuada aceptación sensorial a una concentración hasta el 10 % de sustitución: mientras de acuerdo con Solís *et al.* (2020) formó totopos con 25 % y 50 % de harina de huitlacoche, evaluando preferencia en 30 jueces entrenados y semientrenados. Estas investigaciones muestran productos con huitlacoche con buena aceptación. En los bromatológicos o fisicoquímicos se han hecho en la región de Atlixco del estado de Puebla, a la harina de Huitlacoche, humedad con el NMX-F-083-1986, de Cenizas de acuerdo con la NMX-F-607-NORMEX-2013 y utilizando una mufla marca Lindberg modelo SIB, de Grasas de acuerdo con la NMX-F-615-NORMEX-204 y utilizando un extractor marca Kimax modelo Soxhlet, de Proteínas Perkin Elmer Analizador Elemental modelo 2400 Series I, de Fibra cruda NMX-F-613-NORMEX-2003 y de Carbohidratos USDA Agricultura Handbook No 8,1975, (Hernández *et al.*, 2009). En los análisis fisicoquímicos de calidad en algunas investigaciones de Huitlacoche se ha reportado °Brix, pH, acidez titulable, dureza (Pimentel *et al.*, 2011).

#### **6.1.8 Importancia económica, social y cultural del huitlacoche (*Ustilago maydis*)**

Si bien reportes concretos de la importancia económica no se tienen, si hay múltiples reportes de las ganancias mayores al doble por el cultivo de maíz, o bien mayores en productos y subproductos por la utilización del hongo. En el ámbito social si bien se puede considerar en el territorio nacional se puede percibir de mayor parte

en la zona centro y sur del país por lo que impacta en la cuestión cultural y culinaria de las diversas presentaciones de productos que se elaboran a partir de este mangar culinario, así también puede tomarse en cuenta al mercado de la nostalgia de los mexicanos radicados en el extranjero de mayor manera a los que se encuentran en estados unidos de América, donde las quesadillas es la más habitual de consumirse (Covarrubias *et al.*, 2024).

#### **6.1.9 Valor nutrimental del huitlacoche (*Ustilago maydis*)**

Diversos autores han reportado valores nutrimentales variables para el huitlacoche; sin embargo, en general se observa un aumento en el contenido de proteína y fibra en comparación con el maíz, que es el hospedero de este hongo. Tal como señalan Aydoğdu y Gölükçü (2017), en base seca, un promedio de 12 % de proteína, superando al maíz. Su contenido de fibra total varía entre 39-60 % (22-51 % insoluble y 9-29 % soluble), aportando  $\beta$ -glucanos a razón de 20-120 mg por g, niveles comparables a otros hongos comestibles y muy superiores a los del maíz ( $\approx 0.5$ -3.8 mg/g), según lo planteado por Valverde *et al.* (2014). El huitlacoche, además de un exquisito sabor, contiene ácidos grasos esenciales (Omega 3 y Omega 6), es rico en aminoácidos, aporta fibra y es bajo en grasas, contiene fósforo, vitamina C, varios minerales y sustancias con propiedades antitumorales, en palabras de SADER (2020).

#### **6.1.10 Mercado de huitlacoche**

El principal mercado de este producto es la central de abastos de la ciudad de México que concentra todas las semanas disponibilidad del producto siendo en temporadas altas el triple o cuatro veces más de la producción común, pero siendo aun no suficiente para la demanda nacional, en los últimos años los mercados locales se ven abastecidos con las producciones regionales y las cooperativas y grupos de productores capacitados para la exportación han podido mandar producciones considerables principalmente a Estados Unidos.

## 6.2 Biotecnología en la producción de alimentos y hongos como el huitlacoche

La biotecnología se ha definido según Astiasarán *et al.* (2003), como la aplicación de organismos, sistemas y procesos biológicos a la producción de bienes y servicios en beneficio del hombre. Para Smith (2004), muchos aspectos de la biotecnología moderna son y serán aplicados a la agricultura de forma progresiva. Se ha desarrollado por ejemplo como materia prima alimenticia como los nuevos productos a base de huitlacoche, como harina, extractos y suplementos alimenticios. Estos productos podrían tener aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y nutracéutica. En México, un equipo de investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ha desarrollado una técnica de biotecnología para producir huitlacoche durante todo el año. La técnica consiste en infectar el maíz de forma controlada con el hongo *Ustilago maydis*, utilizando parámetros como la temperatura y la humedad, y seleccionando líneas de cultivo del hongo en laboratorio, esta técnica tiene el potencial de aumentar la disponibilidad de huitlacoche y hacer que este producto sea más accesible para los consumidores. Además, podría ayudar a los agricultores a obtener mayores ingresos por sus cosechas como indica Valadez *et al.* (2011).

La biotecnología vegetal emplea las plantas para la producción de bienes y servicios, esto incluye todas las técnicas agronómicas que se han empleado desde hace cientos o miles de años. Las biotecnologías en laboratorio han tenido desarrollos nuevos. El campo de acción de la biotecnología vegetal esta sobre la producción primaria de los alimentos a nivel de cultivo por lo que está ligada íntimamente a la agricultura. A nivel mundial los hongos comestibles son fuente muy antigua de alimentos. En Asia desde hace 2000 años se producen en cultivo artificial, variedades *Letinus edodes* y *Volvariella volcacea*, en Francia en el siglo XVII la especie *Agaricus* y más recientemente otras especies como *Pleurotus ostreatus*. Los cultivos de hongos comestibles en México presentan una gran potencialidad, por su riqueza micológica, la amplia gama de microclimas, así como por la tradición micofaga del mexicano (García *et al.*, 2022).

En general, la biotecnología tiene el potencial de revolucionar la producción de alimentos y hongos como el huitlacoche. Esta tecnología podría ayudar a aumentar

la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y desarrollar nuevos productos alimenticios innovadores (Noyola, 2018).

En palabras de SADER (2020), investigadores del Colegio de Postgraduados (Colpos), Campus Puebla, encabezados por el Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera, desarrollaron estrategias e innovaciones biológicas y tecnológicas de aplicación inmediata para detonar la producción controlada de huitlacoche, sobre todo con agricultores de maíz de pequeña escala que dispongan de 0.25 a 1.5 hectáreas.

La Secretaría de Agricultura recientemente ha apoyado la investigación y el trabajo del Colegio de Posgraduados (Colpos) en la tecnificación de producción de huitlacoche en Puebla, mediante el desarrollo de biotecnologías e innovaciones de aplicación inmediata para detonar la producción controlada de huitlacoche con pequeños productores de maíz quienes reciben la asistencia de productores capacitados y técnicos especializados del Colpos (SADER, 2020).

Se ha desarrollado un proceso biotecnológico controlado y económicamente viable para la producción de huitlacoche por pequeños productores, con las siguientes etapas: 1) Fase de laboratorio in vitro para el cultivo de las cepas 2) Paquete tecnológico para la producción de maíz, máximo  $\frac{1}{4}$  de hectárea 3) Inoculación de jilotes 4) Cosecha intensiva 5) Desgranado y empaçado 6) Conservación a baja temperatura (COLPOS, 2020).

### **6.2.1 Metodologías artificiales en la inoculación de huitlacoche**

La transmisión de una enfermedad por medios artificiales del hongo que produce el huitlacoche (*Ustilago maydis*) es una técnica sencilla y segura que les permite a los agricultores incrementar la producción de la también llamada “trufa mexicana”. Como parte del procedimiento, los productores inyectan las mazorcas tiernas, o jilotes, con las esporas del hongo, a fin de infectarlas. Después, el hongo deforma los granos de maíz y les da el color y sabor que lo caracterizan (Martínez, 2019).

Los cuidados durante la inoculación, la etapa adecuada para inducir la infección y las dosis que se deben usar por jilote, como también se puede percibir en

la figura 1, de la infografía del instituto nacional de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP (2024).



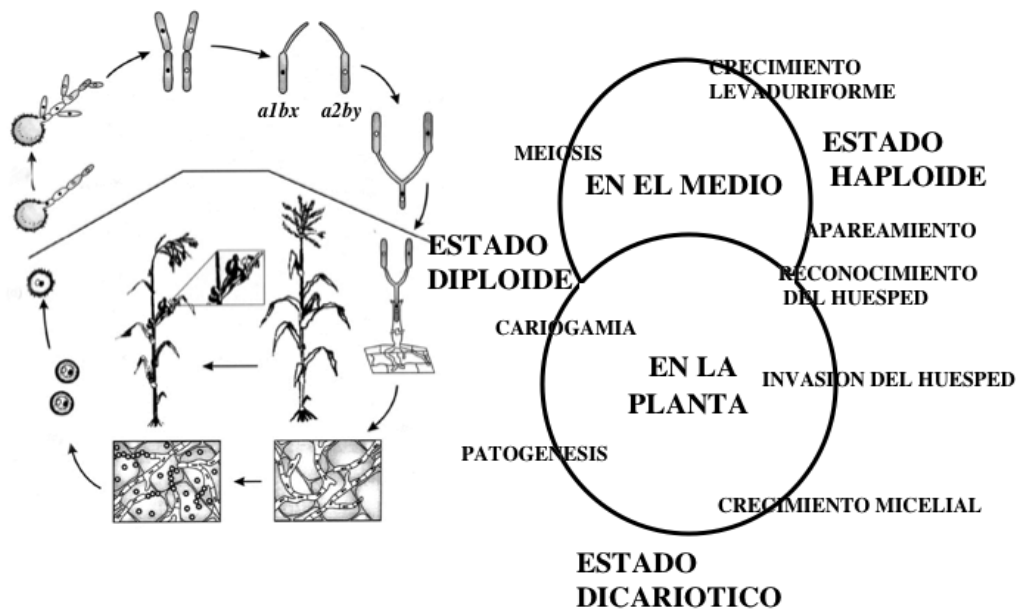
Figura 1. Infografía de ¿Cómo inocular el Huitlacoche? (INIFAP, 2024).

### 6.2.2 Cepas del *Ustilago maydis*

La amplia variabilidad patogénica en cepas de *Ustilago maydis* permite la evaluación en semillas de maíz híbridas y criollas para la producción de huitlacoche (Aguayo *et al.*, 2021). El término "cepas" de *Ustilago maydis* se refiere a diferentes aislamientos o líneas genéticas de este hongo que parasita el maíz y causa el huitlacoche (Salazar, 2018). Estas cepas pueden variar en su capacidad para infectar el maíz (patogenicidad) y en la severidad de la infección que causan (virulencia), así como en las características de las agallas que producen (Salazar *et al.*, 2017).

### 6.2.3 Ciclos de vida del huitlacoche (*Ustilago maydis*)

El ciclo de vida del huitlacoche (*Ustilago maydis*) se puede dividir en dos fases: una fase biotrófica asexual dentro de la planta y una fase saprófita sexual fuera de la planta.

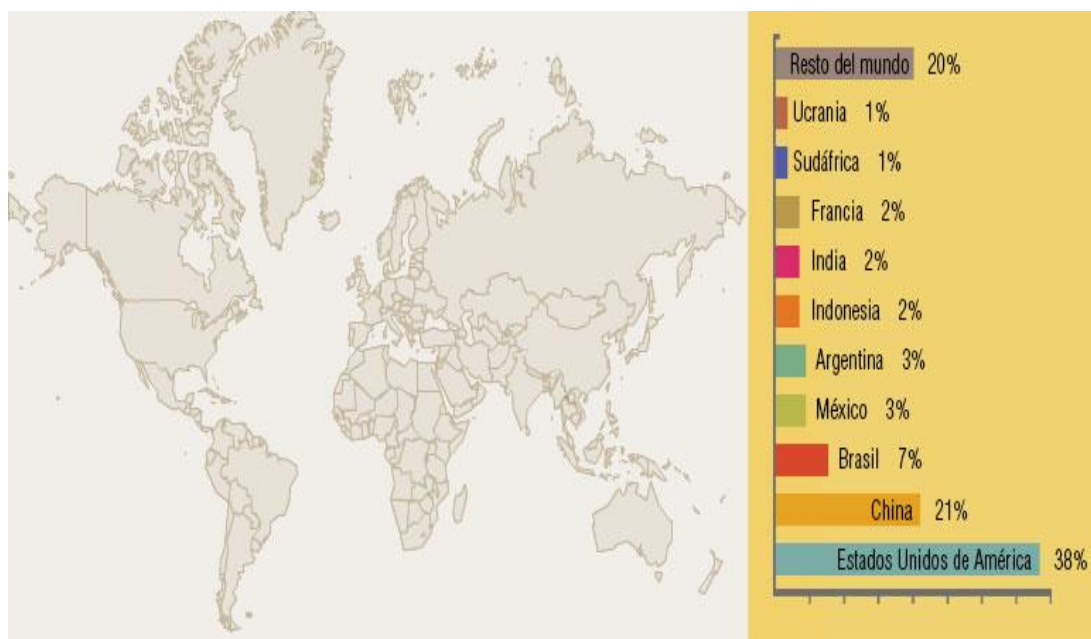


**Figura 2.** Representación esquemática del ciclo de vida de *Ustilago maydis*. Izquierda; se muestra la germinación de las teliosporas con la formación del promicelio y las cuatro basidiosporas (Herrera, 2008).

El ciclo de vida de *Ustilago maydis*, el hongo responsable del huitlacoche es un proceso complejo que requiere la interacción con su hospedero principal, el maíz (*Zea mays*) (Hernández, 2023).

### 6.3 Maíz

El maíz es originario de México, gracias a los restos de semillas hallados en Teotihuacán, Puebla sabemos que hace más de siete mil años se inició el cultivo. Su domesticación fue muy importante para que los grupos nómadas se volvieran decenarios y su cultivo fue su sustento de los pueblos mesoamericano (Paliwal, 2001). El elote como se llama en Mesoamérica (la palabra “maíz” viene del caribe) era el cultivo que más consumido y el que más aguantaba las variaciones del clima y, por, ello es el más leal y cercano a la vida indígena. Se considera un alimento sagrado que los mesoamericanos utilizaban el maíz no solo para la alimentación, sino también como parte importante de sus ceremonias religiosas. Estos se pueden ver en culturas como los mexicas, que adoraban a la diosa del maíz, Coatlicue; de los mayas, con la historia cómo la del Popol Vuh, que cuenta que el hombre fue creado por los dioses con el maíz, la figura 3, muestra cuáles son los maíces que producen a mayores cantidades de maíz y su producto más fuerte para su economía de dicho país (FAO, 2020).



**Figura 3.** Principales países productores de maíz a nivel internacional (FAO, 2018).

### 6.3.1 Importancia del maíz

Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total. Es considerado de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano (uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen), como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Golik *et al.*, 2018). En el mundo se siembran diferentes tipos de maíces, siendo una de las diferencias importantes el color. El color del grano de maíz puede variar de blanco, amarillo, rojo o negro. La mayoría de los maíces cultivados en los países industrializados son de color amarillo, mientras que las personas en África, América Central, las zonas altas de los países andinos y el sur de los Estados Unidos prefieren maíz blanco (Ranum *et al.*, 2014; Nuss *et al.*, 2012; Mendoza, 2017).

### 6.3.2 Importancia del maíz nativos o criollos

Los maíces nativos siguen desempeñando un papel clave en las estrategias de vida de los productores. Existen varias razones, entre ellas las económicas, por las que los productores toman la decisión deliberada de sembrar maíces criollos. El grano de tales variedades puede lograr un sobreprecio si el productor accede a un mercado especializado. Por otra parte, muchas de las variedades criollas generan

numerosos productos, más allá del grano, para los que existen mercados importantes, como es el caso de las hojas de maíz ("totomoxtle") que se utilizan para envolver los tamales (platillo tradicional) (Hellin *et al.*, 2013).

### **6.3.3 Importancia económica del maíz**

El maíz goza de gran importancia económica mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un gran número de productos industriales. Cerca del 40 % del maíz producido en los países tropicales se usa para la alimentación animal, concretamente para ganado y establecimientos avícolas (Sánchez y Pérez, 2014; Piliwal, 2019).

### **6.3.4 Importancia social del maíz**

Se pueden agrupar en tres segmentos de agricultores con respecto a sus actitudes y percepción hacia las semillas mejoradas. Por ello, el enfoque comercial y de mercadeo de los grupos de agricultores debe ser diferente, aunque el orden de la importancia relativa de los diferentes tipos de objetivos en los agricultores es similar.

Los agricultores de transición tienen mayor interés por los objetivos económicos, los conservadores por los socioculturales y los innovadores por los objetivos ambientales. Los agricultores que decidan seguir cultivando las variedades criollas pueden enfocarse a un nicho de mercado bien definido. De la misma forma, será necesario mejorar la productividad de las razas nativas de maíz a través de prácticas sostenibles con el fin de conservar el sistema milpa.

### **6.3.5 Importancia ecológica del maíz**

Los agricultores que opten por continuar cultivando variedades criollas pueden dirigirse hacia un mercado específico bien definido. De igual manera, será imprescindible aumentar la productividad de las razas autóctonas de maíz mediante prácticas sostenibles para preservar el sistema milpa (Castillo, 2026). El aspecto ecológico y la biodiversidad han cobrado mayor relevancia en tiempos recientes, ya que la diversidad genética del maíz mexicano representa un recurso valioso para la influyente industria agrobiotecnológica multinacional, que controla cada vez más la

producción alimentaria a nivel global. Esto agrega un nuevo valor a un patrimonio tan significativo como la biodiversidad del maíz, que ha sido recientemente afectada por la contaminación con maíz transgénico hallada en Oaxaca (Trigo y Montenegro, 2002). De acuerdo con Astiasarán *et al.* (2003), los materiales genéticamente modificados implican riesgos importantes, por un lado, se hagan más fuertes frente a los peligros naturales, disminuyendo la biodiversidad natural y por otro lado la propiedad desarrollada a través del nuevo material genético se propague o transmita a especies en las que no interesa el desarrollo de esta propiedad. La comunidad internacional no presenta un acuerdo con la aplicación de los transgénicos la Federación Internacional de los Movimientos De Agricultura Biológica (IFOAM) en 1997, declaró “las manipulaciones genéticas y los organismos modificados genéticamente (OMG) no tienen cabida en la agricultura y los alimentos biológicos”.

### **6.3.6 Clasificación taxonómica del maíz (*Zea mays*)**

Se describen la clasificación taxonómica a continuación:

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta Cronquist, Takhtajan y W. Zimmermann, 1966.

CLASE: Liliopsida

ORDEN: Poales Small 1903

FAMILIA: Poaceae Barnhart

GÉNERO: *Zea* Linnaeus, 1753

ESPECIE: *mays* L., 1753

SUBESPECIE: *mays* NA

(Sánchez y Pérez, 2014).

### **6.3.7 Ciclos de vida del maíz (*Zea mays*)**

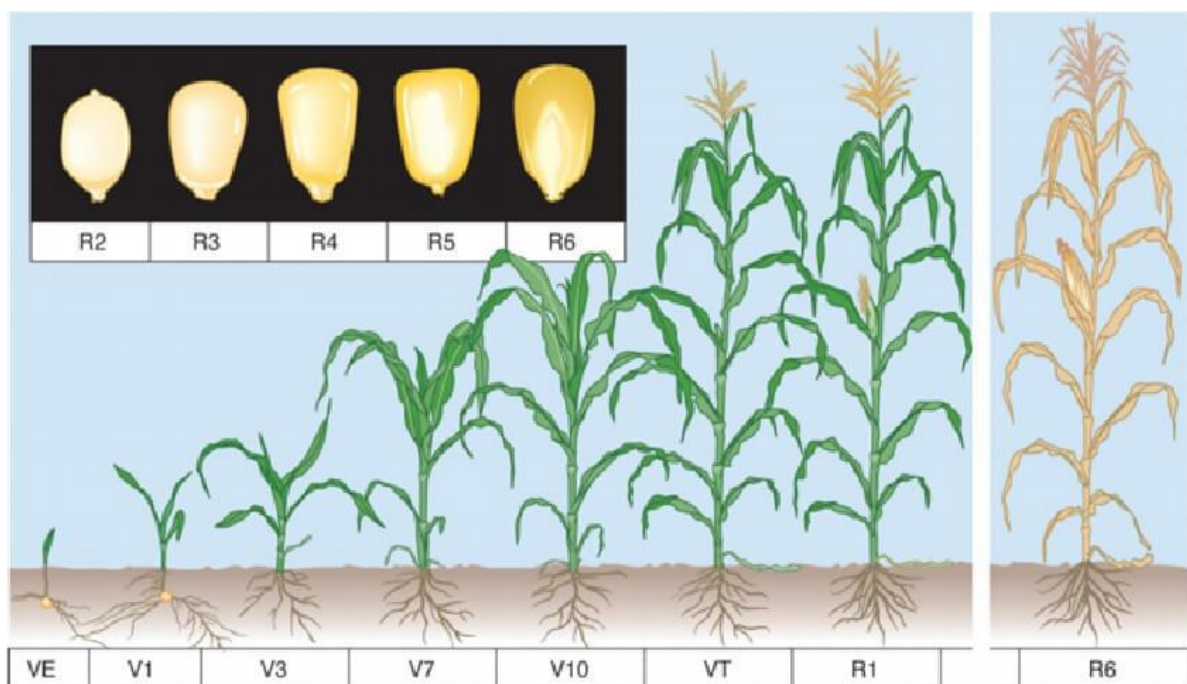
Para normalizar las definiciones, los expertos en maíz han desarrollado un manual para reconocer las distintas fases de desarrollo del maíz. No todas las plantas en el campo alcanzan una etapa específica, simultáneamente. Así pues, los científicos presuponen que el cultivo llega a una fase determinada cuando al menos el 50% de las plantas exhiben las características pertinentes. La estandarización de las definiciones posibilita que los investigadores hagan referencia a los desafíos de las etapas específicas de crecimiento.

Los investigadores dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías, y cuatro periodos, como se muestra en la tabla 1 y que puede observar en la figura 4.

**Tabla 1. Etapas de crecimiento del maíz**

Etapa de crecimiento	Descripción de periodo	Símbolo
Vegetativa (V)	Crecimiento de las plántulas	VE y V1
	Crecimiento vegetativo	V2, V3... Vn
Reproductiva (R)	Floración y la fecundación	VT, R0, y R1
	Llenado de grano y la madurez	R2 a R6

Fuente: Ritchie *et al.* (1993).



**Figura 4.** Etapas fenológicas de la fase vegetativa y reproductiva del maíz. Retomado por Valdez *et al.* (2012) de Emerson Nafziger.

#### 6.4 Zona de estudio (Calpan, Puebla)

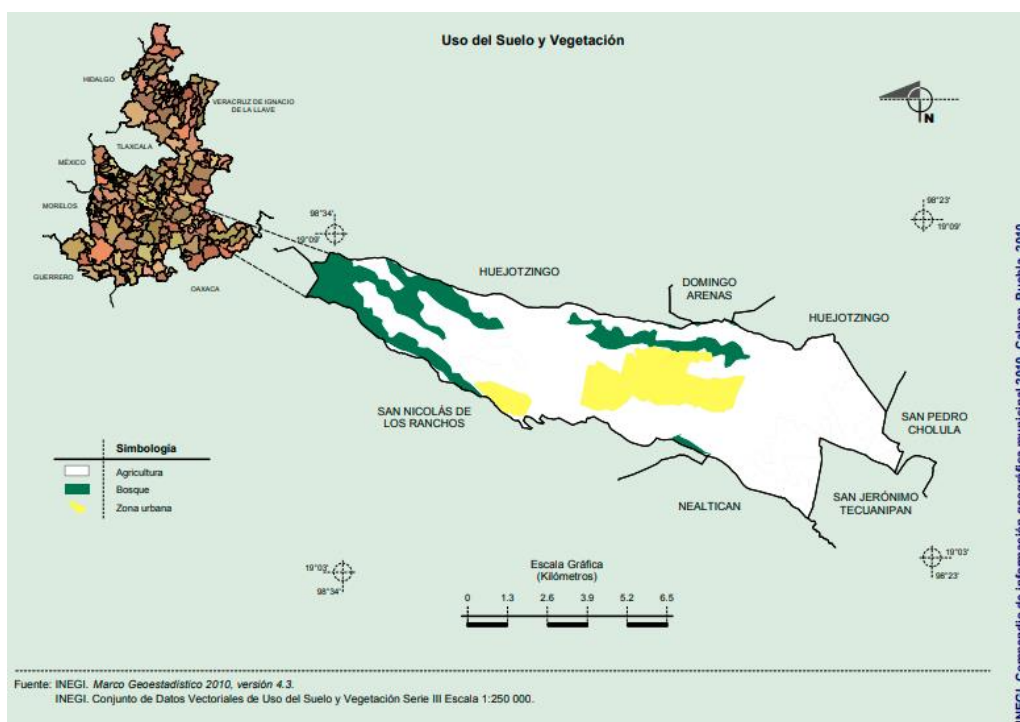
El municipio de Calpan se localiza entre los paralelos 19° 03' y 19° 09' de latitud norte; los meridianos 98° 23' y 98° 35' de longitud oeste; altitud entre 2,200 y 3,200 metros (INEGI, 2010). Calpan es uno de los 217 municipios que conforman el estado

de Puebla, con una superficie de 67 km<sup>2</sup>; en este municipio se encuentran, además del pueblo cabecera San Andrés Calpan, dos pueblos más (San Mateo Ozolco y San Lucas Atzala) y rancherías esparcidas en su territorio (Figura 5).



**Figura 5.** Localización del municipio de Calpan, en el Estado de Puebla y República Mexicana (López-González *et al.*, 2018).

Se muestra en la figura 6, el tipo de uso de suelo del municipio y a la actividad principal que se tiene como indica INEGI (2010), Agricultura (71.29%) y zona urbana (12.90%), Bosque (15.81%), de acuerdo uso potencial de la tienen se menciona; Para la agricultura mecanizada continua (55.92%) Para la agricultura con tracción animal continua (7.70%) No apta para la agricultura (36.38%).



**Figura 6.** Uso del suelo y vegetación en el municipio de Calpan (INEGI, 2010).

De acuerdo con Xochipa *et al.* (2024), la sierra nevada poblana (SNP) está conformada por 33 municipios. Cuenta con elevaciones de 2,300 a 3,600 msnm, que propician su gran riqueza de biodiversidad endémica. La cuestión agrícola, pecuaria y forestal representa el (11%), y hay condiciones que propician el cultivo de hongos comestibles silvestres (HCS). Las principales comunidades productoras y recolectoras son Xalitzintla, Yancuitalpan, Ozolco, Atzala, Tlahuapan y San Salvador El Verde (Figura 7). Dos comunidades son de Calpan donde se realiza el trabajo.

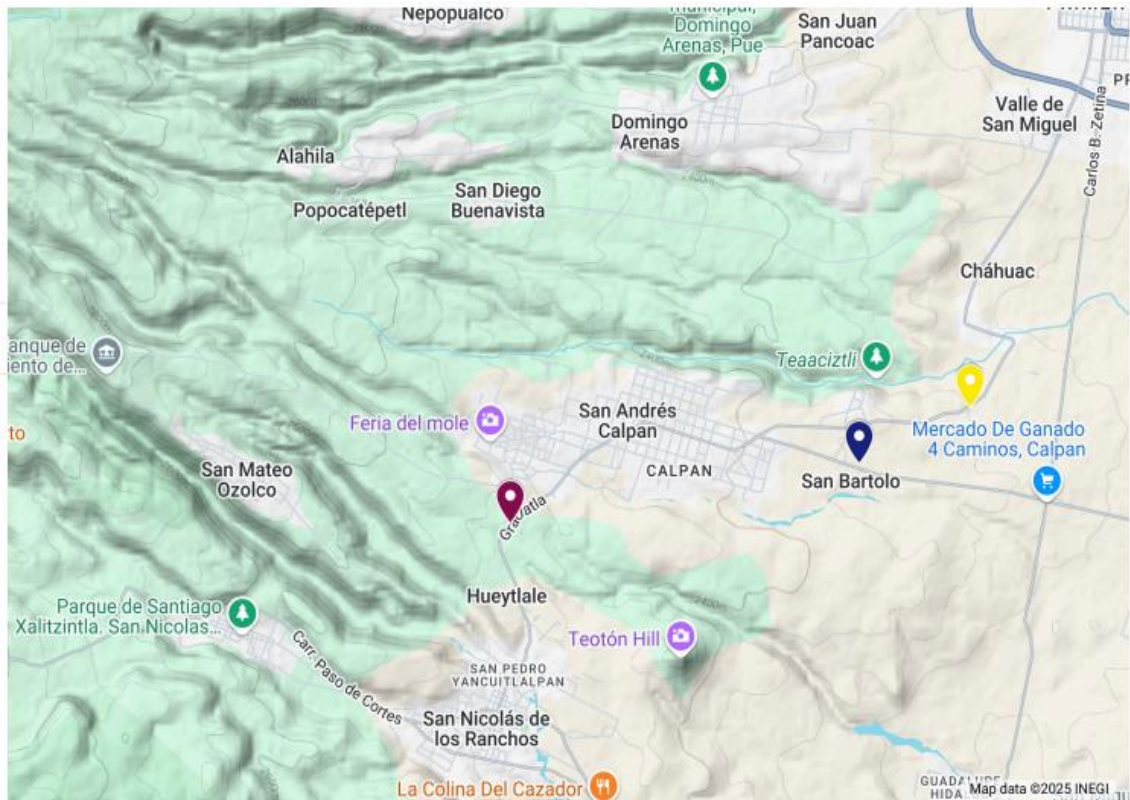


**Figura 7.** Ubicación geográfica de las principales zonas productoras y recolectoras de hongos comestibles silvestres en la sierra nevada poblana (Xochipa *et al.*, 2024).

## VII. Metodología

### 7. a Desarrollo experimental

El presente trabajo se realizó en dos etapas, la primera fue el trabajo en campo que consto desde el establecimiento de los cultivos de maíz hasta su cosecha, en una parcela se estableció con dos variedades de maíces nativos (azul y blanco), en una parcela de un productor cooperante como se muestra en la figura 8, con el punto rojo, con condiciones similares de manejo agronómico, se realizaron las inoculaciones artificiales del hongo (*Ustilago maydis*), en el municipio de Calpan del Estado de Puebla.



**Figura 8.** Mapa de trabajo, Fuente: Propia creado con Google Maps

La segunda etapa del trabajo consistió en el análisis de las características fisicoquímicas de calidad, sensoriales y químicos proximales de las agallas cosechadas de la etapa 1. Por último, la información se analizó y comparo mediante análisis estadísticos con el programa Statgraphics Centurión 19.

## 7. b Metodología

La metodología general del trabajo se describe en el siguiente diagrama de la figura 9;

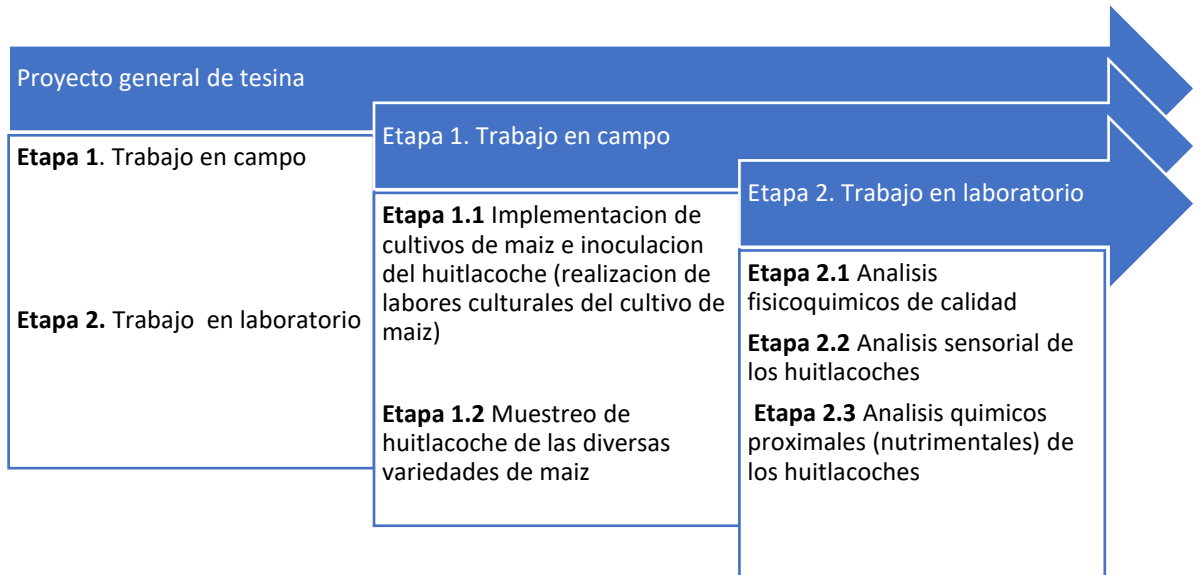


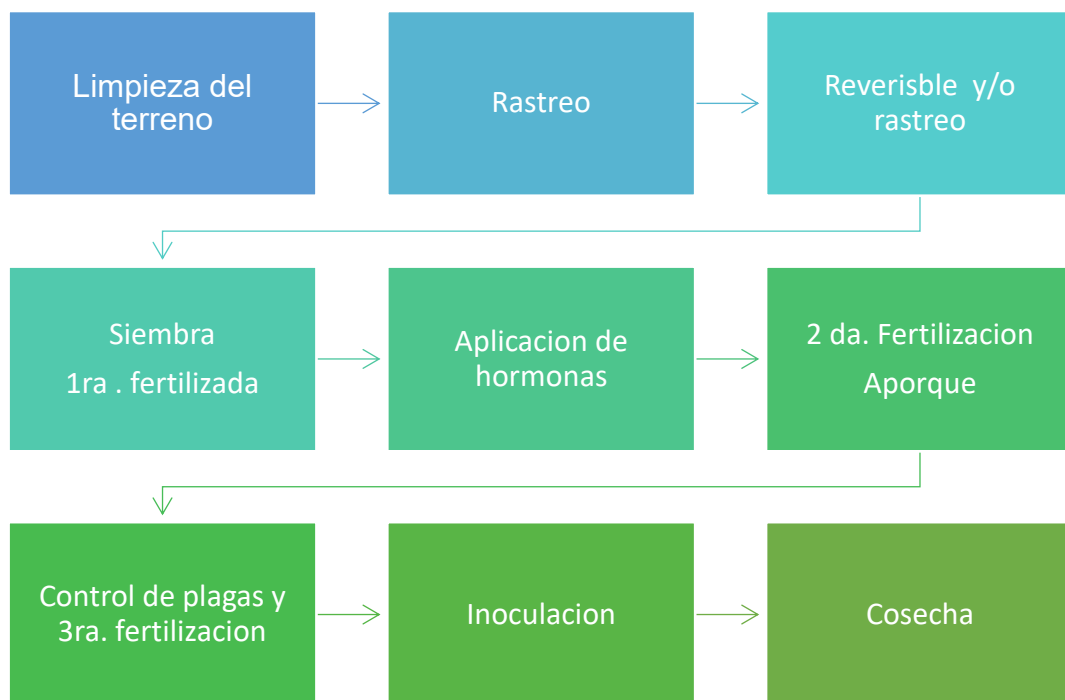
Figura 9. Diagrama general del trabajo

### 7.1 Etapa 1. Trabajo en campo (labores culturales en el cultivo)

En esta etapa se subdivide en dos etapas, de manera general se muestra en el siguiente diagrama de flujo en la figura 10. La etapa 1.1 es la implementación de los cultivos e inoculación se describen las labores culturales necesarias en el cultivo de maíz nativo y/o criollo, de acuerdo como se realiza por diversos productores que tienen más de 2 ha y que producen más de la media promedio reportada de 2.488 ton/ha, en la zona. Si bien el cultivo de maíz se caracteriza por tener una amplia variación en sus sistemas de producción, podremos decir que se emplea método de siembra convencional y sistema de labranza reducida, así como labranza de conservación al utilizar la sembradora de precisión, así como las labores que se describen en las etapas primarias y secundarias del cultivo como menciona Ávila *et al.* (2014).

## Etapa 1.1 Implementación de cultivos de maíz e inoculación del huitlacoche

A continuación, se describe la metodología en la implementación e inoculación del huitlacoche, de acuerdo con las labores culturales empleadas para tener un rendimiento óptimo conforme a las condiciones de producción que se realizan en el maíz de productores con mejores resultados en la zona.



**Figura 10.** Diagrama de trabajo de implementación de cultivos de maíz e inoculación del huitlacoche.

### 7.1.1 Limpieza del terreno por rastreo

Se realizó de acuerdo Golik *et al.* (2017), por medio del rastreo con el implemento mecánico del tractor, llamada rastra, realizándose dos pasadas, para deshacer los terrones grandes, mullir el suelo y eliminar las malezas pequeñas. El paso de rastra, barbecho, fue con arado de 3 discos, teniendo precaución con los árboles dejando una distancia de mínima de 50 cm a 1 m.

### **7.1.2 Siembra y fertilización de precisión**

De acuerdo con García *et al.* (2021), se adecuó con el empleo de la sembradora de granos medios del CIMMYT, usando variedades criollas azul y blanca, haciendo el tratamiento con micorrizas, y la densidad de siembra fue de 15 000 semillas por hectárea (5 semillas por metro lineal), se aplicó una mezcla (50/50) de nitrógeno y fósforo al momento de la siembra.

### **7.1.3 Aplicación de hormonas**

Las aplicaciones en el maíz fueron con aspersora agrícola, con una pasada en la etapa fenológica V3, repitiéndose en la etapa fenológica V7, con el producto Biozyme® TF de la marca Arysta, como afirma Martínez *et al.* (2022) manifiestan la importancia de esta acción.

### **7.1.4 Fertilización granular y aporque**

Esta técnica de aplicación de fertilizantes se adaptó de lo realizado por Martínez (2014), que consistió en dispersar gránulos sólidos en el suelo se realizó de manera manual por cada planta, primera fertilización con la sembradora de precisión, la segunda manualmente, con los fertilizantes químicos, urea agrícola de la marca YARA (YaraBela®) y el complejo nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), basados en nitrógeno (YaraMila®), con las dosis similares en los tratamientos por las combinaciones de fertilizante químicos antes descritos. El aporque se realizó con tractor agrícola.

### **7.1.5 Control de plagas y tercera fertilización**

Se realizó por medio de aspersiones foliares para gusano cogollero en la etapa fenológica VT, por medio de control químico, aplicando insecticidas de manera selectiva y responsable cuando sea estrictamente necesario, siguiendo las recomendaciones de especialistas y utilizando productos autorizados tal como lo señala Zepeda (2018).

### **7.1.6 Inoculación y cosecha del huitlacoche**

Se realizó con los siguientes pasos; selección del material vegetativo en este caso las plantas de maíz idóneas a su etapa vegetativa, el proceso de inoculación de las plantas, conocido como inoculación artificial, el monitoreo y seguimiento del desarrollo del huitlacoche para determinar el periodo de la cosecha, evaluación del desarrollo de las agallas de huitlacoche. De la misma manera que Martínez *et al.* (2000) adaptamos los pasos para tener menores errores posibles en el proceso.

#### **7.1.6.1 Selección del material vegetal:**

Consiste la selección de las plantas de maíz idóneas para la inoculación si bien nos menciona la literatura que cuando está jiloteando la planta es bueno reconocer la etapa de desarrollo por medio de las hojas que tiene la planta, realización de la inoculación por medio artificial con el inóculo adecuado que contenga características ideales.

##### **7.1.6.1.1 Análisis de las etapas de desarrollo del maíz**

Verificación de la etapa fisiológica en que se encuentra el cultivo principalmente en la fase de 11 a 13 hojas o etapa fenológica VT, R0 o R1. A continuación se presenta la figura 11, que se muestra el desarrollo de la planta, puede verse en el número de hojas, aparición de espiga y color de la planta a un verde oscuro.



**Figura 11.** Plantas de maíz con diferente desarrollo



**Figura 12.** Plantas de maíz jiloteando

Las plantas de maíz seleccionadas para el proceso de inoculación artificial deberán ser cuando estén jiloteando, como se ve en la figura 12, como lo manifiesta Pérez (2023), “Para obtener buenos resultados es esencial identificar la etapa de jilote y realizar un monitoreo previo a la polinización”. De la misma manera Martínez *et al.* (2000), considera importante tener a la planta en esta etapa con 3 cm los estigmas fuera de las brácteas, debe ponerse atención a conocerla bien.

#### **7.1.6.1.2 Proceso de inoculación**

De acuerdo con Martínez *et al.* (2000) y con la infografía del INIFAP, del 2024, se utilizó una jeringa estéril para inyectar la suspensión de esporas directamente en el tallo de las plantas de maíz jiloteando, en la parte superior en un punto cercano a la mitad base de la planta. La cantidad de inóculo inyectado total será de 1 mL aplicando en cada punto 0.5 mL.

#### **7.1.6.1.3 Monitoreo y seguimiento:**

Se realizó por inspección visual de las plantas de maíz inoculadas de forma regular para detectar la aparición de síntomas de infección por *Ustilago maydis*, como agallas o deformaciones en los granos, como para Martínez *et al.* (2000), se tomó como criterio de corte las mazorcas completamente abultadas por agallas aún sin emerger del “totomoxtle”.

#### 7.1.6.1.4 Evaluación del desarrollo

La evaluación del desarrollo del huitlacoche en las plantas infectadas, ver figura 13, observando el tamaño, color y textura del hongo, como lo realizaron en el manejo postcosecha, López *et al.* (2017), si bien no se tiene una metodología definida la observación de la coloración de las agallas fue referencia como mencionan del momento ideal de madurez de las agallas pasando de coloración verde-amarilla a gris, por lo que es necesario abrir la planta aparte de como dice Martínez *et al.* (2000), que no abulten las agallas y no se deforme el totomoxtle, esto con el tacto puede realizarse y tener experiencia al analizar de acuerdo a la variedad porque existen variaciones.



**Figura 13.** Evaluación de desarrollo del huitlacoche en planta de maíz

#### 7.1.7 Cosecha y manejo

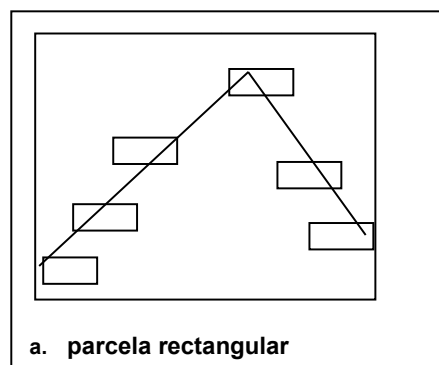
**Cosecha en el momento adecuado:** Cosechar el huitlacoche cuando esté maduro, generalmente entre 15 y 24 días después de la aparición de los primeros síntomas de infección de acuerdo con Pérez (2023) para Martínez *et al.* (2000) "La cosecha fue realizada a partir de los 30 días de la inoculación, antes de que las mazorcas mostraran agallas del huitlacoche con el peridio roto".

**Manejo postcosecha:** Manipular y almacenar el huitlacoche de forma adecuada para conservar su frescura y calidad. Para López *et al.* (2017), realizaron

el manejo teniendo la temperatura de 3° C como idónea para evitar deshidratación y se siga apreciando visualmente el producto, así como la seguridad mayor al disminuir los riesgos de desarrollo de hongos fitopatógenos en la superficie. En el experimento aparte de mantenerse en refrigeración y congelación se empaquetaron en bolsas pouch al vacío.

## 7.2 Etapa 1.2 Muestreo de huitlacoche de las diversas variedades de maíz

Se realizó el muestreo aleatorio de acuerdo con el método usado por Zúñiga *et al.* (2011). Donde la toma de muestra de huitlacoche se realizó de acuerdo con lo que se hace con el cultivo de maíz, manera aleatoria y sistemática, empleando la metodología propuesta por quienes proponen que para las parcelas de gran tamaño (mayores a 0.5 has) o de forma irregular, se tracen 2 diagonales, y que el espaciado entre toma de muestra sea de 10 m. Se utilizaron al menos dos diagonales, como se muestra en la figura 14.



**Figura 14.** Ubicación de los sitios de muestreo dentro de la parcela

Se tomaron en cuenta para realización del muestreo entre los 15 a 30 días después de la inoculación de jilote de maíz, considerándose la madurez fisiológica de las agallas de huitlacoche.

Los hongos comestibles frescos deberán estar sanos, esto es, no echados a perder; deberán estar prácticamente limpios, firmes, no dañados, y exentos en lo posible de daños producidos por larvas y tener el olor y sabor propios de su especie (CODEX, 2022).

## 7.3 Etapa 2. Trabajo en laboratorio

Esta etapa se concentrará en tres distintos tipos de pruebas que se concentran en el siguiente diagrama, figura 15.

Etapa 2.1	Etapa 2.2	Etapa 2.3
<ul style="list-style-type: none"><li>•pH</li><li>•Acidez titulable</li><li>•° Brix</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Análisis sensorial:</li><li>•Descriptivo</li><li>•Discriminatoria</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Análisis químicos proximales de las agallas de huitlacoche:</li><li>•% humedad</li><li>•cenizas</li><li>•extracto etéreo</li><li>•proteínas</li><li>•fibra</li></ul>

Figura 15. Diagrama de la descripción de la etapa.

### 7.3.1 Etapa 2.1 Análisis fisicoquímicos de calidad

Los análisis realizados fisicoquímicos fueron determinaciones de pH, ° Brix y acidez titulable, en las agallas de huitlacoche obtenidas de las dos variedades de maíces nativos azules y blancas.

#### 7.3.1.1 pH

La determinación cualitativa se realizó con tiras indicadoras de color fijo pH-Fix 0 -14 (Art-Nr, 921 10) método AOAC para determinar el pH se encuentra en la norma 981.12 (AOAC, 2000).

#### 7.3.1.2 ° Brix

Se utilizó un refractómetro portátil ATC, rango 0-90%, para la determinación cualitativa de sólidos solubles. La precisión de los equipos de la escala de 0-90%, está en el rango  $\pm 0.2\%$ . Conforme a la metodología AOAC 932.14 (AOAC, 2000).

#### 7.3.1.3 Acidez titulable

Se midió de acuerdo con la metodología de la AOAC 942.15 (AOAC, 2000), mediante cálculos con volumen de NaOH, incorporado en 5 g de jugo del fruto, 3

gotas de fenolftaleína en una titulación potenciométrica hasta pH de 8.2, para ello se utilizó la fórmula:

$$\% = \frac{(A*B*C)}{D} 100 \text{ Ecuación 1}$$

Donde: A = Volumen de NaOH utilizado.

B = Normalidad del NaOH.

C = peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto (ácido málico 0.067 g/ meq).

D = peso en gramos de la muestra utilizada.

### **7.3.2 Etapa 2.2 Análisis sensorial de los huitlacoques**

La evaluación sensorial de los alimentos es una disciplina científica que utiliza los sentidos humanos para medir, analizar e interpretar las características organolépticas de un producto, como su sabor, olor, textura, color y apariencia (Lawless y Heymann, 2010). Existen distintos tipos de pruebas sensoriales, clasificadas generalmente en analíticas (discriminativas y descriptivas) y afectivas. Las pruebas analíticas se aplican a paneles entrenados con el fin de detectar diferencias sutiles o describir atributos específicos del alimento. Por otro lado, las pruebas afectivas evalúan el agrado o preferencia del consumidor promedio (Stone *et al.*, 2012).

#### **7.3.2.1 Prueba de aceptación**

Para la evaluación de la aceptación sensorial de huitlacoche, se empleó una prueba de aceptación mediante prueba discriminatoria, con los siguientes niveles: me agrada primer y segundo lugar como lo menciona Anzaldúa (2005). Esta prueba fue aplicada a un panel compuesto por 30 jueces no entrenados, seleccionados de manera voluntaria entre estudiantes y personal de la institución, representando al consumidor con edades de 15 a 65 años del CBTA 255, apoyándonos del formato del Anexo I. Donde los participantes califican cuanto les gusta un alimento y en nuestro caso el huitlacoche como lo indican Lawless y Heymann (2010).

### 7.3.2.2 Pruebas discriminativas

Se buscaron diferenciar las características: apariencia, color, olor, sabor, textura, forma, por medio de la prueba discriminativa, con una comparación pareada, como lo menciona Anzaldúa (2005). Nosotros empleamos una prueba con escala hedónica de 5 puntos niveles: 1 = Me gusta mucho, 2 = Me gusta, 3 = Ni me gusta ni me disgusta, 4 = Me disgusta, y 5 = Me disgusta mucho. Esta prueba fue aplicada a un panel compuesto por 30 jueces no entrenados, seleccionados de manera voluntaria entre estudiantes y personal de la institución, representando al consumidor con edades de 15 a 65 años del CBTA 255. para la realización de análisis descriptivo cuantitativo (QDA), presentado en el siguiente formato del Anexo II.

### 7.3.3 Etapa 2.3 Análisis químicos proximales (nutrimentales) de los huitlacoques

Se realizaron los análisis de; determinación de humedad, azúcares reductores, determinación de nitrógeno, determinación de cenizas, determinación de fibra cruda y extracto etéreo.

#### 7.3.3.1 Determinación de humedad

El contenido en agua se determinó por el método de la estufa de aire. metodología de la AOAC, 930.15 (AOAC,2000). El contenido en agua de la muestra se calcula por diferencia de peso y se expresa en % de humedad (g de H<sub>2</sub>O/100 g de muestra):

$$\% \text{ Humedad} = \left( \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

#### 7.3.3.2 Determinación de azúcares reductores

La determinación de azúcares reductores se realizó utilizando la técnica titulométrica de Fehling-Kunetz, conforme al método oficial descrito por la AOAC (2000).

$$\% \text{Azúcares reductores directos} = \frac{(FV)}{mg} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

F = Factor de Fehling = 1 g de azúcar reductor equivalente a 10 ml de la mezcla de reactivos.

V = Volumen del aforo = 100ml

m = masa de la muestra

g = Volumen del filtrado empleado en la titulación

### 7.3.3.3 Determinación de nitrógeno

La determinación del contenido de nitrógeno total en las muestras se realizó utilizando el método de Kjeldahl, conforme al procedimiento establecido en la AOAC 984.13 (AOAC, 2000). Este método consiste en la conversión del nitrógeno orgánico presente en la muestra en ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), seguido de su transformación en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), recolección por arrastre de vapor y posterior cuantificación por titulación ácido-base (Goyal *et al.*, 2022). El contenido de nitrógeno total se calculó con la siguiente formula:

$$\% N = \frac{(Vm-Vb) \times N \times 14.007}{P} \times 100 \text{ Ecuación 4}$$

$$\%P = \% \text{ de } N * \text{Factor de proteína} \text{ Ecuación 5}$$

En donde;

Vm = volumen de HCl consumido por la muestra (mL).

Vb = volumen de HCl consumido por el blanco (mL).

N= normalidad del ácido clorhídrico.

P= peso de la muestra (g).

14.007= peso atómico del nitrógeno.

Factor de proteína utilizado en el cálculo en hongos: 6.25

### 7.3.3.4 Determinación de cenizas

La determinación del contenido total de cenizas en las muestras de huitlacoques se llevó a cabo mediante el método Klemm, de acuerdo con las especificaciones establecidas en la AOAC 923.03 (AOAC, 2000). Este procedimiento cuantifica la fracción inorgánica (minerales) contenida en la muestra tras la combustión completa de la materia orgánica.

La obtención del residuo fue por incineración directa de las muestras a 550 °C en una mufla. El cálculo del residuo de incineración fue diferencia de peso.

$$C [\%] = \left( \frac{m_2 - m_1}{P} \right) 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde;  $m_1$  = masa en g del crisol vacío

$m_2$  = masa en g del crisol con la muestra tras la incineración

P = peso de la muestra en g

### 7.3.3.5 Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra cruda en las muestras de huitlacoche se realizó conforme al método oficial AOAC 985.22/991.43 con algunas modificaciones (AOAC, 2000). Este método cuantifica la fracción de la materia orgánica insoluble en ácido y álcalis, representando la fibra cruda, que incluye celulosa, lignina y algunas hemicelulosas (Nadathur et al., 2008). Las muestras una vez trituradas se trata con una mezcla acida, se filtra, el residuo se lava con etanol y se seca y se pesa. Después de incinerado, se resta el contenido en cenizas del peso que se había obtenido.

$$F [\%] = \frac{((m_1 - m_f) - m_2)}{M} * 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Siendo  $m_1$  = peso tras el tratamiento, es decir, residuo + papel de filtro en g

$m_f$  = peso del papel de filtro seco en g

$m_2$  = peso de las cenizas en g

M = peso de la muestra en g

### 7.3.3.6 Determinación extracto etéreo

La determinación del contenido de lípidos totales (extracto etéreo) en las muestras se realizó mediante el método oficial AOAC 960.39 (AOAC, 2000), el cual se basa en una extracción continua con disolventes orgánicos no polares, mediante un equipo tipo Soxhlet. Las muestras anhidras se extraen con éter dietílico y con éter de petróleo, después se determina gravimétricamente el extracto seco, del que habrán eliminado los disolventes.

$$G [\%] = \frac{m_2 - m_1}{M} 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

$m_1$  = masa en g del matraz redondo/ de fondo plano vacío (con perlas de vidrio)

$m_2$  = masa en g del matraz redondo/ de fondo plano vacío (con perlas de vidrio)

con grasa tras el secado

$M$  = peso de la muestra en g.

#### 7.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó considerando un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un solo factor: variedad de maíz, y dos niveles: maíz azul (Haz) y maíz blanco (HB). Ambas variedades fueron cultivadas en una parcela demostrativa en el municipio de Calpan, Puebla, bajo condiciones de cultivo y prácticas agronómicas similares, para evitar la variabilidad externa y tener confiabilidad en los resultados. Se evaluaron las siguientes variables de respuesta, agrupadas de la siguiente manera:

- Variables agronómicas: porcentaje de mazorca infectada (%), gramos por mazorca infectada (GMI) y número de días con presencia del huitlacoche.
- Variables fisicoquímicas: pH, grados °Brix y acidez titulable.
- Variables sensoriales: prueba de aceptación (primer y segundo orden de preferencia) y atributos de apariencia, forma, color, olor, textura y sabor mediante una escala hedónica de 5 puntos en la descripción sensorial.
- Variables nutrimentales (análisis químico proximal): porcentaje de humedad, cenizas, grasas, proteínas, azúcares reductores y fibra cruda.

Cada análisis se realizó por triplicado, expresando los resultados en valor de su media  $\pm$  desviación estándar. A cada variable de respuesta, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía, con un nivel de significancia del 95% ( $P \leq 0.05$ ). Donde se detectó diferencia significativa, se aplicó la prueba de comparación de medias de Fischer (LSD). El software que se usó fue Statgraphics Centurión, versión 19 y SAS. El modelo estadístico general fue;

$$Y = \mu + \tau + \beta + \varepsilon \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$Y$  = valor observado de la variable de respuesta,  $\mu$  = media general

$\tau$  = efecto del tratamiento (variedad de maíz: azul o blanco)

$\varepsilon$  = error experimental

## VIII. Resultados

En la **parte 1** en el trabajo se dividió en dos: la **etapa 1.1** implementación de los cultivos de maíz e inoculación del huitlacoche con los trabajos culturales para una producción. Y etapa 1.2 muestreo de los huitlacoche de las dos variedades de maíz nativas. Como parte de los trabajos culturales en la implementación del cultivo de maíz, para su inoculación se tienen los siguientes resultados, que pueden verse en las siguientes imágenes (figura 16), la parcela utilizada antes de la limpieza y después de la misma con una superficie de 1 ha, la cual fue realizada en marzo.

a)



b)



**Figura 16.** a) Parcela antes de la limpieza b) Parcela después de la limpieza.

La semilla empleada fue de procedencia de un productor cooperante que se considera de los más productivos del municipio, C. José Velino H. J., la cuales son nativas de la zona, los maíces que se sembraron se presentan en la figura 17 a) maíz nativo blanco y b) maíz nativo azul.



**Figura 17.** a) maíz nativo blanco b) maíz nativo azul

Para la siembra realizada con sembradora de precisión para granos medios, como se ve en la figura 18, en una razón de 15 000 semillas por hectárea, se realizó en ese momento la fertilización granular, con la mezcla 50/50 (Urea/DAP).



**Figura 18.** Siembra y fertilización con sembradora de precisión

La aplicación de las hormonas se llevó a cabo con la aspersora agrícola de la marca comercial SWISSMEX, con el producto Biozyme® en la etapa fenológica del maíz V3 y V7, ver figura 19, acorde a lo que indica el fabricante.



**Figura 19.** Aplicación de hormonas por medio de aplicación foliar por aspersora agrícola

Para el aporque se realizó con apoyo del tractor agrícola y el implemento de arado aporcador como se ve la figura 20, esto se realizó después de la segunda fertilización

granular la cual se realizó con una mezcla (50/50) de urea de la marca comercial YARA y complejo (nitrógeno, fosforo, potasio), utilizándose 100 kg., de la mezcla en la etapa fenológica del maíz V5 y V7.



**Figura 20.** Aporque de milpa con tractor

Se realizó el control de las plagas con aplicación de Cipermetrina de acuerdo con las indicaciones del fabricante, con apoyo de la aspersora agrícola ver figura 21, en la etapa fenológica del maíz V3-V5.



**Figura 21.** Control de plagas con apoyo de la aspersora agrícola

Se realizó la inoculación con *Ustilago maydis* (huitlacoche), inóculo 1 l (3 x 10<sup>6</sup> esporidias) para 1,000 plantas de maíz. E001-57-04 del centro biotecnológico de hongos comestibles funcionales y medicinales del colegio de postgraduados campus Puebla, bajo la dirección del Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera. Se aplicaron con

jeringas de inyección 5 ml, con aguja de dispensadora de 20 Ga, con 0.5 ml en la parte superior y 0.5 ml en la parte del medio de jilote de la planta como se muestra en la figura 22.



**Figura 22.** Inoculación artificial del maíz por medio de inyección con jeringa de plástico.

Las inspecciones se estuvieron realizando desde el día 10 después de la inoculación y posteriormente al día 15 y de ahí de manera continua hasta el día 30, donde se llegó a abrir el totomoxtle de la milpa, para ver el desarrollo como puede verse en la figura 23. También se analizaba la firmeza y color que se tenía en las agallas de huitlacoche.



**Figura 23.** Inspección de la formación de agallas en maíz inoculado.

La cosecha ideal para los huitlacoques sería como se muestra en la figura 24, debido a la integridad del totomoxtle, que ayuda a conservar las agallas integras sin daños físicos, así como la madurez indicada, la cual debe ser gris plateado.



**Figura 24.** Momento idóneo de la cosecha de huitlacoques

**Etapa 1.2** Muestreo de huitlacoques de las diversas variedades de maíz. A continuación, se presentan los resultados de los datos recolectados, que pertenecen a la de los diversos huitlacoques de las variedades de maíces nativos con respecto a la toma de muestra al azar en las parcelas.

El porcentaje de mazorca infectada en maíz nativo variedad azul presentó intervalos de 61.9-100%, mientras el maíz nativo variedad blanca fue de 9-100%. Como se presenta en la tabla 3. Esto se debió a la adaptabilidad de las variedades a las diversas características geográficas, condiciones ambientales-agroecológicas como mencionan Garcilazo (2022), y Pan *et al.* (2008).

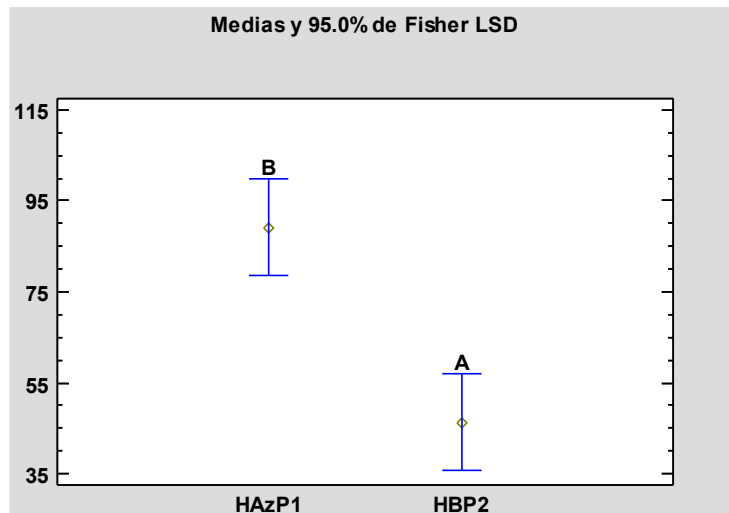
**Tabla 2. Factores agronómicos de interés en el huitlacoche en variedades de maíces nativos de Calpan, Puebla.**

<b>Variedad de Maíz /Análisis</b>	<b>Mazorca infectada (%)</b>	<b>Intervalo de grados de severidad*</b>	<b>GMI (g) gramos por mazorca infectada</b>	<b>Días de presencia de huitlacoche</b>
Nativo Azul (HAzP1)	89.120±15.009	G3-G5	304.60±159.381	24 ±4
Nativo Blanco (HBP2)	46.330±28.188	G1-G5	85.90± 60.888	26 ±6

\*Nota: Severidad 1 (G1) 1-10%, severidad 2 (G2) >10-25%, severidad 3 (G3) >25-75%, severidad 4 (G4) >75-90%, severidad 5 (G5) >90-100%.

Pérez 2023, nos menciona que en la zona del Iztapopocatepetl, zona donde pertenece el municipio de Calpan, Puebla, la importancia local de analizar en maíces criollos y conocer los rendimientos que se presentan en los cultivos para huitlacoche, por lo que podemos tener información de dos variedades de la zona, con % de infección, así como los gramos de las agallas de mazorca ya desgranado como se realiza el análisis de esta variable importante de manera comercial debido a que el kg de huitlacoche se vende por agallas desgranadas.

El análisis de medias mediante la prueba de Fisher al 95 % de confianza, cuyos resultados se presentan de forma gráfica en la figura 25. En ella se observa una diferencia significativa en el porcentaje de infección de la mazorca entre las muestras de huitlacoche de maíz azul (HAzP1) y las de maíz blanco (HBP2), lo que indica un efecto diferencial de la variedad de maíz sobre el grado de infección.



**Figura 25.** Análisis de medias del porcentaje de infección en mazorcas infectadas con huitlacoche, desarrolladas en maíces nativos de Calpan, Puebla. Huitlacoche de maíz azul: HAZP1; Huitlacoche de maíz blanco: HBP2. contra variedad de huitlacoche por tipo de maíz.

Podemos ver en el contraste de las medias de los porcentajes de infección que se muestra en la tabla 3, se tiene diferencias de 42.7 % y variaciones de 21.2%, por lo que podemos analizar de mejor manera las variaciones mayores y menores que se tienen en la infestación por variedad de maíz criollo de la zona.

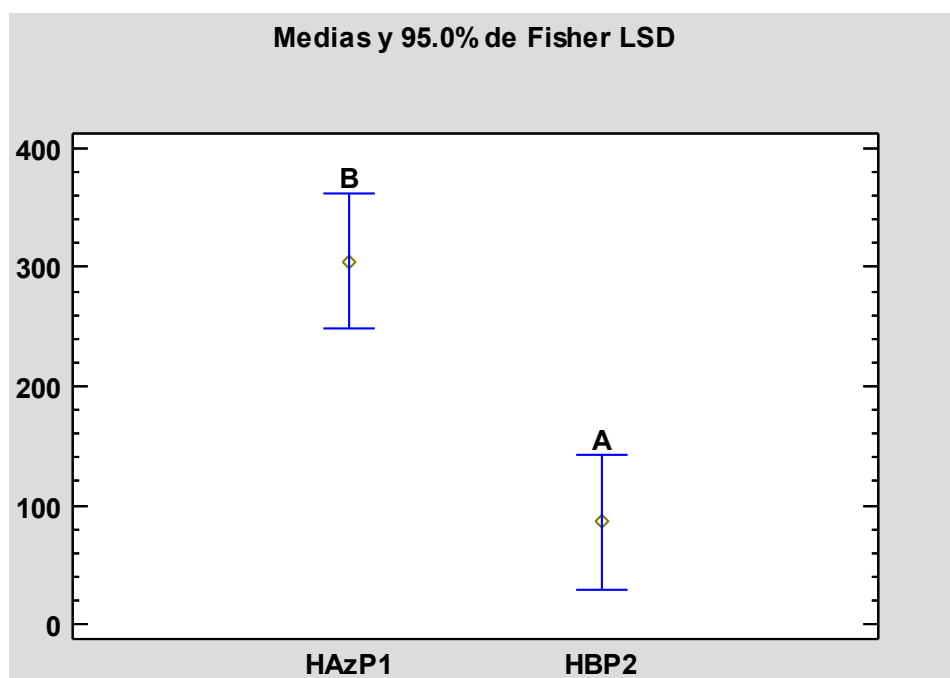
**Tabla 3. Análisis de contraste de dos variedades de huitlacoche de maíces nativos de Calpan, Puebla. Huitlacoche de maíz azul (HAzP1), Huitlacoche de maíz blanco (HBP2).**

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
Maíz nativo azul <b>HAzP1</b> –	*	42.790	21.216
Maíz nativo blanco <b>HBP2</b>			

\* Indica una diferencia significativa.

En el análisis de los gramos por mazorca infectada que se analizó en las agallas ya desgranadas, podemos ver media en el huitlacoche de maíz azul de 300 g y en el caso del huitlacoche blanco de 85 g, donde con lo reportado por Aguayo (2021), en su cuadro 3 en sus 23 muestras donde tiene datos el huitlacoche blanco, está por encima de 5 muestras, si solo tomamos la media y con la media y desviación estándar estaría arriba de 12 muestras, en el caso del huitlacoche azul tendría mejor gramaje que las 23 muestras analizadas, y las 8 muestras analizadas por Garcilazo (2020), reportado en su tabla 2. En el análisis de medias por medio de la prueba

Fischer con el 95% de confianza, podemos considerar que si existe diferencia significativa en los gramos de agallas por mazorca infectada entre los maíces azul (HAzP1) y blanco (HBP2), como se puede ver en la figura 26.



**Figura 26.** Análisis de medias de gramos de mazorca infectada (GMI) con huitlacoche, desarrolladas en maíces nativos de Calpan, Puebla. Huitlacoche de maíz azul: HAzP1; Huitlacoche de maíz blanco: HBP2.

## Parte 2 Análisis en laboratorio

En la tabla 4 se muestran los análisis fisicoquímicos a las agallas de huitlacoche variedades de maíces nativos (azul y blanca) que se realizaron en el taller tipo PROFORCOM-SEP del CBTA 255, Calpan, Puebla.

### Etapa 2.1 Análisis fisicoquímicos

Se muestran los análisis fisicoquímicos que se realizaron en el taller tipo PROFORCOM-SEP del CBTA 255, Calpan, Puebla. En la tabla 4, se muestran los valores de pH, °Brix y acidez titulable, que podemos ver entre los obtenidos de las agallas de los maíces nativos y/o criollos trabajados y dos variedades que comúnmente reportaron Pimentel *et al.* (2011), y que encontramos valores de pH entre 4 y 6 , y que en otros reportes se ha encontrado las variaciones entre 4 y 7.8 por lo que podemos ver que estamos dentro del intervalo reportado y que sin duda considerar los valores para su calidad de vida de anaquel considerando los

microorganismos que afectan al mismo por valores óptimos de desarrollo y consideraciones de sabor de este por los valores reportados. En el caso de los grados Brix, podremos considerar como un factor de importancia en azúcares disponibles para los hongos, la variedad de maíz blanco está en el intervalo similar a lo que reportada por Pimentel *et al.* (2011), 2.13- 3.76 %; mientras que la variedad de maíz azul presento un porcentaje mayor (10.00%) similar a lo reportado por Noyola (2018). Respecto a la acidez titulable los valores en las variedades analizadas están en el intervalo que menciona Pimentel *et al.* (2011), 0.13-0.20 %. Lo que podemos considerar una adecuada madurez de nuestros huitlacoques, teniendo sabor, frescura de este, gracias a estos parámetros.

**Tabla 4. Análisis fisicoquímicos de calidad en agallas de huitlacoche desarrolladas en maíces nativos de Calpan, Puebla.**

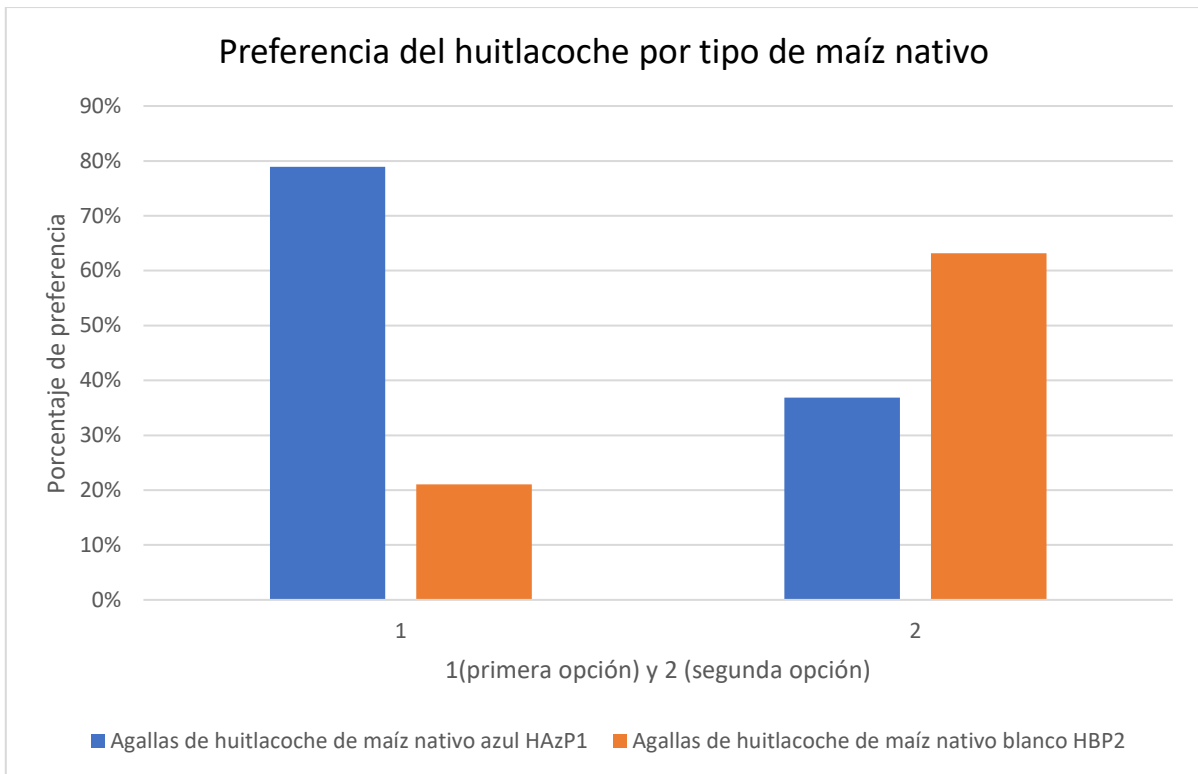
<b>Variedad de agalla de huitlacoche</b>	<b>pH</b>	<b>° Brix</b>	<b>Acidez Titulable (%) meq Ac. Málico</b>
<b>Tipo de análisis</b>			
huitlacoche de maíz nativo azul <b>HAzP1</b>	6.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	10.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>
huitlacoche de maíz nativo blanco <b>HBP2</b>	6.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.00 <sup>a</sup>

Letras diferentes en cada columna indica diferencia significativa Tukey (P≤0.05).

### **Etapas 2.2 Análisis sensorial de las agallas de huitlacoques.**

#### **Análisis Discriminatorio**

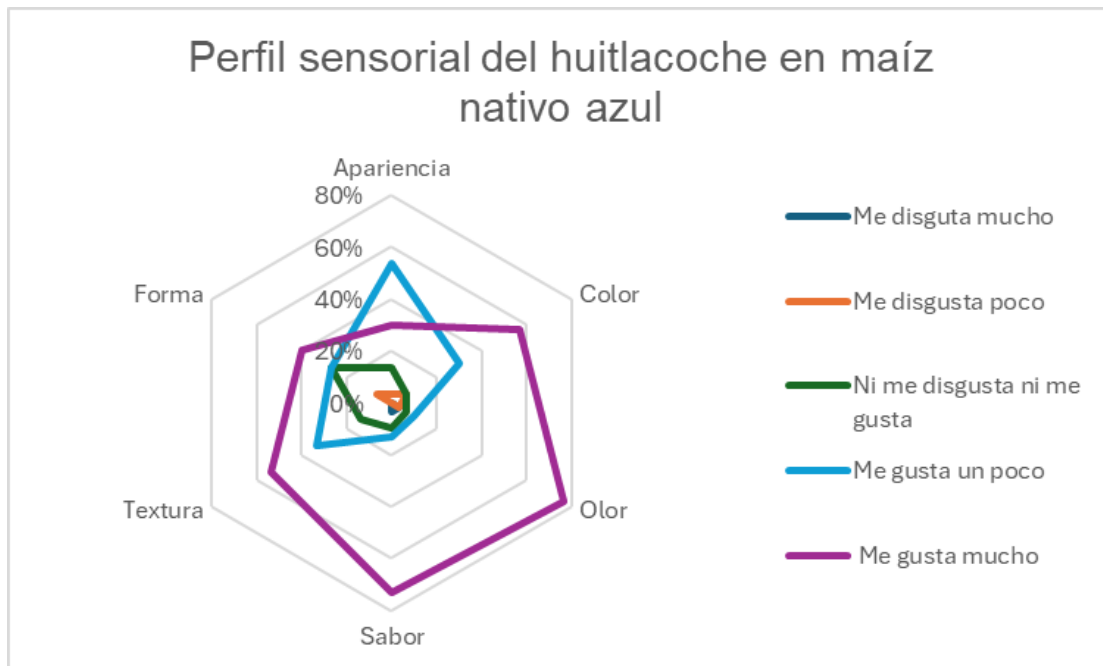
En el análisis sensorial que se ejecutó en la comunidad escolar del CBTA 255 entre una población de 15 a 65 años en un panel de jurado no entrenados donde la encuesta era para ver las preferencias en primer lugar y segundo lugar respectivamente que con ello ellos pudieran discriminadamente elegir la muestra que más les gusta y por lo tanto percibir la preferencia, donde podemos ver en la gráfica de la figura 27 que hay mayor aceptabilidad por el huitlacoche de maíz azul, teniendo casi en 4 veces más la aceptación con respecto al huitlacoche del maíz blanco.



**Figura 27.** Preferencias de agallas de huitlacoche de maíces nativos o criollos de Calpan

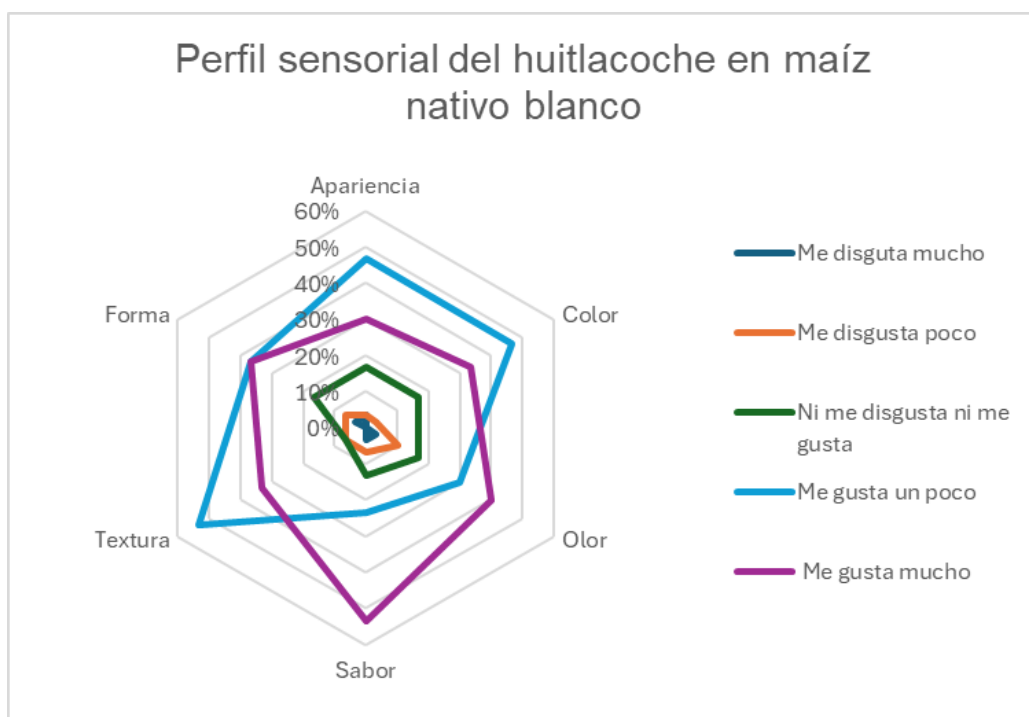
### Analisis Descriptivo

Se muestran a continuación las graficas en la figura 28 y figura 29, de los análisis sensoriales descriptivos de las agallas de huitlacoche de los maíces nativos (azul, blanco), con el panel de jueces no entrenados de la comunidad escolar del CBTA 255, que oscilan entre edades de 15 a 65 años. Podemos ver los parámetros descriptos forma, apariencia, olor, color, textura y sabor. En los análisis realizados por algunos reportes en hongos comestibles son los parámetros más utilizados en estos productos.



**Figura 28.** Perfil sensorial del huitlacoche en el maíz azul

En la gráfica de la figura 28, se aprecia de acuerdo con la escala hedónica empleada de 5 puntos considerándose el 1 como de menor agrado hasta llegar al 5 de mayor agrado, se presentan los análisis en porcentajes de acuerdo con los parámetros analizados, como se percibe los parámetros peores evaluados son apariencia y forma respectivamente, y los mejores son sabor y olor.



**Figura 29.** Perfil sensorial del huitlacoche en el maíz blanco

En el análisis de huitlacoche de maíz blanco nativo y/o criollo podemos ver en la figura 29, que la forma y apariencia, aunque tienen valores bajos no son menores al huitlacoche azul, donde al igual al otro huitlacoche se tiene el parámetro de sabor como el más destacable, sin duda el olor es algo que en este producto no destaca y en comparación de los demás parámetros son menos valorados por los jueces.

### **Etapas 2.3 Análisis químicos proximales**

Los análisis realizados en las variables de interés nutricional que se ven en la tabla 5, porcentajes de humedad, cenizas, grasa, proteína, azúcares reductores, fibra cruda. En los huitlacoques obtenidos de las dos variedades nativas de maíz azul y blanca.

Los valores de humedad fueron de  $91.15 \pm 3.0$  % para huitlacoche azul y  $92.01 \pm 9.0$  % para el blanco, sin diferencia significativa. Este valor es similar a lo reportado por Aydoğdu y Gölükçü (2017), con 90%. Este nivel de humedad implica la necesidad de procesamiento posterior para prolongar la vida útil. El contenido de cenizas fue de  $5.00 \pm 0.5$  % en el huitlacoche azul y  $4.45 \pm 0.0$  % en el blanco. Aunque no hubo diferencia significativa, el contenido en general fue alto en ambos casos. Según Lopez-Martinez *et al.* (2022), de 3.37% y está en la revisión de Villagrán *et al.* (2023), presento el intervalo de 3.37-5.66 %. El contenido de grasas no presento diferencia significativa en ambos tratamientos. Garcilazo *et al.* (2020) y Aydoğdu y Gölükçü (2017) documentan intervalos que van de 0.63 hasta 3.32 %, por lo que podemos decir que nuestros huitlacoques se encuentran dentro de los parámetros propicios. El huitlacoche es bajo en contenido de grasa saturada y colesterol, y a su vez se presenta en gran número y con alto contenido de ácidos grasos esenciales según Méndez-López *et al.* (2019). En cuanto al contenido de proteína, se obtuvo  $15.51 \pm 0.2$  % en huitlacoche azul y  $14.23 \pm 0.1$  % en blanco. Aunque sin diferencia significativa, ambos valores son elevados y superan a los valores reportados por otros autores. Beas *et al.* (2011), Aydoğdu y Gölükçü (2017) reportaron valores entre 12-12.4 %. El contenido proteico en huitlacoche es una fuente relevante de aminoácidos esenciales según Ramírez y Ortiz (2024). Los azúcares reductores presentaron una mayor variación en su contenido:  $63.4 \pm 0.0$  % en huitlacoche azul frente a  $82.20 \pm 0.0$  % en blanco, esto mostro diferencia significativa. El contenido de

fibra cruda mostro diferencia significativa entre las variedades, siendo mayor en el huitlacoche azul ( $13.49 \pm 0.9$  %) frente al blanco ( $10.27 \pm 0.0$  %). Estos valores se encuentran dentro de lo reportado por Hernández *et al.* (2023), quienes indicaron un valor de 11.67 %. El contenido de fibra favorece la digestión y puede mejorar el tránsito intestinal, otorgando propiedades funcionales al huitlacoche como menciona Aydoğdu y Gölükçü (2017).

**Tabla 5. Análisis químicos proximales de los huitlacoche de maíces azules y blancos de Calpan.**

Tipo de huitlacoche	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Azúcares reductores (%)	Fibra cruda (%)
huitlacoche de maíz nativo azul <b>HAzP1</b>	$91.15 \pm 0.00$ b	$5.00 \pm 1.00$ a	$1.56 \pm 0.03$ a	$15.51 \pm 0.00$ a	$63.40 \pm 10.11$ b	$13.49 \pm 0.00$ a
huitlacoche de maíz nativo blanco <b>HBP2</b>	$92.25 \pm 0.00$ a	$4.45 \pm 0.00$ a	$2.01 \pm 0.42$ a	$14.23 \pm 2.24$ a	$82.20 \pm 4.20$ a	$10.27 \pm 0.00$ b

Letras diferentes en cada columna indica diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## IX. Conclusiones

Se analizaron 2 tipos de huitlacoche (*Ustilago maydis*) proveniente de variedades nativas de maíces (azul y blanca) del municipio de Calpan, Puebla. En calidad: fisicoquímica, sensorial y nutrimental.

Se establecieron los cultivos de maíz (*Zea mays*) de tres variedades (amarillo, azul, blanco) en 4 parcelas de productores cooperantes de temporal en el municipio de Calpan en su localidad San Andrés Calpan, tomando para el trabajo de una parcela demostrativa.

Se realizaron las labores culturales en los cultivos de maíz, en una hectárea, con apoyo de maquinaria agrícola, así como el proceso que los productores de 2 o más hectáreas están implementando últimamente en la región y que están teniendo rendimientos arriba de la media de la zona que es de 2.488 Toneladas/Hectárea.

Logramos realizar la inoculación en todos los cultivos hasta en dos periodos y obtener dos cosechas siendo la mejor opción en el segundo periodo la cosecha, por mejor uniformidad del ciclo vegetativo de la planta de maíz, logrando obtener agallas de huitlacoche en los cultivos de maíces nativos o criollos (azul y blanca).

Analizamos en los dos tipos de huitlacoques fisicoquímicamente su, pH, ° Brix, acidez titulable, comparando con otros informes de otros huitlacoques teniendo diferencias significativas.

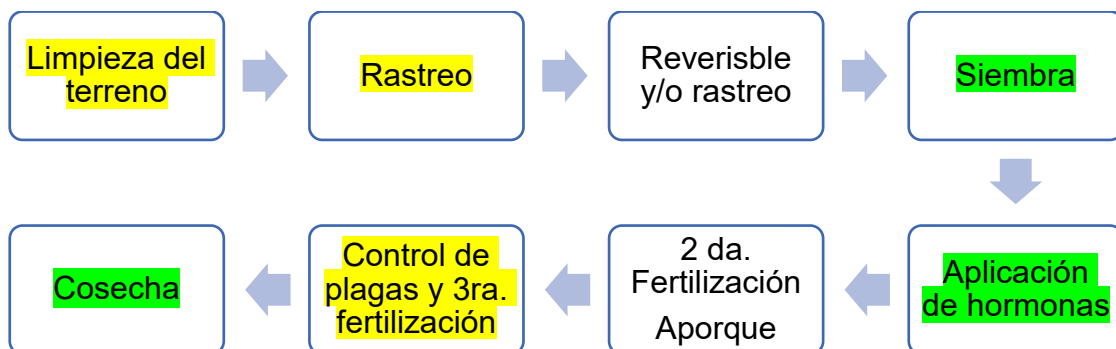
Se realizó el análisis sensorial de manera discriminaria donde la variedad azul fue favorecida teniendo diferencia significativa, y se describieron las características sensoriales (forma, apariencia, color, olor, sabor y textura) de los dos tipos de huitlacoche, de maíces nativos (azules y blancos).

Se hizo la tabla con el análisis químico proximal (nutrimental) de los dos tipos de huitlacoques de las variedades nativas (azul y blanca) del municipio de Calpan, y se comparó con lo reportado en la región por el Colegio de posgraduados campus Puebla y el análisis realizado a huitlacoques de la zona de Huaquechula por la BUAP

campus Izúcar de Matamoros que es uno de los principales productores de estado de Puebla y lo reportado en la literatura.

## X. Recomendaciones

La propuesta de recomendación para las labores culturales a realizar en el cultivo de maíz en la zona para ir adaptando las tecnologías limpias se dejarán las marcadas con sus adaptaciones.



Las actividades que no están marcadas se aconsejan que se dejen de hacer, así como las que están en amarillo podrían realizarse con las condiciones siguientes: Limpieza del terreno como se mostró con el implemento de desbrozadora depende del tipo de cultivo sería la altura a la que se realice, así considerar el tipo de desbrozadora por cultivo no solo considerar la presentada. El rastreo se considera se pueda realizar con la menor profundidad posible solo como se ha comentado para integrar los residuos agrícolas anteriores. El control de plagas y fertilización foliar, considerar la aspersora que se maneja solo en casos necesarios, con sus implementos de mayor espacio por aplicación, ya que se debe evitar la compactación del suelo por el uso del tractor y del implemento de la aspersora, la opción de drones podría considerarse a futuro, sin duda la siembra, aplicación de hormonas y cosecha serian acciones que se consideran no dejar de hacer, y si puede notar se quita en la siembra la primera fertilizada debido a la poca eficiencia de la misma en esa etapa del cultivo.

Se debe tener claro que los suelos agrícolas de la zona están muy dañados con mínima cantidades de materia orgánica que conlleva a tener un planteamiento de pasar de acciones que conlleven el uso de alternativas de la agricultura de conservación y posteriormente a la agricultura regenerativa, teniendo en cuenta que

el tiempo será un factor importante a considerar y que las acciones deben estar pensadas a considerar los cambios del suelo desde la aportación de materia orgánica hasta las labores de menor movimiento hasta su manejo con opciones que conlleve a tener suelos sanas y fértiles, así como opciones del manejo que faciliten el manejo o se vean las bondades del suelo como fuente de la diversificación de las propiedades sensoriales, nutrimentales de los cultivos y que ello pueda darle otra apreciación por parte de los consumidores y ello fomente el precio así como su consumo.

En la inoculación de las plantas de maíz deberá tenerse en cuenta que en los maíces criollos el crecimiento fenológico es más disparejo, por lo que puede realizarse dos o tres inoculaciones en periodos diferentes, considerándose por la experiencia en la zona realizarse en dos periodos con separación de 15 a 30 días de acuerdo a las condiciones, y las plantas restantes considerarse para obtener maíz, por lo que el marcaje en donde se realiza la inoculación con dólar la hoja de la milpa en donde se inocula es una buena manera en el campo de hacerse sin elevar costos y teniéndose buena referencia para sus revisiones posteriores. Para conocer las plantas de manera idónea para su inoculación deberá conocerse bien las etapas fenológicas del desarrollo de la planta, existen cursos donde los instructores no identifican bien las etapas por tener pocas plantas, parte del éxito es conocer la planta de maíz bien.

En la cosecha de los huitlacoques podrá hacerse analizando el totomoxtle con la experiencia algunas agallas de huitlacoche quedan expuestas cuando ya se está pasando la maduración por lo que puede hacerse este considerando que las agallas expuestas por lo general tendrán daño mecánico, más en las agallas cubiertas por el totomoxtle muchas veces aún tienen características idóneas para su consumo.

Las agallas de huitlacoche poseen características de forma diversas, pudiéndose clasificar en 4-6 grupos donde para su manipulación al cocinar puede resultar más fácil por las características similares, por lo que la clasificación de las agallas es algo que debe tenerse en cuenta para ofertar un producto más homogéneo. Igual cabe mencionarse que el porcentaje de agallas de huitlacoche con defectos (mecánicos) al desgranarse son mínimos pero que es necesario retirarlos.

Las agallas de huitlacoche toman características del maíz como el color y sabores, en el que se inocula por lo que en la percepción del cliente el color, si resulta atractivo en el momento de la compra, por lo que puede analizarse este impacto contra sus características sensoriales para la toma de decisión.

La gente joven entre 15 a 18 años no conocen casi en su totalidad el sabor del huitlacoche, por lo que presentárselos en guisos conocidos y agradables para ellos pueden conocer el sabor e irles inculcando estos productos dentro de su dieta, como en pizza de huitlacoche, quesadillas, caso contrario en la gente adulta este producto les provoca aun nostalgia y consideran es difícil su obtención para consumo y la gente de las zonas productoras consideran que los huitlacoques inoculados no tendrán sabor, cosa que cambia cuando prueban los inoculados artificialmente en maíces nativos. El fomento de consumo es importante para que sea considerado en las dietas de las nuevas generaciones, así como de toda la población que puede aprovechar sus aportes nutrimentales, en la gran variedad de platillos en que en las últimas ferias gastronómicas se han ido incluyendo.

En el sistema milpa que fomenta la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad. El cultivo de huitlacoche se considera una alternativa más para poder cumplir esto, con la generación de mayores ingresos a los pequeños productores de temporal de la zona.

## XI. Referencias

1. A. Fox y G. Cameron (2009), *Ciencia de los alimentos, nutrición y salud*, Limusa, México.
2. Aguayo-González, D. J., Guevara-Lara, F., Luna-Ruiz, J. D. J., Pérez-Cabrera, L. E., García-Munguía, C. A., & García-Munguía, A. M. (2021). Pathogenicity of *Ustilago maydis* strains for production under controlled conditions. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(3), 513-524.
3. Amador, K., Pérez-Cabrera, L., Posadas-Del Río, F., Chávez-Vela, N., Martínez-Bustos, F., Sandoval-Cardoso, M., & Guevara-Lara, F. (2016). Evaluación de un totopo horneado de maíz azul con huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 792-797.
4. Ansúrez Domínguez, J. C. (2021). Incidencia de *Ustilago maydis* (DC) Corda en cultivares comerciales de maíz en el valle de Toluca, estado de México.
5. Anzaldúa, M. A. (2005). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica, ACRIBIA, España.
6. AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed., *The Association of Official Analytical Chemists*, Gaithersburg.
7. Arellano-Galicia, L. J., Zaldívar-Cruz, J. M., del Rivero-Bautista, N., Hernández-Natarén, E., y Zúñiga-Aguilar, J. J. (2019), Detección de Hongos en Maíces Destinados al Consumo Humano. *AGROECOSISTEMAS TROPICALES*, 134.
8. Astiasarán Anchia, I., Lasheras A. B., Ariño P. A.H., Martínez H. J. A., (2003). *Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria*. Ediciones Díaz de Santos.
9. Aydoğdu, M., & Gölükçü, M. (2017). Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by *Ustilago maydis*. *Food Science and Technology*, 37, 531-535.
10. Beas, R., Loarca, G., Guzmán, S. H., Rodríguez, M. G., Vasco, N. L., & Guevara, F. (2011). Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 42(2), 36-44.
11. Carpenter J. R., Lyon H. D. & Hasdell A. T., (2000). Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos, Editorial ACRIBIA, España.

12. Castañeda de León, V. T. (2018). Mejoramiento de las características productivas y comerciales del huitlacoche” mediante la infección controlada del hongo *Ustilago maydis*, Como innovación tecnológica del maíz para las comunidades rurales, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Tesis de Doctorado.
13. CODEX ALIMENTARIUS, (2022). NORMA GENERAL PARA LOS HONGOS COMESTIBLES Y SUS PRODUCTOS, CXS 38-1981, Adoptada en 1981. Enmendada en 2022. Obtenido de <https://bsu.buap.mx/fvZ>.
14. Colegio de Posgraduados (COLPOS), (2020), La cosecha del huitlacoche, <https://bsu.buap.mx/fvS>.
15. Ducauze J.C. (2006), Fraudes alimentarios legislación y metodología analítica, Editorial ACRIBIA, España.
16. Escalante Pérez, C. (2013). Estudios de la relación del maíz al huitlacoche con fines de planificación de la cosecha (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo). Tesis de doctorado.
17. FAO. (2018). Organización de las Naciones Unidas y Agricultura en Alimentos.
18. FAO. (2020). Organización de las Naciones Unidas y Agricultura en Alimentos.
19. Gamez D. V., (2018), Evaluación de inóculos de *Ustilago maydis* en maíces de la región de Acatzingo, Puebla para la producción de huitlacoche. Tesis Requisito Para Obtener El Grado De: Licenciada En Ingeniería Agroindustrial. BUAP, complejo regional centro (Tecamachalco).
20. Garcia G.J. & Rodriguez L. A. D. (2004). Industrias químicas y agroalimentarias análisis y ensayos, Editorial Alfaomega, México.
21. Garcilazo Rahme, O. (2020). Susceptibilidad de ocho variedades de maíz para el cultivo comercial de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en Nopalucan de la Granja, Puebla-México. Tesis de Posgrado.
22. Golik, Silvina Ines; Larran, Silvina; Gerard, Guillermo Sebastián; Fleitas, María Constanza; Golik, Silvina Ines, (2018), Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química; Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales;10-32.
23. Goyal, K., Singh, N., Jindal, S., Kaur, R., Goyal, A., & Awasthi, R. (2022). Kjeldahl Method. In A. Goyal & H. Kumar (Eds.), *Advanced Techniques of Analytical Chemistry* 1, 105–112. *Bentham Science Publishers*.
24. Hart & Fisher (1984), Análisis moderno de los alimentos, Acribia, España.

25. Hellin, J. Keleman A., Lopez D., Donnet L., Flores D., (2013), La importancia de los nichos de mercado: Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Rev. fitotec. mex* [online]., vol.36, suppl., pp.315-328. ISSN 0187-7380.
26. Hernández Castañeda, D. T. (2023). Análisis del cultivo de cepas heterocarióticas de *Ustilago maydis* (Cuitlacoche). <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/3731>.
27. Hernández-Carnalla, L., Olvera-Torres, F., Teliz- Ramírez, L. E., Luna-Fernández, V. G., Palma Salas, M., y Velázquez -Domínguez, A., (2023). De plaga a alimento nutritivo: elaboración de harina huitlacoche *Ustilago maydis*. *RD-ICUAP*, 9(25), 118–125. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2023.25.1051>
28. Herrera, J. R. (2008). *Ustilago maydis*: ascenso de un hongo mexicano de la gastronomía local al mundo científico. *Nova Scientia*, 1(1), 118-135.
29. INEGI (2010). Compendio de información geográfica municipal. INEGI (2020). Consultado en febrero de 2025 en <https://bsu.buap.mx/fvU>.
30. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), (2023), Huitlacoche para una alimentación saludable, <https://bsu.buap.mx/fvV>.
31. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), (2024). Inoculación del huitlacoche, <https://x.com/inifap/status/1747638154411327974>.
32. J. Doebley, A. Stec (1993). Inheritance of the Morphological Differences Between Maize and Teosinte: Comparison of Results for Two F2 Populations. *Genetics Society of America*, Número 134.
33. Kirk S.R., Sawyer R., & Egan H., (2008), Composición y análisis de alimentos de Pearson, Grupo editorial PATRIA, México.
34. Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food: principles and practices. Springer Science & Business Media.
35. Lee, B. H. (1996). *Fundamentos de biotecnología de los alimentos*. Acribia.
36. López, J. M. S., Saldaña, M. C. M., Camacho, R. R., Morales, R. M. C., Cardoso, M. L. S., & Lara, F. G. (2017). Capacidad antioxidante y caracterización fitoquímica de extractos etanólicos de huitlacoche (*Ustilago*

- maydis-Zea mays*) crudo y cocido. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 48(3), 37-47.
37. López-González, J. L., Méndez-Espinosa, J. A., Rappo-Miguez, S. E., Damián-Huato, M. Á., Álvarez-Gaxiola, J. F., & Paredes-Sánchez, J. A. (2018). Transformaciones territoriales y estrategias de supervivencia: el caso del municipio de Calpan, Puebla-México 1990-2015. *Papeles de población*, 24(97), 255-283.
  38. López-Martínez, L. X., Aguirre-Delgado, A., Saenz-Hidalgo, H. K., Buenrostro-Figueroa, J. J., García, H. S., & Baeza-Jiménez, R. (2022). Bioactive ingredients of huitlacoche (*Ustilago maydis*), a potential food raw material. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100076.
  39. Martínez J.A.J., 2018, Huitlacoche un subproducto del maíz como alternativa de valor agregado para los productos, Divulgación CIMMYT, <https://bsu.buap.mx/eef>, consultado 22 de abril del 2024.
  40. Martínez, D. M. (2014). Dinámica y crecimiento de raíces en cultivo de maíz con biofertilizantes y fertilización química.
  41. Martínez-Flores, A., Corrales-García, J. J., Espinosa-Solares, T., García-Gatica, P. G., & Villanueva-Verduzco, C. (2008). Cambios postcosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (DC) Corda). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 14(3), 339-346.
  42. Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J. C., & Vázquez-Carrillo, M. G. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 289-301.
  43. Matissek, R., Schnepel, F., Steiner, G. (1998). Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones. España: Ed. Acribia.
  44. Medina, D. G. A. M., & González, M. L. C., (2023), Huitlacoche: El hongo comestible más mexicano, Hablemos claro de alimentos, *Alimentos con ciencia*. <https://bsu.buap.mx/fvW>.
  45. Méndez-López, A., Sánchez-Vega, M., Torres, J. C. S., Yudith, S., & Martínez-Amador, A. I. L. R. (2019). El cultivo de huitlacoche: alimento nutritivo y sustentable. *Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología*, 9-12.
  46. Mendoza, P. J. G. (2017). El cultivo del maíz en el mundo y en Perú. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*, 4(2), 73-79.

47. Montaño, M. V. G. (Ed.). (2019). Nuestra cultura alimentaria del maíz, diversidad de saberes y prácticas. UNAM, Escuela Nacional de Trabajo Social. ISBN: 9786073015295
48. Nadathur, S. R., Wanasundara, J. P. D., & Scanlon, M. G. (2008). Development and evolution of methods used to extract and measure dietary fiber. In Dietary Reference Intakes: Proposed Definition of Dietary Fiber. National Academies Press (US). C
49. Najar A. 2019, El lucrativo negocio del huitlacoche, el hongo que en México es un manjar y en el resto del mundo una plaga, BBC News Mundo, México, consultado en febrero 2025 en <https://bsu.buap.mx/fvX>.
50. Norma CODEX, Norma general para los hongos comestibles y sus productos1 CXS 38-1981, 2022, <https://bsu.buap.mx/eeq>, consultado 22 de abril 2024.
51. Noyola Méndez, L. (2018). Propiedades funcionales de las agallas de huitlacoche (*Ustilago maydis*) comercializado en la región central de México (Master's thesis) Tesis de maestría.
52. Paliwal, R. L. (2001). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción (Vol. 28). Food & Agriculture Org.
53. Paredes-Sánchez, J. A. (2018). Maíz (*Zea mays L.*) Y Seguridad Alimentaria En El Municipio De Calpan, Puebla-México. Agro Productividad, 11(1).
54. Pérez J.G., 2023, El huitlacoche o cuitlacoche es un tesoro culinario único de México., Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, <https://bsu.buap.mx/fvT>, consultado el 22 de abril del 2024.
55. Pimentel-González, D. J., Rodríguez-Huezo, M. E., Campos-Montiel, R. G., Trapala-Islas, A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2011). Influencia de la variedad de maíz en las características fisicoquímicas del huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(2), 171-178.
56. R. M. Medina Sauza, M. Peña Cabrera, F. Hernández Quinto (2019) Huitlacoche Materia prima para la elaboración de productos alimentarios; aumento de su valor comercial, Avance Tecnológico, año 11, No. 24, Julio-Diciembre 2019, es una publicación semestral editada por el Instituto Tecnológico Superior de Libres, numero: 04-2017-081513312100-203, con número de ISSN 2594-1089
57. Ramírez V. M. D. L. y Ortiz S. R., (2024). Hongo huitlacoche (*Ustilago maydis*) y sus propiedades nutricionales para la alimentación del

- mexicano. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (92), 10.
58. Ramírez-Vega, M. de L., & Ortiz-Salinas, R. (2024). Hongo huitlacoche (*Ustilago maydis*) y sus propiedades nutricionales para la alimentación del mexicano. *Investigación Y Ciencia De La Universidad Autónoma De Aguascalientes*, (92). <https://doi.org/10.33064/iycuaa2024926089>.
59. Renneberg, R. (2019). *Biología para principiantes*. Reverte. España.
60. Ritchie, SW, JJ Hanway y GO Benson. 1993. Cómo se desarrolla una planta de maíz. Spec. Rep. 48 (revisado). Servicio Externo Cooperativo de la Universidad Estatal de Iowa de Ciencias y Tecnología, Ames, IA. <https://bsu.buap.mx/fvJ>.
61. S. Suzanne Nielsen, 2003, Análisis de los alimentos. Manual de laboratorio, Acribia, España.
62. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), (2020), Desarrolla Colpos métodos para potenciar producción de huitlacoche, comunicado NÚM. 163 / Ciudad de México.
63. Salazar López, J. M. (2018). Efecto del huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*) sobre indicadores de glicemia y lipidemia en ratas diabéticas.
64. Sánchez Ortega, I., & Pérez-Urria Carril, E. (2014). Maíz i (*Zea mays*). *Reduca (Biología). Serie Botánica. 7 (2): 151-171, 2014*. ISSN: 1989-3620.
65. Smith, J. E. (2004), *Biología*, Acribia. Primera edición.
66. Solís Mendoza, J. R., Ruelas Chacón, X., Méndez López, A., Fuentes Lara, L. O., & Reboloso Padilla, O. N. (2021), Desarrollo y evaluación de los parámetros de calidad de un totopo funcional a base de huitlacoche.
67. Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). *Sensory Evaluation Practices*. A volume in Food Science and Technology.
68. Valadez azua R., Moreno Fuentes A., Gómez Álvarez G., (2011), Cujtlacochoi. El huitlacoche. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de investigaciones antropológicas.
69. Valadez Azúa, R., Moreno Fuentes, A., & Gómez Álvarez, G. (2015). Cujtlacochoi. El huitlacoche.
70. Valdez, T., Soto, L., Osuna, T., & Báez, M. (2012). La Fenología del Maíz y su Relación con la Incidencia de Plagas. *INTAGRI SC Formato PDF. (En línea). Consultado el, 3.*

71. Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International journal of microbiology*, 2015(1), 376387.
72. Vázquez-Chávez, L., y Zarazúa-Sánchez, Z. (2023). Evaluación Física y Sensorial de Pastas hechas con mezclas de harinas de trigo y Huitlacoche (*Ustilago Maydis*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 68-72.
73. Villa T. M. de L. (2022), Conocer el ciclo de vida del huitlacoche permite tener una mayor productividad en su cultivo, El Colegio Nacional, <https://bsu.buap.mx/fvY>, consultado 22 de abril 2024.
74. Villagrán, Z., Martínez-Reyes, M., Gómez-Rodríguez, H., Ríos-García, U., Montalvo-González, E., Ortiz-Basurto, R. I., ... & Pérez-Moreno, J. (2023). Huitlacoche (*Ustilago maydis*), an iconic Mexican fungal resource: biocultural importance, nutritional content, bioactive compounds, and potential biotechnological applications. *Molecules*, 28(11), 4415.
75. Xochipa-Morante, M. J. R., Xochipa-Morante, R. C., Luis, J., Carmona-Silva, D. H. V. P., & Macías-López, A., 2024, Recolección de Hongos Comestibles Silvestres en la Sierra Nevada de Puebla: Alternativa de Diversificación Productiva y Desarrollo Territorial. *Revista Ciencia, Tecnología y Sociedad* 51 Vol. 4, No. 1, 2024 ISSN 2691-1728.
76. Zapata, F. B. (2002). *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI: Retos y Oportunidades* (Vol. 1). Fondo de Cultura Económica USA.
77. Zepeda-Jazo, I. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(1), 99-108.
78. Zúñiga, F. B., Prieto, J. L. P., Bistrain, R. P., Jiménez, E. C., & Carranza, M. D. C. D. (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. H. D. González (Ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.

## Glosario

**AOAC:** AOAC INTERNATIONAL se fundó en 1884 como la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales. Posteriormente, se adoptó el nombre de Asociación de Químicos Analíticos Oficiales para reflejar mejor otras áreas de interés en seguridad.

**Brix:** El grado Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) es una medida que indica la concentración de sólidos solubles en un líquido, generalmente azúcares. Se utiliza comúnmente en la industria alimentaria y agrícola para determinar la madurez y calidad de frutas, jugos, vinos y otros productos.

**CBTA:** Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario, es una institución de educación media superior en México que ofrece programas técnicos enfocados en áreas relacionadas con la agricultura y la ganadería.

**CODEX:** El Codex Alimentarius, o “Código Alimentario”, es un conjunto de normas, directrices y códigos de prácticas aprobados por la Comisión del Codex Alimentarius. La Comisión, conocida también como CAC, constituye el elemento central del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias y fue establecida por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) con la finalidad de proteger la salud de los consumidores y promover prácticas leales en el comercio alimentario.

**Fenología:** Estudio de los fenómenos biológicos en relación con el clima, particularmente en los cambios estacionales.

**GMI:** Gramos de huitlacoche por mazorca infectada. Es una medida utilizada para cuantificar la cantidad de huitlacoche que se produce en cada mazorca de maíz que ha sido infectada por el hongo *Ustilago maydis*.

**pH:** Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. Entre 0 y 7 la disolución es ácida, y de 7 a 14, básica.

**PROFORCOM:** Programa de Formación de Recursos Humanos Basada en Competencias

## Anexos

Anexo I

### Formato de análisis sensorial para prueba discriminatoria

<p>Nombre del juez: _____</p> <p>Hora: _____</p> <p>Fecha: _____</p> <p>Nombre del producto: _____</p> <p>Instrucciones</p> <p>Frente a usted hay dos muestras indique si las muestras son diferentes o iguales.</p> <p>Evaluar y marcar con una palomita la de su agrado.</p> <p>Muestra 1: _____ Código: _____</p> <p>Muestra 2: _____ Código: _____</p>
--

Anexo II

### Formato de análisis sensorial para prueba descriptiva

Código de la muestra	<p>Nombre del juez: _____</p> <p>Producto: _____</p> <p>Hora: _____</p> <p>Fecha: _____</p> <p><b>Instrucciones:</b> Marca con una X la expresión que usted considere para la muestra.</p>					
	Características para evaluar	Me disgusta mucho	Me disgusta poco	Ni me disgusta ni me gusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho
	Apariencia					
	Color					
	Olor					
	Sabor					
	Textura					
	Forma					