



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Posgrado en Ciencias Biológicas

DIVERSIDAD EN MAÍCES NATIVOS Y SELECCIÓN DE  
LOS MAÍCES PIGMENTADOS MORADOS Y ROJOS DE  
YUCATÁN

Tesis que presenta

ELIA MARÍA KU PECH

En opción al título de

DOCTORADO EN CIENCIAS

(Ciencias Biológicas: OPCIÓN RECURSOS NATURALES)

Mérida, Yucatán, México

2023



**CONAHCYT**  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



*CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS*



#### RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de **Elia María Ku Pech** titulado “**Diversidad en maíces nativos y selección de los maíces pigmentados morados y rojos de Yucatán**”, fue realizado en la Unidad de Recursos Naturales, en la línea de investigación Agrobiodiversidad para la Sustentabilidad Ecológica y Cultural, del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección del **Dr. Javier Orlando Mijangos Cortés** dentro de la opción de Recursos Naturales, perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas de este Centro.

Esta tesis tiene orientación al desarrollo socioeconómico de la región centro, sur y oriente del estado de Yucatán, puesto que el germoplasma colectado proviene de agricultores maiceros de dichas zonas y los resultados obtenidos van dirigidos hacia ellos.

Atentamente

---

Dra. Cecilia Hernández Zepeda  
Directora de Docencia

Mérida, Yucatán, México, a 27 de noviembre de 2023

## DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de investigación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.



Firma: \_\_\_\_\_

Elia María Ku Pech



Este trabajo se llevó a cabo en la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y forma parte del proyecto titulado Conservación, uso sostenible, incremento de la capacidad productiva y revalorización de la milpa maya en Yucatán YUC-2018-03-03-119959, bajo la dirección del **Dr. Javier O. Mijangos Cortés**.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la beca CONAHCYT otorgada con número de CVU 817460. Al proyecto FOMIX “Conservación, uso sostenible, incremento de la capacidad productiva y revalorización de la milpa maya en Yucatán YUC-2018-03-03-119959”, así como a los Apoyos Complementarios para la inclusión de personas estudiantes de Posgrado de Nacionalidad Mexicana Indígena del CONAHCYT.

A mi director de tesis Dr. Javier O. Mijangos Cortés, así como a mi comité tutorial integrado por el Dr. Enrique Sauri Duch, Dr. Luis Latournerie Moreno, Dr. Ignacio Islas Flores, a todos ellos por su gran disponibilidad, profesionalismo y aporte a esta investigación. Gracias por su valioso tiempo compartido para conmigo. De antemano al Dr. Mijangos por aceptarme como estudiante para la Maestría y continuar bajo su formación en el Doctorado.

A los investigadores: Dra. Azucena Canto, Dr. José Luis Andrade Torres, Dr. Juan Candeler de la Cruz, M.C. Agustín Pineda Doperto, Dr. Víctor M. Moo Huchim, por su apoyo en momentos cruciales de la tesis.

Al laboratorio de Polifenoles y Salud (POLYHEALTH) del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición: Dra. Sonia de Pascual-Teresa Fernández y al M.C. Joaquín García Cordero, por permitirme realizar la estancia de investigación en dicho centro.

A los técnicos José Luis Simá Polanco, Miguel A. Fernández Barrera, Matilde M. Ortiz García, Roberth Us, Rosalina Rodríguez, Ing. Luis Mis. A los estudiantes del Instituto Tecnológico de Tizimín: Jorge Fco. Pech López, Nazly Cupul Canché, Alex Balam, Jorge Cauich. A los estudiantes del Instituto Tecnológico de Mérida específicamente al laboratorio de instrumentación analítica: Ivanka E. Ramírez de la Cruz, María E. Ávila Villanueva, María Luisa Hernández Hernández y en especial a Emilio Piña Betancourt, por su invaluable apoyo. A los estudiantes del Instituto Tecnológico de Conkal: María Gpe. Can Ceballos, Ileana Gómez, Gary L. Góngora Anca. A la M.C. Lucía del Carmen Chi Chi.

Gracias a todos los productores maiceros de las comunidades de Yucatán que proporcionaron el germoplasma para efectuar el proyecto, en especial a los productores de Xoy, Peto, Yucatán: Pedro Poot, Nazario Poot, Ignacio Poot, Antonio Cuxim y Casimiro Pinzón por sus sabias enseñanzas.





## **DEDICATORIAS**

A mi esposo por ser mi compañero en momentos de tensión y estrés, siendo un gran soporte. Gracias por el gran apoyo y colaboración en este proyecto para resolver las problemáticas que se me presentaban.

A mi madre, por proporcionarme los estudios básicos a pesar de no tener la solvencia económica en su momento, esperando se sienta orgullosa de este logro.

A mi padre que, aunque ha partido de este mundo, me enseñó que nada es regalado en esta vida.

A mi hermana Alejandra por enseñarme las primeras letras y a tener una lectura fluida desde los seis años, sentando así las bases de mi aprendizaje.

A mi hermano Santos y familia, porque gracias a él pude contar con los recursos para llegar hasta aquí.

A la familia de mi esposo, suegra y tías que me apoyaron desde que terminé la maestría y continué con el Doctorado, han sido mi gran familia.



## **LISTA DE LOS PRODUCTOS GENERADOS**

Artículo de divulgación “Revalorizando a la milpa maya en Yucatán: Incremento de la capacidad productiva”.

Artículo de divulgación “Los maíces nativos de la Península de Yucatán: la maravilla en sus colores”.

Artículo de divulgación “Revalorizando a la milpa maya en Yucatán”.

Artículo científico “Diversidad del Maíz en tres zonas geomorfológicas de Yucatán, México”.

Cinco cursos impartidos, tres talleres y más de 10 ponencias nacionales e internacionales derivados de este proyecto de investigación.

Formación de dos estudiantes tesistas de licenciatura Jorge Francisco Pech Canul y Nazly Leticia Cupul Canché, derivados de este proyecto de Doctorado y cuatro residentes.

Retribución social a productores del municipio de Espita y Tizimín impactando en comunidades como Colonia Yucatán y Manuel Cepeda Peraza, incidiendo en más de 500 productores de Yucatán, con la distribución de semilla obtenida de la evaluación en campo, así como con la formación en cadena.



---

---

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	3
ANTECEDENTES.....	3
1. El maíz nativo en Yucatán.....	5
2. Compuestos bioactivos en el maíz nativo .....	6
JUSTIFICACIÓN .....	8
HIPÓTESIS.....	9
OBJETIVO GENERAL .....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
ESTRATEGIA EXPERIMENTAL .....	10
1. Recolecta de germoplasma .....	11
2. Caracterización fenotípica de recolecta.....	11
3. Evaluación agronómica .....	11
3.1. Descriptores agromorfológicos y de calidad estudiados .....	11
4. Evaluación bioquímica.....	11
CAPÍTULO II .....	13
DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE RECOLECTAS EN MAÍCES NATIVOS PARA CONSERVACIÓN Y SELECCIÓN EN YUCATÁN.....	13
2.1. INTRODUCCIÓN .....	13
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	15
2.2.2. REGIONES DE RECOLECTA DE GERMOPLASMA.....	15
2.2.3. RECOLECCIÓN DEL GERMOPLASMA.....	17
2.2.4. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE LAS RECOLECTAS (MAZORCA).....	17
2.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN .....	19
2.2.5.1. Regiones de recolecta.....	19
2.2.5.2. Análisis fenotípico de las poblaciones (Pob) .....	19
2.2.5.3. Análisis de componentes principales y de similitud.....	20
2.2.5.4. Análisis discriminante.....	20
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21

---

---

2.3.1. ÁREA GEOGRÁFICA DE RECOLECTA DE GERMOPLASMA EN YUCATÁN, MÉXICO .....	21
2.3.2. EDAD DE LOS AGRICULTORES QUE MANEJAN LA DIVERSIDAD DE MAÍCES NATIVOS EN YUCATÁN .....	28
2.3.3. PROCEDENCIA DEL GERMOPLASMA RECOLECTADO.....	29
2.3.4. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE RECOLECTAS EN YUCATÁN .....	30
2.3.4.1. Razas y variedades en maíces.....	30
2.3.4.2. Análisis de la variación fenotípica de las recolectas de maíces en Yucatán .....	32
2.3.4.3. Análisis de la variación general (ACP) de las recolectas de maíces en Yucatán, México (2020).....	37
2.3.4.4. Análisis de similitud en los maíces de Yucatán .....	41
2.3.4.5. Análisis discriminante.....	44
CAPÍTULO III.....	47
EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y BIOQUÍMICA (ANTOCIANINAS Y CAROTENOIDES) EN MAÍCES MORADOS Y ROJOS DE YUCATÁN.....	47
3.1. INTRODUCCIÓN .....	47
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.2.1. MATERIAL GENÉTICO EMPLEADO.....	49
3.2.2. EVALUACIÓN AGRONÓMICA .....	52
3.2.2.1. Estimación del rendimiento de grano de maíz .....	56
3.2.3. EVALUACIÓN BIOQUÍMICA (PIGMENTOS EN GRANO).....	57
3.2.3.1. Cuantificación del color del grano: escala Hunterlab .....	57
3.2.4. ANÁLISIS DE DATOS .....	60
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	62
3.3.1. EVALUACIÓN AGRONÓMICA .....	62
3.3.1.1. Estimación del rendimiento de grano de maíz .....	64
3.3.1.2. Análisis de los caracteres de las poblaciones evaluadas .....	71
3.3.2. EVALUACIÓN BIOQUÍMICA .....	77
3.3.2.1. Cuantificación del color del grano: escala HunterLab.....	77
3.3.2.2. Cuantificación e identificación de pigmentos en grano .....	79
CAPÍTULO IV .....	91
DISCUSIÓN, CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS .....	91
4.1. DISCUSIÓN .....	91
4.2. CONCLUSIONES GENERALES .....	94
4.3. PERSPECTIVAS .....	95

---

---

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO(S) .....</b>	<b>109</b>
<b>1.1. ANEXO 1. FICHA TÉCNICA PARA LA RECOLECTA DE GERMOPLASMA EN MAÍCES NATIVOS.....</b>	<b>109</b>
<b>1.2. ANEXO 2. FORMATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE LAS COLECTAS EN MAÍCES NATIVOS.....</b>	<b>113</b>
<b>1.3. ANEXO 3. POBLACIONES SELECCIONADAS DE MAÍCES PIGMENTADOS PARA CARACTERIZACIÓN .....</b>	<b>113</b>
<b>1.3.1. Poblaciones moradas.....</b>	<b>113</b>
<b>1.3.2. Poblaciones rojas .....</b>	<b>114</b>
<b>1.3.3. Poblaciones descartadas por no cumplir con los criterios de selección.....</b>	<b>115</b>
<b>1.4. ANEXO 4. UTILIZACIÓN DE CARTAS DE COLOR EN POBLACIONES DE MAÍCES PIGMENTADOS (MORADOS Y ROJOS).....</b>	<b>116</b>
<b>1.5. ANEXO 5. DISEÑO DE SIEMBRA PARA LA EVALUACIÓN DE MAÍCES NATIVOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIZIMÍN.....</b>	<b>117</b>
<b>1.6. ANEXO 6. VISTA AÉREA Y TRANSVERSAL EN GRANOS DE MAÍCES BAJO CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA.....</b>	<b>118</b>
<b>1.7. ANEXO 7. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS PARA ESPECTROFOTOMETRÍA Y CROMATOLOGRAFÍA DE LÍQUIDOS.....</b>	<b>121</b>
<b>1.8. ANEXO 8. VALORES EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS Y CAROTENOIDES TOTALES .....</b>	<b>124</b>

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategia experimental implementada en el estudio de maíces nativos de Yucatán, México.....	10
Figura 2.3.1. Municipios de recolecta de maíces nativos en el estado de Yucatán, México (2020). .....	21
Figura 2.3.2. Proporción de colores en granos de maíces nativos recolectados en el estado de Yucatán, México (recolecta, 2020). .....	26
Figura 2.3.3. Recolectas con infiltración genética. ....	26
Figura 2.3.4. Edad de los productores que conservan la diversidad de maíces nativos en Yucatán, México (recolecta, 2020). .....	28
Figura 2.3.5. Variación fenotípica de mazorcas de 100 poblaciones de maíz nativo recolectados en el estado de Yucatán, México (2020). .....	39
Figura 2.3.6. Relaciones de similitud fenotípica de poblaciones de maíz nativo recolectados en el estado de Yucatán, México (2020). .....	43
Figura 2.3.7. Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes (FDC) y ubicación de los grupos del análisis de conglomerados.....	45
Figura 3.3.1. Correlograma de 35 variables caracterizadas fenotípicamente en 23 poblaciones de maíces nativos, cosechados en el año 2022. ....	65
Figura 3.3.2. Diferencia en días del 50% más uno en floración masculina con el 50% más uno en floración femenina en 23 poblaciones de maíces nativos morados y rojos. ....	66
Figura 3.3.3. Rendimiento promedio ( $t\ ha^{-1}$ ) en 23 poblaciones de maíces nativos. ....	68
Figura 3.3.4. Relación de la asincronía floral con respecto al rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) en 23 poblaciones de maíces nativos.....	69
Figura 3.3.5. ACP en 23 poblaciones de maíces nativos morados y rojos de Yucatán evaluados en el 2022. ....	72
Figura 3.3.6. ACP de 13 poblaciones de maíces morados de Yucatán evaluados en el 2022. ....	73
Figura 3.3.7. ACP de 10 poblaciones de maíces rojos de Yucatán evaluados en el 2022. ....	74
Figura 3.3.8. Perfil de antocianinas en el grano de maíz morado.....	81



---

---

<b>Figura 3.3.9. Perfil de antocianinas en el grano de maíz rojo. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 3.3.10. Perfil de carotenoides en el grano de maíz morado. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3.3.11. Perfil de carotenoides en el grano de maíz rojo.....</b>	<b>87</b>

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 2.2.1. Ubicación geográfica de las zonas de recolecta en el estado de Yucatán, México (2020). .....	16
Cuadro 2.2.2. Variables para la caracterización de mazorca de las accesiones en maíces de Yucatán, México.....	17
Cuadro 2.2.3. Clasificación por raza y variedad de los tipos de maíces nativos presentes en Yucatán, México (recolecta, 2020). .....	18
Cuadro 2.3.1. Recolecta de germoplasma de maíces nativos en el estado de Yucatán, México distribuidos por sitio y de acuerdo a clasificación de maíces (2020). .....	22
Cuadro 2.3.2. Procedencia del germoplasma de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020). .....	30
Cuadro 2.3.3. Análisis de la variación fenotípica de mazorcas de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).....	33
Cuadro 2.3.4. Formación de grupos de similitud entre poblaciones de maíces del estado de Yucatán, México (recolecta, 2020). .....	36
Cuadro 2.3.5. Análisis de la variación total de los caracteres fenotípicos en maíces nativos de Yucatán con vectores y valores propios de los componentes principales (CP) de 100 poblaciones.....	37
Cuadro 2.3.6. Clasificación con la reasignación de grupos.....	45
Cuadro 3.2.1. Niveles de intensidad de coloración en grano, de acuerdo a las cartas de color, en poblaciones de maíces morados y rojos.....	50
Cuadro 3.2.2. Poblaciones de maíces caracterizadas fenotípicamente en campo.....	52
Cuadro 3.2.3. Variables para la caracterización fenotípica de las poblaciones en maíces nativos. ....	54
Cuadro 3.3.1. Análisis de la variación fenotípica en 23 poblaciones de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).....	62
Cuadro 3.3.2. Grupos a los que corresponden las poblaciones de maíces nativos evaluados, de acuerdo a caracterización fenotípica (variables de floración).....	70
Cuadro 3.3.3. Análisis de la variación total de los caracteres fenotípicos en maíces nativos de Yucatán.....	75

---

---

<b>Cuadro 3.3.4. Parámetros de color en 24 poblaciones de maíces morados y rojos de Yucatán.....</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 3.3.5. Contenido de antocianinas (CAT) y carotenoides totales (CCT) en grano en 24 poblaciones de maíces morados y rojos de Yucatán.....</b>	<b>79</b>
<b>Cuadro 3.3.6. Contenido de antocianinas identificadas en poblaciones de maíces nativos de Yucatán.....</b>	<b>83</b>
<b>Cuadro 3.3.7. Valores de tamaño relativo de los compuestos presentes de carotenoides en poblaciones de maíces nativos de Yucatán.....</b>	<b>88</b>

---

---

## RESUMEN

El maíz es la base de la alimentación de las familias mexicanas. En Yucatán existen tres razas de maíz: con ciclos vegetativos tardío e intermedio Tuxpeño, intermedio Dzit bacal y precoz Nal tel; y más de 25 variedades. Sin embargo, algunas razas o variedades están más presentes que otras, como es el caso de los maíces blancos y amarillos, pero otros como los maíces pigmentados morados y rojos, se siembran menos. Es por ello que, evaluar la diversidad en los maíces nativos, de poblaciones ya adaptadas a las condiciones de la región, e iniciar su selección es importante para establecer estrategias de conservación *In situ* y *Ex situ*. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar la diversidad fenotípica y el potencial agronómico y bioquímico (carotenoide y antociano) en los maíces nativos de tres zonas geográficas de Yucatán: sur, centro y oriente, para identificar poblaciones (Pobs) con mayor sincronía floral, rendimiento, intensidad y homogeneidad de coloración en mazorca. Se colectó un total de 100 Pobs, donde 44 fueron moradas y rojas. Estas últimas pasaron por un sistema de selección visual con el apoyo de una carta de colores, donde se identificaron 25 Pobs moradas y rojas, evaluadas en el Instituto Tecnológico de Tizimín con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, en un área total de 1,728 m<sup>2</sup>. Se midieron cinco variables de floración y espiga, 10 vegetativas y 14 de la mazorca. Se caracterizó bioquímicamente el grano, mediante la cuantificación por espectrofotometría e identificación por cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD) de antocianinas y carotenoides. La Pob 7 (morada) reportó el mayor rendimiento (2.8 t ha<sup>-1</sup>), encontrando que la asincronía floral (ASF) tiene una correlación negativa con el rendimiento de grano. La Pob 113 (roja) presentó mayor ASF (7 d) con afectación en llenado de grano y las Pob 56, 80, 103, 116 (moradas) y 115 (roja) tuvieron menor ASF (3 d). Se tuvo un 25% de acame en las Pob 15, 51, 80 y 108. Las Pob 6 (50%), 51 (50%) y 108 (60%) presentaron mayor daño de plaga. Las Pobs moradas más homogéneas en color de mazorca fueron: 7, 15, 21, 56 y 64. En maíces rojos ninguna población presentó homogeneidad en color. La Pob 105 roja fue la única que expresó color en diferentes partes de la planta siendo un material promisorio para la extracción de colorante. Se analizó el Contenido de Antocianinas Totales (CAT) y el Contenido de Carotenoides Totales (CCT), donde la Pob 7 morada y 114 roja fueron las de mayor valor, con 450.42 y 135.26; respectivamente. Se encontró que un color más oscuro e intenso en el grano morado asegura elevadas concentraciones de pigmento de antocianinas en las Pob 7, 21, 42 y 56; sin embargo, en carotenos, un color rojo-naranja indica un mayor contenido en las Pob 63, 107 y 114. Se identificaron 11 compuestos distintos de antocianinas y preliminarmente ocho compuestos de carotenoides en los maíces de Yucatán.

---

---

## ABSTRACT

Maize is the base of the diet of Mexican families. In Yucatan there are three races of maize: with late and intermediate vegetative cycles Tuxpeño, intermediate Dzit bacal and early Nal tel, with late, intermediate and early vegetative cycle, respectively; and more than 25 varieties. However, some races or varieties occur more than others, such as white and yellow maize, but others, such as purple and red pigmented maize, are planted less. This is why evaluating native maize diversity, of populations already adapted to the region conditions, and initiating selection is important to establish *In situ* and *Ex situ* conservation strategies. Therefore, the objective was to evaluate the phenotypic diversity and the agronomic and biochemical potential (carotenoid and anthocyanin) in native maize from three geographical areas of Yucatan: south, center and east, to identify populations (Pops) with greater floral synchrony, yield, intensity and homogeneity of coloration in the cob. A total of 100 Pops were collected, of which 44 were purple and red. The latter went through a visual selection system with the support of a color chart, where 25 purple and red Pops were identified, which were evaluated in the Tizimin Technological Institute through a random block design with three repetitions, in a total area of 1,728 m<sup>2</sup>. Five flowering and spike variables were measured, 10 vegetative and 14 from the cob. The grain was biochemically characterized by quantification by spectrophotometry and identification by high-performance liquid chromatography with diode array detector (HPLC-DAD) of anthocyanins and carotenoids. Pop 7 (purple) reported the highest yield (2.8 t ha<sup>-1</sup>), finding that floral asynchrony (ASF) has a negative correlation with grain yield. Pop 113 (red) had higher ASF (7 d) with impairment in grain filling and Pop 56, 80, 103, 116 (purple) and 115 (red) had lower ASF (3 d). There was 25% lodging in Pop 15, 51, 80 and 108. Pop 6 (50%), 51 (50%) and 108 (60%) presented the greatest pest damage. The most homogeneous purple Pops in ear color were: 7, 15, 21, 56 and 64. In red maize, none population showed color homogeneity. Pop 105 was the only one that showed color in their different parts of the plant, being a promising material for dye extraction. The Total Anthocyanin Content (TAC) and the Total Carotenoid Content (TCC) were analyzed, where Pop 7 purple and 114 red had the highest value, with 450.42 and 135.26; respectively. It was found that a darker and more intense color in the purple grain ensures high concentrations of anthocyanin pigment in the Pop 7, 21, 42 and 56; however, in carotenes, a red-orange color indicates a higher content in the Pop 63, 107 and 114. Eleven different anthocyanin compounds and preliminarily eight carotenoid compounds were identified in Yucatan maize.



## INTRODUCCIÓN

México es el centro de origen del maíz (*Zea mays* L.) y el centro primario de diversidad genética del mismo. Este cultivo se originó mediante el proceso de domesticación del teocintle (*Zea mays* subsp. *parviglumis*), pariente silvestre del maíz (Kato *et al.*, 2009) y mediante selecciones realizadas por los agricultores, se ha originado la amplia diversidad intraespecífica. Además, esta alta diversidad del maíz ha sido resultado de las diferentes condiciones agroecológicas, usos y tradiciones de cada región (Ramírez y González, 2018).

A pesar de la gran diversidad del maíz nativo en México, estos maíces son utilizados a nivel local principalmente, en las comunidades, lo que representa un riesgo de pérdida del germoplasma, si se considera el abandono paulatino de la actividad agrícola de la milpa, sitio donde se cultiva el maíz nativo; donde factores naturales como sequías, inundaciones, huracanes, entre otros, pueden generar la pérdida parcial o total de la producción (González *et al.*, 2014).

En sitios donde la agricultura es tradicional o de subsistencia cuando se trata de introducir un maíz mejorado, generalmente no se adapta, dado que no fue hecho bajo las condiciones de la región (Márquez *et al.*, 2000). El rendimiento en maíz es una de las principales características que se busca mejorar, pero adicional a la mejora del rendimiento en los maíces nativos, también pueden mejorarse otras propiedades; por ejemplo, el contenido de compuestos bioactivos en grano es uno de ellos. Algunos de esos compuestos son las antocianinas y los carotenoides, los cuales son los compuestos de mayor contenido en los maíces con tonalidades azul/morado y rojizo. Mientras más oscuros sean los granos del maíz, mayor concentración de dichos compuestos contienen (Salinas *et al.*, 2013).

Antes de comenzar con un programa de mejoramiento, en el caso de las plantas denominado fitomejoramiento, se debe partir de una base genética y de un conocimiento previo del germoplasma a utilizar, con evaluaciones para saber el tipo de acción génica de las poblaciones. En el mejoramiento genético convencional, se utiliza un número reducido de razas y variedades, debido a la complejidad que esta actividad representa y a los numerosos ciclos de siembra que deben realizarse (Ángeles, 2000). Es por esto que la selección de los maíces, con el objetivo de mejoramiento en el cultivo, es una de las alternativas más viables para el incremento de la producción en México (Cervantes *et al.*, 2018).

El interés en realizar una evaluación en los maíces pigmentados de Yucatán es porque se tiene una baja cantidad de variedades mejoradas en la actualidad, lo que puede ser una oportunidad para el aprovechamiento de las razas y variedades nativas de maíz al ser materiales ya adaptados a las condiciones bióticas y abióticas de la región donde se cultivan (Muñoz, 2005). Además del potencial nutracéutico que poseen estos maíces, ayudando a prevenir enfermedades como obesidad, algunos tipos de cáncer, y al ser precursores de la vitamina A evitan la degeneración de la mácula del ojo en personas de edad avanzada, previniendo la ceguera (Morán *et al.*, 2013; Seddon *et al.*, 1994). De igual manera, el interés radica en buscar fuentes naturales para la sustitución de los colorantes sintéticos (Cruz *et al.*, 2013; Salinas *et al.*, 2005).

En este trabajo se partirá de una amplia diversidad genética en maíces nativos del estado de Yucatán con el objetivo de conocer el germoplasma y seleccionar dentro de la diversidad existente, poblaciones con mejores características agronómicas de rendimiento y pigmentación basados en la intensidad y homogeneidad del color de la mazorca, con análisis en sus compuestos bioactivos de tipo carotenoide y de antocianinas.



## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

El maíz surgió como resultado de un proceso de cultivo basado en la selección de características particulares de acuerdo al interés del ser humano. Este proceso de selección por miles de años dio como resultado un gran número de razas que conforman toda la diversidad actual del cultivo de maíz (Sánchez *et al.*, 2000). En México se han identificado 59 razas de maíz, estando tres de ellas presentes en la península de Yucatán, siendo el Tuxpeño, el Dzit bacal y el Nal Tel, con múltiples variedades derivadas de las cruzas entre éstas (Dzib *et al.*, 2016). Esas variedades dieron paso a una gran diversidad de mazorcas en formas, tamaños, sabores y colores (Samayoa *et al.*, 2018).

Para identificar o caracterizar a los maíces se han desarrollado términos como razas y variedades nativas. El término raza se usa para agrupar individuos o poblaciones relacionados, con suficientes características en común, que permite su reconocimiento como grupo (Sánchez y Goodman, 1992). El término variedad es el resultado de las cruzas entre las razas y es una delimitación más específica de un grupo de individuos, formadas localmente, de relaciones genéticas más estrechas de una raza (Ortega, 2020; Reyes, 1990). Kato *et al.* (2009) indica que la palabra correcta para referirse al maíz cultivado en México debe ser, maíces nativos, y aclara que el término *criollo* (raza criolla, variedad criolla, maíz criollo) es una nomenclatura equivocada ya que el maíz es una planta de nuestro país. En el sentido histórico, la palabra *criollo* se definió en América en la época de la colonización y se empleó para describir a los nacidos en “América” pero de origen europeo (Guevara *et al.*, 2019).

Las razas y algunas variedades de maíces nativos para la península de Yucatán son:

*Raza Tuxpeño (Xnuk nal, en maya).* La raza con la mayor diversidad genética y distribución en el estado de Yucatán contiene variedades que son tardías (3.5 – 4 meses) e intermedias (3 – 3.5 meses); reportada en diversos estudios con color en grano que van desde el blanco al rojo, con toda una gama intermedia de colores amarillos y anaranjados, inclusive variegados. Otra raza es la *Dzit bacal* con maíces intermedios (3.5 meses) cuya característica más sobresaliente de la raza es su delgado bacal u olote que es parcialmente flexible, con no más de ocho hileras en mazorca. Hasta ahora, se ha reportado el color en mazorca blanco y amarillo. Por último, la raza *Nal tel*, un maíz muy precoz (de ahí el nombre común que recibe: “maíz de siete semanas”). En

esta raza se pueden presentar mazorcas con color en grano blanco, amarillo, morado y rojo. El color morado en esta raza está escasamente representado en la Península de Yucatán, siendo de importancia actual en la mejora del maíz para producir variedades de ciclo corto, esto ante el panorama del cambio climático con escenarios de lluvias erráticas, así como para el rescate de variedades en riesgo de pérdida (González *et al.*, 2017; Cázares *et al.*, 2015).

El maíz morado también recibe el nombre de maíz azul o negro en algunas comunidades y esto es por el color del grano que presenta. En la lengua maya pueden denominarle Ek ju'ub, Chob, Chobita, Ch'o, E'ju, entre otras, de acuerdo a la zona de producción. El color en grano es oscuro, indicativo de la presencia de antocianinas. Tradicionalmente este maíz se utiliza para la elaboración del platillo denominado "relleno negro", sobre todo en el oriente del estado de Yucatán. El maíz rojo se denomina en maya Chac chob. Se tiene evidencia del contenido de carotenoides que posee, que le proporcionan una cualidad alimenticia superior. Se reporta que los tallos son capaces de levantarse después de haber sido tumbados por los vientos (acamados) y se emplea tradicionalmente para elaborar la masa del platillo típico del "pib", aunque también puede hacerse con maíz blanco y/o amarillo este platillo (González *et al.*, 2017; Cázares *et al.*, 2015).

La crucea interracial Xmejen nal resulta de la crucea de la raza Tuxpeño con Nal tel. En Yucatán puede estar presente con color en grano blanco y amarillo. En el caso de la variedad blanca, también denominada Sak Xmejen nal, con frecuencia presenta un bakal u olote con un área perimetral de color rojizo. González *et al.* (2017) mencionaron que esta variedad puede estar en peligro de desaparecer, tal como parece estar sucediendo con otras variedades precoces de la región. De igual manera, indicaron que la variedad K'an Xmejen nal, con color en grano amarillo tiene poca representatividad en la Península de Yucatán, lo que se relaciona con procesos de desaparición del germoplasma. Otra coloración presente en esta variedad es la roja o anaranjada denominada Chac Xmejen nal. De igual manera, se tiene la crucea interracial Nal xoy, que resulta de la crucea de la raza Tuxpeño con Nal tel, con alto potencial de rendimiento, originada por un poblador de Xoy, Peto, Yuc., y que ha sido dispersada en la región Península de Yucatán mediante ferias, intercambios de semillas, compra y donaciones entre los productores. Puede encontrarse la coloración amarilla y blanca en grano, aunque no se descarta la presencia de otra coloración como la roja en la actualidad (Cázares *et al.*, 2015).

## 1. El maíz nativo en Yucatán

En cuanto a la diversidad de colores reportada para los maíces nativos en la Península de Yucatán, en una colecta realizada en regiones estratégicas, Mijangos (2013) indicó la presencia de cinco colores principales: blanco, amarillo, azul, rojo y naranja con el 62.6%, 28.8%, 6.1% y 1.2% (para los dos últimos), respectivamente. Junto con estos colores básicos se observaron mazorcas pintas y veteadas, indicativo de infiltración genética entre poblaciones de maíces de milpas aledañas. Esto hace ver la diversidad en colores en los maíces nativos, resultado del tipo de polinización libre que presenta, expresándose una amplia gama de formas y colores.

En la Península de Yucatán algunas razones por las que los productores cultivan los diferentes maíces locales, son: a) adaptación a los diferentes tipos de suelos presentes en las milpas; por ejemplo, los maíces precoces (Nal tel) se siembran en los suelos fértiles y los tardíos de grano amarillo en suelos menos fértiles y pedregosos; b) resistencia a los períodos de sequía, los maíces precoces son más susceptibles y los tardíos de grano amarillo son más resistentes; c) tolerancia al almacenaje, los maíces amarillos son menos dañados en los almacenes tradicionales debido a la dureza del grano que minimiza el ataque de plagas poscosecha, y los maíces morados son los más afectados por ser de consistencia harinosa; d) rendimiento, un atributo fundamental para la sustentabilidad del cultivo de maíz en la región (Aguirre *et al.*, 2018).

En Yucatán se tienen bajos rendimientos en el cultivo de maíz nativo, con 750 kg ha<sup>-1</sup> en promedio, comparado con otras regiones de México donde el rendimiento de temporal es de 2.2 ton ha<sup>-1</sup> y el de riego de 7.5 ton ha<sup>-1</sup> de grano (Ku, 2019; Montesillo, 2016; Moya *et al.*, 2003). En Yucatán los rendimientos en maíces mejorados, de acuerdo a variedades del INIFAP, oscilan en 2.5 ton ha<sup>-1</sup> en suelo pedregoso bajo temporal y de 4 a 8 ton ha<sup>-1</sup> en planadas con sistemas de riego (Rodríguez, 2019), llegando a superar los valores que se reportan en otros sitios del país como Jalisco (7 ton ha<sup>-1</sup>) y Guerrero (5.3 ton ha<sup>-1</sup>); con un valor cercano al mayor productor de maíz a nivel nacional, que es Sinaloa, con 9.9 ton ha<sup>-1</sup> (Velazco, 2020; Cruz y Leos, 2018; Montesillo, 2016).

A nivel nacional del total de la superficie cosechada, el maíz blanco predomina con el 93.87%, seguido del maíz amarillo con el 5.38% y en muy poca cantidad el maíz pigmentado (rojo y morado) con el 0.57%, el resto de las variedades sólo el 0.18%. Por lo que los porcentajes de producción se distribuyen de la siguiente manera: 91.2%, 8.29%, 0.33% y 0.18%, respectivamente. Esto indica que los rendimientos por hectárea dependen de la variedad del

maíz, donde el maíz pigmentado tiene rendimientos por debajo del maíz amarillo y del blanco (Miranda *et al.*, 2018).

La diversidad biológica agrícola ha sido y sigue siendo desarrollada por las prácticas humanas a través de generaciones, donde actualmente los maíces nativos pigmentados han cobrado mayor relevancia. Ahora es posible encontrar a la venta granos de este tipo de maíz en páginas de comercialización en la web (CONANP, 2016). Incluso en ciertos lugares del mundo y en ciertas áreas de México se les ha dado promoción a los maíces pigmentados, ya que se han encontrado antocianinas y carotenoides en el grano que actúan como anticancerígenos, reductores de triglicéridos y colesterol, así como mayor calidad proteínica lo cual les da valor agregado (De Pascual y Sánchez, 2008; Vidal *et al.*, 2008).

## **2. Compuestos bioactivos en el maíz nativo**

En la planta de maíz, las antocianinas actúan como fotoprotectores, antioxidantes y como mecanismos de defensa (Bello *et al.*, 2016). Estos compuestos pertenecen al grupo de los flavonoides y son inocuos para el ser humano (Kang *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2012; López *et al.*, 2009). Los carotenoides por su parte son compuestos solubles en grasa y son considerados indispensables para la vida de las plantas, debido a las funciones que llevan a cabo en la fotosíntesis (captación de luz, fotoprotección, entre otras) (Meléndez *et al.*, 2017).

Las antocianinas se clasifican en seis tipos, que son: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina, que definen el tipo de color, dependiendo del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas (Garzón, 2008; Badui, 2006). Mientras que algunos carotenoides presentes en el maíz son el  $\beta$ -caroteno, la luteína y zeaxantina (Quintana *et al.*, 2018). La clasificación de los carotenoides se basa en el tamaño de su cadena isoprenoide, y en derivados oxigenados que se denominan xantofilas (Meléndez *et al.*, 2017). Los carotenos deben obtenerse a partir de la dieta, ya que ningún animal, incluido el humano, puede producirlos (Quintana *et al.*, 2018).

Los carotenoides, contrario a las antocianinas, tienen nula solubilidad en agua y no son afectados por cuestiones ambientales como el tipo de suelo, riego y fertilización. Los factores que sí influyen en la presencia de carotenoides son el manejo precosecha, estado de madurez, así como las operaciones de procesado y conservación. Entre éstos, la temperatura e intensidad de luz tienen gran influencia en el contenido de carotenoides (García *et al.*, 2001).

Las antocianinas junto con los carotenoides pueden coexistir, dando como resultado tonos marrones y bronce que ninguno de los dos pigmentos sería capaz de proporcionar por sí mismo (Grotewold, 2006). El contenido de ambos, en el grano de maíz, está influenciado por el genotipo, por lo que el mejoramiento en maíz dirigido hacia variedades con alto contenido de carotenoides y de antocianinas puede mejorar las propiedades fisicoquímicas (Salinas *et al.*, 2008).

Por lo anterior, el color en grano es una característica especial para elegir en los maíces (Magdaleno *et al.*, 2016). En Yucatán, cada vez son más los agricultores que basan su elección en el color de la mazorca, buscando un color más homogéneo, sumándose este criterio de selección a las ya conocidas como el tamaño de mazorca o bien mazorcas con excelente cobertura de brácteas para evitar el ataque de gorgojos (*Sitophilus zeamais*) en almacenamiento (Román, 2019; Chávez *et al.*, 2000). Aunque pocos son los productores de Yucatán que realizan la selección de plantas de maíz desde el campo, considerando los días de floración masculina o femenina, o bien en evitar seleccionar mazorcas que provengan de plantas con acame. La selección fenotípica la realizan los productores mayormente en las mazorcas, al momento o después de la cosecha (Chávez *et al.*, 2000); por lo que se tienen problemas en algunas poblaciones de maíces de asincronía floral (divergencia en la receptividad de los estigmas con la liberación y viabilidad de los granos de polen) (Canul *et al.*, 2012).

Por lo tanto, conocer la diversidad del germoplasma del maíz nativo en Yucatán considerando su comportamiento en campo y los compuestos bioactivos (antocianinas y carotenoides) que contiene, podría ayudar a realizar una adecuada selección en poblaciones ya adaptadas a las condiciones ambientales de la región; favoreciendo también su conservación.

## JUSTIFICACIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes en el país. La evaluación de la diversidad en maíces nativos es importante para el planteamiento de estrategias de conservación, así como para conocer el potencial para su máximo aprovechamiento. La caracterización fenotípica sigue siendo un método efectivo para conocer el potencial de los maíces.

En Yucatán se indican bajos rendimientos para el cultivo de maíz nativo, particularmente, en los maíces pigmentados, con color de grano azul/morado y rojo, donde se indica una disminución del área de cultivo con pequeñas superficies de siembra, resultando en una baja comercialización de este tipo de maíces y en un limitado uso, destinándose para autoconsumo a nivel local. Además, hasta antes de este trabajo, en la totalidad de la diversidad de razas y variedades de maíz con que cuenta el Estado de Yucatán, no se habían realizado estudios en cuanto a la composición bioquímica del grano en los maíces de Yucatán, específicamente en carotenoides y antocianinas.

En los últimos años, los maíces morados y rojos están cobrando relevancia en la industria, debido a los compuestos bioactivos presentes en el grano, destinándose para la extracción de pigmentos de tipo caroteno y antociano. Lamentablemente, este potencial presente en los maíces pigmentados es poco conocido en las comunidades de Yucatán, es por ello, que en este estudio se realizó una evaluación agronómica y bioquímica en las poblaciones de los maíces nativos, provenientes de tres zonas geográficas del estado de Yucatán, con miras a su implementación en futuros programas de mejoramiento genético o aprovechamiento por parte del agricultor.

## **HIPÓTESIS**

1. Los maíces nativos se han adaptado a las condiciones ambientales de cada lugar de cultivo, por lo que se espera que exista una separación de las poblaciones por zona de recolecta en el estado de Yucatán, encontrando al menos una accesión potencial, basados en caracteres de mazorca, en cada zona.
2. Se identificará al menos una población por cada tipo de color de grano (morado y rojo), que reúna todas las características de buena sincronía floral, rendimiento e intensidad y homogeneidad de color en mazorca, en una sola.
3. Las poblaciones con mayor intensidad y homogeneidad en el color de mazorca indica un mayor contenido de antocianinas y carotenoides.

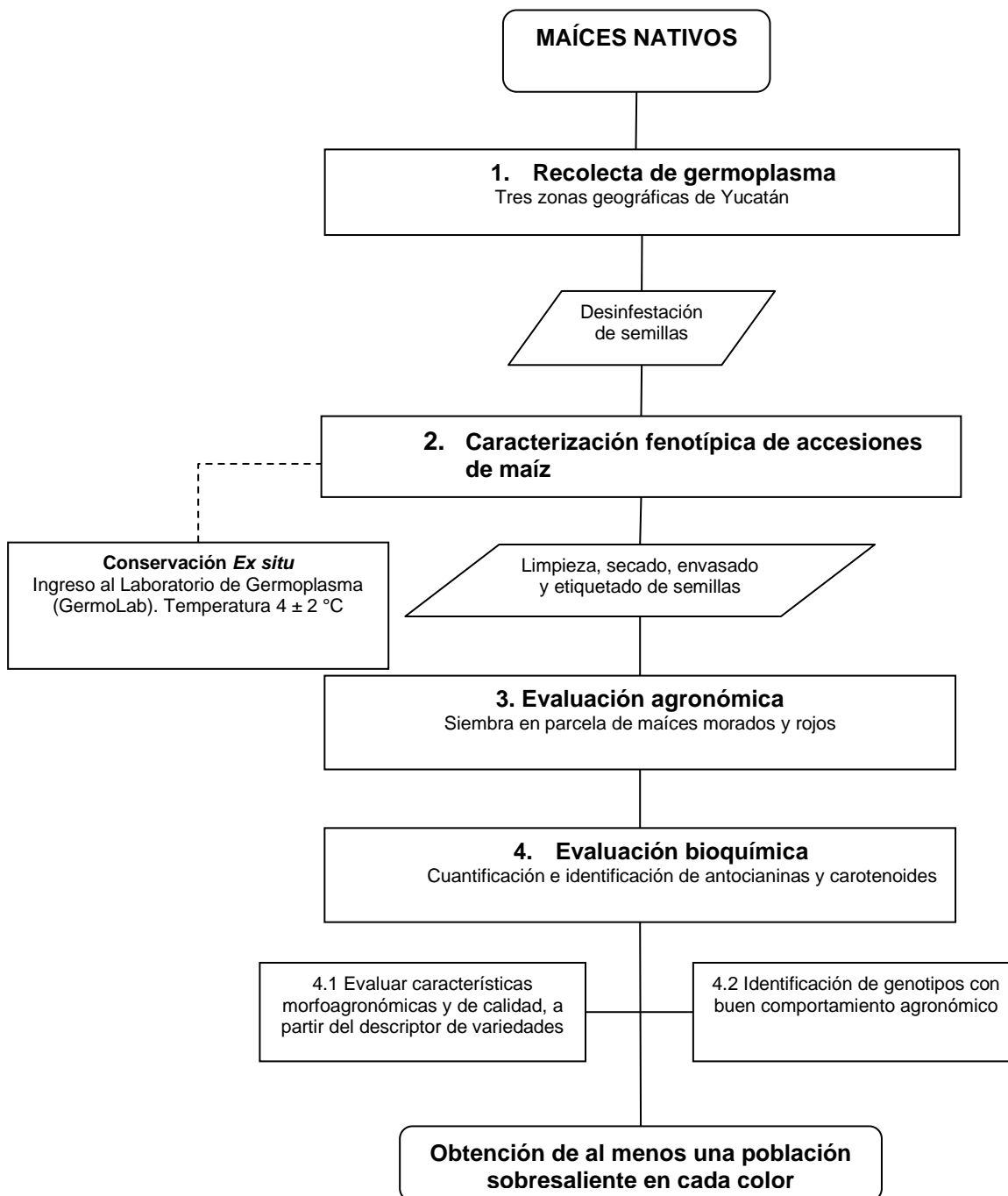
## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el potencial agronómico y bioquímico (carotenoide y antocianina), así como la diversidad fenotípica en los maíces nativos de tres zonas geográficas del estado de Yucatán, para la selección de poblaciones que cuenten con mayor sincronía floral, rendimiento e intensidad y homogeneidad de coloración en mazorca, a través de la evaluación agronómica y bioquímica (tipo carotenoide y antocianina) para apoyar la conservación del germoplasma.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la diversidad fenotípica del maíz nativo en Yucatán, México, considerando diferentes zonas de recolecta.
- Evaluar el comportamiento agronómico de maíces pigmentados (morados y rojos).
- Evaluar el contenido bioquímico (antocianinas y carotenoides) en los maíces nativos pigmentados.

## ESTRATEGIA EXPERIMENTAL



**Figura 1.** Estrategia experimental implementada en el estudio de maíces nativos de Yucatán, México.



## **Indicadores a evaluar como parte de la estrategia experimental**

### **1. Recolecta de germoplasma**

Muestreos en la zona sur, centro y oriente del estado de Yucatán, México. Recorridos en los cuatro puntos cardinales de cada comunidad con ficha de pasaporte para el levantamiento de datos de colecta.

### **2. Caracterización fenotípica de recolecta**

Variables de mazorca: longitud, diámetro, peso seco, número de hileras, número de granos por hilera, número total de granos, espesor, ancho y longitud de grano, peso de 100 semillas, peso de granos de mazorca, diámetro y peso de olote.

### **3. Evaluación agronómica**

Se tomaron 24 poblaciones, 13 moradas y 11 rojas, con mayor intensidad y homogeneidad de color en mazorca para su evaluación. Se consideraron cartas de color de la Royal Horticultural Society y variables de mazorca como peso de 100 semillas y peso de granos de una mazorca.

Las 24 poblaciones se sembraron en el Instituto Tecnológico de Tizimín en el 2022, mediante un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones, en una superficie de 1728 m<sup>2</sup> con un diseño de siembra de 60 m de longitud por surco, un distanciamiento de 1.2 m entre filas y 0.6 m entre plantas y dos plantas por poceta.

#### **3.1. Descriptores agromorfológicos y de calidad estudiados**

Se eligieron al azar 10 plantas por repetición para el registro de:

- Variables fenotípicas: Floración, vegetativo, espiga y mazorca.
- Variables productivas: Rendimiento de grano (peso de granos, peso seco de mazorca, peso total de accesión, entre otras).

### **4. Evaluación bioquímica**

Los materiales empleados fue la semilla proveniente de recolecta de las 24 poblaciones moradas y rojas.



**CAPÍTULO II****DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE RECOLECTAS EN MAÍCES NATIVOS PARA CONSERVACIÓN Y SELECCIÓN EN YUCATÁN****DIVERSIDAD DEL MAÍZ EN TRES ZONAS GEOMORFOLÓGICAS DE YUCATÁN,  
MÉXICO**

Elia Ma. Ku-Pech, Javier O. Mijangos-Cortés, Ignacio Islas-Flores, Enrique Sauri-Duch, Luis Latournerie-Moreno, Yaritza Rodríguez-Llanes and José Luis Simá-Gómez.

Tropical and Subtropical Agroecosystems.

Artículo científico publicado.

**2.1. INTRODUCCIÓN**

México es centro de origen y domesticación del maíz, específicamente en la parte centro occidente (región del Río Balsas). A partir de ahí se dieron procesos de dispersión: 1) hacia el norte por la Sierra Madre Occidental y 2) hacia el sur por tierra firme hacia América del sur (Kato *et al.*, 2009). Esto trajo consigo una extraordinaria diversidad fenotípica y genética en el maíz clasificada en razas y variedades.

La dispersión del maíz llegó hasta las tierras bajas tropicales del sureste mexicano, donde se ubica la Península de Yucatán, México (Mijangos, 2013). En la península se tienen condiciones agroclimáticas muy particulares y restrictivas por lo que pocas razas encontraron condiciones propicias para establecerse con éxito. Esta región geográfica se define como única al no poseer montañas altas como en otros sitios de México. Las nubes no son detenidas generando precipitaciones erráticas afectando a la agricultura que es de temporal (dependiente de las lluvias) (Mijangos *et al.*, 2015).

Otras características singulares para la Península son los suelos muy pedregosos, de formación temprana, con pH altos (7.0-8.5) y poca materia orgánica. Estas limitantes hacen que la diversidad en maíces sea baja con únicamente tres razas: Tuxpeño, Dzit bacal y Nal tel diferenciadas por su ciclo vegetativo en tardías (>90 días), intermedias (70-90 días) y precoces (<70 días), respectivamente (González *et al.*, 2017).

Los diferentes ciclos de cultivo han permitido a los milperos de Yucatán contar con múltiples momentos de cosecha al año comenzando con los maíces precoces y concluyendo con los tardíos (Ku *et al.*, 2020). En cuanto a variedades en maíz para la Península se tienen más de 25 en la actualidad (Kauffer y Villanueva, 2011; Mijangos, 2013). Este número relativamente alto de variedades se debe en parte a la amplia gama de expresiones morfológicas en los suelos, con el reconocimiento de 20 zonas fisiográficas. La gran variedad de suelos resulta de la diversidad de las condiciones climáticas y topográficas de la entidad, que reportan diferencias significativas en los minerales que la integran (Borges *et al.*, 2005).

La diversidad en maíces también se debe a la selección y conservación de semilla que los milperos realizan para una siguiente siembra. Este procedimiento denominado conservación *In situ* permite resguardar la semilla a nivel local en la mayoría de las comunidades de México (Magdaleno *et al.*, 2016). Sin embargo, la diversidad genética en el maíz puede perderse por la presión de diversos factores ambientales y biológicos. Ante esta problemática es importante resguardar las especies de importancia agrícola como es el maíz. La conservación *Ex situ* promete un resguardo a futuro de dichas especies (FAO, 2013).

La evaluación de la diversidad en maíces es importante para el planteamiento de estrategias de conservación. Ante esto, la caracterización fenotípica sigue siendo un método efectivo para conocer el potencial de los maíces nativos. La variabilidad dentro de una raza en maíz tiene la particularidad de que las poblaciones o individuos que la componen comparten un grupo de genes con adaptabilidad a nichos y usos específicos (Camacho y Chávez, 2004) que pueden ser aprovechados en programas de selección para mejoramiento genético (Adebayo *et al.*, 2015).

Por lo anterior, se consideró importante identificar la diversidad presente en los maíces nativos de Yucatán, en la zona maicera (sur), el centro y el oriente, para su conservación a mediano y largo plazo, bajo el supuesto de que los maíces de cada zona de colecta presentarán una diferenciación geomorfológica. Se espera que en cada una de estas zonas se cuente con al menos una población potencial para su selección, basados en caracteres de mazorca.

---

---

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO**

El presente estudio se realizó en el estado de Yucatán situado en el extremo norte de la Península del mismo nombre en el sureste de la República Mexicana, efectuando el muestreo y recolecta de germoplasma de maíz nativo.

El estado de Yucatán colinda al norte con el Golfo de México, al este y sureste con Quintana Roo y al oeste y suroeste con Campeche. Yucatán cuenta con una altitud máxima de 210 msnm, por lo que se le clasifica como una llanura o plataforma compuesta por roca calcárea y un sistema kárstico lo que ha permitido la formación de cenotes, rejolladas y aguadas (Bautista y Palacio, 2005).

Yucatán presenta climas cálido subhúmedo y cálido semiseco que corresponde a la franja costera en el norte del estado, con diferentes tipos de vegetación predominando las selvas secas y subhúmedas, como la selva baja caducifolia, baja caducifolia espinosa y mediana subcaducifolia, pero también con zonas costeras como manglares. Cuenta con una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación media estatal de 1,100 mm anuales, con lluvias de junio a octubre. El 22% de la superficie estatal está destinado a la agricultura, destacando el cultivo de pastizales para el consumo del ganado (Kauffer y Villanueva, 2011).

### **2.2.2. REGIONES DE RECOLECTA DE GERMOPLASMA**

La estrategia de muestreo se basó en las normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (FAO, 2013). El área consistió en tres regiones geomorfológicas del estado de Yucatán, México: 1) sur (zona Puuc), 2) centro y 3) oriente (Cuadro 2.2.1).

La recolecta de germoplasma de maíz nativo se realizó de enero a marzo del 2020, de manera dirigida, con base en trabajos previos de tipo etnobotánico y de recolección de semillas anteriores en regiones donde tradicionalmente se realiza la milpa (Mijangos, 2013). Se visitaron los diferentes puntos cardinales de cada comunidad y por punto de recolecta se recabó información etnobotánica con datos de pasaporte emitidos por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), modificado con base en el pasaporte original del Sistema

Nacional de Recursos Fitogenéticos y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de México (Rincón *et al.*, 2012) (Apartado ANEXO(S), ANEXO 1).

**Cuadro 2.2.1.** Ubicación geográfica de las zonas de recolecta en el estado de Yucatán, México (2020).

Estado	Zona	Municipio	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm*)
Yucatán	Sur	Tixméhuac	20.2354	-89.1111	30
		Peto	20.1255	-88.9213	35
		Tahdziú	20.1981	-88.9439	33
		Chacsinkín	20.1709	-89.0168	36
		Oxkutzcab	20.3027	-89.4183	20
		Maní	20.3931	-89.3921	26
		Tekax	20.2023	-89.2878	35
	Centro	Yaxcabá	20.5417	-88.8211	33
		Sotuta	20.5958	-89.0061	21
	Oriente	Espita	21.0128	-88.3047	32
		Tizimín	21.1425	-88.1647	20
		Temozón	20.8041	-88.2027	26
		Valladolid	20.8531	-89.0691	28
		Chemax	20.7333	-87.8166	28
		Tekom	20.6005	-88.2668	34
		Kaua	20.6244	-88.4560	30
		Chankom	20.5680	-88.5133	27
		Uayma	20.7167	-88.3166	28
<b>Total</b>		<b>18</b>			

\* msnm, metros sobre el nivel del mar.

### 2.2.3. RECOLECCIÓN DEL GERMOPLASMA

Durante el levantamiento de datos correspondientes a la recolecta, se interactuó con los informantes tanto en maya como en español, de acuerdo a la lengua que más confianza les brindaba. Esto permitió recabar la mayor cantidad posible de información y expresar de una manera clara y entendible la actividad implementada y su importancia para la investigación.

Se recolectó 5 kg de semilla y 10 mazorcas de cada población de maíz para la caracterización fenotípica. Las semillas recolectadas pasaron por procesos de secado a temperatura ambiente en sombra y desinfestación química mediante fosforo de aluminio en tabletas, para ser conservadas *Ex situ* en el Laboratorio de Germoplasma (Germolab) ubicado en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán en Sierra Papacal, Chuburná; perteneciente al CICY, A.C. ampliando así el número de colecciones de maíz en resguardo, donde el último ingreso de germoplasma de maíz fue en el 2012.

### 2.2.4. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE LAS RECOLECTAS (MAZORCA)

Se registraron 13 variables biométricas de las mazorcas mediante la metodología del manual gráfico de la descripción varietal del maíz (SNICS, 2010), en 10 mazorcas por población para 100 accesiones en el estado de Yucatán. Los datos registrados durante la caracterización fenotípica de mazorca en las razas y variedades recolectadas de maíz fueron: nombre del productor, nombre de la variedad, color de grano y las variables en mazorca (Cuadro 2.2.2).

Para realizar el registro de los datos se emplearon formatos de caracterización fenotípica (Apartado ANEXO(S), ANEXO 2), empleando equipo y material como micrómetros vernier, cinta métrica, balanza granataria, charolas para pesaje de las semillas, etiquetas, cámara fotográfica, entre otros.

La identificación de los maíces se generó de acuerdo con la denominación local proporcionada por los milperos durante el muestreo, así como a la clasificación de Arias *et al.* (2007) (Cuadro 2.2.3).

**Cuadro 2.2.2.** Variables para la caracterización de mazorca de las accesiones en maíces de Yucatán, México.

Tipo	Nombre	Unidad	Acrónimo
Mazorca	Longitud de mazorca	cm	LM

Diámetro de mazorca (parte media)	cm	DM
Peso seco de mazorca	g	PSM
Número de hileras de la mazorca	núm	NHM
Número de granos por hilera	núm	NGH
Número total de granos	núm	NTG
Espesor de grano	mm	EG
Ancho de grano	mm	AG
Longitud de grano	mm	LG
Peso de 100 semillas del centro de la mazorca	g	P100S
Peso de granos de una mazorca	g	PGM
Diámetro del olote	mm	DO
Peso de olote	g	PO

**Cuadro 2.2.3.** Clasificación por raza y variedad de los tipos de maíces nativos presentes en Yucatán, México (recolecta, 2020).

Tipo racial	Variedad <sup>o</sup>	Color	Ciclo (meses)
Nal tel	Nal t'eel, Gallito	Blanco, amarillo, morado*, rojo	1.7
Dzit bacal	Bek'e ch bakal, Ts'iit bakal	Blanco, rojo*	3 - 3.5
Tuxpeño (Xnuk nal)	Oox uen, Sak nal, Sak tux	Blanco	3 - 4
	K'an pok, K'an nal	Amarillo	
	Ek ju'ub, Chob nal, Chobita	Morado	
	Chac chob, Chac xim, Chac nal	Rojo	
Cruza interracial (Tuxpeño x Nal tel)	Xmejen nal (X-mejen nal), Xt'up nal	Blanco, amarillo, rojo	2 - 2.5



---

Cruza interracial (Nal tel x Tuxpeño)	Nal xoy*	Blanco, amarillo, rojo*	2 - 3
--	----------	----------------------------	-------

---

\*Diferentes nomenclaturas realizadas por los milperos principalmente, más no exclusivamente, en maya. \*Color reportado en muy baja frecuencia. \*Maíz mejorado por agricultores de Xoy, Peto, Yucatán.

## 2.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

Los datos cualitativos de las recolectas se procesaron por métodos descriptivos y categóricos para reportar su frecuencia y porcentaje.

### 2.2.5.1. Regiones de recolecta

Se construyó un mapa de los sitios de recolecta de germoplasma mediante un conjunto de capas temáticas en formato vectorial ESRI Shapefile, con el programa ArcgisPro 2.5.0 (ESRI, 2020):

México\_Estados.shp; Basemap\_municipios.shp;

Basemap\_polígonos\_localidades\_U\_R\_amanzanadas.shp; Basemap\_región\_I\_poniente.shp;

Basemap\_región\_II\_noroeste.shp; asemap\_región\_III\_centro.shp;

Basemap\_región\_IV\_litoral\_centro.shp; Basemap\_región\_V\_noreste.shp;

Basemap\_región\_VI\_oriente.shp; Basemap\_región\_VII\_sur.shp.

### 2.2.5.2. Análisis fenotípico de las poblaciones (Pob)

Mediante el paquete estadístico R Studio Versión 1.2.5019 (RStudio Team, 2019) se efectuaron los supuestos *a priori* de homogeneidad de varianzas con el Test de Levene donde para LM, DM, PSM y NHM se aplicó el método no paramétrico de Test de Welch, cumpliendo con el supuesto y la prueba de aleatoriedad en los datos con el contraste de Rachas. Para la prueba de normalidad se aplicó Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors). Para las variables que reportaron un valor de  $p \leq 0.05$  se optó por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cumpliendo con el supuesto ( $p \leq 0.05$ ). Al cumplir los supuestos se procedió al análisis de varianza (ANDEVA) de una vía para muestras independientes en cada una de las variables cuantitativas, con una prueba *post hoc* de comparación de medias de DMS ( $p \leq 0.05$ ) a nivel general que incluyó a los tres grupos de cultivo para 100 poblaciones con 10 repeticiones por población; así como ANDEVAS clasificadas por ciclo de cultivo: 68 Pob de maíces tardíos, 26 Pob de maíces intermedios y 6 Pob de maíces precoces.

### **2.2.5.3. Análisis de componentes principales y de similitud**

Se usó la matriz de datos promedio con el software InfoStat Versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020), para realizar un análisis de componentes principales (ACP) de las poblaciones y así conocer la variación existente en el conjunto de variables evaluadas en los maíces nativos. De igual manera, un análisis de conglomerado jerárquico con el método de ligamiento promedio, con la medida de disimilitud de distancia euclidiana al cuadrado. Con la matriz de distancias se construyó el dendrograma que permitió formar grupos de similitud de las poblaciones de acuerdo con las características fenotípicas de las poblaciones.

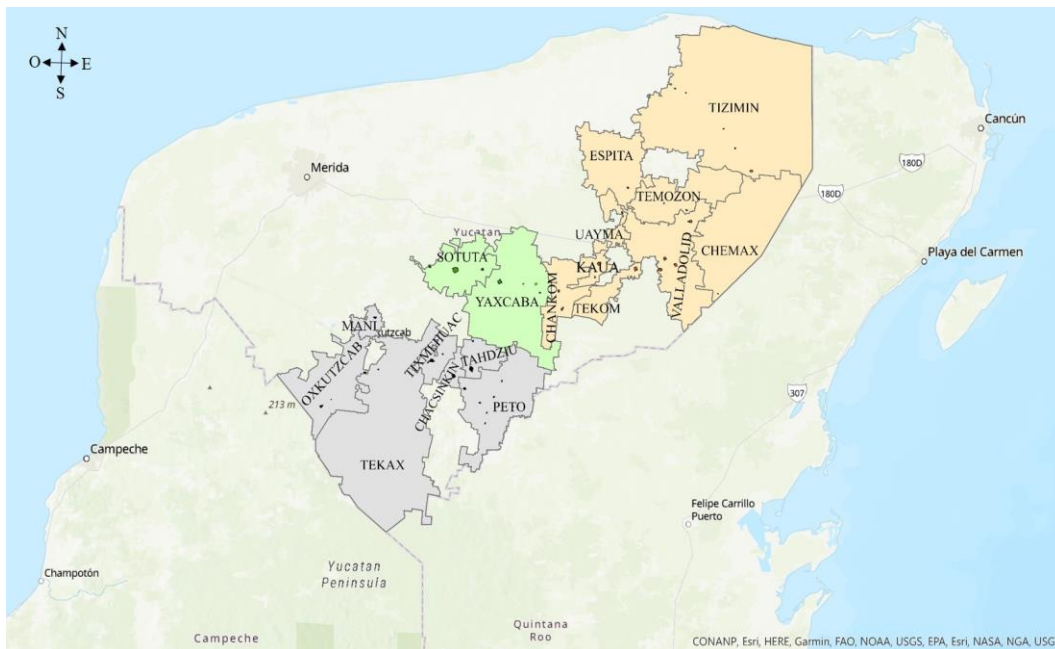
### **2.2.5.4. Análisis discriminante**

Se procesó mediante el programa Statgraphics V16.2.04 (Statgraphics Centurion, 2013). Se utilizó la matriz de datos promedio con las 13 variables cuantitativas, para comprobar los grupos resultantes del análisis de similitud.

## 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.3.1. ÁREA GEOGRÁFICA DE RECOLECTA DE GERMOPLASMA EN YUCATÁN, MÉXICO

Se recolectó en 43 comunidades pertenecientes a 18 municipios del estado de Yucatán un total de 100 poblaciones de maíz nativo (Figura 2.3.1, Cuadro 2.3.1).



**Figura 2.3.1.** Municipios de recolecta de maíces nativos en el estado de Yucatán, México (2020).

**Cuadro 2.3.1.** Recolecta de germoplasma de maíces nativos en el estado de Yucatán, México distribuidos por sitio y de acuerdo a clasificación de maíces (2020).

Estado	Zona	Municipio	Localidad	Número de recolectas					
				Nal tel	Dzit bacal	Tuxpeño	Xmejen nal <sup>Δ</sup>	Nal xoy <sup>Δ</sup>	Total
Yucatán	Sur	Peto	San Dionisio			5	2		7
			Yaxcopil			2			2
			Xpechil		1	1			2
			Papacal			3	1		4
			Progresito		1	1	1		3
			Kambul		1	1	1		3
			Xoy	2					2
			Chacsinkín			1			1
			Tixméhuac			1			1
			Dzutoh	1		1	1		3
	Tahdziú	Tahdziú		1				1	
		Timul	1		2			3	
	Oxkutzcab	Xohuayán		1			1	2	
		Yaxhachén			3	3		6	
		Xkobenhaltún				1		1	
	Tekax	Canek			1			1	
	Maní	Tipikal			3			3	
	Centro	Yaxcabá	Yaxcabá			7			7
			Chimay			2			2
			Santa María			1			1
Yaxuná							1	1	

	Sotuta	Sotuta		1		1			2
		Zavala				1			1
		Tabí					1		1
Oriente	Temozón	Dzalbay				1			1
		Santa Rita				1			1
	Valladolid	Yalcobá		1		1			2
		Kanxoc				6			6
		Xocén	1			1			2
		Tixhualactún	1			1			2
	Tekom	Tekom				2			2
	Kaua	Kaua				1			1
		Dzeal				4			4
	Chankom	Xkalakdzonot		1		2			3
		Xcopteil				2			2
	Tizimín	Chenkekén				1			1
		San Luis Tzuctuk				2			2
		Chan Cenote				2			2
		Xpanha Toro		1		1	1		3
		San Pedro Juárez		1					1
	Chemax	Lol Be'		1					1
		Santa María Aznar				1			1
	Uayma								
	Espita	Nacuché				2	1		3
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>43</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>66</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>100</b>

<sup>A</sup>Cruzas interraciales.

Adicionalmente, también se visitaron comunidades como Bolmay, Chemax, Tipikal, entre otros sitios, donde no se consiguieron recolectas de maíces nativos, sobre todo de los pigmentados ya que, de acuerdo al productor, se tuvieron pérdidas en semillas de ese tipo durante el periodo productivo 2019-2020. De igual manera, en los casos donde el productor no contaba con suficiente producción de maíces pigmentados, se evitó comprarle semilla para permitir la regeneración y conservación de dichos materiales en las comunidades.

La distribución de la diversidad en maíz estuvo concentrada en dos grandes zonas que son el sur con 45 recolectas y el oriente con 40. En la zona centro se tuvo 15 recolectas entre maíces tardíos Tuxpeños e intermedios Dzit bacal, con nula presencia de maíces precoces, de la raza Nal tel y de maíces intermedios como Xmejen nal, lo que indica la situación de conservación de estos grupos de maíces en esta región.

Se observó una mayor predominancia de los maíces tardíos de acuerdo al número de recolectas, superando en más del 50% el número de recolectas de los maíces intermedios, con una baja representatividad de los maíces precoces (6%).

El germoplasma recolectado en 2020 fue similar a otras colecciones realizadas en 2016 por Dzib *et al.* y en 2015 por Aguilar *et al.* Nuestros datos confirmaron que, en el estado de Yucatán, continúa la predominancia de la raza Tuxpeño de maíz con respecto a las razas Dzit bacal y Nal tel. Cabe resaltar la mayor cantidad de accesiones que se obtuvieron de maíces de la crusa interracial Xmejen nal blanco y de intermedios Dzit bacal, en la recolecta 2020. En Dzit bacal se logró recolectar un 50% más de muestras con respecto a la recolecta de Aguilar *et al.* (2015), esto favorece la conservación de esta raza.

El incremento de poblaciones de Dzit bacal en Yucatán, pudiera ser resultado de los esfuerzos dirigidos de conservación hacia esta raza en particular mediante su oferta en exposiciones regionales de semillas e implementación en programas de mejoramiento participativo (Dzib *et al.*, 2016) o bien de alguna adaptación de este material en particular, ante las sequías en la región, siendo más afectados los maíces precoces.

Existen poblaciones en la raza Dzit bacal con diferencias en la eficiencia del uso del agua en Yucatán. Conceição *et al.* (2019), sugirieron la posibilidad de que esta raza soporta fisiológicamente eventos de sequía intraestival, proponiendo su inclusión en programas de mejoramiento genético con el objetivo de resistencia a sequía; siendo de gran utilidad para los productores que manejan sus milpas bajo temporal (Uzcanga *et al.*, 2017).

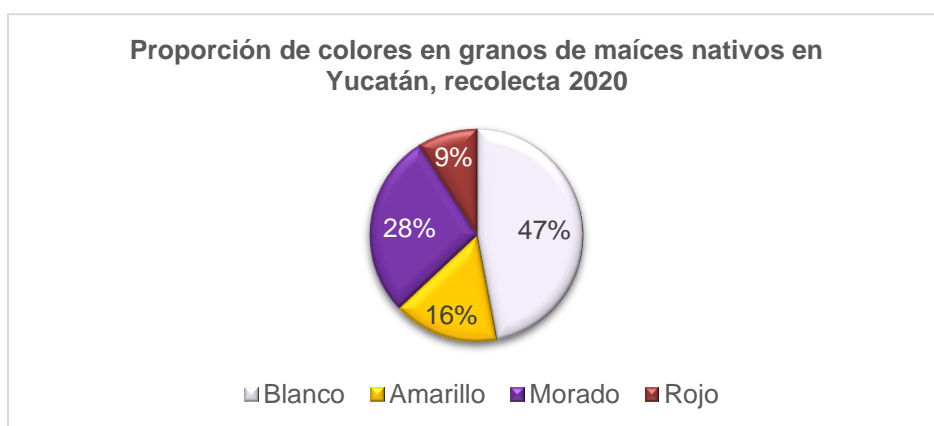
González *et al.* (2017) mencionaron que en la región Península de Yucatán disminuyó el uso de variedades precoces y se incrementó el uso de variedades con ciclos más largos, lo que atribuyeron a un cambio de sistemas de producción de aquellos de temporal a los de riego y a una disminución en la frecuencia de las lluvias. Por lo general, los maíces Tuxpeños (tardíos), de color blanco y amarillo, son mayormente utilizados por su característica de mayor rendimiento, ya que cuentan fenotípicamente con mayor longitud de mazorca, mayor número de granos y peso, comparado con la raza Nal tel, siendo elegidos por la mayoría de los productores (Usha *et al.*, 2017), coincidiendo con los datos etnobotánicos obtenidos en las comunidades muestreadas de Yucatán, donde la principal característica que reportaron los milperos fue el rendimiento; respuesta más frecuente, de 12 diferentes (1) Rendimiento (16.44%); 2) Precocidad (12.33%); 3) Color (10.96%); 4) Sabor (9.59%); 5) Suavidad en masa/tortillas (8.22%); 6) Resistencia a sequía(8.22%); 7) Venta o demanda (8.22%); 8) Resistencia a gorgojos (6.85%); 9) Hacer una bebida o platillo específico (4.11%); 10) Consumo (4.11%); 11) Costumbre (2.74%); 12) Fácil desgrane (1.37%); el porcentaje restante no especificó.

Este factor del rendimiento determina la preferencia del milpero por la siembra de una raza/variedad a otra de maíz, predominando así las variedades tardías, seguida de variedades intermedias con una disminución de variedades precoces. El rendimiento puede mejorarse en todos los grupos de maíces y no únicamente en maíces Tuxpeños, siempre y cuando se mantengan las características de precocidad, que identifican a cada tipo de maíz (Velasco *et al.*, 2020).

Por otra parte, para la raza precoz Nal tel se ha mencionado en los últimos 17 años la situación de riesgo de erosión genética (Turrent y Serratos, 2004). Burgos *et al.* (2004) indicaron una disminución de su cultivo en la región Península de Yucatán. Algo similar se estaría dando a nivel intrapoblacional en la raza Tuxpeño, donde la variedad Pix cristo no se reportó dentro de las recolectas del 2020, tipo de maíz que presenta veteados de color rojo en el grano. Esto podría deberse a una baja proporción con respecto a las demás razas y variedades, publicado en una investigación sobre la recuperación de biodiversidad en Yucatán, México por el CINVESTAV-IPN (2000).

Considerando el color de semilla como uno de los factores de diversidad, se encontraron los cuatro colores básicos en el estado de Yucatán (Figura 2.3.2), así como poblaciones variegadas (Figura 2.3.3) que podrían ser resultado de la variación que se da por el flujo genético de las poblaciones en las milpas, o bien debido a la plasticidad fenotípica en respuesta al ambiente de

crecimiento, generando cambios en la expresión de las variables fenotípicas a través de los años (Mijangos, 2013; Vidal *et al.*, 2004).



**Figura 2.3.2.** Proporción de colores en granos de maíces nativos recolectados en el estado de Yucatán, México (recolecta, 2020).



**Figura 2.3.3.** Recolectas con infiltración genética. a) Mazorcas pintas encontradas en una misma población y b) diferentes intensidades en coloración de grano (recolecta, 2020).

De acuerdo al color de semilla, se tuvo una proporción de 47% de semillas color blanco, 28% de semillas moradas, 16% amarillas y 9% rojas. Dentro de la clasificación de los maíces por razas en Tuxpeño se tuvo: 24 poblaciones blancas, 11 amarillas, 27 moradas y cuatro rojas; en Dzit bacal: 12 blancas y una roja; en Nal tel: tres rojas, una blanca, una amarilla y una morada; en Xmejen nal: 10 blancas y tres amarillas y en Nal xoy: una amarilla y una roja.

Esta baja proporción encontrada en maíces rojos, de acuerdo con lo que reportaron los informantes, se debe a las propiedades de la masa de los maíces de este color, que poseen baja



---

---

maleabilidad y pigmentación, lo que puede influir en su baja elección para siembra. Además de las preferencias en el consumo dentro de las familias de la región, donde se tiene una predilección por consumir maíz blanco y no por maíz amarillo, morado o rojo (Miranda *et al.*, 2018). Esto conduce a plantearnos si los maíces rojos pudieran estar en abandono de siembra en el estado de Yucatán. Ante ello, un programa de manejo dirigido a estos maíces favorecerá su conservación.

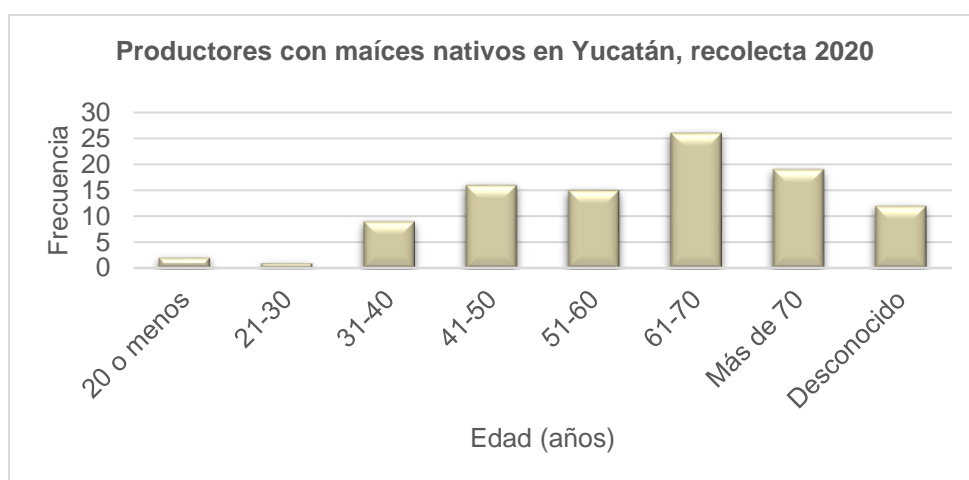
Por su parte, la representatividad de las recolectas para el maíz morado fue del 28%; dentro de ellas se identificó que la preferencia en el consumo del maíz morado es por su suavidad en masa y tortillas (19%), y por su uso específico dentro del ámbito culinario en la Península de Yucatán, particularmente en la región geomorfológica del oriente de Yucatán para la elaboración del platillo tradicional “relleno negro” (14%), contribuyendo así a su conservación. Otras características importantes reportadas en los maíces morados fueron su comercialización y el agrado por el color del grano (14%), decisión influenciada por la esposa del milpero quien es la encargada de la elaboración de los alimentos en el hogar; seguido del rendimiento (12%) por encima de los maíces amarillos, pero no de los maíces blancos; el sabor (10%) y el fácil desgrane (5%) debido a la consistencia harinosa del maíz morado comparado con el maíz amarillo que tiene consistencia más dura, lo que ha influido también en su conservación. El porcentaje restante de los informantes no especificó al respecto.

Los maíces morados en Yucatán cuentan con dos diferentes ciclos fenológicos: tardíos (Tuxpeños, en maya Ek ju'ub) y precoces (Nal tel). Para este último, se reportó una sola población proveniente de la comunidad de Xoy, Peto, ubicada al sur del estado. Esta población fue producto de la reinserción de una accesión conservada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por parte del Dr. Mijangos Cortés e incrementada y difundida por el productor Nazario Poot.

Los maíces rojos, por su parte, estuvieron presentes en los tres ciclos fenológicos: tardíos, intermedios (Dzit bacal) y precoces. Casos excepcionales fueron una población de Dzit bacal y un Nal xoy, ambos rojos, color poco frecuente en estas variedades. En algunas poblaciones de Xmejen nal se encontraron mazorcas con olote rojo, pero no fue posible colectar la variedad con semilla roja denominada Chac Xmejen nal. Maíces morados y rojos figuraron en las tres regiones de recolecta, lo que indica que están adaptados a diferentes microambientes debido a las diferencias genéticas que presentan.

### 2.3.2. EDAD DE LOS AGRICULTORES QUE MANEJAN LA DIVERSIDAD DE MAÍCES NATIVOS EN YUCATÁN

Se caracterizaron poblaciones de maíz de 74 milperos, que tuvieron un rango de edad de 20 a 80 años, con solamente 12 milperos que corresponden a la población adulta-joven de menos de 40 años (Figura 2.3.4). Por su parte, los milperos de edad avanzada con más de 70 años otorgaron una sola raza/variedad y aquellos con rango de edad de 30 a 70 años aportaron de dos a cuatro. Por lo que la conservación de la diversidad de los maíces nativos está fuertemente ligada a la edad de los agricultores, quienes son los encargados de cultivar el germoplasma. Mientras más joven sea la población que se dedica a la actividad maicera mayor número de variedades son las que maneja.



**Figura 2.3.4.** Edad de los productores que conservan la diversidad de maíces nativos en Yucatán, México (recolecta, 2020).

Todos los milperos encuestados son maya-hablantes, con un tiempo de manejo promedio de la semilla de maíz de 27 años, un mínimo de un año y un máximo de 60 años. En la actualidad todo dependerá de los descendientes de los agricultores, quienes podrían optar por continuar con sus actividades agrícolas en su comunidad de origen, o migrar a las ciudades, como un cambio en su modo de vida, tendencia que ha ido en incremento durante los últimos 20 años en la sociedad. Arias (2013) ya indicaba el rompimiento de la continuidad generacional de la fuerza de trabajo para mantener la milpa, donde la falta de oportunidades para los jóvenes en sus comunidades los orilla a buscar otras actividades económicas fuera de las mismas. Si esta tendencia continúa se tendría un riesgo en la conservación de maíces nativos.

El manejo de la diversidad de maíces nativos en manos de los agricultores yucatecos de edad avanzada fue reportado por Mijangos en el 2013, con colectas efectuadas en el 2007 y 2008. Desde ese entonces ya se reportaba el riesgo de pérdida de germoplasma en las comunidades mayas.

### **2.3.3. PROCEDENCIA DEL GERMOPLASMA RECOLECTADO**

El intercambio de germoplasma entre productores de la misma comunidad y con comunidades aledañas en la región sur y oriente de Yucatán, se efectúa con regularidad, siendo un método de adquisición de semillas, actividad principal que genera el flujo genético actualmente dentro y entre las comunidades. Esta costumbre no se presenta en la zona centro (Cuadro 2.3.2), pudiendo influir en la ausencia de maíces precoces (razas Nal tel y Xmejen nal). El hecho de ingresar nuevos genotipos a sus comunidades, por parte de los milperos del sur y del oriente, pudo deberse a una mayor participación de los milperos en Ferias de Semillas, actividad que se efectúa año con año. De esta manera, se ha favorecido la adaptación de los maíces a diferentes microambientes presentes en Yucatán.

Asimismo, se detectó germoplasma de maíces introducidos en dos comunidades del sur de Yucatán a partir de otras regiones geográficas del país, principalmente procedente del estado de Chiapas (mazorcas de granos anchos y harinosos, así como un maíz palomero). Estos materiales no fueron recolectados, debido a los escasos años de manejo y adaptación en la región, sin embargo, son prometedores reservorios de germoplasma a futuro, por ser indicativos del flujo de germoplasma que se da entre los estados del sureste del país mexicano.

El sistema informal de semillas surgió como respuesta al comportamiento climático en la región, demostrando ser eficiente y exitoso a lo largo del tiempo frente a adversidades naturales (Dzib *et al.*, 2016; Latournerie *et al.*, 2004). Donde, en los últimos años, se han intensificado los fenómenos naturales como huracanes y sequías en Yucatán, que obligan a los milperos a buscar semillas en comunidades diferentes a la suya.

Asimismo, la continuidad de la milpa en las comunidades ha favorecido el flujo genético entre las poblaciones de maíces que se siembran en milpas cercanas (Canul *et al.*, 2012). Por lo que, este intercambio entre milpas, así como también entre comunidades aledañas o de otros estados diferentes a Yucatán, es un mecanismo inconsciente para controlar la erosión genética (Medina *et al.*, 2018). Con la intervención humana, que genera ese intercambio, se introducen nuevas características genéticas en las poblaciones (Hodgkin *et al.*, 2011).

**Cuadro 2.3.2.** Procedencia del germoplasma de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).

Procedencia	Productores							
	Total	%	Zona					
			1	%	2	%	3	%
Herencia	53	53.00	22	48.89	7	46.67	24	60.00
Compra	30	30.00	16	35.56	3	20.00	11	27.50
Intercambio	6	6.00	4	8.89	0	0.00	2	5.00
Otro	11	11.00	3	6.67	5	33.33	3	7.50
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>45</b>		<b>18</b>		<b>47</b>	

Zona 1: sur, zona 2: centro, zona 3: oriente

En cuanto al mantenimiento de la diversidad genética, es difícil indicar la proporción del flujo génico en las milpas tradicionales, por lo que estudios genéticos en estas poblaciones caracterizadas fenotípicamente podrían aportar evidencias de cambios genéticos. El cruzamiento en maíz depende de factores como la dirección y velocidad del viento, sincronización de la floración y receptividad de los estigmas, así como condiciones de topografía y precipitación (Canul *et al.*, 2012).

## 2.3.4. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE RECOLECTAS EN YUCATÁN

### 2.3.4.1. Razas y variedades en maíces

De acuerdo a la clasificación dada por el productor y registrada en las fichas de pasaporte, los maíces recolectados fueron:

Raza Tuxpeño (Xnuk nal). De acuerdo a las recolectas efectuadas en el estado de Yucatán en el 2020, el promedio en el número de hileras de mazorca fue de 12 con 36 granos por hilera en las poblaciones caracterizadas. De acuerdo a González *et al.* (2017) y Cázares *et al.* (2015), las mazorcas para esta raza pueden presentar hasta más de 14 hileras y 40 granos por hilera en promedio.

---

Raza Dzit bacal. Se encontró en Yucatán una población roja, siendo uno de los casos extraordinarios en recolectas para esta raza. El número de hileras de la mazorca no superó las 10 conteniendo en promedio 37 granos por hilera. Estos datos coinciden con lo que indica la literatura para el número de hileras que raramente supera las 10 así como para el número de granos (González *et al.*, 2017; Cázares *et al.*, 2015).

Raza Nal tel. Se contó con la adquisición de germoplasma de una población de maíz morado en la comunidad de Xoy, Peto. Durante la caracterización fenotípica se reportó un promedio de 36 granos por hilera con longitudes de mazorca que van de 9.5 a 11.8 cm. Cázares *et al.* (2015) indicaron para la raza Nal tel datos promedios de 22 granos. González *et al.* (2017) reportaron para la variedad roja Chac Nal tel o Gallito rojo un promedio de 26 granos por hilera.

Variedad Xmejen nal. Se recolectaron mazorcas blancas con olote rojizo, así como la variedad K'an Xmejen nal de grano amarillo. González *et al.* (2017) mencionaron que podrían estar en peligro de desaparecer ambas variedades, por su escasa representatividad en las campañas de recolección. No fue posible coleccionar la variedad roja denominada Chac Xmejen nal, contrario a lo obtenido por González *et al.* (2017) que reportaron una mayor presencia para este tipo de maíz, en la parte centro-norte de Yucatán. El promedio de número de hileras por mazorca encontrada en las colectas del 2020 fue de 12 y el número de granos por hileras de 36, datos similares fueron reportados por dichos autores con 16 hileras y 32 granos por hilera en promedio.

Variedad Chac chob. Para las poblaciones recolectadas en Yucatán la longitud de mazorca fue de 15 cm, con 12 hileras y 36 granos por hilera en promedio. Para esta variedad, González *et al.* (2017) reportaron mazorcas de 16 cm de largo con 16 hileras y 36 granos en promedio, datos cercanos a los obtenidos en este estudio. En particular las variedades de color rojizo fueron de difícil recolecta en las comunidades de Yucatán.

Variedad Ek ju'ub. El número de hileras por mazorca reportada durante la caracterización de las poblaciones fue de 12 como máximo y de 41 granos por hilera en promedio. Esta variedad puede poseer hasta 16 hileras (González *et al.*, 2017), por lo que puede alcanzar mayores rendimientos.

Variedad Nal xoy. Con un promedio de 12 hileras por mazorca y 40 granos por hilera para este estudio, esta variedad puede alcanzar hasta las 16 hileras en mazorca y particularmente en el Nal xoy amarillo se pueden tener mazorcas con 17 cm de largo en promedio, para el Nal xoy blanco mazorcas mayores a 17 cm, relativamente más grandes (González *et al.*, 2017).

#### **2.3.4.2. Análisis de la variación fenotípica de las recolectas de maíces en Yucatán**

Se logró caracterizar 100 poblaciones, de las cuales se tuvieron: 66 Tuxpeños (T), 13 Dzit bacal (DB), 6 Nal tel (NT), 13 poblaciones de un complejo interracial conocido como Xmejen nal (XM) y dos Nal xoy (NX).

El valor de significancia de acuerdo con el ANDEVA general realizado, incluyendo a todas las poblaciones de maíces nativos (Cuadro 2.3.3) mostró diferencias significativas para la totalidad de las variables. En el ANDEVA de maíces tardíos pertenecientes a la raza Tuxpeño, que incluye a poblaciones de Ek ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, K'an pok y Oox uen, con la craza interracial Nal xoy, se obtuvo diferencias no significativas entre las poblaciones únicamente para el espesor de grano. En el ANDEVA utilizando maíces intermedios, que incluyen a la raza Dzit bacal y a las cruzaes interraciales de Xmejen nal, todas las variables mostraron diferencias significativas, lo que indica una gran variación entre las poblaciones de este grupo. Por último, en los maíces precoces, que incluye a la raza Nal tel, más de la mitad de las variables evaluadas contó con diferencias significativas a pesar de que únicamente conformaron a este grupo seis poblaciones; siendo las variables espesor, ancho y largo de grano aquéllas no significativas para la variación.

Las diferencias encontradas en el ANDEVA coinciden con lo reportado por Mijangos *et al.* (2017) en las variables caracterizadas al evaluar 80 poblaciones de Tuxpeño, Dzit bacal y Nal tel de la Península de Yucatán. Mijangos (2013), indicó diferencias significativas para la totalidad de las variables, mismas variables medidas en la mazorca durante este estudio con colectas del 2020.

**Cuadro 2.3.3.** Análisis de la variación fenotípica de mazorcas de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).

VAR	General					Maíces tardíos <sup>∞</sup>				
	CM	EE	Media	DS	CV (%)	CM	EE	Media	DS	CV (%)
LM	33.366**	2.816	15.37	2.417435	16	24.032**	2.899	15.59	2.23248	14
DM	0.848**	0.139	3.983	0.457475	11	0.6390**	0.153	4.056	0.44813	11
PSM	5903.356**	443.393	116.85	31.37782	27	4236**	485.242	120.44	29.24581	24
NHM	14.782**	1.985	11.37	1.803624	16	9.866**	2.020	11.24	1.67165	15
NGH	286.356**	28.706	36.42	7.365048	20	230.5**	28.395	36.71	6.95255	19
NTG	24.485**	3.575	411.5	95.58813	23	36905**	6048.982	411.8	95.36105	23
EG	1.454*	1.120	3.273	1.073993	33	1.811ns	1.625	3.294	1.28176	39
AG	3.801**	0.705	8.945	1.005863	11	2.8943**	0.651	9.135	0.93404	10
LG	3434.624**	474.547	11.46	1.256928	11	5.928**	1.081	11.54	1.24854	11
P100S	113.604**	15.264	26.76	5.001066	19	70.41**	15.775	27.69	4.60064	17
PGM	4578.842**	453.617	102.23	29.36828	29	3457**	525.717	105.56	28.54781	27
DO	65.386**	5.659	21.29	3.402765	16	38.51**	5.373	21.68	2.93988	14
PO	154.050**	12.946	13.91	5.189553	37	98.70**	13.056	14.33	4.63754	32

\* $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; ns: no significativa; VAR: Variable; CM: Cuadrados Medios; EE: Error Estándar; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de Variación; <sup>∞</sup>: Xnuk nal, Ek Ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, Chac xim, Chac nal, Oox uen, K'an pok. LM: Longitud de la mazorca; DM: Diámetro de la mazorca; PSM:

Peso seco de la mazorca; NHM: Número de hileras de la mazorca; NGH: Número de granos por hilera; NTG: Número total de granos; EG: Espesor de grano; AG: Ancho de grano; LG: Longitud de grano; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; PGM: Peso de granos de una mazorca; DO: Diámetro de olote; PO: Peso de olote.

**Cuadro 2.3.3. (Continuación)**... Análisis de la variación fenotípica de mazorcas de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).

VAR	Maíces intermedios°					Maíces precoces†				
	CM	EE	Media	DS	CV (%)	CM	EE	Media	DS	CV (%)
LM	24.519**	2.748	15.65	2.2032	14	23.108**	2.194	11.44	1.991788	17
DM	0.8181**	0.104	3.922	0.4164	11	0.655**	0.144	3.532	0.433156	12
PSM	5286**	401.972	118.88	29.5739	25	1907.1**	162.389	66.8	17.61375	26
NHM	25.915**	1.919	11.45	2.0594	18	10.147**	1.889	12.43	1.608944	13
NGH	211.48**	31.266	37.98	6.9789	18	70.43**	20.274	25.87	4.952201	19
NTG	25549**	6180.151	430.1	89.7473	21	23782**	3430.333	321.4	71.79867	22
EG	0.8414**	0.102	3.215	0.4169	13	0.311ns	0.157	3.301	0.412368	12
AG	2.6983**	0.922	8.729	1.0459	12	0.4615ns	0.301	7.81	0.560684	7
LG	5.555**	0.843	11.58	1.1397	10	1.979ns	1.095	10.094	1.081728	11
P100S	99.88**	15.710	26.04	4.8844	19	41.87**	7.378	19.55	3.209402	16
PGM	3613**	347.619	103.64	25.7615	25	1417.7**	131.130	57.87	15.49741	27
DO	124.50**	6.155	20.68	4.1961	20	62.06**	6.594	19.75	3.360806	17
PO	258.34**	14.345	13.998	6.1608	44	55.83**	5.181	8.798	3.077967	35



---

\* $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; ns: no significativa; VAR: Variable; CM: Cuadrados Medios; EE: Error Estándar; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de Variación; ° Dzit bacal, Xmejen nal, Xtup nal, Nal xoy; †: Nal tel, Gallito. LM: Longitud de la mazorca; DM: Diámetro de la mazorca; PSM: Peso seco de la mazorca; NHM: Número de hileras de la mazorca; NGH: Número de granos por hilera; NTG: Número total de granos; EG: Espesor de grano; AG: Ancho de grano; LG: Longitud de grano; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; PGM: Peso de granos de una mazorca; DO: Diámetro de olote; PO: Peso de olote.

Debido a las diferencias estadísticas encontradas en los caracteres de las poblaciones, se efectuó una prueba *post hoc* de DMS. Al comparar las diferentes poblaciones se pudo ver el número de grupos diferentes que se formaron de acuerdo a la diversidad presente en las variables evaluadas (Cuadro 2.3.4).

**Cuadro 2.3.4.** Formación de grupos de similitud entre poblaciones de maíces del estado de Yucatán, México (recolecta, 2020).

Variable	Número de grupos formados mediante DMS			
	Clasificación en maíces de acuerdo al ciclo de cultivo			
	General <sup>Ω</sup>	Tardíos <sup>∞</sup>	Intermedios <sup>°</sup>	Precoces <sup>†</sup>
LM	61	40	29	15
DM	47	18	17	6
PSM	112	77	63	27
NHM	6	5	6	3
NGH	37	27	23	11
NTG	33	31	23	15
EG	8	4	42	9
AG	78	73	41	13
LG	80	50	55	12
P100S	105	84	59	13
PGM	120	78	66	27
DO	126	82	85	17
PO	107	83	51	17
Promedio	70.8	50.2	43.1	14.2
Min	6	4	6	3
Max	126	84	85	27

\* $p \leq 0.05$ ;  $^{\circ}n= 100$ ,  $^{\infty}n= 66$ , Xnuk nal, Ek Ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, Chac xim, Chac nal, Oox uen, K'an pok;  $^{\circ}n= 28$ , Xmejen nal, Dzit bacal, Xtup nal, Nal xoy;  $\dagger n= 6$ , Nal tel, Gallito. LM: Longitud de la mazorca; DM: Diámetro de la mazorca; PSM: Peso seco de la mazorca; NHM: Número de hileras de la mazorca; NGH: Número de granos por hilera; NTG: Número total de granos; EG: Espesor de grano; AG: Ancho de grano; LG: Longitud de grano; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; PGM: Peso de granos de una mazorca; DO: Diámetro de olote; PO: Peso de olote.

Los resultados de DMS indicaron que, de acuerdo a la clasificación en maíces, para los maíces intermedios se tuvo una mayor conformación de grupos, sobre todo en cuanto a diámetro de olote. Al comparar las razas se observa que para la variable espesor de grano se conformó un mayor número de grupos en los maíces intermedios, no así en los maíces tardíos y precoces. El carácter que menos grupos diferentes formó en los maíces intermedios y precoces fue el número de hileras de la mazorca; y en maíces tardíos el espesor de grano. Lo cual puede sugerir la homogeneidad durante la selección antropocéntrica en estas dos variables, tal como mencionan Herrera *et al.* (2002).

#### 2.3.4.3. Análisis de la variación general (ACP) de las recolectas de maíces en Yucatán, México (2020)

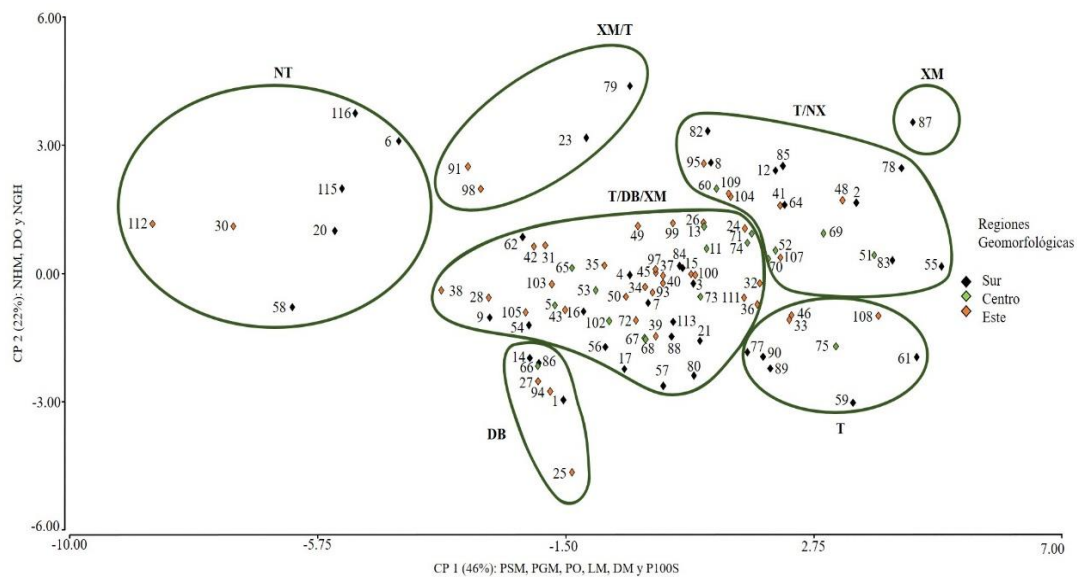
El ACP mostró una variación fenotípica de 89% en los caracteres de mazorcas con cuatro componentes principales (Cuadro 2.3.5). El componente uno explicó el 46% de la variación total con las variables: PSM, PGM, PO, LM, DM y P100S. El componente principal dos aportó un 22% de la variación (68% de la variación total acumulada), donde las variables de mayor contribución fueron NHM, DO y NGH. El componente principal tres contribuyó con el 14% de la variación, con las variables AG y NTG, aportando LG un 8% de variación en el CP4.

**Cuadro 2.3.5.** Análisis de la variación total de los caracteres fenotípicos en maíces nativos de Yucatán con vectores y valores propios de los componentes principales (CP) de 100 poblaciones.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4
Longitud de mazorca	0.32	-0.23	-0.06	-0.21
Diámetro de mazorca (parte media)	0.32	0.23	0.09	0.20
Peso seco de mazorca	0.39	-0.01	-0.06	0.06
Número de hileras de la mazorca	0.06	0.52	-0.26	0.19
Número de granos por hilera	0.25	-0.35	-0.31	-0.11
Número total de granos	0.29	0.06	-0.45	0.05

Espesor de grano	0.15	0.33	0.30	-0.36
Ancho de grano	0.17	-0.29	0.48	-0.07
Longitud de grano	0.23	-0.24	-0.12	0.37
Peso de 100 semillas del centro de la mazorca	0.29	-0.15	0.39	-0.02
Peso de granos de una mazorca	0.38	-0.05	-0.09	0.08
Diámetro del olote	0.23	0.43	0.16	-0.01
Peso de olote	0.33	0.20	0.10	-0.12
Valor propio	6.48	2.91	1.93	1.16
Variación explicada	0.46	0.22	0.14	0.08
Variación acumulada	0.46	0.68	0.82	0.89

En el ACP se identificaron siete grupos, basados en su ubicación bidimensional CP1 y CP2, confirmando dichas agrupaciones mediante la representación gráfica tridimensional de CP1, CP2 y CP3, que representó el 68% de la variación fenotípica (Figura 2.3.5). El grupo NT integró la totalidad de las poblaciones de la raza Nal tel acompañado de un Xmejen nal amarillo (Pob 58), la mayoría de las variables de este grupo tuvieron los valores más reducidos. La población 112 Nal tel amarillo presentó los valores mínimos (variables LM, DM, PSM, P100S, PGM, NTG y NGH).



**Figura 2.3.5.** Variación fenotípica de mazorcas de 100 poblaciones de maíz nativo recolectados en el estado de Yucatán, México (2020).

El grupo XM/T se conformó por cuatro poblaciones, tres de ellos corresponden a la crucea interracial Xmejen nal (Pob 23, 79, 91) y uno a Ek ju'ub (Pob 98). Tanto en los grupos XM/T como en NT, se observó una tendencia de agrupación por microrregiones, con una marcada separación entre las poblaciones procedentes del oriente con respecto a las del sur de Yucatán. Particularmente, las poblaciones de NT en el sur de Yucatán tuvieron una agrupación compacta como respuesta a la cercanía de las localidades de recolecta, donde la Pob 115 (Nal tel rojo) y 116 (Nal tel morado) provienen de la misma región geomorfológica (Xoy, Peto, Yucatán). La Pob 58 (Xmejen nal amarillo) procede del municipio de Peto y las Pob 6 y 20 (Nal tel rojo, ambas) provienen de los municipios de Tahdziú y Tixméhuac, geográficamente cercanos a Peto dado que el primero se ubica a 8.57 km y el segundo a 25 km. Siendo probable que una población de maíz tomada de un sitio se diseminó hacia las otras comunidades cercanas mediante el intercambio de germoplasma que se da entre los milperos, en búsqueda de obtención de semilla nueva (Dzib *et al.*, 2016).

El tercer grupo T/DB/XM contuvo a la mitad de las poblaciones recolectadas, con maíces Tuxpeños (Xnuk nal, Ek ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, Chac xim, Chac nal, Oox uen y K'an pok) y la integración de maíces intermedios Dzit bacal (Pob 5, 16, 17, 57, 72, 97 y 113) con Xmejen nal (Pob 4, 88 y 102).

---

---

En DB se agruparon maíces Dzit bacal (Pob 1, 25, 27, 94), dos tuxpeños (Pob 66 y 86) y un Xmejen nal (Pob 14). Para las poblaciones de DB se encontró que, 10 de las 13 variables registradas estuvieron entre el rango de las poblaciones de Dzit bacal, siendo la variable NHM la determinante que lo agrupó. Las Pob 66 y 86 contaron con una LM menor a 15 cm, esto contrasta con la LM de la mayoría de los Tuxpeños que en promedio tienen valores de 16 cm y valores máximos de 19 cm.

Algunas poblaciones identificadas por el agricultor como Dzit bacal, fueron separadas de sus homólogas y conformaron un tercer grupo. Sin embargo, estas poblaciones ya no corresponden a un material fidedigno de esta raza, debido a que su NHM fue superior a 10 (siendo la característica determinante de un Dzit bacal el NHM de 8 a 10); además, la variable DM (relacionada al NHM) tuvo valores superiores al dato promedio para el Dzit bacal. De acuerdo con las regiones de recolecta, en el grupo DB, tres poblaciones correspondieron a la zona oriente, tres a la zona sur y uno a la zona centro.

El grupo cinco (T/NX) correspondió a materiales tardíos Tuxpeños en su mayoría, así como una población de Nal xoy (69). Las poblaciones que lo conformaron superaron el valor promedio para casi la totalidad de las variables biométricas evaluadas en mazorca. Los materiales de este grupo provinieron de las tres regiones geomorfológicas del estado.

El grupo T presentó Tuxpeños en su totalidad, donde la Pob 61 (maíz blanco) tuvo los valores máximos en las variables LM, PSM, P100S y PGM. Por último, XM fue una población de Xmejen nal (Pob 87) proveniente del sur que fue segregada de todas las demás. La separación de esta población responde a los valores máximos alcanzados en sus variables dentro de maíces Xmejen nal y a sus valores por encima de la media en 10 de las 13 variables registradas en Tuxpeños.

Los maíces intermedios como Dzit bacal, cruza interracial de Xmejen nal y algunos Tuxpeños tuvieron valores promedio intermedios, ubicándose en la parte central de la gráfica. Los maíces Dzit bacal tuvieron valores mínimos en NHM y DO, variables que determinan el CP2 y se ubicaron en la parte inferior de la gráfica. Con los mayores valores de PSM, PGM, PO, LM, DM y P100S se ubicaron los maíces tardíos con características propias de un Tuxpeño, esto es, mazorcas más grandes comparadas con los otros tipos de maíces, ubicándose en la parte superior derecha del ACP.

De acuerdo a su ubicación en el plano bidimensional de los diferentes grupos conformados en el ACP, se observó un gradiente de acuerdo a razas y cruza interracial, estrechamente

relacionado a los ciclos fenológicos de los maíces nativos presentes en Yucatán. Las poblaciones Nal tel se diferenciaron del resto, con su concentración en la región izquierda de acuerdo a la dispersión de la variabilidad morfológica, teniendo los valores más bajos en sus variables biométricas de mazorca como corresponde a un maíz de tipo precoz, en comparación con los maíces tardíos Tuxpeños; así el continuo de variación inicia con los materiales precoces y finaliza con los tardíos (Burgos *et al.*, 2004). Incluso dentro del grupo precoz (Nal tel) se observa la conformación de subgrupos que indican la procedencia del germoplasma de acuerdo a su región geomorfológica (zona de recolecta). Esto sugiere que en estos maíces se tuvo una fuerte influencia de las condiciones ambientales a los que estuvieron sometidos durante su crecimiento, así como el manejo particular recibido de acuerdo a los criterios de selección de cada milpero en cada región. Asimismo, los diferentes ciclos de selección bajo domesticación a través del tiempo resultan en divergencias a pesar de ser maíces de la misma raza.

Los resultados en este estudio indican que existe un flujo genético entre las tres diferentes regiones geomorfológicas principalmente en las poblaciones de maíces Tuxpeños, donde no se tuvieron separaciones perceptibles de acuerdo a su procedencia.

Las poblaciones sobresalientes por su capacidad de rendimiento son: Nal tel rojo (Pob 6) y Nal tel morado (Pob 116); Xmejen nal blanco (Pob 2 y 87); Tuxpeño blanco (Pob 55), Tuxpeño amarillo (Pob 48), Tuxpeño rojo (Pob 8 y 107) así como Tuxpeño morado (Pob 51 y 64). Las poblaciones 51 y 64 son de interés para la obtención de colorante a partir del endospermo del grano, siendo maíces con pigmentación morada. Se prestaría especial atención a las poblaciones rojas 8, 105 y 107 por su color en olote. Se colectó solo una población precoz Nal tel morado (116) lo que lo hace promisorio para su selección en Yucatán. Actualmente la selección en programas de mejoramiento genético busca obtener variedades precoces debido a su corto ciclo fenológico, lo que permitiría realizar un mayor número de ciclos de selección al año (Velasco *et al.*, 2019).

#### **2.3.4.4. Análisis de similitud en los maíces de Yucatán**

Las 100 poblaciones de maíces recolectadas en el estado de Yucatán formaron siete grupos diferentes a una distancia euclidiana al cuadrado de 18.72 unidades (Figura 2.3.6).

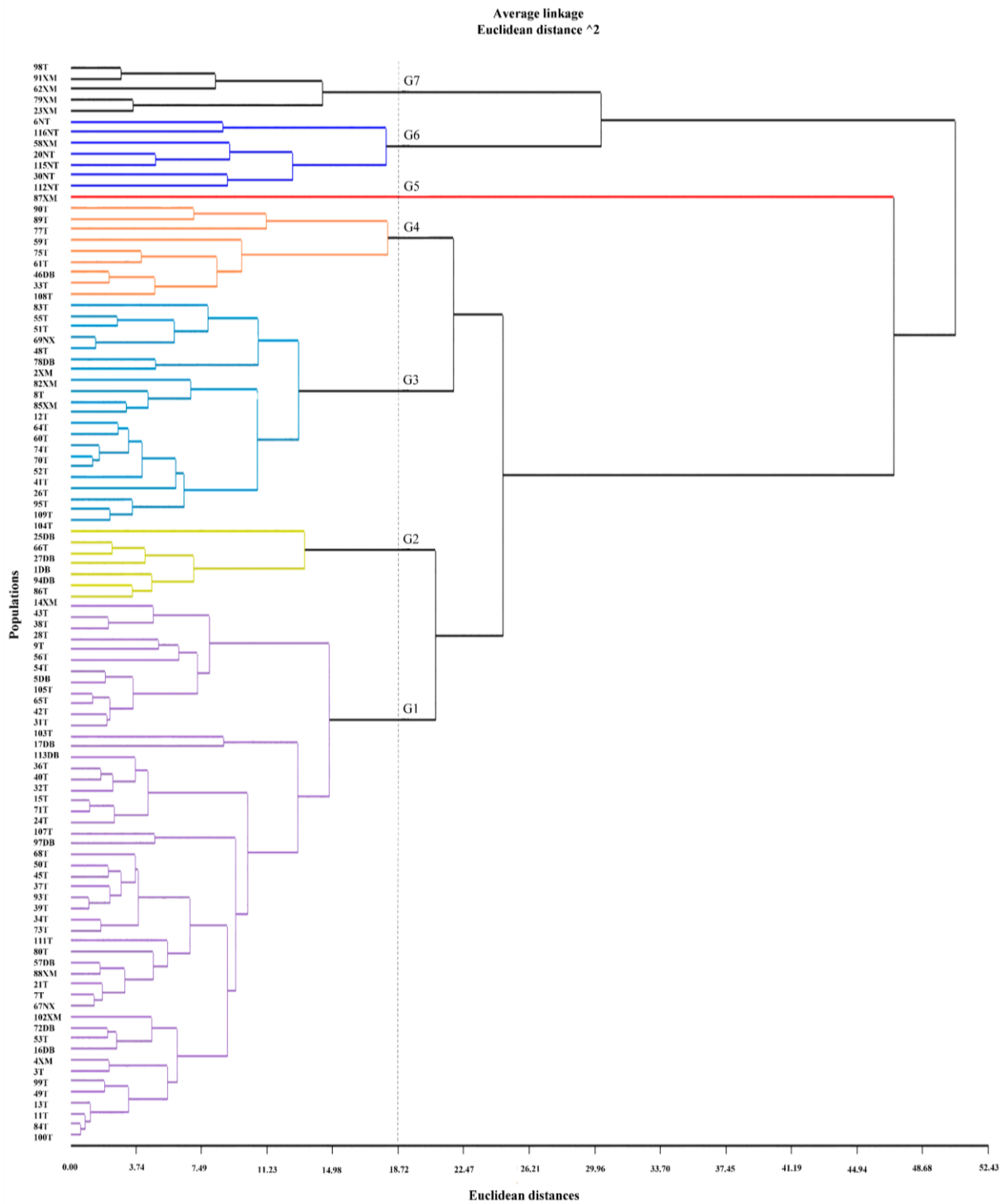
El grupo G1 fue el más numeroso con 50 poblaciones, de las cuales 39 fueron materiales tardíos (Tuxpeños), siete poblaciones intermedias de la raza Dzit bacal, tres de Xmejen nal y una de Nal xoy. El G1 se definió por las características predominantes de los maíces Tuxpeños.

El grupo G2 estuvo conformado por cuatro materiales de Dzit bacal (Pob 25, 27, 1 y 94), dos Tuxpeños (Pob 66 y 86) y un Xmejen nal (Pob 14). El grupo G3 integró maíces tardíos en su mayoría (Tuxpeños) con un total de 21 poblaciones, estando entre ellos variedades de tipo Ek ju'ub, Sak nal y Chac chob, clasificados taxonómicamente como Tuxpeños; además de una población de Nal xoy (Pob 69). Las características sobresalientes tuvieron valores por encima del promedio, tal es el caso de DM (40.70 mm), PSM (124.66 g), NHM (12), NTG (419) y DO (21.81 mm).

El grupo G4 presentó poblaciones Tuxpeñas con una sola población Dzit bacal (Pob 46). Los Tuxpeños son los maíces de mayor tamaño en mazorca con respecto a las otras dos razas presentes en Yucatán. Este grupo contó con valores por encima de la media en las variables de mazorca. El G5 lo conformó la población Xmejen nal 87. El G6 agrupó maíces Nal tel con un Xmejen nal (Pob 58). El G7 se conformó con cuatro poblaciones de Xmejen nal y una población de maíz morado (Pob 98), esta última superando los valores mínimos en las variables LM y DM.

Se obtuvo una alta variabilidad fenotípica en los maíces nativos caracterizados a nivel inter e intrapoblacional, hecho que se observó en el ANDEVA, el ACP y en el análisis de similitud. El contar con alta variación genética en los maíces nativos de Yucatán, a pesar del bajo número de razas presentes, hace ver su importancia en el tema de selección y mejoramiento.





**Figura 2.3.6.** Relaciones de similitud fenotípica de poblaciones de maíz nativo recolectados en el estado de Yucatán, México (2020).

La variación se debe a que los datos proceden de maíces de diferentes razas y variedades que aún conservan sus rasgos identificables. También a que son maíces que han sido sometidos a diferentes microambientes de crecimiento que pueden llegar a ser muy contrastantes (Urbazaev *et al.*, 2018), suelos con diferentes propiedades físicas y químicas (Borges *et al.*, 2005), distintas profundidades (Bautista *et al.*, 2015), diferentes tipos climáticos (Orellana *et al.*, 2009) y diferentes sistemas de manejo por los agricultores.

En cuanto a las condiciones ambientales que pueden generar las diferencias en los maíces de Yucatán, de acuerdo con las zonas de la región, tenemos que, la zona sur cuenta con las altitudes más altas, llegando a alcanzar los 250 msnm, contrario a lo que se tiene en las zonas oriente y centro, con altitudes menores a los 50 msnm. La zona oriente corresponde a una región ganadera donde el desplazamiento de la actividad agrícola por la actividad ganadera ha ido en incremento, presentando suelos con poca permeabilidad; en contraste los suelos profundos cuentan con mayor permeabilidad. El tipo de suelo rendzina (k'ankabales con coloración roja) se presenta en la parte sur del estado, en la parte central se cuenta con suelos de tipo cambisol y litosol que es un suelo joven y poco desarrollado con profundidades de 10 cm (Aguilera, 1958; Duch, 2004).

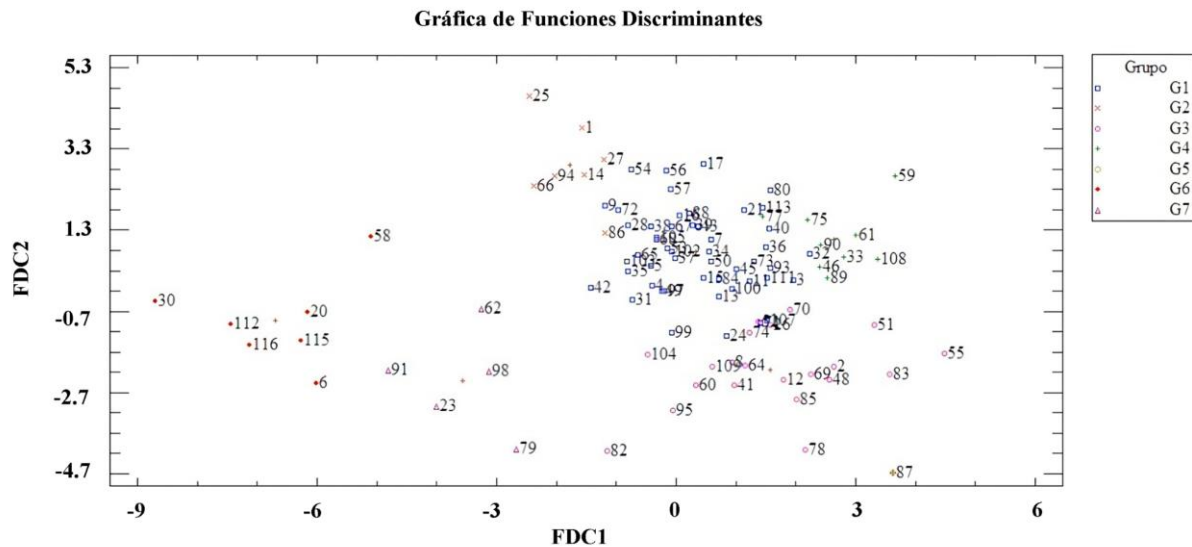
En la zona sur y este del estado de Yucatán, se registra un clima cálido subhúmedo  $Aw_0(x')$  y  $Aw_2(x')$ , respectivamente, siendo las zonas más húmedas del estado coincidiendo con la zona de mayor altitud. En tanto, los climas más secos ( $Aw_0$ ) se presentan en la zona centro (Bautista y Palacio, 2012). Por lo tanto, estos maíces han pasado por diferentes regímenes de lluvias por ser maíces de temporal. Es probable que los maíces que se cultivan en la zona centro, al crecer bajo un clima seco, tuvieran cierto potencial de adaptación a sequía. La adaptabilidad de las poblaciones de maíces a las diferentes regiones geomorfológicas con mejor respuesta ante condiciones estresantes, plagas y enfermedades (Villalobos *et al.*, 2019) permite identificar a las poblaciones prometedoras.

Hernández (1985) indicó que el conjunto de características de la agricultura yucateca, donde se cultivan los maíces nativos, diferencia a esta región claramente del resto de las regiones agrícolas de México.

#### **2.3.4.5. Análisis discriminante**

Entre las 100 poblaciones analizadas el 92% fueron clasificadas correctamente (Figura 2.3.7). Se corroboró la pertinencia de la agrupación en G2, G3, G4, G5, G6 y G7 en el 100% de las poblaciones para cada grupo. Únicamente el G1 contó con el 84% (42 pob.) de las poblaciones

asignadas en G1, reasignando al 8% de las poblaciones (4 pob.) en G3, el 6% (3 pob.) en G2 y el 2% en G4 (1 pob.). Las poblaciones que presentaron una reclasificación fueron siete (Cuadro 2.3.7).



**Figura 2.3.7.** Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes (FDC) y ubicación de los grupos del análisis de conglomerados.

**Cuadro 2.3.6.** Clasificación con la reasignación de grupos.

Pob	Grupo actual	Grupo más alto (*)
24T	G1	G3
54T	G1	G2
57DB	G1	G2
68T	G1	G2
71T	G1	G3
80T	G1	G4
99C	G1	G3

\* Reclasificación

La agrupación del ACP coincidió, en su mayoría, con los grupos formados en el análisis de conglomerados y con el análisis discriminante. En la agrupación DB del ACP todas las poblaciones fueron confirmadas por el análisis discriminante. La Pob 107 es un caso que también genera certeza en las agrupaciones del ACP, puesto que se agrupa con el resto de las poblaciones que se presentan en T/NX en el ACP, lo cual se confirma con el análisis discriminante que lo ubica en el G3, no así en el análisis de similitud donde se observa en el G1. La Pob 87 segregada en el ACP, se confirma su separación con el análisis discriminante y de similitud. Esta población proviene de una comunidad del sur del estado de Yucatán, apartada de otras comunidades, donde el productor indicó su manejo por más de 50 años. Esto indica el aislamiento que ha tenido esta población, resultado de su separación del resto de las poblaciones Xmejenal colectadas en este estudio. El número de poblaciones que recaen en G2, G3, G4, G5, G6 y G7 en el análisis de similitud coincidieron totalmente con los tamaños de grupo de la clasificación del análisis discriminante en un 100%. Únicamente G1 presentó discordancia con la agrupación del análisis discriminante en 16% de los casos. Sobre todo, el G1 presenta una combinación de las diferentes razas/variedades de maíces caracterizados, siendo el grupo más numeroso; que es donde recaen las poblaciones que tienen características distintivas de los diferentes grupos. De esta manera se confirma el hecho de contar con siete grupos en las 100 poblaciones de maíces evaluados.

## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y BIOQUÍMICA (ANTOCIANINAS Y CAROTENOIDES) EN MAÍCES MORADOS Y ROJOS DE YUCATÁN

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemoriales la base de la agricultura y de la cocina mexicana es el maíz, ya que junto con el frijol aportan el 75% de la ingesta calórica de los campesinos en zonas rurales. Debido a su adaptación, el maíz se puede producir en prácticamente todas las regiones agrícolas, con diferentes sistemas de producción y en algunos lugares su producción se puede desarrollar durante todo el año (CONANP, 2016).

Los maíces nativos han sido aprovechados en algunos sitios para la generación de alimentos y bebidas. En Perú se preparan bebidas tradicionales con los maíces morados, debido a las propiedades benéficas que aportan los granos (Jing *et al.*, 2007). En dicha región se han realizado numerosos estudios sobre los pigmentos en el maíz, ya que han observado que se encuentran en prácticamente toda la planta: en el grano de la mazorca, el totemoxtle, el olote, las hojas, el tallo, la espiga e incluso en la raíz (Román, 2019).

En México, los maíces pigmentados son aprovechados principalmente en comunidades y pueblos para la elaboración de platillos típicos tradicionales, como el pinole, atole, relleno negro, entre otros alimentos. En las comunidades, la producción de los maíces morados y rojos se destina al autoconsumo principalmente, siendo baja su presencia en los mercados (Fernández *et al.*, 2013). En cuanto a sus características benéficas, los maíces pigmentados tienen una alta calidad alimentaria, incluso forrajera, con valor agregado por las propiedades nutraceuticas que poseen (Gómez *et al.*, 2017; Ciampitti, 2014). También cuentan con una diversidad de germoplasma considerable por lo que pueden poseer características agronómicas deseables pero de igual manera indeseables como podría ser plantas demasiado altas, susceptibles al acame, variabilidad en la altura de la mazorca, bajo rendimiento, plantas con asincronía floral a nivel intravarietal que afecta el rendimiento en el maíz, y color de grano desuniforme que afecta su comercialización.

Actualmente, ciertos trabajos en maíz se dirigen al desarrollo de prácticas agronómicas para evaluar la fijación de sus pigmentos en maíz (Nannas y Dawe, 2015). Utilizando diferentes

métodos de selección fenotípica considerando la intensidad del color, se logra obtener una mayor concentración de pigmentos, con ganancias desde el primer ciclo (Ballesteros *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2013; Landi *et al.*, 2008).

Los procesos de mejora agronómica, evaluando los caracteres fenotípicos conjuntamente con los caracteres bioquímicos en maíz y con una adecuada selección en las poblaciones resultan en un mayor contenido de compuestos bioquímicos en grano (Espinosa *et al.*, 2012). Por ello, se realizó la evaluación en los maíces nativos pigmentados morados y rojos de Yucatán de la sincronía floral, rendimiento, intensidad y homogeneidad de coloración en grano, con el fin de identificar al menos una población sobresaliente que reúna las mejores características en estas variables de interés.

---

## 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.2.1. MATERIAL GENÉTICO EMPLEADO

El sitio de evaluación se ubicó en el Instituto Tecnológico de Tizimín, que se encuentra localizado al noreste del estado de Yucatán a 21° 8' N y 88° 9' O, colinda con los siguientes municipios, al sur con Calotmul, al oeste con Sucilá, al noroeste con Río Lagartos, al suroeste con Espita y al este con el estado de Quintana Roo en Lázaro Cárdenas; presenta temperatura y precipitación media anual de 25.4 °C y de 1167 mm, respectivamente (INEGI, 2013).

En las recolectas realizadas en el año 2020, se efectuó una selección con base en la intensidad y homogeneidad del color de grano de la mazorca (Apartado ANEXO(S), ANEXO 3).

*Coloración.* Se hizo uso de una carta de colores (Royal Horticultural Society, 5ª ed.) para caracterizar y categorizar visualmente la coloración del grano (Apartado ANEXO(S), ANEXO 4). De acuerdo a la carta de colores, se contó con cuatro abanicos o grupos. El primer grupo incluyó el amarillo, amarillo-naranja, naranja, naranja-rojo y rojo; el grupo dos al rojo-morado, morado, morado-violeta, violeta, violeta-azul y azul; el grupo tres al azul-verde, verde y amarillo-verde; por último, el grupo cuatro incluyó los colores grisáceos de amarillo, naranja, rojo, morado, verde, café, gris, negro y blanco. En cada abanico de color se tuvo cuatro niveles de clasificación: A, B, C y D, esto de acuerdo a la intensidad de coloración que va de mayor a menor, respectivamente, donde el nivel A significa una mayor intensidad en color de grano, eligiendo aquellas que presentaron un nivel A. La comparación se realizó en 10 granos elegidos al azar de la parte media de la mazorca, ubicando la carta de color con la tonalidad más cercana a la coloración del grano. Con ayuda de una lámpara de luz natural, se colocó cada grano de maíz bajo el abanico de color. También se eligieron poblaciones únicas en su tipo dentro de cada colecta realizada por cuestión de presencia de colorante en el olote de la mazorca y se consideró a aquellas poblaciones que superaron el valor promedio en dos de las variables biométricas relacionadas a rendimiento como peso de 100 semillas (P100S, 27 g) y peso de granos de la mazorca (PGM, 97 g), obtenidos durante la caracterización de mazorca proveniente de la recolecta (Cuadro 3.2.1).

Se tuvieron un total de 24 accesiones, 13 corresponden a maíz morado y 11 a maíces rojos.

**Cuadro 3.2.1.** Niveles de intensidad de coloración en grano, de acuerdo a las cartas de color, en poblaciones de maíces morados y rojos.

Número de accesión	Grupo – Ciclo de cultivo*	Variedad <sup>∞</sup>	Grupo de selección <sup>Ω</sup>
2020-003 (M)	Tardío	Ek ju'ub	D-Purple
2020-006 (R)	Tardío	Chac chob	<b>A-Greyed purple</b>
2020-007 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Greyed purple</b>
2020-008 (R)	Tardío	Chac chob	<b>A-Greyed purple</b>
2020-010 (M)	Tardío	Ek ju'ub	B-Greyed purple
2020-011 (M)	Tardío	Ek ju'ub	D-Purple
2020-015 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Greyed purple</b>
2020-020 (R)	Precoz	Nal tel	<b>A-Greyed purple</b>
2020-021 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Greyed purple</b>
2020-028 (M)	Tardío	Chac chob	B-Purple
2020-034 (M)	Tardío	Ek ju'ub	B-Purple
2020-037 (M)	Tardío	Chob	B-Purple
2020-038 (M)	Tardío	Chob	B-Purple
2020-039 (M)	Tardío	Ek ju'ub	B-Purple
2020-042 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Violet blue</b>
2020-043 (M)	Tardío	Chob	B-Greyed purple
2020-044 (M)	Tardío	Ek ju'ub	B-Purple
2020-051 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Purple</b>
2020-053 (M)	Tardío	Ek ju'ub	B-Greyed purple
2020-056 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Violet blue</b>
2020-060 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Violet blue</b>
2020-063 (R)	Tardío	Chac chob	<b>A-Greyed purple</b>



2020-064 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Violet blue</b>
2020-065 (M)	Tardío	Ek ju'ub	B-Greyed purple
2020-067 (R)	Intermedio	Nal xoy	<b>B-Greyed orange</b> <sup>β, σ</sup>
2020-074 (M)	Tardío	Ek ju'ub	D-Violet blue
2020-080 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Purple</b>
2020-081 (R)	Tardío	Chac chob	D-Orange
2020-084 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Purple</b>
2020-086 (M)	Tardío	Ek ju'ub	D-Violet blue
2020-092 (M)	Tardío	Chob	C-Greyed purple
2020-098 (M)	Tardío	Chob	D-Purple
2020-099 (M)	Tardío	Chob	B-Purple
2020-101 (M)	Tardío	Chob	D-Purple
2020-103 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Purple</b>
2020-104 (M)	Tardío	Cho'	C-Greyed purple
2020-105 (R)	Tardío	Chac nal	<b>B-Greyed orange</b> <sup>σ</sup>
2020-107 (R)	Tardío	Chac xim	<b>A-Greyed purple</b>
2020-108 (M)	Tardío	Ek ju'ub	<b>A-Greyed purple</b>
2020-111 (R)	Tardío	Xnuk nal	<b>A-Greyed orange</b>
2020-113 (R)	Intermedio	Dzit bacal	<b>B-Greyed orange</b> <sup>σ</sup>
2020-114 (R)	Tardío	K'an pok	<b>B-Greyed orange</b> <sup>σ</sup>
2020-115 (R)	Precoz	Nal tel	<b>A-Greyed purple</b>
2020-116 (M)	Precoz	Nal tel	<b>A-Purple</b>

¥ Ciclo vegetativo indicado por los agricultores censados en la recolecta 2020. ° Nomenclatura maya realizada por los agricultores durante la recolecta. <sup>β</sup> Basado en los niveles de clasificación de la carta de colores (Royal Horticultural Society, 5ª ed.). R: rojo, M: morado. <sup>β</sup> Sobrepasó el valor promedio en P100S y PGM. <sup>σ</sup> Único en su tipo dentro de la recolecta realizada. Los grupos de selección marcados en gris indican las poblaciones seleccionadas para su caracterización fenotípica y bioquímica.

### 3.2.2. EVALUACIÓN AGRONÓMICA

Los maíces elegidos, fueron establecidos en campo para su evaluación agronómica, bajo previa desinfección de semillas con insecticida Imidacloprid a razón de 1 ml/L de agua. Las semillas se dejaron remojar durante 20 segundos para proceder inmediatamente a su siembra en charolas.

La parcela de siembra se estableció bajo riego en el orden del diseño establecido (Apartado ANEXO(S), ANEXO 5). El experimento en el ITT se estableció el 20 de diciembre de 2021 con trasplante en campo el 7 de enero de 2022, con una temperatura y precipitación media anual de 25.4 °C y de 1167 mm, respectivamente (INEGI, 2013).

Las condiciones ambientales durante el estudio fueron: temperatura promedio de 25.4 °C con una máxima de 32.2 °C y una mínima de 18.6 °C, precipitación media anual de 1,280 mm con humedad relativa promedio de 73% basados en los datos de la estación meteorológica No. 31034 de CONAGUA ubicado en el plantel (SMN-CONAGUA, 2010). La intensidad lumínica promedio fue de 1573  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$  durante el mediodía. El equipo para su medición fue un luxómetro digital Spectrum® LightScout 3415 Series.

Las accesiones de maíz fueron manejadas agronómicamente con una densidad de siembra de 66 plantas por repetición (33 pocetas, 2 semillas por poceta), considerando tres repeticiones por accesión. Las plantas se distanciaron a 1.2 m entre filas y 0.6 m entre plantas (27,777 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) (Cuadro 3.2.2).

**Cuadro 3.2.2.** Poblaciones de maíces caracterizadas fenotípicamente en campo.

Número	Pob.	Raza/variedad	Color en grano
1	6	Nal tel	Rojo
2	7	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
3	8	Tuxpeño (Chac chob)	Rojo
4	15	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
5	20	Nal tel	Rojo
6	21	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
7	42	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado

---



---

8	51	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
9	56	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
10	60	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
11	63	Tuxpeño (Chac chob)	Rojo
12	64	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
13	67	Nal tel x Tuxpeño (Nal xoy)	Rojo
14	80	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
15	84	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
16	103	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
17	105	Tuxpeño (Chac nal)	Rojo
18	107	Tuxpeño (Chac xim)	Rojo
19	108	Tuxpeño (Ek ju'ub)	Morado
20	111	Tuxpeño (Xnuk nal)	Rojo
21	113	Dzit bacal	Rojo
22	114	K'an pok (Xnuk nal)	Rojo
23	115	Nal tel	Rojo
24	116	Nal tel	Morado

---

Se realizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada bloque constó de una fila de 20 m de longitud. El área total sembrada fue de 1,728 m<sup>2</sup>. El manejo agronómico consistió en un programa de fertilización de 80-40-20 (N-P-K) kg ha<sup>-1</sup> como tratamiento. La fertilización consistió en dos dosis de aplicación a base de fertilizante granulado DAP (18-46-00) y dos fertilizaciones foliares, una a base de 20-30-10 y otra de 00-46-00, ambas dosis de 2 ml L<sup>-1</sup>, distribuidos a lo largo del ciclo del cultivo. La primera dosis de fertilización granulada junto con las fertilizaciones foliares se realizó previo a la floración de las poblaciones entre los estadios V6 (con seis hojas verdaderas) y V10 (con diez hojas verdaderas). La segunda dosis de fertilización granulada se aplicó cuando el 50% de toda la plantación se encontraba en el estadio de

panojamiento (VT), en plena floración macho y hembra con el fin de favorecer la disposición de nutrientes para el llenado de grano en mazorca.

La eliminación de maleza se realizó mediante el uso de una desbrozadora, así como de herbicidas selectivos. El uso de trampas amarillas y de trampas de cebo mediante melaza permitieron realizar un control preventivo de plagas. Se emplearon insecticidas químicos como Imidacloprid a razón de 2 ml L<sup>-1</sup> para el control de chicharrita (*Dalbulus maidis*), Cipermetrina (1 m L<sup>-1</sup>) para gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y Spinetoram con Clorantraniliprol para gusano elotero (*Helicoverpa zea*). Los depredadores como roedores y aves fueron controlados mediante el uso de trampas gateras y bolsas de papel para cobertura de mazorca, respectivamente.

Las variables fisiológicas (Cuadro 3.2.3) para la caracterización fenotípica de las poblaciones, fueron con base en el manual gráfico para la descripción varietal del maíz (SNICS, 2010), seleccionando 30 plantas por población (10 plantas por repetición) al azar con competencia completa.

**Cuadro 3.2.3.** Variables para la caracterización fenotípica de las poblaciones en maíces nativos.

Tipo	Nombre	Unidad	Acrónimo
Floración	Días transcurridos de la siembra a la primera floración masculina	días	D1FM
	Días a la primera floración femenina	días	D1FF
	Días transcurridos de la siembra a la floración del 50 % más uno de las flores masculinas	días	DFM
	Días transcurridos de la siembra a la floración del 50 % más uno de las flores femeninas	días	DFF
	Asincronía floral	días	ASF
Vegetativo	Altura de la planta	m	AP
	Altura de la mazorca principal	m	AMP
	Número de hojas por debajo de la mazorca	núm	NHDM
	Número de hojas por arriba de la mazorca	núm	NHAM
	Número total de hojas	núm	NTH

	Número de mazorcas por planta	núm	NMP
	Longitud de hoja	cm	LH
	Ancho de hoja	cm	AH
	Índice de área foliar	-	IAF*
	Diámetro del tallo	mm	DT
Espiga	Longitud del pedúnculo de la espiga	cm	LPE
	Longitud del tramo ramificado de la espiga	cm	LTRE
	Longitud de la rama central de la espiga	cm	LRCE
	Longitud total de la espiga	cm	LTE
	Número de ramificaciones de la espiga	núm	NRE
Mazorca	Longitud de mazorca	cm	LM
	Diámetro de mazorca	cm	DM
	Peso seco de mazorca	g	PSM
	Número de hileras de la mazorca	núm	NHM
	Número de granos por hilera	núm	NGH
	Número total de granos	núm	NTG
	Espesor de grano	mm	EG
	Ancho de grano	mm	AG
	Longitud de grano	mm	LG
	Peso de 100 semillas del centro de la mazorca	g	P100S
	Peso de granos de una mazorca	g	PGM
	Diámetro del olote	mm	DO
	Peso de olote	g	PO
	Peso total de población	g	PT

\* Se utilizó la ecuación  $AF = \text{largo} \times \text{ancho} \times 0.75$  (Mendoza y Ortiz, 1973).

En campo, se realizó el proceso de doblado en plantas previo a la cosecha, para facilitar el secado de mazorca, evitar la entrada de humedad en ésta y el daño en granos de la mazorca por pájaros. En la etapa de cosecha, se eligió la mazorca principal, es decir la mazorca superior (más cercana a la espiga de cada planta), esto para el registro de las variables biométricas de mazorca. El secado solar de las mazorcas (con totomoxtle) fue de manera convencional a la intemperie.

Las variables biométricas en mazorca se registraron con ayuda de una cinta métrica, regla, vernier y báscula digital, adicionalmente se empleó una cámara fotográfica, charolas para pesaje de semillas y formatos de registro.

### 3.2.2.1. Estimación del rendimiento de grano de maíz

Se emplearon los criterios descritos de acuerdo a Palemón *et al.* (2016), para estimar el rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) de grano de maíz para las 24 poblaciones evaluadas en el Instituto Tecnológico de Tizimín.

Rendimiento grano (RDGr)  $t\ ha^{-1}$ :

$$\text{Cálculo de RDGr} = \text{PDC} * \text{FDD} * \text{FDH} * \text{FCUS}$$

Donde,

PDC = Peso total de mazorcas en campo (pesaje de todas las mazorcas, sanas y podridas, de la parcela muestreada (g))

Factor de desgrane (FDD):

$$\text{Cálculo de FDD} = \text{PDGr} / \text{P10Mz}$$

Donde,

PDGr = Peso de grano de 10 mazorcas (pesaje de grano de 10 mazorcas (g))

P10Mz = Peso de 10 mazorcas (pesaje de 10 mazorcas (g))

Factor de humedad (FDH):

$$\text{Cálculo de FDH} = (100 - \%DH) / 88$$

Donde,

$\%DH$  = Porcentaje de humedad (ajuste de humedad al 12% para almacenar y comercializar el grano)

Factor de corrección por unidad de superficie (FCUS):

$$\text{Cálculo de FCUS} = 10,000 / AM$$

Donde,

AM = Área muestreada

$$\text{Cálculo de AM} = LS * DS * NDS$$

Donde,

LS = Longitud de surco (en metros lineales)

DS = Distancia entre surco (en metros lineales)

NDS = Número de surcos en la parcela muestreada

Los parámetros en rendimiento considerados fueron: Excelentes condiciones de 3.2 a 3.0 t ha<sup>-1</sup>; la media de 2.9 a 2.7 t ha<sup>-1</sup> y malas condiciones de 2.6 a 2.4 t ha<sup>-1</sup> (Nielsen, 2021; Ciampitti y Correndo, 2019).

### **3.2.3. EVALUACIÓN BIOQUÍMICA (PIGMENTOS EN GRANO)**

#### **3.2.3.1. Cuantificación del color del grano: escala Hunterlab**

Con base en la escala HunterLab y mediante un colorímetro modelo WR-10QC se obtuvieron los valores de L\*, a\* y b\*. L\* es una medida de luminosidad desde completamente opaco o negro (0) a completamente claro o blanco (100), a\* es una medida de enrojecimiento (+a\* = enrojecimiento y -a\* = verdor) y b\* es una medida de amarillo (+b\* = amarillez y -b\* = azul). El análisis se realizó sobre el promedio de seis muestras de grano de cada población, colocados con la punta hacia abajo sobre un fondo blanco. Usando los valores de a\* y b\* se calculó el ángulo hue (H) mediante

la expresión  $\arctan b^*/a^*$  (grados), donde H indica el tono. El croma (C) se obtuvo utilizando la fórmula  $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ , donde un valor cercano a 0 indica menor pureza y un valor cercano a 100 indica mayor pureza.

Para determinar el contenido de pigmentos en grano, específicamente para antocianinas y carotenoides, se efectuaron análisis químicos para cuantificar e identificar el tipo de pigmento presente en semillas, en la colecta original de las poblaciones de maíces. Este proceso consistió en la selección de semilla de la parte central de cinco mazorcas tomadas al azar para cada población de maíz. Se tomó una muestra de 150 g de semilla para realizar los análisis bioquímicos de antocianinas y carotenoides.

### **3.2.3.2. Cuantificación e identificación de pigmentos en grano**

Se analizó el contenido de antocianinas totales (CAT), así como el contenido de carotenoides totales (CCT) en grano completo. Para ello se empleó un espectrofotómetro y un HPLC (cromatografía líquida de alta resolución), así como reactivos, solventes y equipo empleado para la extracción de pigmentos en laboratorio. De igual manera, se realizaron cortes transversales en tres granos elegidos al azar de la semilla seleccionada, para ubicar el color en el grano (Apartado ANEXO(S), ANEXO 6).

#### *Determinación de antocianinas totales*

Para la extracción se empleó 1 g de harina seca de maíz entero en cada población de maíz (Cuadro 3.2.1), con un tamaño de partícula  $\leq 1$  mm (Apartado ANEXO(S), ANEXO 7). A esta cantidad de muestra se le añadió 15 ml de un disolvente de metanol acidificado (85/15 de metanol / HCl 1N, v/v) en un matraz Erlenmeyer de 25 ml, el cual se mantuvo en agitación en una placa a 100 rpm por 30 minutos verificando que el pH se mantuviera en 1, bajo condiciones de oscuridad. Posteriormente se centrifugó a 3300 rpm por 10 minutos a 25 °C y se aforó a 25 ml con metanol acidificado. Se realizó una segunda extracción con el sedimento de la primera extracción, añadiendo 8 ml de metanol acidificado en el matraz de Erlenmeyer de 25 ml, repitiendo el mismo proceso de extracción. Los extractos por población de maíz se realizaron por triplicado.

Para la cuantificación de antocianinas totales se empleó el sobrenadante de los extractos obtenidos, tomando 2.5 ml del extracto en una celda espectrofotométrica de 1 cm, realizando la lectura de absorbancia a 535 y 700 nm por triplicado (Apartado ANEXO(S), ANEXO 8).



La concentración de antocianinas totales se calculó mediante la aplicación de la ecuación descrita por Abdel-Aal y Hucl (1999).

$$C = \left(\frac{A}{e}\right) \times \left(\frac{VT}{1000}\right) \times MW \times \left(\frac{1}{PM}\right) \times 10^6$$

Donde,

C = Concentración de antocianinas (mg/kg)

A = Lectura de absorbancia a 535 nm menos la lectura de absorbancia a 700 nm

e = Coeficiente de absortividad molar (cianidina 3-glucósido = 25,965 cm<sup>-1</sup> M<sup>-1</sup>)

VT = Volumen total del extracto de antocianinas (ml)

MW = Peso molecular de la cianidina 3-glucósido = 449

PM = Cantidad de muestra usada (g)

#### *Identificación de antocianinas (perfil) por HPLC*

Para la determinación del perfil de antocianinas por HPLC se siguió la metodología propuesta por Chamorro *et al.* (2021), donde se utilizó agua-ácido fórmico (99.9/0.1, v/v) y acetonitrilo-ácido fórmico (99.9/0.1, v/v) como disolvente A y disolvente B, respectivamente. Se aplicó un programa de cromatografía líquida a un caudal de 0.5 ml min<sup>-1</sup> donde el gradiente de elución (B) fue de 10%, 0 min; 32%, 30 min; 36%, 35 min; 47%, 45 min; 10%, 50 min y 10%, 60 min. Se inyectó un volumen de 10 µL y se monitoreó a 520 nm. Los compuestos objetivo se separaron en una columna C18 (3 µm, 150 x 4,6 mm) Phenomenex Luna, ajustada a 25 °C.

Se realizó una curva de calibración del estándar que oscila entre 3.125 y 100 mg ml<sup>-1</sup> para identificar las antocianinas por comparación del tiempo de retención del estándar con la de los extractos de las poblaciones de maíz.

#### *Determinación de carotenoides totales*

Para el contenido de carotenoides totales se realizó el proceso bajo condiciones de oscuridad, evitando así la degradación de dicho pigmento. Para la extracción de carotenoides se siguió el método descrito por Chen *et al.* (2004), con algunas modificaciones. Para la extracción se empleó

1.5 g de harina seca de maíz entero en cada población (Cuadro 3.2.1), con un tamaño de partícula  $\leq 1$  mm, con 20 ml de una solución extractora compuesta por hexano:acetona:etanol absoluto (70:15:15, v/v/v). La extracción se realizó con asistencia de ultrasonido (marca MCA CScientific CS-UB100) con 240 watts de poder ultrasónico durante 40 min con temperatura controlada (25 °C). El extracto se centrifugó a 25 °C durante 10 minutos a 3000 rpm y se recuperó el sobrenadante. Esto se realizó por triplicado.

Para la cuantificación de carotenoides totales se empleó el sobrenadante de los extractos obtenidos, tomando 2.5 ml del extracto en una celda espectrofotométrica de 1 cm, realizando la lectura de absorbancia a 450 nm por triplicado (Apartado ANEXO(S), ANEXO 9). Los resultados se expresaron en mg caroteno / kg maíz. La concentración de carotenos en las muestras de determinó usando los valores de absorbancia a 450 nm de las muestras e interpolándolos en una curva de calibración construida con concentraciones crecientes (mg / mL) de betacaroteno.

Para el análisis de carotenoides mediante cromatografía de líquidos, el extracto previamente obtenido se evaporó a sequedad a 25°C. El extracto seco fue disuelto en 1 mL de acetonitrilo:benceno (70:30, v/v) y se filtró a través de una membrana Millipore Millex-HV de 0.45  $\mu\text{m}$ . Para el análisis se siguió un protocolo desarrollado en el laboratorio de Instrumentación Analítica del Instituto Tecnológico de Mérida (Enrique Sauri Duch y Emilio Piña Betancourt). Se utilizó un sistema binario de cromatografía de líquidos marca Perkin Elmer Series 200 equipado con un detector de arreglo de diodos marca Perkin Elmer modelo 235C, con una columna de fase reversa C18 Beckman ODS de 25 cm de longitud, diámetro interno de 4.6 mm y de 5  $\mu\text{m}$ . El volumen de inyección fue de 20  $\mu\text{L}$ . Para la elución de las muestras se utilizó una fase móvil constituida por una mezcla de acetonitrilo:benceno (70:30, v/v), en modo isocrático con un flujo de 1 ml  $\text{min}^{-1}$ . La detección se realizó a una longitud de onda de 280 nm. Para el registro y procesamiento de los datos se utilizó el software TotalChrom Version 6.3.2 (Perkin-Elmer Inc., 2005). Los carotenoides en las muestras fueron tentativamente identificados, comparando sus tiempos de retención con los tiempos de retención de estándares de carotenoides conocidos. Se estimó la concentración relativa de los carotenoides detectados, calculando el tamaño relativo de cada pico con relación al tamaño de referencia de luteína.

#### **3.2.4. ANÁLISIS DE DATOS**

Los datos fueron analizados mediante estadísticos descriptivos con un análisis de correlación de Pearson integrando 35 variables, resultado de la caracterización fenotípica, donde el valor de

correlación mayor a 0.6 indica alta correlación y por debajo de 0.6 baja correlación, presentando los resultados con un correlograma y un mapa de calor. Se utilizaron gráficas de barras para representar la asincronía floral y el rendimiento, con una gráfica comparativa entre estas dos variables. Se determinó el valor de significancia de las variables mediante un análisis de varianza (ANDEVA); con las respectivas pruebas *a priori* de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), homogeneidad de varianzas (test de Levene) y aleatoriedad en los datos (contraste de Rachas); pruebas *post hoc* de Diferencia Mínima Significativa (DMS,  $p \leq 0.05$ ) y un análisis de componentes principales (ACP). Se empleó la paquetería R Versión 1.2.5019 (RStudio Team, 2019).

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.3.1. EVALUACIÓN AGRONÓMICA

Con las variables caracterizadas se analizó la variación fenotípica con el número de grupos formados mediante diferencia mínima significativa (DMS) (Cuadro 3.3.1).

**Cuadro 3.3.1.** Análisis de la variación fenotípica en 23 poblaciones de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).

VAR	CM	EE	Media	DS	CV (%)	No. grupos DMS
D1FM	70.12**	2.71	78.51	4.95	6	15
D1FF	92.54**	4.85	80.48	5.76	7	18
DFM	56.89**	2.12	86.04	4.45	5	13
DFF	71.68**	2.61	90.19	4.99	6	14
ASF	3.75*	2.09	4.15	1.62	39	7
AP	0.16**	0.03	2.43	0.27	11	9
AMP	0.15**	0.02	1.46	0.24	17	11
NHDM	3.55**	0.22	9.62	1.14	12	5
NHAM	0.31**	0.11	5.78	0.41	7	9
NTH	4.98**	0.23	15.38	1.33	9	6
NMP	1.33**	0.33	1.26	0.81	64	4
LH	98.27**	28.54	110.00	7.15	6	17
AH	0.46**	0.17	9.85	0.52	5	13
IAF	12229.91**	2.61	810.70	80.47	10	26
DT	7.01**	1.52	20.03	1.67	8	15
LPE	7.01**	1.69	20.32	1.85	9	19
LTRE	5.36**	1.81	17.14	1.72	10	19

LRCE	8.69**	1.76	25.06	2.00	8	25
LTE	27.17**	4.62	62.40	3.45	6	19
NRE	10.45**	1.85	21.45	2.15	10	15
LM	3.12**	0.48	15.63	1.16	7	21
DM	8.46**	2.28	41.65	2.07	5	38
PSM	1035.23**	178.33	120.50	21.34	18	16
NHM	1.80**	0.29	12.01	0.88	7	4
NGH	29.10**	6.10	34.96	3.68	11	13
NTG	2823.64**	1070.35	418.40	40.47	10	21
EG	0.07**	0.01	3.29	0.17	5	6
AG	0.70**	0.12	8.69	0.55	6	18
LG	1.33**	0.16	11.28	0.73	7	20
P100S	39.20**	2.38	26.06	3.78	15	14
PGM	951.86**	111.74	103.60	19.58	19	24
DO	3.64**	0.75	22.93	1.30	6	27
PO	11.15**	3.09	17.49	2.39	14	10
PT	3.35**	0.79	3.90	1.27	33	21

\* $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; VAR: Variable; CM: Cuadrados Medios; EE: Error Estándar; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de Variación; D1FM: Días transcurridos de la siembra a la primera floración masculina; D1FF: Días a la primera floración femenina; ASF: Asincronía floral; DFM: Días transcurridos de la siembra a la floración del 50 % más uno de las flores masculinas; DFF: Días transcurridos de la siembra a la floración del 50 % más uno de las flores femeninas; AP: Altura de la planta; AMP: Altura de la mazorca principal; NHAM: Número de hojas por arriba de la mazorca; NHDM: Número de hojas por debajo de la mazorca; NTH: Número total de hojas; LH: Longitud de hoja; AH: Ancho de hoja; IAF: Índice de área foliar; DT: Diámetro del tallo; NMP: Número de mazorcas por planta; LPE: Longitud del pedúnculo de la espiga; LTRE: Longitud del tramo ramificado de la espiga; LRCE: Longitud de la rama central de la espiga; LTE: Longitud total de la espiga; NRE: Número de ramificaciones de la espiga; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; PSM: Peso seco de mazorca; NHM: Número de hileras de la mazorca; NGH: Número de granos por hilera; NTG: Número total de granos; EG: Espesor de grano; AG: Ancho de grano; LG: Longitud de grano; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; DO: Diámetro del olote; PO: Peso del olote; PT: Peso total de la población.

La variable con menor número de grupos formados fue NMP y NHM, la variable con mayor número de grupos fue DM. La variable asincronía floral presentó una media de cuatro días. Solamente una población evaluada, dentro de las 24, la Pob. 113, contó con una marcada

asincronía floral afectando su llenado de grano. La diferencia en los días de floración masculina y femenina fue de nueve días. Se determinó que las poblaciones con más de seis días de diferencia entre la floración masculina y la floración femenina presentan problemas de asincronía floral, puesto que, bajo condiciones favorables, todos los estigmas deben emerger y estar listos para ser polinizados entre los 3 y 5 días (Delgado, 2016). Normalmente, la antesis ocurre uno o dos días antes de la emisión de los estigmas. En condiciones de campo entre mayor sea la sincronía entre el desarrollo de la espiga y de los estigmas, mayor será la posibilidad de fecundación (Coligado y Brown, 1975; Fischer y Palmer, 1984).

### 3.3.1.1. Estimación del rendimiento de grano de maíz

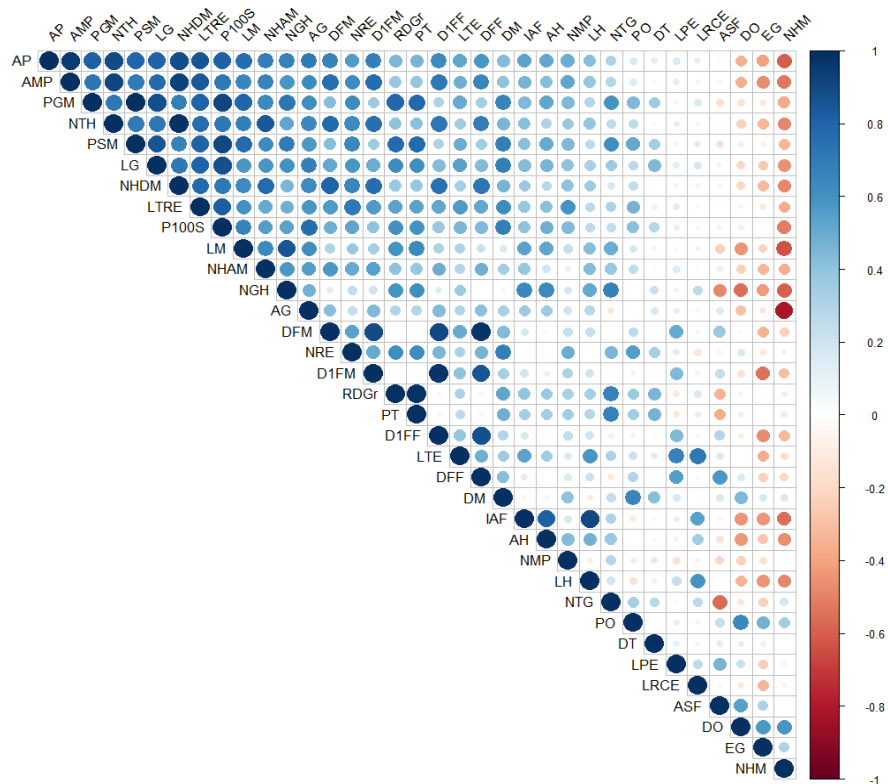
Las variables con correlación positiva para el RDGr se muestran en la Figura 3.3.1 en color azul, esto es, si una variable aumenta también lo hace la otra variable; mientras que en rojo se tienen las variables con correlación negativa, esto es, si una variable tiende a incrementarse entonces la otra tiende a reducirse.

Los resultados de la correlación entre el rendimiento de grano (RDGr) fueron altas para PT ( $r = 0.99$ ,  $p = 0.000$ ), PSM ( $r = 0.78$ ,  $p = 0.000$ ), PGM ( $r = 0.78$ ,  $p = 0.000$ ) y NTG ( $r = 0.67$ ,  $p = 0.001$ ). Mientras que para ASF se tuvo un valor de  $r = -0.34$ ,  $p = 0.109$ , lo que indica una correlación negativa, esto es, que cuando el valor en ASF tienda a ser cada vez más alto, el valor en el RDGr será más bajo. De esta manera se concluye que la ASF tiene un efecto negativo en RDGr para las poblaciones evaluadas en el 2022, por lo que seleccionar poblaciones con mayor sincronía floral asegura mayor rendimiento en las poblaciones. En cuanto a esto se debe considerar que existen otros factores u otras variables que pueden determinar este comportamiento.

En cuanto a las variables correlacionadas positivamente con mayor valor para la variable ASF fueron DFF ( $r = 0.57$ ,  $p = 0.004$ ) y DO ( $r = 0.55$ ,  $p = 0.007$ ) y las correlacionadas negativamente fueron NTG ( $r = -0.56$ ,  $p = 0.005$ ) y NGH ( $r = -0.48$ ,  $p = 0.020$ ), por lo tanto, el total de granos que se puedan tener en una mazorca y los granos por hilera de dicha mazorca aumentarán conforme la ASF se reduzca, y viceversa.

Por su parte, NTH presentó una correlación positiva más alta con las variables NHDH ( $r = 0.99$ ,  $p = 0.000$ ) y AMP ( $r = 0.92$ ,  $p = 0.000$ ) y una correlación negativa con NHM ( $r = -0.48$ ,  $p = 0.020$ ) y EG ( $r = -0.34$ ,  $p = 0.116$ ). El fotoperiodo influye positivamente en el número de hojas, el cual está correlacionado con la altura de la planta (Allen *et al.*, 1973).

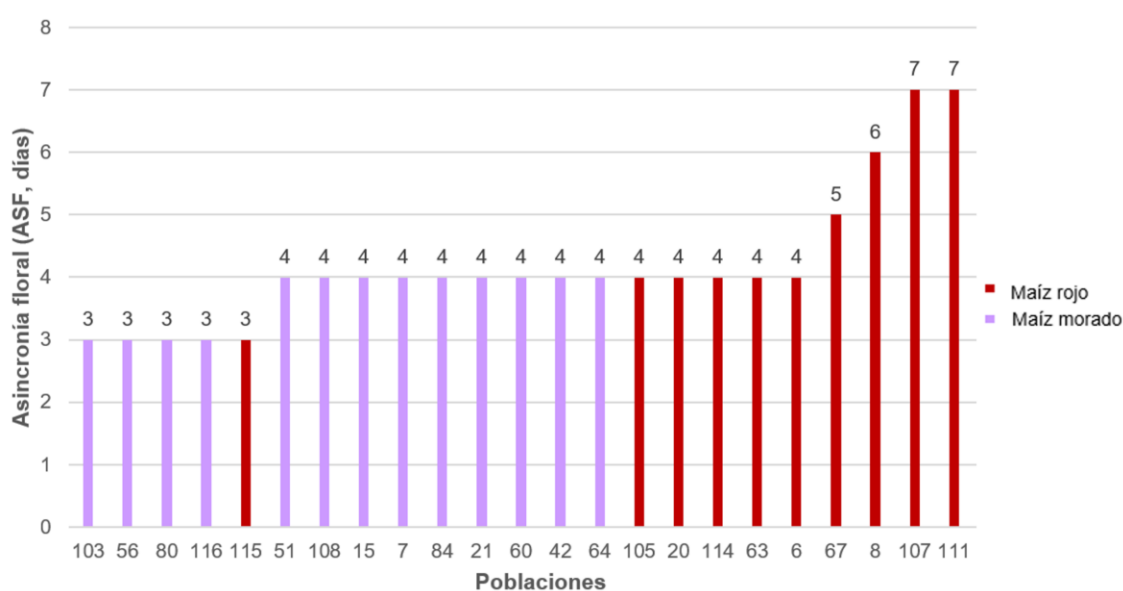
En la planta de maíz el número total de hojas, con la emisión de hojas por arriba y por debajo de la mazorca principal está determinado genéticamente, pero se ve influenciado por la temperatura, así como por la fertilización que se le brinde al cultivo, pero decrece con el aumento en la densidad de población (Barbieri *et al.*, 2000). Empíricamente, los milperos en Yucatán establecen distanciamientos de siembra mayores a los que se siguieron en el sitio experimental del ITT, esto por las condiciones topográficas en sus milpas. Es probable, que ellos hayan observado un mejor desarrollo vegetativo en las plantas de maíz al aplicar un mayor distanciamiento entre hileras y entre plantas.



**Figura 3.3.1.** Correlograma de 35 variables caracterizadas fenotípicamente en 23 poblaciones de maíces nativos, cosechados en el año 2022. El color azul indica correlación positiva o asociación más alta (+r), el color rojo indica correlación negativa (-r). Valores posibles de  $r$  ( $0 < |r| < 1$ ). El tamaño del círculo e intensidad del color son proporcionales a los coeficientes de correlación, esto es un mayor tamaño de círculo e intensidad indica un valor cercano a 1 (mayor grado de asociación). Un menor tamaño de círculo e intensidad indica un valor cercano a 0 (nula asociación).

En las poblaciones de maíces nativos evaluados durante el 2022 (Figura 3.3.2), la Pob 113 presentó afectaciones en floración y llenado de grano, repercutiendo en su análisis de datos, por lo que no se presenta en los resultados.

Las Pob 8, 107 y 111 (maíces rojos), fueron las que presentaron mayores diferencias en los días de floración masculina con respecto a la femenina con 6 días para la primera, y 7 días para las dos últimas. Sin embargo, éstas sí lograron llegar a grano, donde las mazorcas obtenidas en dichas poblaciones probablemente fueron resultado de la polinización cruzada con el resto de las poblaciones presentes en la unidad experimental.



**Figura 3.3.2.** Diferencia en días del 50% más uno en floración masculina con el 50% más uno en floración femenina en 23 poblaciones de maíces nativos morados y rojos.

En maíz, existe una baja probabilidad de que debido a la cantidad de polen se tenga escasa fertilización; excepto cuando las condiciones de calor y sequía son extremas, dado que causan escasez de polen. El problema radica más bien en el momento de la diseminación del polen con relación al surgimiento de los estigmas en maíz, esto es, si los estigmas surgen después de la diseminación del polen, es ahí cuando se ve afectada la producción. Esto explica las variaciones que existen entre genotipos en un ambiente dado, así como en el número de granos fijados que compiten simultáneamente por asimilados para llenar el grano (Cirilo *et al.*, 2012).

En cuanto a la resistencia a sequía, los maíces con menor asincronía floral tienen mejor comportamiento en dichas condiciones, logrando llegar a grano, puesto que no están expuestos



a varios días de estrés hídrico (Ramírez, 2013). Ante esto tenemos que, las poblaciones Nal tel de ciclo corto (precoz), evaluadas en el 2022 (Pob 115 y 116), estuvieron entre las poblaciones que presentaron menor ASF. Así como poblaciones de ciclo intermedio como las Pob 103, 56 y 80.

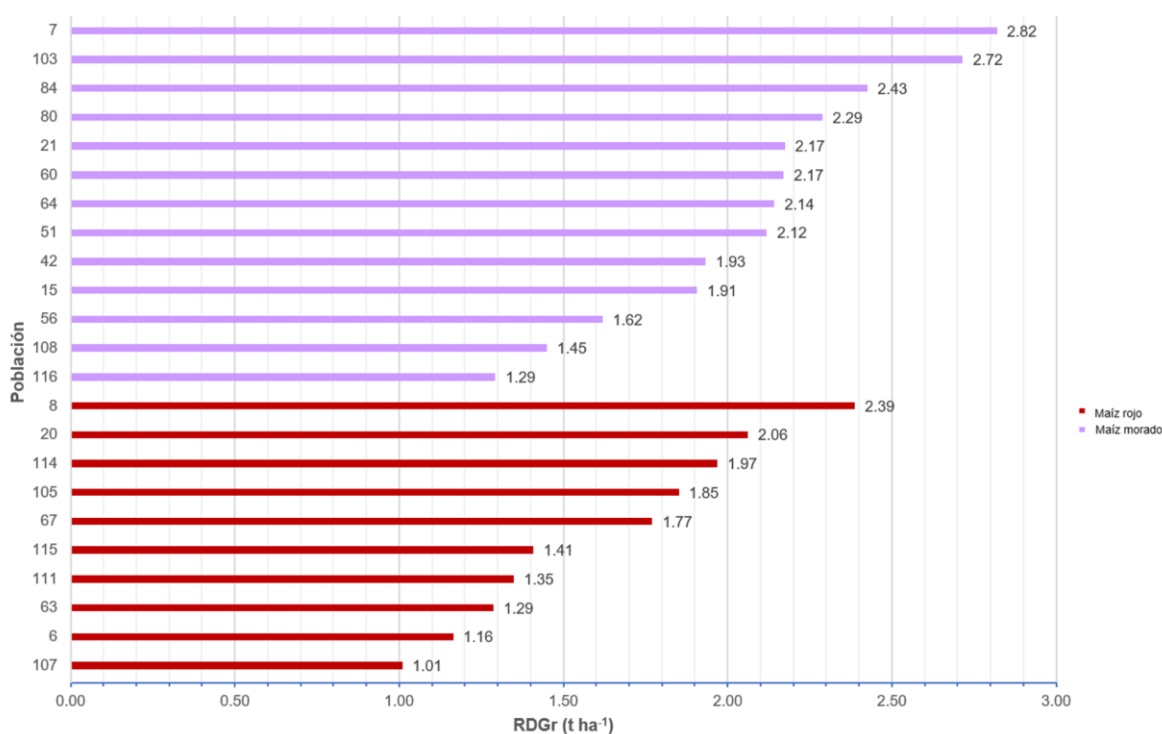
Dentro de las poblaciones rojas evaluadas en el 2022, la Pob. 115 fue la de menor diferencia en días de floración masculina y femenina (3 días). Las demás poblaciones rojas se encontraron entre la media poblacional, pero también fueron de las más tardías, y con mayor ASF.

En el caso de los maíces morados, las Pob 103, 56 y 80, corresponden a maíces Ek ju'ub intermedios de acuerdo con la evaluación realizada en campo. Estos resultados son interesantes puesto que para la Península de Yucatán no se tiene el reporte de contar con maíces de esta coloración con este ciclo vegetativo. Dados los hallazgos de esta investigación, valdría la pena evaluar nuevamente estas poblaciones en la temporada agrícola correspondiente, en Yucatán, para confirmar dichos datos.

Los datos de rendimiento, en las poblaciones evaluadas en el 2022, se presentan en la Figura 3.3.3. La población que mayor rendimiento presentó, tanto en maíces rojos como en morados, fue la Pob 7, ubicándose en la media de acuerdo con los parámetros de rendimiento.

En Yucatán los maíces morados tienden a ser más rendidores con respecto a los maíces rojos, de igual manera dentro de sus características fenotípicas presentaron mayor peso en PSM, NTG, P100S y PGM, considerando que el DO y PO es mayor en maíces rojos.

De acuerdo a Bautista (2021), los suelos leptosoles réndzicos son de alta fertilidad natural. El Leptosol protosol por su parte, se destina para el cultivo de la milpa y es de los más comunes y abundantes en Yucatán, pero pueden presentar problemas de manejo agrícola por la escasa retención de humedad debido a lo somero del suelo y a la alta cantidad de afloramientos rocosos.



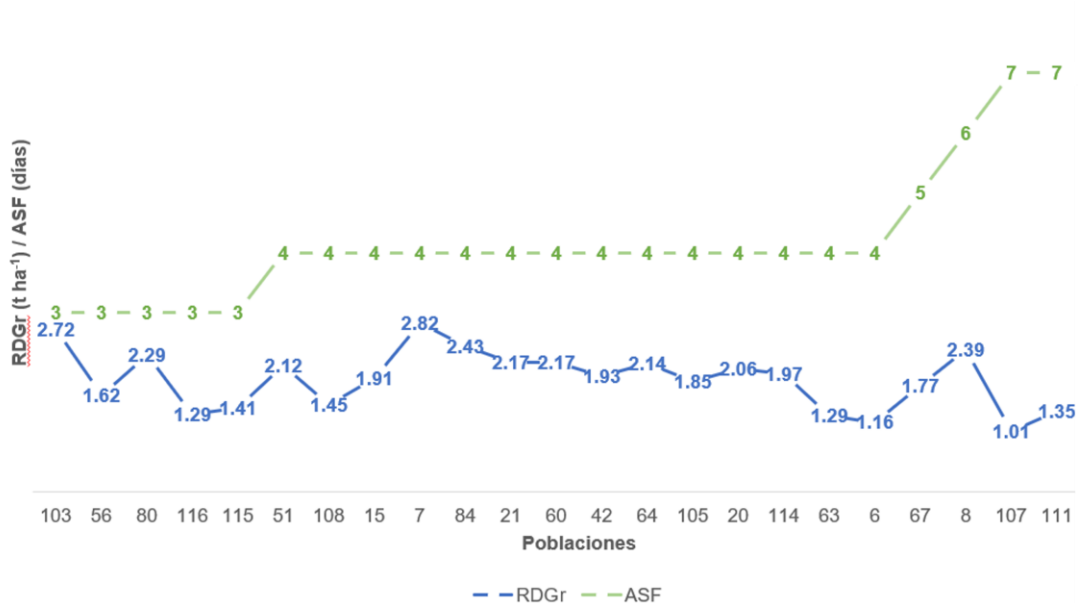
**Figura 3.3.3.** Rendimiento promedio (t ha<sup>-1</sup>) en 23 poblaciones de maíces nativos.

Los valores más altos de rendimiento obtenidos en las poblaciones moradas de 2.82 y 2.72 t ha<sup>-1</sup> superaron a lo reportado por Palemón *et al.*, (2016) en rendimiento de grano en la población nativa denominada Tepango, del estado de Guerrero con 2.5 t ha<sup>-1</sup>. Este germoplasma de acuerdo a Palemón y colaboradores, expresa buen potencial productivo para dicha región; la comparación con los resultados de esta investigación nos da un indicativo del alto potencial que tienen los maíces nativos pigmentados de Yucatán. Si se brindan las condiciones apropiadas con la fertilización en el momento oportuno en el cultivo, se puede llegar a tener buenos rendimientos. Incluso se puede competir en rendimiento con estados como Guerrero, que ocupa el sexto lugar en producción de maíz a nivel nacional (SAGARPA, 2019).

El rendimiento de grano del maíz es un componente muy afectado por la variación ambiental (Borras y Otegui, 2001), incidiendo la temperatura, la radiación, agua y nutrimentos en el suelo. El peso de grano es una variable que puede ser empleada para calcular el rendimiento en maíz, dado que es más estable y depende principalmente de la relación fuente/demanda durante el periodo de llenado de grano (Lee y Tollenaar 2007). Es por ello por lo que, para estimar el

rendimiento en las poblaciones estudiadas, se consideró este parámetro junto con otras variables.

Así como los factores ambientales influyen para determinar el rendimiento en las poblaciones nativas de maíz, la asincronía floral también influye directamente en el rendimiento (Vázquez *et al.*, 2019 y Golik *et al.*, 2018). Por lo que se realizó una comparativa de la ASF de los maíces con respecto a sus datos de rendimiento (evaluación 2022). Esto nos permitió corroborar el efecto de la asincronía floral en el rendimiento en grano (Figura 3.3.4).



**Figura 3.3.4.** Relación de la asincronía floral con respecto al rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) en 23 poblaciones de maíces nativos.

Los valores más bajos en rendimiento fueron para las poblaciones que presentaron una ASF de siete días. Siendo los valores igual o menor a 1.35 t ha<sup>-1</sup>. Se observó un rendimiento superior a 2 ton ha<sup>-1</sup> en la Pob 8, indicativo de que para esta población no se tuvo repercusiones en el rendimiento con una ASF de seis días, por lo tanto, se concluye que es a partir de los siete días de ASF que se presenta una reducción en el rendimiento de maíz.

La mejor formación de semilla se obtiene cuando los estigmas se polinizan de 3 a 5 días después de emerger (Van y Bravo, 1974), puesto que la viabilidad de los granos de polen dura unas cuantas horas durante el día dependiendo de las condiciones de humedad en el ambiente (Baltazar *et al.*, 2005)

Los días a floración que presentaron cada una de las poblaciones (Cuadro 3.3.2), mostró que la Pob 116 fue una de las primeras en florecer a los 68 días después de la siembra, así como la Pob 8 (70 días) y la Pob 20 (74 días).

**Cuadro 3.3.2.** Grupos a los que corresponden las poblaciones de maíces nativos evaluados, de acuerdo a caracterización fenotípica (variables de floración).

Número de accesión	Grupo – Ciclo de cultivo <sup>¶</sup>	Variedad <sup>∞</sup>	Días a floración <sup>β</sup>	Grupo – Ciclo de cultivo <sup>β</sup>
2020-006 (R)	Tardío	Chac chob	73	Intermedio
2020-007 (M)	Tardío	Ek ju'ub	85	Intermedio
2020-008 (R)	Tardío	Chac chob	70	Intermedio
2020-015 (M)	Tardío	Ek ju'ub	85	Intermedio
2020-020 (R)	Precoz	Nal tel	74	Intermedio
2020-021 (M)	Tardío	Ek ju'ub	78	Intermedio
2020-042 (M)	<b>Tardío</b>	Ek ju'ub	91	<b>Tardío</b>
2020-051 (M)	Tardío	Ek ju'ub	78	Intermedio
2020-056 (M)	Tardío	Ek ju'ub	79	Intermedio
2020-060 (M)	Tardío	Ek ju'ub	87	Intermedio
2020-063 (R)	Tardío	Chac chob	89	Intermedio
2020-064 (M)	Tardío	Ek ju'ub	87	Intermedio
2020-067 (R)	<b>Intermedio</b>	Nal xoy	74	<b>Intermedio</b>
2020-080 (M)	Tardío	Ek ju'ub	88	Intermedio
2020-084 (M)	Tardío	Ek ju'ub	76	Intermedio
2020-103 (M)	Tardío	Ek ju'ub	86	Intermedio
2020-105 (R)	<b>Tardío</b>	Chac nal	91	<b>Tardío</b>
2020-107 (R)	<b>Tardío</b>	Chac xim	93	<b>Tardío</b>
2020-108 (M)	Tardío	Ek ju'ub	87	Intermedio
2020-111 (R)	<b>Tardío</b>	Xnuk nal	91	<b>Tardío</b>

2020-113 (R)	Intermedio	Dzit bacal	97	Tardío
2020-114 (R)	<b>Tardío</b>	K'an pok	91	<b>Tardío</b>
2020-115 (R)	Precoz	Nal tel	72	Intermedio
2020-116 (M)	<b>Precoz</b>	Nal tel	68	<b>Precoz</b>

\* Ciclo vegetativo indicado por los agricultores censados en la recolecta 2020, donde Precoz: <70 días, Intermedio: 70-90 días, Tardío: >90 días ° Nomenclatura maya realizada por los agricultores durante la recolecta. § Días transcurridos de la siembra a la primera floración masculina, de acuerdo a la caracterización fenotípica en campo.

Con estos resultados se pudo validar la información proporcionada por el productor al momento de la colecta del germoplasma en las comunidades de Yucatán, encontrando que solamente siete de las 24 poblaciones coincidieron con lo reportado por el productor en cuanto al ciclo de cultivo. El resto de las poblaciones presentaron variación en el ciclo de cultivo; así, debo recomendar que toda colecta de germoplasma con fines de conservación debe ser caracterizada para el conociendo a profundidad y registro de sus caracteres morfoagronómicos.

### 3.3.1.2. Análisis de los caracteres de las poblaciones evaluadas

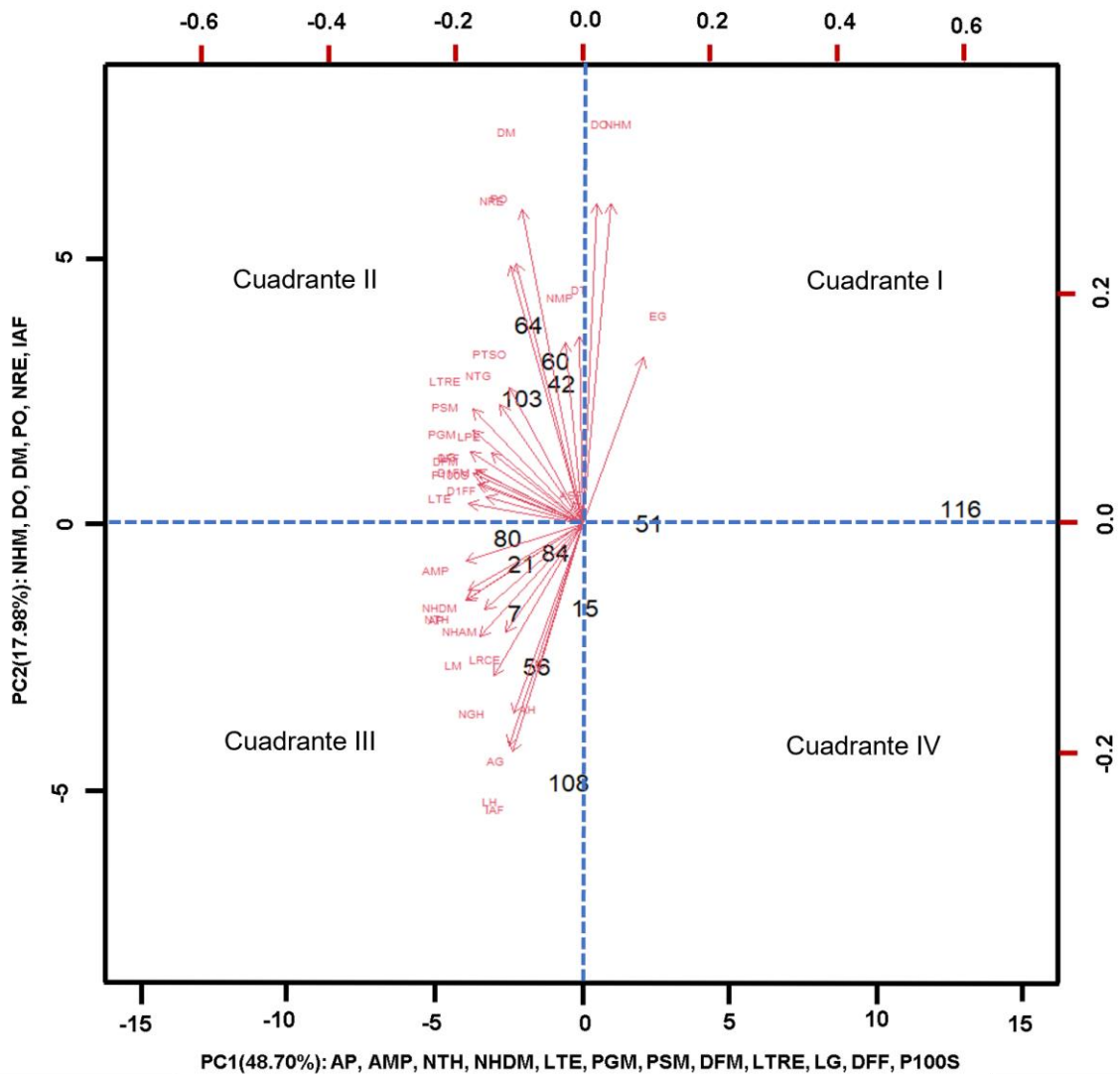
El análisis multivariado de componentes principales (Figura 3.3.5) mostró la agrupación, en el cuadrante IV, de las Pob 15, 108, 84, 56, 103, 80, 7 y 21, todas ellas correspondientes a maíz Ek ju'ub con color en grano morado.

Se tuvo en el cuadrante III del ACP, la segregación de la Pob 116 Nal tel morado y la conformación de un grupo con la Pob 115 Nal tel, 67 Nal xoy y 20 que corresponden a maíces de ciclo intermedio.

En el cuadrante II se posicionaron maíces rojos encontrando a la Pob 6, 8, 63 y 107, las tres primeras fueron reportadas por el productor como poblaciones tardías; sin embargo, se encontró que presentaron un comportamiento de maíz intermedio con 73, 70 y 89 días a floración, respectivamente. La Pob 51, en el cuadrante II, corresponde a un maíz morado que también presentó variación en su ciclo de cultivo de tardío a intermedio.

Finalmente, en el cuadrante I estuvieron las Pob moradas 42, 60, 64, siendo la primera tardía y los dos últimas intermedias; con las Pob 105, 111 y 114 maíces rojos tardíos. Esto demuestra la tendencia de la distribución de las poblaciones de maíces de acuerdo a su ciclo vegetativo, separándose la única población precoz encontrada (Pob 116) del resto de las poblaciones (intermedias y tardías). En el cuadrante I, igualmente se encontró a la mayoría de las poblaciones





**Figura 3.3.6.** ACP de 13 poblaciones de maíces morados de Yucatán evaluados en el 2022.

Con respecto a los maíces rojos (Figura 3.3.7), en el cuadrante I se tuvo a la Pob 107 y 114, ambos maíces tardíos, contando con los valores más altos el primero en las variables D1FM, D1FF, DFM, DFF y ASF; y el segundo con los valores máximos en NHDM, NHAM, NTH y AG. Se continúa observando la segregación de la Pob 6 en el cuadrante II, reportando los valores mínimos en las variables LH y NGH. La Pob 115 junto con la Pob 67 y 20, se ven ligeramente separadas del resto de las poblaciones, ubicándose en el cuadrante III, mismo comportamiento que presentaron al analizarse en conjunto con todas las poblaciones de maíces. Esto se debe en parte, a que presentaron un comportamiento de tipo intermedio. La Pob 8, 105 y 111 se





En cuanto a las variables que no están influyendo en los cuatro primeros componentes principales, dentro de la variación total que incluye a maíces morados y rojos, se tiene a D1FM, D1FF, NMP, LH, DT, NRE, NHM y NTG.

**Cuadro 3.3.3.** Análisis de la variación total de los caracteres fenotípicos en maíces nativos de Yucatán.

CP	VP	% Individual	% Acumulado	Variables
Maíces morados y rojos <sup>a</sup>				
1	14.43	42.45	42.45	AP, AMP, NTH, PGM, NHDM, LG, PSM, LTRE, P100S, LM, NHAM, AG, DFM, NGH
2	4.86	14.29	56.73	ASF, DFF, DO, AH, IAF
3	4.13	12.14	68.87	PO, PT, DM, EG
4	2.65	7.78	76.66	LRCE, LTE, LPE
Maíces morados <sup>b</sup>				
1	11.65	48.70	48.70	AP, AMP, NTH, NHDM, LTE, PGM, PSM, DFM, LTRE, LG, DFF, P100S
2	6.11	17.98	66.68	NHM, DO, DM, PO, NRE, IAF
3	3.72	10.97	77.65	AH, ASF, D1FF, LPE
4	2.04	6.01	83.66	EG, AG
Maíces rojos <sup>c</sup>				
1	11.40	41.45	41.45	AP, AMP, NHDM, NTH, LG, LTRE, P100S, DFM, PGM, DFF, PSM
2	5.82	17.14	58.59	LH, LRCE, PT, LTE, NGH, D1FF
3	4.72	13.89	72.48	PO, EG, DO, LPE, IAF
4	3.81	11.22	83.70	ASF, NTG, NHAM, DM

CP: Componente Principal; VP: Valor Propio;  $\alpha$ : n 23;  $\beta$ : n 13;  $\omega$ : n 10; AP: Altura de planta; AMP: Altura de la mazorca principal; NTH: Número total de hojas; PGM: Peso de granos de una mazorca; NHDM: Número de hojas por debajo de la mazorca; LG: Longitud de grano; PSM: Peso seco de mazorca; LTRE: Longitud del tramo ramificado de la espiga; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; LM: Longitud de mazorca; NHAM: Número de hojas por arriba de la mazorca; AG: Ancho de grano; DFM: Días transcurridos de la siembra a la floración del 50% más uno de las flores masculinas; NGH: Número de granos por hilera; ASF: Asincronía floral; DFF: Días transcurridos de la siembra a la floración del 50% más uno de las flores femeninas; DO: Diámetro del olote; AH: Ancho de hoja; IAF: Índice de área foliar; PO: Peso de olote; PT: Peso total de población; DM: Diámetro de mazorca; EG: Espesor de grano; LRCE: Longitud de la rama central de la espiga; LTE: Longitud total de la espiga; LPE: Longitud del pedúnculo de la espiga; NHM: Número de hileras de la mazorca; NRE: Número de ramificaciones de la espiga; D1FF: Días a la primera floración femenina; LH: Longitud de hoja; NTG: Número total de granos.

Considerando la variabilidad en únicamente las poblaciones moradas, encontramos un alto número de las variables integradas en la caracterización fenotípica que determina el comportamiento de las poblaciones, con un total de 26 variables. Donde el componente uno aportó el 48.70% de la variación total, repitiéndose las mismas variables que determinaron el CP1 en maíces morados y rojos a excepción de LM, NHAM, AG y NGH. En el componente dos figuraron nuevas variables para las poblaciones moradas, como NHM y NRE. En el componente tres se tuvo ASF que en el grupo de maíces morados y rojos determinaba la variación en el CP2, con la aparición de la variable D1FF.

Para las poblaciones rojas, se encontraron las mismas variables en el CP1 que para las poblaciones moradas, excluyendo a LTE que ahora forma parte del CP2. En el CP3 emergió una nueva variable que no se tenía en maíces morados ni en la combinación de ambos colores, que es LH. Sucedió lo mismo en el CP4 donde NTG comienza a formar parte de la variación exclusivamente en maíces rojos. Esto último nos indica la homogeneidad que se tiene en las poblaciones moradas para las variables LH y NTG.

En cuanto a las poblaciones que presentaron mayor grado de acame se tuvo a las Pob 15, 51, 80 y 108; entre las más afectadas por plagas y enfermedades estuvieron las Pob 21, 42 y 64 con síntomas de achaparramiento y alta presencia de gusano elotero. Las Pob 6, 67, 107, 111, 114 y 115 fueron las menos homogéneas en color de grano en mazorca, con presencia de múltiples mazorcas amarillas, naranjas, moradas, blancas y variegadas. Las poblaciones con color homogéneo en mazorca fueron Pob 7, 15, 21, 56, 64, todas ellas moradas. En los maíces rojos ninguna población presentó homogeneidad al 100%, esto refleja la necesidad de efectuar trabajos de selección y mejoramiento en el criterio del color en mazorca.

Por lo tanto, la Pob 7, dentro de los maíces morados, es un material idóneo para su selección al presentar mayor rendimiento, color homogéneo en mazorca, ausencia de plagas y enfermedades, así como tallos vigorosos sin presencia de acame. En cuanto a los maíces rojos,

en temas de rendimiento, las Pob 8 y 20 tuvieron los valores más altos, sin embargo, aún requieren trabajos de selección en color de mazorca para presentar homogeneidad en su población, aun así, las poblaciones rojas fueron las que presentaron menor porcentaje de segregación en color (menos del 15%).

En los maíces nativos evaluados en campo, las Pob 105 y 114 (maíces rojos), expresaron el color morado en diferentes órganos de la planta como tallos, flores (espiga y jilote), nervadura de hoja y totomoxtle; únicamente la Pob 105 presentó olote de color morado intenso y entre los maíces morados, sólo la Pob 116, dentro de los maíces morados, tuvo olote rojo. En casi todos los maíces rojos se expresó el color en olote rojo, a excepción de la Pob 67, lo que las hace ver como materiales prometedores para extracción de colorante en otros órganos de la planta evitando el grano para este fin, lo que favorece a la seguridad alimentaria.

### 3.3.2. EVALUACIÓN BIOQUÍMICA

#### 3.3.2.1. Cuantificación del color del grano: escala HunterLab

Los resultados del color de las muestras (Cuadro 3.3.4) indicaron granos de color oscuro, dado por los bajos valores de  $L^*$ , donde la Pob 42 fue de las más altas considerando a las 24 poblaciones en su conjunto, seguida de la Pob 116 y la Pob 15. Considerando por grupo de color, tenemos que todos los maíces rojos obtuvieron valores bajos de luminosidad, con un tono rojo intenso, donde la Pob 113 obtuvo el mayor valor presentando un color rojo-naranja en el grano, siendo de las menos oscuras intensas en los maíces rojos evaluados; entre los maíces morados la Pob. 42 fue la de mayor valor y la Pob. 60 la de menor luminosidad.

**Cuadro 3.3.4.** Parámetros de color en 24 poblaciones de maíces morados y rojos de Yucatán.

Pob	$L^*$	$a^*$	$b^*$	H	C
6	31.08	13.08	11.82	43.98	17.73
7	53.36	4.45	10.52	65.60	11.62
8	26.10	14.96	12.85	40.95	19.74
15	62.75	3.79	15.66	74.64	16.19
20	35.48	20.47	16.99	40.40	26.66
21	58.18	6.94	12.19	57.30	14.58

42	64.11	3.93	11.95	70.14	12.79
51	57.17	6.70	11.81	57.61	13.98
56	54.21	4.61	11.29	63.61	12.56
60	51.76	5.00	9.53	58.57	11.02
63	24.05	14.85	14.15	44.27	20.58
64	49.50	5.36	10.24	62.00	11.87
67	38.32	16.78	24.78	55.30	30.05
80	52.62	6.91	9.59	49.55	12.75
84	54.14	4.93	9.86	64.42	11.31
103	54.27	8.92	10.11	46.23	14.40
105	44.93	18.05	17.91	43.22	25.97
107	27.33	17.48	14.63	39.98	22.81
108	56.24	7.16	13.41	62.53	15.43
111	44.05	24.13	23.84	44.37	34.16
113	52.81	13.92	26.04	63.38	29.68
114	52.43	20.03	33.39	59.53	39.08
115	31.85	18.23	17.73	42.79	25.60
116	62.92	5.00	13.64	68.85	14.82
Media	47.49	11.07	15.16	54.97	19.39
Min	24.05	3.79	9.53	39.98	11.02
Max	64.11	24.13	33.39	74.64	39.08

Pob: Poblaciones, L\*: luminosidad, a\* y b\*: coordenadas de cromaticidad, H: ángulo hue, C: croma, Min: valor mínimo, Max: valor máximo.

En cuanto a maíces mexicanos, los maíces de Yucatán evaluados en este estudio presentaron mayor luminosidad y cromaticidad que los reportados por Salinas *et al.* 2005 en muestras de maíz Arrocillo, Cónico y Purepecha, considerando también un maíz peruano con valores de L\* de 16.08, 11.57, 11.16 y 14.10, respectivamente. En cromaticidad reportaron valores de 2, 2.31,

2.88 y 4.98, respectivamente. Mendoza *et al.* (2017) también evaluaron líneas de maíces autofecundados, obtenidos a partir del mejoramiento genético de poblaciones nativas de maíz morado provenientes de Tlaxcala, México en el 2012, reportando valores promedios para L\* de 10.5, para H de 39.9 y para C de 4.1. El valor promedio de hue (H) reportado por Mendoza y colaboradores fue el valor mínimo obtenido en las poblaciones evaluadas de Yucatán. En términos comparativos, encontramos que los maíces de Yucatán evaluados presentan tonalidades más oscuras con mayor pureza en el color al presentar mayor C.

### 3.3.2.2. Cuantificación e identificación de pigmentos en grano

De las 24 poblaciones analizadas para pigmentos, la Pob 7 morada fue la de mayor contenido en antocianinas (CAT) y la de menor valor fue la Pob 67 roja (Cuadro 3.3.5). En el contenido de carotenoides la Pob 114 roja fue la más alta presentando un color rojo-naranja en grano y la más baja fue la Pob 84 de color morado en grano. Considerando las poblaciones moradas, la de mayor contenido en carotenos fue la Pob 42, superando incluso a algunas poblaciones rojas. La población de mayor CAT fue la Pob 105 dentro de los maíces rojos, pero sin superar los valores de antocianinas en maíces morados.

**Cuadro 3.3.5.** Contenido de antocianinas (CAT) y carotenoides totales (CCT) en grano en 24 poblaciones de maíces morados y rojos de Yucatán.

Pob	Antocianinas* (mg/kg)	Carotenoides* (mg/kg)
6	41.38 ± 2.54	104.45 ± 15.38
7	450.42 ± 11.18	75.16 ± 4.66
8	20.91 ± 0.70	110.42 ± 11.42
15	289.58 ± 3.58	78.45 ± 17.63
20	24.32 ± 1.21	93.60 ± 11.30
21	333.68 ± 9.84	68.22 ± 21.09
42	300.19 ± 6.25	96.55 ± 3.36
51	281.42 ± 4.25	94.99 ± 4.83
56	342.53 ± 2.05	69.25 ± 16.70
60	257.85 ± 12.56	84.59 ± 18.98

---



---

63	14.33 ± 0.09	105.67 ± 20.52
64	222.44 ± 4.32	66.74 ± 10.71
67	2.05 ± 0.59	62.19 ± 3.99
80	269.13 ± 5.78	49.28 ± 8.29
84	273.97 ± 7.12	27.85 ± 10.29
103	281.15 ± 0.89	83.24 ± 13.62
105	120.89 ± 1.42	91.21 ± 7.53
107	14.90 ± 0.91	129.67 ± 15.05
108	261.59 ± 11.56	75.69 ± 14.29
111	7.62 ± 0.45	66.09 ± 6.84
113	5.06 ± 0.76	68.77 ± 15.15
114	3.13 ± 2.73	135.26 ± 10.40
115	19.82 ± 2.80	76.97 ± 12.15
116	297.08 ± 12.71	51.00 ± 3.83

---

\* Media ± desviación estándar (n=3).

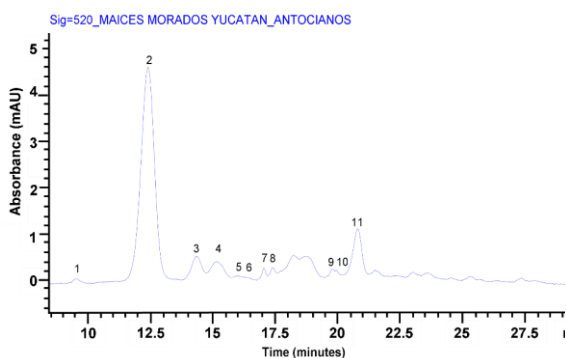
Se encontró que las poblaciones que presentaron el color más oscuro e intenso en el grano, tanto en poblaciones moradas como rojas, asegurarían elevadas concentraciones de pigmento de antocianinas. Por el contrario, las poblaciones con tonalidad rojo-naranja en grano en los maíces rojos, obtuvieron valores máximos de carotenoides, pero mínimos de antocianinas como la Pob 67, 114 y 113. Asimismo, se tuvieron poblaciones moradas que superaron el contenido de carotenoides con respecto a algunas poblaciones rojas.

Estos resultados son contrarios a lo obtenido por Mendoza *et al.* (2017) quienes aseguraron que aun cuando las líneas de estudio fueron seleccionadas por su color oscuro e intenso no obtuvieron concentraciones altas en el contenido de antocianinas, lo cual atribuyen a la variación de acumulación en el grano de maíz. Espinosa *et al.* (2009) en maíces nativos evaluados en Texcoco, México obtuvieron valores de 390 mg/kg en promedio de antocianinas totales, superando este valor la Pob 7 con 450.42 ± 11.18 mg/kg. Sin embargo, casi todas las poblaciones de Yucatán presentan valores bajos en el CAT, comparado con los maíces del resto del país.

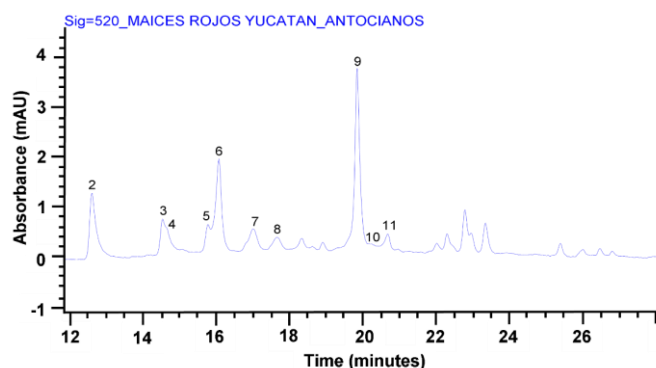
A pesar de ello, los maíces peruanos contienen seis veces más concentración que los maíces cultivados en Yucatán (García *et al.*, 2022). Es importante mencionar que, para las poblaciones de Yucatán, estos son los primeros resultados que integran una gran cantidad de poblaciones nativas moradas y rojas con la cuantificación e identificación de pigmentos en el grano de maíz, siendo un parteaguas para futuros trabajos relacionados a este tema.

El perfil de antocianinas en las poblaciones de maíces, permitió identificar 11 compuestos distintos: 1) delphinidina-3-glucósido, 2) cianidina-3-glucósido, 3) pelargonidina-3-glucósido, 4) pelargonidina-3-rutinósido, 5) cianidina-3-malonilglucósido, 6) cianidina 3-rutinósido, 7) pelargonidina-3-acetil-glucósido, 8) cianidina 3, 6'' malonilglucósido, 9) pelargonidina 3, 6'' malonilglucósido, 10) cianidina-3-dimalonilglucósido, 11) cianidina-3, 3'', 6'' dimalonilglucósido (Figuras 3.3.8 y 3.3.9).

Entre los compuestos 8 y 9 se encontraron algunos picos cromatográficos que no fueron identificados con certeza como antocianinas, pero uno de ellos podría corresponder a N-cafeoil N'-p-cumaroil espermidina, de acuerdo al orden de elución y al tiempo de retención (Lux *et al.*, 2020).



**Figura 3.3.8.** Perfil de antocianinas en el grano de maíz morado.



**Figura 3.3.9.** Perfil de antocianinas en el grano de maíz rojo.

En los maíces con color de grano morado predominó la cianidina-3-glucósido sobre cianidina 3-rutinósido, contrario a lo encontrado por Casanova (2020) en un maíz Tuxpeño morado (Ek ju'ub). En las únicas poblaciones rojas donde predominó la cianidina 3-rutinósido sobre cianidina-3-glucósido fueron en los maíces rojos Pob 6, 8 y 20.

La cianidina 3-rutinósido solamente se presentó en maíces rojos exceptuando la Pob 67 y 105, y en poblaciones moradas únicamente en la Pob 7. De igual manera la Pob. 7 fue la única en presentar la antocianina delphinidina-3-glucósido (pico 1) de los 24 maíces analizados.

En los maíces rojos fue mayoritaria la pelargonidina 3,6" malonilglucósido, por sobre la cianidina-3-glucósido (excepto en las Pob 105, 111, 114 y 115); esto es un distintivo interesante en los maíces rojos de Yucatán puesto que la antocianina mayoritaria en frutos como la fresa, arándanos y moras es la pelargonidina (García, 2016).

Se encontró el derivado acilado cianidina 3,6" malonilglucósido en casi todos los maíces morados de Yucatán, menos en la Pob 51, 67 y 116, siendo importante ya que las antocianinas de tipo aciladas son más estables a temperaturas por arriba de los 50 °C (Sadilova *et al.*, 2006).

Dentro de los maíces rojos, la Pob 6 fue la que contó con la mayor cantidad de compuestos de antocianinas, así como mayor área de integración para esos compuestos; por el contrario, la Pob 113 fue la de menor número de antocianinas y área de pico (Cuadro 3.3.6). Dentro de los maíces morados, la Pob 7 fue la de mayor contenido de antocianinas y la Pob 15 la de menor contenido.

Los maíces similares en cuanto a su composición fueron las Pob 80, 103, 105, 108 y 116, de las cuales sólo la Pob 105 es un maíz rojo, lo que la hace diferente al resto de los maíces de ese color, pero similar a las poblaciones moradas que se mencionan.



**Cuadro 3.3.6.** Contenido de antocianinas identificadas en poblaciones de maíces nativos de Yucatán.

Antocianina	mg/100 g						
	Pob 6	Pob 7	Pob 8	Pob 15	Pob 20	Pob 21	Pob 42
delfinidina-3-glucósido		15.88 ± 0.14					
cianidina-3-glucósido	16.77 ± 0.04	26.72 ± 0.58	16.16 ± 0.03	17.66 ± 0.11	16.27 ± 0.00	23.01 ± 0.65	22.54 ± 0.50
pelargonidina-3-glucósido	16.02 ± 0.02	16.65 ± 0.10	15.79 ± 0.03	15.96 ± 0.13	15.79 ± 0.26	16.84 ± 0.08	17.86 ± 0.57
pelargonidina-3-rutinósido	15.68 ± 0.00	16.57 ± 0.00	15.66 ± 0.01	16.01 ± 0.04	15.60 ± 0.00	16.22 ± 0.07	16.08 ± 0.14
cianidina-3-malonilglucósido	15.99 ± 0.00	15.69 ± 0.03	15.86 ± 0.01		15.85 ± 0.00	15.74 ± 0.00	
cianidina 3-rutinósido	17.14 ± 0.09	15.75 ± 0.06	16.33 ± 0.04		16.39 ± 0.04		
pelargonidina-3-acetil-glucósido	16.16 ± 0.06	15.87 ± 0.04	15.80 ± 0.01	15.62 ± 0.02	15.74 ± 0.03	15.70 ± 0.00	15.73 ± 0.00
cianidina 3, 6'' malonilglucósido	16.00 ± 0.06	15.91 ± 0.06	15.75 ± 0.01	15.66 ± 0.01	15.73 ± 0.01	15.75 ± 0.00	15.79 ± 0.03
pelargonidina 3, 6'' malonilglucósido	18.05 ± 0.07	15.74 ± 0.01	16.70 ± 0.10		16.84 ± 0.04	15.68 ± 0.02	15.81 ± 0.05
cianidina-3-dimalonilglucósido	15.67 ± 0.02	15.69 ± 0.02				15.62 ± 0.00	
cianidina-3, 3'', 6'' dimalonilglucósido	15.81 ± 0.03	17.47 ± 0.44	15.71 ± 0.13	15.95 ± 0.08	15.72 ± 0.00	17.01 ± 0.20	17.08 ± 0.30
<b>Total de antocianinas</b>	<b>163.30 ± 0.04</b>	<b>187.93 ± 0.13</b>	<b>143.76 ± 0.04</b>	<b>96.86 ± 0.07</b>	<b>143.92 ± 0.04</b>	<b>151.56 ± 0.11</b>	<b>120.89 ± 0.23</b>

Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

Cuadro 3.3.6. (Continuación)...

Antocianina	mg/100 g						
	Pob 51	Pob 56	Pob 60	Pob 63	Pob 64	Pob 67	Pob 80
delfinidina-3-glucósido							
cianidina-3-glucósido	21.20 ± 0.18	23.89 ± 0.47	22.69 ± 0.26	16.07 ± 0.06	20.72 ± 0.32	15.69 ± 0.01	19.99 ± 0.36
pelargonidina-3-glucósido	18.42 ± 0.10	16.78 ± 0.05	16.33 ± 0.02	15.93 ± 0.03	16.45 ± 0.11	15.84 ± 0.00	19.06 ± 0.34
pelargonidina-3-rutinósido	16.52 ± 0.06	17.06 ± 0.02	16.06 ± 0.06		15.99 ± 0.04		15.95 ± 0.00
cianidina-3-malonilglucósido				15.89 ± 0.04			
cianidina 3-rutinósido				15.97 ± 0.04			
pelargonidina-3-acetilglucósido		15.76 ± 0.04	15.78 ± 0.03	15.76 ± 0.00	15.80 ± 0.04		15.76 ± 0.02
cianidina 3, 6'' malonilglucósido		15.79 ± 0.01	15.82 ± 0.02	15.68 ± 0.03	15.81 ± 0.01		15.87 ± 0.00
pelargonidina 3, 6'' malonilglucósido	15.79 ± 0.00	16.20 ± 0.05		16.15 ± 0.10	15.78 ± 0.12	15.70 ± 0.03	15.78 ± 0.02
cianidina-3-dimalonilglucósido			16.350 ± 0.01				
cianidina-3, 3'', 6'' dimalonilglucósido	15.90 ± 0.04	16.45 ± 0.23		15.68 ± 0.00	16.20 ± 0.18		16.43 ± 0.16
<b>Total de antocianinas</b>	<b>135.14 ± 0.11</b>	<b>87.83 ± 0.08</b>	<b>121.93 ± 0.12</b>	<b>103.02 ± 0.07</b>	<b>127.14 ± 0.04</b>	<b>116.75 ± 0.11</b>	<b>47.22 ± 0.02</b>

Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

Cuadro 3.3.6. (Continuación)...

Antocianina	mg/100 g						
	Pob 84	Pob 103	Pob 105	Pob 107	Pob 108	Pob 111	Pob 113
delfinidina-3-glucósido							
cianidina-3-glucósido	23.03 ± 0.48	20.75 ± 0.39	18.47 ± 0.05	16.35 ± 0.03	19.15 ± 0.33	15.72 ± 0.04	15.67 ± 0.04
pelargonidina-3-glucósido	16.49 ± 0.04	18.24 ± 0.17	20.26 ± 0.11	16.01 ± 0.02	18.32 ± 0.07	15.86 ± 0.01	15.68 ± 0.02
pelargonidina-3-rutinósido	16.14 ± 0.10	16.42 ± 0.02	16.02 ± 0.09				1.20 ± 0.06
cianidina-3-malonilglucósido				15.89 ± 0.01	15.67 ± 0.03		
cianidina 3-rutinósido				16.27 ± 0.03		15.67 ± 0.02	8.41 ± 0.04
pelargonidina-3-acetil-glucósido	15.88 ± 0.06	15.63 ± 0.08		15.87 ± 0.02	15.69 ± 0.03		15.61 ± 0.08
cianidina 3, 6" malonilglucósido	15.86 ± 0.04	15.71 ± 0.09	15.68 ± 0.03	15.75 ± 0.00	15.85 ± 0.02		
pelargonidina 3, 6" malonilglucósido	15.73 ± 0.03	15.65 ± 0.05	15.76 ± 0.13	16.75 ± 0.05	15.82 ± 0.00		
cianidina-3- dimalonilglucósido	15.70 ± 0.01					15.74 ± 0.03	
cianidina-3, 3", 6" dimalonilglucósido	16.32 ± 0.14	16.25 ± 0.19	15.73 ± 0.03	15.76 ± 0.06	16.36 ± 0.07	15.75 ± 0.10	
<b>Total de antocianinas</b>	<b>118.84 ± 0.13</b>	<b>118.66 ± 0.14</b>	<b>101.92 ± 0.07</b>	<b>128.65 ± 0.03</b>	<b>116.86 ± 0.08</b>	<b>78.74 ± 0.04</b>	<b>56.58 ± 0.05</b>

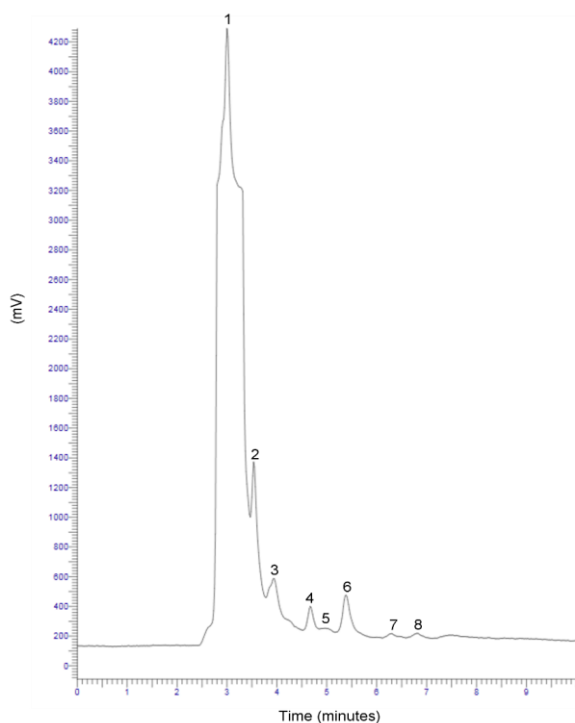
Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

**Cuadro 3.3.6. (Continuación)...**

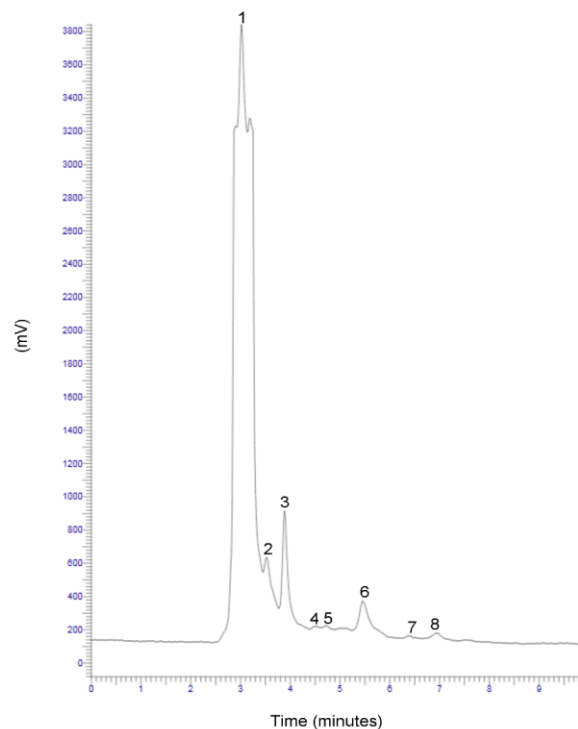
Antocianina	mg/100 g		
	Pob 114	Pob 115	Pob 116
delfinidina-3-glucósido			
cianidina-3-glucósido	15.84 ± 0.00	16.27 ± 0.10	20.81 ± 0.39
pelargonidina-3-glucósido	15.85 ± 0.04	15.89 ± 0.04	19.78 ± 0.26
pelargonidina-3-rutinósido			
cianidina-3-malonilglucósido			
cianidina 3-rutinósido	15.68 ± 0.02	15.73 ± 0.06	
pelargonidina-3-acetil-glucósido			
cianidina 3, 6" malonilglucósido		15.83 ± 0.01	
pelargonidina 3, 6" malonilglucósido		15.64 ± 0.01	
cianidina-3-dimalonilglucósido	15.74 ± 0.08		
cianidina-3, 3", 6" dimalonilglucósido		16.86 ± 0.12	
<b>Total de antocianinas</b>	<b>63.11 ± 0.04</b>	<b>96.22 ± 0.06</b>	<b>40.59 ± 0.32</b>

Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

El perfil de carotenoides en las poblaciones de maíces morados y rojos, permitió identificar de manera tentativa, ocho compuestos distintos, de acuerdo a los tiempos de retención: 1) luteína, 2) zeaxantina, 3) zeinoxantina, 4)  $\beta$ -cryptoxantina, 5) licopeno, 6)  $\beta$ -apo-8'-carotenal-methyloxime, 7)  $\alpha$ -caroteno y 8)  $\beta$ -caroteno (Figuras 3.3.10 y 3.3.11).



**Figura 3.3.10.** Perfil de carotenoides en el grano de maíz morado.



**Figura 3.3.11.** Perfil de carotenoides en el grano de maíz rojo.

Dentro de las poblaciones moradas, únicamente la Pob 21 morada, presentó un perfil más parecido a los maíces rojos, específicamente en los tamaños de los picos 2 y 3; con la predominancia de zeinoxantina con respecto a zeaxantina. Dentro de las poblaciones rojas, las Pob 107 y 113 coincidieron con el perfil de maíces morados, donde el pico de zeaxantina predomina sobre zeinoxantina. En el perfil de los maíces morados, el caroteno  $\beta$ -cryptoxantina (pico 4) tiene un tamaño relativo mucho mayor con respecto al mismo número de pico en el perfil de los maíces rojos.

Los carotenoides presentes en el grano de maíz para las poblaciones de maíces de Yucatán fueron, de mayor a menor proporción: luteína, zeaxantina, zeinoxantina y  $\beta$ -apo-8'-carotenal-methyloxime, entre otras (Cuadro 3.3.7).

**Cuadro 3.3.7.** Valores de tamaño relativo de los compuestos presentes de carotenoides en poblaciones de maíces nativos de Yucatán.

% de compuesto en base a luteína								
Carotenoide	Pob 6	Pob 7	Pob 8	Pob 15	Pob 20	Pob 21	Pob 42	Pob 51
luteína	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00
zeaxantina	11.17 ± 2.87	23.03 ± 2.46	6.09 ± 0.97	8.69 ± 3.09	14.68 ± 9.56	6.27 ± 0.27	34.21 ± 8.85	17.96 ± 8.21
zeinoxantina	22.38 ± 3.75	12.03 ± 10.65	7.90 ± 3.78	10.42 ± 2.99	21.39 ± 3.39	29.64 ± 8.99	34.29 ± 21.00	13.91 ± 2.59
β-cryptoxantina	5.05 ± 2.59	6.35 ± 3.54	2.03 ± 0.12	4.70 ± 0.84	1.43 ± 0.70	1.78 ± 0.05	5.83 ± 1.57	7.49 ± 2.57
licopeno	3.10 ± 0.47	2.31 ± 0.16	1.90 ± 0.30	2.19 ± 0.41	1.15 ± 0.44	0.96 ± 0.09	3.14 ± 0.27	2.58 ± 1.12
β-apo-8'-carotenal-methyloxime	7.46 ± 0.69	7.20 ± 2.14	5.32 ± 1.25	8.11 ± 1.52	7.16 ± 2.79	5.67 ± 0.08	13.65 ± 9.42	10.51 ± 3.99
α-caroteno	1.58 ± 0.32	0.76 ± 0.20	0.78 ± 0.15	1.77 ± 0.47	1.10 ± 0.50	0.43 ± 0.40	2.21 ± 0.67	2.14 ± 0.10
β-caroteno	1.18 ± 0.91	0.46 ± 0.08	0.81 ± 0.01	0.90 ± 0.17	1.18 ± 0.97	0.86 ± 0.22	1.85 ± 0.17	2.25 ± 0.28

Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

**Cuadro 3.3.7. (Continuación)...**

% de compuesto en base a luteína								
Carotenoide	Pob 56	Pob 60	Pob 63	Pob 64	Pob 67	Pob 80	Pob 84	Pob 103
luteína	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00
zeaxantina	29.45 ± 2.90	61.38 ± 13.58	0 ± 0.00	14.64 ± 7.78	5.03 ± 0.26	10.59 ± 2.09	4.89 ± 0.80	5.39 ± 0.47
zeinoxantina	11.91 ± 2.27	43.71 ± 0.17	11.34 ± 2.73	9.34 ± 2.00	5.64 ± 0.59	8.39 ± 0.52	4.02 ± 0.74	3.79 ± 0.47
β-cryptoxantina	4.14 ± 2.16	21.26 ± 6.77	2.88 ± 1.50	2.38 ± 1.53	1.02 ± 0.21	2.06 ± 0.06	2.17 ± 0.06	1.49 ± 0.19
licopeno	4.02 ± 1.61	6.88 ± 1.58	5.17 ± 3.03	1.26 ± 0.37	0.78 ± 0.19	1.31 ± 0.42	1.39 ± 0.08	0.67 ± 0.01
β-apo-8'-carotenal-methyloxime	6.60 ± 1.21	29.58 ± 5.34	50.47 ± 22.21	4.92 ± 1.90	2.97 ± 0.54	5.67 ± 0.35	4.90 ± 0.37	3.52 ± 0.94
α-caroteno	3.11 ± 2.06	12.17 ± 3.44	1.12 ± 0.10	2.27 ± 1.49	1.05 ± 0.20	2.32 ± 0.16	2.17 ± 0.39	1.25 ± 0.14
β-caroteno	2.98 ± 1.35	15.47 ± 3.57	0.96 ± 0.21	2.89 ± 1.90	1.31 ± 0.29	2.32 ± 0.05	2.36 ± 0.09	1.98 ± 0.94

Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

Cuadro 3.3.7. (Continuación)...

% de compuesto en base a luteína								
Carotenoide	Pob 105	Pob 107	Pob 108	Pob 111	Pob 113	Pob 114	Pob 115	Pob 116
luteína	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00
zeaxantina	14.68 ± 6.21	9.32 ± 0.97	43.81 ± 0.78	3.31 ± 0.23	60.87 ± 38.04	11.61 ± 1.86	8.80 ± 2.10	14.13 ± 19.98
zeinoxantina	8.60 ± 10.51	6.90 ± 1.00	31.52 ± 3.19	5.32 ± 0.59	30.05 ± 12.45	20.13 ± 0.28	17.55 ± 2.14	66.35 ± 9.72
β-cryptoxantina	1.78 ± 0.54	1.28 ± 0.24	12.33 ± 2.28	2.55 ± 0.21	3.58 ± 2.79	2.22 ± 0.04	1.78 ± 0.54	159.53 ± 186.85
licopeno	1.40 ± 0.30	0.61 ± 0.30	5.97 ± 1.55	1.01 ± 0.23	3.06 ± 3.14	0.57 ± 0.04	1.31 ± 0.17	187.16 ± 210.98
β-apo-8'-carotenal-methyloxime	3.34 ± 2.34	3.50 ± 0.85	16.55 ± 3.39	5.59 ± 1.14	19.44 ± 17.40	6.44 ± 0.55	3.34 ± 2.34	489.23 ± 375.61
α-caroteno	0.49 ± 0.26	0.30 ± 0.21	10.11 ± 1.85	3.70 ± 1.38	6.17 ± 6.10	0.80 ± 0.35	0.49 ± 0.26	19.20 ± 3.06
β-caroteno	0.70 ± 0.48	0.71 ± 0.40	10.35 ± 2.05	3.82 ± 1.98	7.32 ± 8.27	1.23 ± 0.18	0.70 ± 0.48	14.91 ± 4.40

Los valores indican la media más/menos la desviación estándar (n=2).

La Pob 116 morada fue la única en mostrar mayor porcentaje de  $\beta$ -cryptoxantina, licopeno y  $\beta$ -apo-8'-carotenal-methyloxime. La Pob 60, también morada, fue otra de las poblaciones que tuvo un buen porcentaje de  $\beta$ -cryptoxantina con el 21%. Seguida de ésta, se presentó la Pob 108 morada (12%). Estas tres poblaciones fueron las únicas que presentaron del 10 al 20% contenido de  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno.

García y colaboradores (2015) indicaron que, en general, los carotenoides precursores de la vitamina A, como lo son  $\beta$ -cryptoxantina,  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno (Meléndez *et al.*, 2004), constituyeron sólo del 10 al 20% del total de los carotenoides en el grano de maíz, mientras que la luteína y zeaxantina representaron del 30-50% cada uno, confirmándose estas proporciones con los datos obtenidos en este estudio.

Por su parte, la Pob 63 roja no presentó zeaxantina dentro de su composición. Y las que presentaron mayor contenido fueron la Pob 60 y 113 con el 61%, así como la Pob 108 con el 44%. Por lo que estas tres últimas poblaciones pudieran ser de gran potencial para evitar la degeneración de la mácula del ojo, protegiéndolo frente a reacciones fitoquímicas debido a la capacidad antioxidante que posee la zeaxantina. Asimismo, la luteína tiene el mismo efecto benéfico en el ser humano, compuesto predominante en las poblaciones evaluadas de los maíces de Yucatán.



## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN, CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS

#### 4.1. DISCUSIÓN

La recolecta efectuada en el estado de Yucatán permitió identificar poblaciones de maíces que se encuentran con baja representatividad, como es el caso del maíz Pix Cristo y el Nal tel de grano blanco (Sak Nal tel, en lengua maya), situación que pone en riesgo de pérdida estas variedades locales. Al respecto, Ortega (1999) con recolectas efectuadas en 1991 ya reportaba una pérdida considerable de la raza Nal tel, siendo un caso extremo el Sak Nal tel con muy baja representatividad en la península de Yucatán, perteneciente al grupo de las razas Antiguas Indígenas (clasificación de la diversidad de maíz en México desde 1989 hasta la fecha), con amplia variedad nutricional y tolerante a la sequía (Cárcamo *et al.*, 2011). Es de resaltar, que en la recolecta del 2020 se encontró una población de Nal tel blanco originaria de la parte oriente del estado de Yucatán, en la comunidad de Xocén, Valladolid. Por lo tanto, se recomienda fomentar esta raza en programas de conservación y de continuar con su recolecta.

Unas poblaciones de maíces están más conservadas que otras, contando con una baja representatividad los maíces de grano rojo, sembrados en un bajo número de milpas. Ante esto la predilección de la esposa por consumir un maíz u otro, influye en la decisión de siembra del milpero. Algunas esposas de milperos indicaron que la masa resultante normalmente es blanca en los maíces rojos. Esto se debe a la expresión de los genes que determinan la ubicación del pigmento en el pericarpio del grano en los maíces rojos, no así en los maíces morados, donde el pigmento se ubica en el endospermo. También a que gran parte del pericarpio se pierde en el agua de cocimiento y lavado (Salinas *et al.*, 2017); y con él, el calcio que se fija de manera diferencial en las estructuras del grano, en el orden pericarpio > germen > endospermo (González *et al.*, 2005). Ante ello, un programa de manejo dirigido a estos maíces favorecerá su conservación.

En años anteriores, los maíces pigmentados, tanto morados como rojos, contaban con una baja demanda a nivel estatal. Actualmente estos maíces han estado ganando impulso, sobre todo los morados, por la cualidad distintiva que poseen siendo usados en restaurantes para la elaboración de platillos gourmet (Miranda *et al.*, 2018). Entre la población encuestada, sólo el 1% de los milperos indicó que el maíz morado aporta mayores nutrientes al consumirlo, lo que indica el desconocimiento que se tiene en la sociedad milpera yucateca de los beneficios nutraceuticos

de los maíces pigmentados. Sin embargo, sí tienen presente la actual demanda que se tiene por estos maíces, sobre todo en regiones turísticas como Tulum, Cancún y Playa del Carmen, sitios donde les han demandado para la compra. Por lo que, dar a conocer un distintivo o atributo de las razas locales en los consumidores, podría hacerlas rentables para competir en el mercado contribuyendo así a su conservación de manera eficiente en sus sitios de cultivo (Riesco, 2004).

Esta investigación tiene como fin último el tema de mejoramiento genético, donde uno de los intereses es reducir la variación en las poblaciones de maíces para contar con plantaciones más homogéneas en sus caracteres morfo-agronómicos, resultando de interés para su selección y para facilitar su manejo en campo. De esta manera, el trabajo de mejoramiento va depurando caracteres indeseables. En Yucatán, debido a que se tienen escasos trabajos sobre mejoramiento genético en maíz, se toma como punto de partida el conocer la diversidad fenotípica (resultado del genotipo más la interacción del genotipo con el ambiente), integrando la diversidad bioquímica (antocianinas y carotenoides) y la amplitud de ambas; para posteriormente ir depurando aquellas poblaciones de maíces que no cumplan con los objetivos de investigación.

Este tema de reducción de la variación en las poblaciones de maíces, principalmente en los maíces nativos es algo complejo, por el manejo de selección que cada milpero realiza en sus poblaciones, no teniendo el mismo criterio que los demás productores, con intereses particulares cada uno de ellos. Sin embargo, la selección del milpero se ha enfocado principalmente en los maíces blancos y amarillos, por temas de rendimiento. Es así como se ve la importancia de realizar trabajos de evaluación, con fines de mejoramiento en los maíces de color morado y rojo.

La caracterización bioquímica en grano completo permitió identificar, en solo una población de maíz morada (Pob 7), el compuesto delfinidina-3-glucósido, lo que la convierte en una característica distintiva de entre los demás maíces colectados en Yucatán. La delfinidina-3-glucósido se ha encontrado en el frijol negro y es la que brinda un color azul oscuro en algunas flores como las petunias (De la Rosa *et al.*, 2022). Tsuda y colaboradores (2002) encontraron que la delfinidina inhibió el crecimiento de tumores en líneas celulares interceptando su factor de crecimiento. Asimismo, los maíces rojos presentaron una antocianina mayoritaria que fue la pelargonidina, compuesto que aporta un color rojo vivo y que está presente únicamente en frutos como la fresa, arándanos, etc. (García, 2016), que son frutas de difícil adquisición en la región de Yucatán, principalmente por el elevado precio en el mercado. Por lo tanto, los maíces rojos pueden ser una excelente alternativa para integrar este compuesto con poder antioxidante en la dieta yucateca. Un estudio de consumo de polifenoles en Yucatán, entre los que están las

antocianinas, reportó un consumo promedio de 536 mg/día, estando por debajo de estados como Baja California, o de países como Brasil (1198.6 mg/día) que tiene como principal alimento aportador la polenta (comida elaborada con harina de maíz) (Castro, 2019).

Mediante el HPLC-DAD no se detectó la presencia de peonidina en los maíces de Yucatán, tal como reportan Salinas *et al.* (2017); sin embargo, es importante hacer uso de otros métodos más precisos como la cromatografía líquida de alta resolución acoplada con espectrometría de masas (HPLC-MS) que permite identificar trazas de ciertas antocianinas que no son posibles de detectar por el HPLC ultravioleta.

De acuerdo a las hipótesis planteadas, observamos el cumplimiento parcial de cada una, donde la diferenciación geomorfológica sólo se observó en los maíces Nal tel, Xmejen nal y ligeramente en Dzit bacal, pero no en los Tuxpeños. Las características en común en Tuxpeños, independientemente de su zona de procedencia, son resultado del manejo tradicional de la especie, selección e intercambio entre los milperos en el estado de Yucatán, lo que genera el flujo genético a nivel poblacional.

En cuanto al planteamiento de identificar una población morada y una roja que cumplan simultáneamente con mayor sincronía floral, rendimiento e intensidad y homogeneidad de color en mazorca, solamente se obtuvo en la Pob 7 morada, no así en los maíces rojos.

Por último, en cuanto a la intensidad y homogeneidad en el color de mazorca como indicativo de mayor contenido de antocianinas y carotenoides se confirma únicamente para el pigmento de antocianinas, no así para carotenoides, donde las poblaciones con mayor contenido, para este último, fue en tonalidades más claras (rojo-naranja) y no en colores rojos intensos.

## 4.2. CONCLUSIONES GENERALES

Se encontró una amplia variación fenotípica en un conjunto de poblaciones domesticadas a través del cultivo. En el análisis general, se identificaron 10 poblaciones promisorias procedentes de las tres regiones geomorfológicas, para iniciar su selección y mejoramiento en el estado de Yucatán, con buena capacidad de rendimiento de acuerdo con la caracterización fenotípica realizada en mazorcas. Dichas poblaciones fueron: Pob. 2, 6, 8, 48, 51, 55, 64, 87, 107 y 116. En cuanto a los maíces morados y rojos, la población con mayor rendimiento fue la Pob 7 (morada), con color de mazorca homogéneo y mayor contenido de antocianinas totales (CAT). Sin embargo, no fue la de menor ASF, presentándose otras poblaciones con menor número de días. La Pob 114 (roja) presentó mayor contenido de carotenoides totales (CCT), la Pob 115 presentó menor ASF y la Pob 8 mayor rendimiento.

Se confirma que elegir un color más oscuro e intenso en el grano asegura un mayor contenido de pigmento, pero sólo para el caso de antocianinas; ya que en carotenoides ocurre lo contrario. Se debe poner especial atención en la Pob 105 que presentó mayor contenido de antocianinas en grano dentro de los maíces rojos, así como pigmentación en diferentes órganos de la planta, siendo un germoplasma idóneo en temas de seguridad alimentaria, evitando el uso de grano para la extracción de pigmento y optando por el uso del olote, totomoxtle, entre otros.

La descripción de la variabilidad, basados en los caracteres de mazorca en maíz, tiene gran influencia para realizar una clasificación basados en razas y variedades. Este estudio es un aporte al panorama de la situación actual de los maíces nativos en Yucatán, los cambios que se han dado con el tiempo y la alta variabilidad fenotípica que manejan los milperos en Yucatán.

### 4.3. PERSPECTIVAS

La caracterización fenotípica en maíz es un método efectivo para identificar poblaciones potenciales, de acuerdo a los fines que se persiguen. Esto puede ser aprovechado para realizar programas de mejoramiento. Partir desde el conocimiento de la diversidad de la base genética en las poblaciones de maíces permite realizar una adecuada selección.

Es importante continuar con la evaluación y selección en campo de las poblaciones sobresalientes identificadas en este estudio, para dar inicio a un programa de mejoramiento genético para el desarrollo de variedades de polinización ya sea abierta o controlada o bien, mediante una siembra intercalada que evite la contaminación con materiales indeseables. Para fines de mejoramiento, el haber evaluado diferentes poblaciones en este estudio permitió tener el punto de partida, que es el conocimiento de los materiales, con los cuales se trabajará a futuro en un programa de mejoramiento. El haber identificado poblaciones con pigmento en diferentes partes de la planta, diferentes a la mazorca, como es el olote, inflorescencia, tallo, nervadura, etc. muestra alternativas de trabajo donde la extracción del pigmento para la industria sea a partir del uso de la planta y no del grano, caso preciso el olote que hasta la fecha se le cataloga como *residuo* pero que es una gran alternativa de valoración química.

Este trabajo es el primero que se realiza integrando la caracterización fenotípica con la caracterización bioquímica de pigmentos (antocianinas y carotenoides) en maíces de Yucatán. Asimismo, es la primera investigación que hace uso de carta de colores como método de selección visual en el grano de maíz, siendo mayormente empleado este método en la industria alimentaria para otros cultivos (ej. zumo de naranja) o en la industria florícola para la selección de color en los pétalos.

Hace falta realizar más trabajos de selección en maíces rojos para contar con homogeneidad en el color de mazorca. Evaluar las poblaciones de maíces en el ciclo agrícola correspondiente a la zona de Yucatán (siembra en junio), confirmará el comportamiento de las poblaciones, en específico el ciclo vegetativo. Es importante mencionar que el maíz a pesar de sembrarse fuera de época puede generar grano siempre y cuando se tenga un manejo fitosanitario adecuado en campo.

Este estudio sienta las bases para futuros programas de mejoramiento genético en maíz al detectar poblaciones con gran potencial agronómico y bioquímico, a partir de una amplia colecta efectuada en el estado de Yucatán.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Abdel-Aal, E.S., Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76, 350-354.
2. Adebayo, M., Menkir, A., Gedil, M., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., Funmilayo, L. (2015). Diversity assessment of drought tolerant exotic and adapted maize (*Zea mays* L.) inbred lines with microsatellite markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18, 147-154, doi: 10.1007/s12892-014-0076-3.
3. Aguilar, C.G., Torres, P.H., Medina, M.J., Nava, P.R. (2015). Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noroeste. Informe final Estados: Campeche, Quintana Roo y Yucatán, Proyecto No. FZ016, México D.F., pp. 35.
4. Aguilera, H.N. (1958). Suelos, en: Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. Beltrán, E. (Ed.). Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. México, pp. 175-212.
5. Aguirre, G.J., Hernández, G.A., Sahagún, C.L., Ortega, P.R., Aragón, C.F., Dzib, A.L., Olán, M. de la O, García, H.M., Gómez, M.N., Pérez, C.O., Esparza, M.R. (2018). Conservación y manejo *in situ*, en: Conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad de maíces nativos de México. Ramírez, G.J., González, S.R. (Eds.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México, pp. 7-33.
6. Allen, J. R., Mckee, G.W., MCGahen, J.H. (1973). Leaf number and maturity in hybrid corn. *Agron. J.*, 65, 233-235.
7. Ángeles, A.H. (2000). Mejoramiento genético del maíz en México: el INIA, sus antecesores y un vistazo a su sucesor, el INIFAP. *Agricultura Técnica en México*, 26, 31-48.
8. Arias, R.L. (2013). Dinámica de la milpa yucateca, en: Seminario Internacional "Efraím Hernández Xolocotzi" sobre la Milpa Maya. Arias, L.M., González, E.T., Pérez R.M. (Eds.). CINVESTAV-CONCITEY-INAH. México. pp. 23.
9. Arias, L.M., Latournerie, L., Montiel, S., Sauri E. (2007). Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia*, 23, 69-74.
10. Badui, D.S. (2006). Química de los alimentos. 4a. ed. Pearson Educación. Estado de México. pp. 736.

11. Ballesteros, M.G., Zarazúa, V.P., Salinas, M.Y., De la Cruz, L.L. (2019). Fijación del color en grano y características físicas, tecnológicas y nutraceuticas en maíz Elotes Occidentales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 585-599.
12. Baltazar, B., Sánchez, J., Cruz L., Schoper, J.B. (2005). Pollination between maize and teosinte: an important determinant of gene flow in Mexico. *Theoretical and Applied Genetic*, 110, 519-522.
13. Barbieri, P. A., Sainz, H., Andrade, F.H., Echeverría, H.E. (2000). Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.*, 92, 283-288.
14. Bautista, F. (2021). Los territorios kársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos. Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst. Ciudad de México. pp. 196.
15. Bautista, Z.F., Palacio, A.G. (2005). Caracterización y manejo de los suelos en la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Instituto Nacional de Ecología. México. pp. 181.
16. Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T., Aguilar, Y. (2015). An update soil map of The Yucatan State, Mexico: Geomorphopedological approach and WRB. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2, 303-315.
17. Bautista, Z.F., Palacio, A.G. (2012). Península de Yucatán. Regionalización edáfica del territorio de México, en: Geografía de suelos de México. Krasilnikov, P., Jiménez, F.J., Reyna, T., García, N.E. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 355-406.
18. Bello, P.L., Camelo, M.G., Agama, A.E., Utrilla, C.R. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50, 1041-1063.
19. Borrás, L., Otegui, M.E. (2001). Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science*, 49, 1816-1822.
20. Borges, G.L., Escamilla, B.A., Soria, F.M., Casanova, V.V. (2005). Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 23, 437-445.
21. Burgos, M.L., Chávez, S.J., Ortiz, C.J. (2004). Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México, en: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Chávez, S.J., Tuxill, J., Jarvis, D.I. (Eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia, pp. 58-66.
22. Camacho, V.T., Chávez, S.J. (2004). Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México, en: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Chávez, S.J., Tuxill, J., Jarvis, D.I. (Eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia, pp. 47-57.

23. Cárcamo, M.I., García, M., Manzur, M.I., Montoro, Y., Pengue, W., Salgado, A., Velázquez, H., Vélez, G. (2011). Biodiversidad, erosión y contaminación genética del maíz nativo en América Latina. 1ª ed. The Network for a Latin America Free of Transgenics (RALLT), MAS Grafica, Colima, México. pp. 29-30.
24. Casanova, O.J. (2020). Efecto de las condiciones de nixtamalización de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad *X'ejúu nuk nal* en los compuestos bioactivos, calidad de la masa y la tortilla. Tesis de Maestría. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Mérida. pp. 106.
25. Canul, K.J., Ramírez, V.P., Castillo, G.F., Chávez, S.J., Livera, M.M., Arias, R.L. (2012). Movimiento de polen entre maíces nativos de Yucatán y mantenimiento de la diversidad genética. *Ra Ximhai*, 8, 51-60.
26. Castro, A.M. (2019). Polifenoles: compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. *Revista digital RED CieN*, 1, 13-18.
27. Cázares, S.E., Chávez, S.J., Salinas, M.Y., Castillo, G.F., Ramírez, V.P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49, 15-30.
28. Cervantes, O.F., Hernández, E.J., García, R.G., Rangel, L.A., Andrio, E.E., Mendoza, E.M., Rodríguez, P.G., Rodríguez, M.D. (2018). Aptitud combinatoria general y específica de caracteres agronómicos en líneas de maíz (*Zea mays* L.) de baja endogamia. *Chilean J. Agric. Anim. Sci, ex Agro-Ciencia*, 34, 33-42.
29. Chamorro, S., Cueva-Mestanza, R., de Pascual-Teresa, S. (2021). Effect of spray drying on the polyphenolic compounds present in purple sweet potato roots: identification of new cinnamoylquinic acids. *Food Chem*, 345:128679.
30. Chávez, S.J., Canul, J., Cob, J.V., Burgos, M.L., Márquez, F., Rodríguez, J., Arias, L.M., Williams, D.E., Jarvis, D.I. (2000). Mejoramiento Participativo con Maíz en un Proyecto de Conservación *in situ* en Yucatán, México. [https://www.researchgate.net/publication/234054426\\_Mejoramiento\\_participativo\\_con\\_maiz\\_en\\_un\\_proyecto\\_de\\_conservacion\\_in\\_situ\\_en\\_Yucatan\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/234054426_Mejoramiento_participativo_con_maiz_en_un_proyecto_de_conservacion_in_situ_en_Yucatan_Mexico) [Acceso 09 junio 2020].
31. Chen, J.P., Tai, C.Y., Chen, B.H. (2004). Improved liquid chromatographic method for determination of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica* L.) *Journal of Chromatography A*, 1054, 261-268.
32. Ciampitti, I. (2014). Abnormal corn ears. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. pp.15.



33. Ciampitti, I., A. Correndo (2019). Estimating corn yield potential using the yield component method. *Agronomy eUpdates*, Departmente of Agronomy, Kansas State University. pp. 40-41.
34. CINVESTAV-IPN (2000). Recuperando biodiversidad en Yucatán, México, en: *Conservación in situ de la biodiversidad de los cultivos de la milpa en Yucatán, México*. Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Unidad Mérida. pp. 21-24.
35. Cirilo, A., Andrade, F., Otegui, M., Maddonni, G., Vega, C., Valentinuz, O. (2012). Ecofisiología del cultivo de maíz, en: *Bases para el manejo del cultivo del maíz*. Eyherabide, G. H. (Comp. y Ed.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires. ISBN 9789876791410. pp. 26-56.
36. Coligado, M. C., Brown, D.M. (1975). Response of corn (*Zea mays L.*) in the pre-tassel initiation period to temperature and photoperiod. *Agric. Meteorol.*, 14, 357-363.
37. CONANP (2016). Programa de conservación de Maíz Criollo en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. pp. 31.
38. Conceição D.L., Garruña, R., Andueza, N.R., Latournerie, M.L., Mijangos, C.J., Pineda, D.A. (2019). Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1247-1258.
39. Cruz, C.F., Cadena, I.P., Salinas, M.Y., Garrido, R.E. (2013). Características industriales de maíces (*Zea mays L.*) pigmentados de Chiapas. *Agroproductividad*, 6, 44-51.
40. Cruz, D.D., Leos, R.J. (2018). La producción de maíz en Sinaloa, México, y sus implicaciones para el medio ambiente. *Letras verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 25, 100-118. doi: 10.17141/letrasverdes.25.2019.3705
41. De la Rosa, R.X., García, L.I., Hernández, M.J., Morales, B.J., Quiroz, V.J. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, 39, 155-163.
42. Delgado, R.J. (2016). Más sobre el proceso de polinización en el maíz. <https://www.intagri.com/articulos/cereales/mas-sobre-el-proceso-de-polinizacion-en-el-maiz> [Acceso 04 noviembre 2022].
43. De Pascual, T.S., Sánchez, B.M. (2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochem Rev.*, 7, 281-299. doi: 10.1007/s11101-007-9074-0
44. Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

45. Duch, G.J. (2004). La nomenclatura maya de suelos: una aproximación a su diversidad y significado en el sur del estado de Yucatán. *Revista de Geografía Agrícola*, 34, 55-74.
46. Dzib, A.L., Ortega, P.R., Segura, C.J. (2016). Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de maíces criollos en la Península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19, 51-59.
47. Espinosa, T.E., Mendoza, C.M, Salinas, M.Y., Castillo, G.F., Ortiz, C.J. (2009). Antocianinas del grano de poblaciones criollas de maíz rojo, azul y púrpura. III Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los Maíces Criollos. Instituto Tecnológico de Roque. 63-77.
48. Espinosa, T.E., Gámez, V.A., Dorantez, C.J., Ávila, P.M., Castro, M.I., Núñez, C.C., Hernández, C.R., Gámez, V.F. (2012). Bioquímica y genética de las antocianinas del grano de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. pp. 74.
49. ESRI (2020). ArcGIS Pro: Cartografía. Redlands, CA URL <https://www.esri.com/>.
50. FAO (2013). Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Edición revisada. Roma. pp. 167.
51. Fernández, S.R., Morales, C.L., Gálvez, M.A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revision indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 275-283.
52. Fischer, K. S., Palmer, A.F. (1984). Tropical maize, in: Goldsworthy, P. R. and N.M. Fischer (eds). *The physiology of tropical field crops*. John Wiley & Sons. New York. pp. 213-248.
53. García, B.L., García, G.L., Rojo, D.D., Sánchez, G.E. (2001). Plantas con propiedades antioxidantes. *Rev. Cubana Invest. Biomed.*, 20, 231-235.
54. García, F.M., Sawers, R.J., Ruiz, A.G., Délano, F.J., Tiessen, A. (2015). Contenido de carotenoides del grano de maíz híbrido cultivado en invernadero. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, 3, 1-9.
55. García, P.M. (2016). Contenido en antocianos y compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados. Universidad Miguel Hernández de Elche. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Alicante, España. pp. 69.
56. García, R.E., Flores, N.A., Ruiz, T.N., Camposeco, M.N., Ramírez, B.S., García, L.J. (2022). Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de genotipos de maíz pigmentado (azul/morado). *Temas de Ciencia y Tecnología*, 26, 13-19.
57. Garzón, G.A. (2008). Las antocianinas como colorants naturales y compuestos bioactivos: *Revisión*. *Acta biol. Colomb.*, 13, 27-36.

- 
58. Golik S., Schierenbeck, M., Dietz, J.I., Constanza, F.M. (2018). Maíz: Crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz, en: Cereales de verano. Simón, M.R., Golik, S.I. (Eds.). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, La Plata, Argentina, pp. 26-40.
59. Gómez, M.N., Cantú, A.M., Vásquez, C.M., Hérnandez, G.C., Aragón, C.F., Espinosa, C.A., Tadeo, R.M. (2017). Variedad mejorada de maíz azul 'V-239AZ' para las regiones semicálidas de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1905-1910.
60. González, M.J., López, S.J., Briones, E.F., Varela, F.S., Reyes, M.C., Pecina, M.J. (2014). Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. *Investigación y Ciencia*, 62, 76-83.
61. González, R., Reguera, E., Figueroa, J.M., Sánchez, S.F. (2005). On the nature of Ca binding to the hull of nixtamalized corn grains. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 119-124.
62. González, V.N., Cetzal, I.W., Martínez, P.J., Soria, F.M., Burgos, C.M., Arcocha, G.E. (2017). Razas y variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en la península de Yucatán, México. Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. pp. 29.
63. Grotewold, E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 761-780. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105248
64. Guevara, H.F., Hernández, R.M., Basterrechea, B.J., Pinto, R.R., Venegas, V.J., Rodríguez, L.L. y Cadena, I.P. (2019). Maíces locales, una contextualización de identidad tradicional. *FCA Uncuyo*, 51, 369-381.
65. Hernández, X.E. (1985). La agricultura en la Península de Yucatán, en: Xolocotzia: Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Tomo I. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. pp. 371-409.
66. Herrera, C.B., Macías, L.A., Díaz, R.R., Valadez, R.M., Delgado, A.A. (2002). Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25, 17-23.
67. Hodgkin, T., Rana, R., Tuxill, J., Balma, D., Subedi, A., Mar, I., Karamura, D., Valdivia, R., Collado, I., Latournerie, L., Sadiki, M., Sawadogo, M., Brown, A.H., Jarvis, D.I. (2011). Sistemas de semillas y diversidad genética de los cultivos en sistemas agrícolas, en: El manejo de la biodiversidad en los sistemas agrícolas. Jarvis, D., Padoch, C., Cooper, H.D. (Eds.). Bioversity International, Roma, Italia, pp. 82-121.

68. INAFED (2014). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Yucatán. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM31yucatan/mediofisico.html> [Acceso 13 junio 2020].
69. INEGI (2013). Marco Geoestadístico Municipal. <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=31&mun=096> [Acceso 13 junio 2020].
70. Jemison, J.M., Vayda, M.E. (2001). Cross pollination from genetically engineered maize: wind transport and seed source. *AgBioForum*, 4, 87-92.
71. Jing, P., Noriega, V., Schwartz, S.J., Giusti, M.M. (2007). Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.*, 55, 8625-8629.
72. Kang, K.M., Lim, S.S., Lee, J.Y., Yeo, K.M., Kang, Y.H. (2013). Anthocyanin-rich purple corn extract inhibit diabetes-associated glomerular angiogenesis. *PLoS ONE*, 8, 1-10. doi: 10.1371/journal.pone.0079823.
73. Kato, Y.T., Mapes, S.C., Mera, O.L., Serratos, H.J., Bye, B.R. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp. 116.
74. Kauffer, M.E., Villanueva, A.C. (2011). Retos de la gestión de una Cuenca construida: la Península de Yucatán en México. *Aqua-LAC*, 3, 81-91.
75. Ku, P.E., Mijangos, C.J., Andueza, N.R., Chávez, P.M., Simá, P.P., Simá, G.J., Arias, R.L. (2020). Estrategias de manejo de la milpa maya en Xoy, Peto, Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7: e2244. doi: 10.19136/era.a7n1.2244.
76. Ku, P.E. (2019). La diversidad de maíz, frijol y calabaza en la milpa maya de Xoy, Peto, Yucatán. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán. México. pp. 98.
77. Landi, P., Cané, M., Frascaroli, E. (2008). Responses to divergent selection for cob color in maize. *Euphytica*, 164, 645-658.
78. Latournerie, M.L., Arias, R.L., Tuxill, J., Yupit, M.E., Gómez, L.M., Ix, N.J. (2004). Maize seed supply systems in a Mayan community of Mexico, en: Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm. Proceedings of a Workshop. Jarvis D.I., Sevilla, P.R., Chávez, S.J., Hodgkin, T. (Eds.) International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, pp. 16-20.
79. Lee, E., Tollenaar, M. (2007). Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Sci*, 47 (Supplement 3), S202-S215.

- 
80. Li, J., Lim, S.S., Lee, J.Y., Kim, J.K., Kang, S.W., Kim, J.L., Kang, Y.H. (2012). Purple corn anthocyanins dampened high-glucose-induced mesangial fibrosis and inflammation: possible renoprotective role in diabetic nephropathy. *J. Nutr. Biochem.*, 23, 320-331.
81. López, M.L., Oliart, R.M., Valerio, A.G., Lee, C.H., Parkin, K.L., García, S.H. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Sci. Technol.*, 42, 1187-1192.
82. Lux, P.E., Freiling, M., Stuetz, W., von Tucher, S., Carle, R., Steingass, C., Frank, J. (2020). (Poly)phenols, Carotenoids, and Tocochromanols in Corn (*Zea mays* L.) Kernels As Affected by Phosphate Fertilization and Sowing Time. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 612-622.
83. Magdaleno, H.E., Mejía, C.A., Martínez, S.T., Jiménez, V.M., Sánchez, E.J., García, C.J. (2016). Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13, 437-447.
84. Márquez, S.F., Sahagún, C.L., Carrera, V.J., Barrera, G.E. (2000). Retrocruza limitada para el mejoramiento genético de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. pp. 52.
85. Medina, H.T., Cañedo, T.D., Aguirre, A.C., Tello, F.H. (2018). Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad. Ministerio del ambiente. Lima, Perú. pp. 146.
86. Meléndez, M.A., Gómez, G.L., Hornero, M.D., Olmedilla, A.B., Pérez, G.A. (2017). Carotenoides en agroalimentación y salud. Red Temática IBERCAROT. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED. pp. 710.
87. Meléndez, M.A., Vicario, I.M., Heredia, F.J. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 54, 149-155
88. Mendoza, M.G., Mendoza, C.M., Delgado, A.A., Castillo, G.F., Kato, Y.T., Cruz, I.S. (2017). Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40, 471-479.
89. Mendoza, O. L., Ortiz, C.J. (1973). Estimadores del área foliar e influencia del espaciamento entre surcos, las densidades de siembra y la fertilización sobre el área foliar, en relación con la eficiencia en la producción de grano en dos híbridos de maíz. *Agrociencia*, 7, 57-72.
90. Mijangos, C.J. (2013). Colecta de maíces nativos en regiones estratégicas de la Península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Unidad de Recursos Naturales. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. FZ014. México, D.F. pp. 39.
-

91. Mijangos, C.J., Latournerie, M.L., Simá, P.P., Santacruz, V.A., Muñoz, O.A. (2015). Diversidad genética de maíces en la Península de Yucatán, en: Cruz I.S., Lobato, O.R., Ramírez, R.I., Cruz, H.N., Martínez, R.J., Vidal, M.V., Mendoza, C.M., de la Cruz, L.E., Sánchez, M.J., López, M.J., Guillen, A.H., Parraguirre, L.C. (Eds.) Acta Fitogenética. VI Reunión Nacional de Maíces Nativos. México: SOMEFI, A.C. pp. 106. ISSN: 2395-8502.
92. Mijangos, C.J., Latournerie, M.L., Santacruz, V.A., Larqué, S.A., Martínez, C.J., Ortíz, G.M., Ku, P.E., Simá, P.P. (2017). Relaciones Filogenéticas y Diversidad Genética de las razas Antigua de Maíz Nal Tel y las recientes Dzit Bacal y Tuxpeño (Informe Final CONACYT CB 08. Proyecto No. 103441). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yuc. pp. 57.
93. Miranda, M.A., Rendón, M.R., López, T.B. (2018). Caracterización de consumidores meta para maíz nativo de especialidades en la región centro de México. Séptimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas. México. pp. 232-248.
94. Montesillo, C.J. (2016). Rendimiento por hectárea del maíz grano en México: distritos de riego vs temporal. Economía Informa, 398, 60-74.
95. Morán, H., Ramírez, R.G., Jiménez, P.C., Rico, D. (2013). Potencial nutracéutico de los maíces pigmentados. SAGARPA/SNICS/SINAREFI-UAM Folleto de divulgación. pp. 8. doi: 10.13140/2.1.1565.5203.
96. Moya, G.X., Caamal, A., Ku, B.K., Chan, X.E., Armendáriz, I., Flores, J., Moguel, J., Noh, P.M., Rosales, M., Xool, D.J. (2003). La agricultura campesina de los mayas en Yucatán. LEISA, Revista de Agroecología, 19, 7-17.
97. Muñoz, O. A. (2005). Centli-maíz: prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. pp. 210.
98. Nannas, N.J. y R.K. Dawe (2015). Genetic and Genomic Toolbox of Zea mays. Genetics, 199, 655-669.
99. Nielsen, R.L. (2021). Estimating corn grain yield prior to harvest. Agronomy Dept., Purdue University, Corny News Network. pp. 1-4.
100. Orellana, L.R., Espadas, M.C., Conde, A.C., Gay, G.C. (2009). Atlas. Escenarios de cambio climático en la península de Yucatán. Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán AC y Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, Mérida, Yucatán, México. pp. 78-79.
101. Ortega, P.R. (2020). Aportes al estudio de la diversidad de maíz en México. I. Aspectos generales, importancia y amenazas a dicha diversidad. Proyecto Global de Maíces Nativos. CONABIO, México. pp. 39.

- 
102. Ortega, P.R. (1999). Genetic erosion in Mexico. Proceedings of the technical meeting on the methodology of the FAO World Information and Early Warning System on plant genetic resources. Research Institute of Crop Production, Prague, Czech Republic, pp. 69-75.
103. Palemón, A.F., Cruz, L.B., Gómez, M.N., Hernández, G.C., Vargas, A.D., Reyes, G.G., Damián, N.A., Hernández, C.E. (2016). Rendimiento de grano de maíces (*Zea mays* L.) sembrados en la costa chica de Guerrero, México. *Agroproductividad*, 9, 3-7.
104. Perkin-Elmer Inc. (2005). TotalChrom v.6.3.2, chromatography software, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA. [https://www.perkinelmer.com.cn/CMSResources/Images/46-74575MAN\\_TotalChromTutorial.pdf](https://www.perkinelmer.com.cn/CMSResources/Images/46-74575MAN_TotalChromTutorial.pdf) [Acceso 27 agosto 2023].
105. Quintana, L.A., Hurtado, O.M., Hernández, C., Palacios, M.E. (2018). Carotenoides ¿Qué son y para qué se usan? *Ciencia*, 69, 50-55.
106. Ramírez, C.A. (2013). Selección de maíces criollos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17, 7-21.
107. Ramírez G.J., González, S.R. (2018). Conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad de maíces nativos de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. pp. 138.
108. Reyes, C.P. (1990). El maíz y su cultivo. México, D.F., pp. 9-10.
109. Riesco, A. (2004). Factors affecting seed systems, en: Seed systems and crop genetic diversity on-farm. Proceedings of a Workshop. Jarvis, D.I., Sevilla, P.R., Chávez, S.J., Hodgkin, T. (Eds.). International Plant Genetic Resources Institute. Pucallpa, Perú, pp. 27-30.
110. Rincón, S.F., Aragón, C.F., Coutiño, E.B., Gómez, M.N., Hernández, C.J., Ortega, C.A., Ruiz, T.N., Vidal, M.V. (2012). Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Proyecto Global de Maíces Nativos. Anexo 7. Guía de colecta. CONABIO, México. pp. 6.
111. Rodríguez, S.B. (2019). En Yucatán hay todo para dejar de importar maíz. <https://www.yucatan.com.mx/merida/en-yucatan-hay-todo-para-dejar-de-importar-maiz> [Acceso 12 febrero 2021].
112. Rodríguez, V.M., Soengas, P., Landa, A., Ordás, A., Revilla, P. (2013). Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*, 193, 339-345. doi:10.1007/s10681-013-0924-0.
113. Román, M. de O. E. (2019). Prácticas agropecuarias como estrategias de seguridad alimentaria. Universidad Autónoma del estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. pp. 217.
114. RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

115. Sadilova, E., Stintzing, F., Carle, R. (2006). Thermal degradation of acylated and nonacylated anthocyanins. *Food Chemistry and Toxicology*, 71, 504–512.
116. SAGARPA (2019). El maíz en Guerrero un tesoro en la gastronomía. Representación Agricultura Guerrero. <https://www.gob.mx/agricultura/guerrero/articulos/el-maiz-en-guerrero-un-tesoro-en-la-gastronomia?idiom=es#:~:text=Guerrero%20ocupa%20el%20sexto%20lugar,resto%20amarillo%20o%20ma%C3%ADz%20azul>. [Acceso 08 noviembre 2022].
117. Salinas, M.Y., Salas, S.G., Rubio, H.D., Ramos, L.N. (2005). Characterization of Anthocyanin Extracts from Maize Kernels. *Journal of Chromatographic Science*, 43, 483-487.
118. Salinas, M.Y., Rubio, H.D., Díaz, V.A. (2005). Extracción y uso de pigmentos del grano de maíz (*Zea mays* L.) como colorante del yogur. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55, 293-298.
119. Salinas, M.Y., Saavedra, A.S., Soria, R.J., Espinosa, T.E. (2008). Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el estado de México. *Agricultura Técnica en México*, 34, 357-364.
120. Salinas, M.Y., García, S.C., Coutiño, E.B., Vidal, M.V. (2013). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.*, 36, 285-294.
121. Salinas, M.Y., Hernández, M.V., Trejo, T.L., Ramírez, D.J., Iñiguez, G.O. (2017). Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1483-1496.
122. Samayoa L.F., Dunne, J.C., Andres, R.J., Holland, J.B. (2018). Harnessing Maize Biodiversity, in: *The Maize Genome. Compendium of Plant Genomes*. Springer, Cham. pp. 335-366.
123. Sánchez, J.J., Goodman, M.M., Stuber, C.W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.*, 54, 43-59.
124. Sánchez, G.J., Goodman, M.M. (1992). Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.*, 46, 72-85.
125. Seddon, J.M., Ajani, U.A., Sperduto, R.D., Hiller, R., Blair, N., Burton, T.C., Farber, M.D., Gragoudas, E.S., Haller, J., Miller, D.T., Yannuzzi, L.A., Willett, W. (1994). Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. *JAMA The Journal of the American Medical Association*, 272, 1413-1420. doi: 10.1001/jama.272.18.1413.



- 
126. SMN-CONAGUA (2010). Normales climatológicas por estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=yuc> [Acceso 04 octubre 2018].
127. SNICS (2010). Manual gráfico para la descripción varietal en maíz (*Zea mays* L.). Tlalneplantla, Estado de México. pp. 69.
128. Tsuda, T., Horio, F., Kitoh, J., Osawa, T. (2002). Protective effects of dietary cyanitin 3-O-beta-D-glucoside on liverischemia-reperfusion injury in rats. *Arch. Biochem. Biophys*, 368, 361-366.
129. Turrent, A., Serratos, J.A. (2004). Maize and Biodiversity: the effects of transgenic maize in Mexico. Chapter 1 Context and background on maize and its wild relatives in Mexico. Secretariat of the Commission for Environmental Cooperation of North America, Oaxaca, Mexico. pp. 55.
130. Urbazaev, M., Thiel, C., Cremer, F., Dubayah, R., Migliavacca, M., Reichstein M., Schullius, C. (2018). Estimation of forest aboveground biomass and uncertainties by integration of field measurements, airborne LiDAR, and SAR and optical satellite data in Mexico. *Carbon balance and management*, 13, 1-20, doi: 10.1186/s13021-018-0093-5.
131. Usha, R.G., Satyanarayana, M.L., Narasimha, K.L. (2017). Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components in maize (*Zea mays* L.) *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 4044-4050.
132. Uzcanga, P.N., Larqué, S.B., Del Ángel, P.A., Rangel, F.M., Cano, G.J. (2017). Preferencias de los agricultores por semillas mejoradas y nativas de maíz en la Península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1021-1033.
133. Van, B.L., Bravo, M.R. (1974). Observaciones sobre floración y viabilidad del polen en maíces mejorados y "criollo", en la Villa del Rosario, Estado Zulia. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2, 35-49.
134. Vázquez, H.M., Rodríguez, M.F., Sierra, M.M. (2019). Sincronización de la floración en la formación del híbrido de maíz H-567. *Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático*. pp. 472-481.
135. Velasco, G.A., García, Z.J., Sahagún, C.J., Lobato, O.R., Sánchez A.C., Marín, M.I. (2019) Yield, yield components and heterosis of maize germplasm adapted to highlands. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42, 367-374.

136. Velasco, G.A., García, Z.J., Sahagún, C.J., Lobato, O.R., Sánchez, A.C., Marín, M.I. (2020). Análisis de la variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43, 517-524.
137. Velazco, J. (2020). Buscan implementar nuevo récord en la producción de maíz en Jalisco. <https://www.informador.mx/economia/Buscan-implementar-nuevo-record-en-la-produccion-de-maiz-en-Jalisco--20200227-0074.html> [Acceso 12 febrero 2021].
138. Vidal, M.V., Vázquez, C.G., Coutiño, E.B., Ortega, C.A., Ramírez, D.J., Valdivia, B.R. Guerrero, H.M., Caro, V.F., Cota, A.O. (2008). Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.*, 31, 15-21.
139. Vidal, M.V., Clegg, M.D., Johnson, B.E., Osuna, G.J., Coutiño, E.B. (2004). Phenotypic plasticity and pollen production components in maize. *Agrociencia*, 38, 273-284.
140. Villalobos, G.A., López, H.M., Valdivia, G.N., Arcocha, G.E., Medina, M.J. (2019). Morphological variability of native corn (*Zea mays* L.) in the Yucatan, Peninsula, Mexico. *Agroproductividad*, 12, 15-20.

## ANEXO(S)

## 1.1. ANEXO 1. FICHA TÉCNICA PARA LA RECOLECTA DE GERMOPLASMA EN MAÍCES NATIVOS

DATOS DE PASAPORTE					
Folio:		Fecha colección:	de		
Colector:			Edo:	YUC	
Municipio:			Marc :		
Localidad:					
Lat:		Long:		Alt:	/msnm
Nombre científico:		Raza:			
Nombre coloquial:					
Nombre de Productor:					
Grupo étnico:	Maya Yucateco (1)	Maya (2)	Otro (3)	Edad:	
Dirección:					
Tel. de productor:					
Sitio de colecta:	Troje (1)	Campo (2)	Traspatio (3)	Otro (4)	
Superficie de Siembra:		ha	mecates		
Peso aproximado:	/kg	No. de mazorcas:			
Tiempo de manejo:	/años	Año de cosecha de la colecta:	20_____		
Origen de Semilla:	Herencia (1)	Compra (2)	Intercambio (3)	Otro (4)	
Lugar de Origen:					
Tipo de uso:	Parte utilizada:	Forma de la mazorca:			

	<b>1º</b>	<b>2º</b>	Grano (1)		Alargada (1)	
Siembra (1)			Semilla (2)		Aplanada (2)	
Alimento (2)			Totomoxtle (3)		Redonda (3)	
Consumo Animal (3)			Raíz (4)		Ovalada (4)	
Venta (4)			Hojas (5)		Cilíndrica (5)	
Forraje (5)			Tallo (6)		Cónica (6)	
Medicinal (6)			Flores (7)		Cónica cilíndrica (7)	
Materia Prima (7)			Olote (8)		Otro (8)	
Otro (8)			Planta (9)			
			Fruta (10)			
<b>Color de las SEMILLAS:</b>	<b>1º</b>			<b>2º</b>		
<b>Rendimiento:</b>		kg	almud	<b>POR</b>		ha
<b>Mes de siembra:</b>			<b>Densidad de Siembra:</b>			
<b>Madurez:</b>	Mes	días	<b>Cosecha:</b>	mes	días	
<b>Manejo:</b>	Lluvia/temporal (1) Riego (2) Riego Auxiliar (3) Otro (4)					
<b>Sistema de siembra:</b>	Monocultivo (1) Policultivo (2) Otro (3)					
<b>Cultivos asociados:</b>						
<b>Terreno de siembra:</b>	Milpa (1) Parcela (2) Traspatio (3)					
<b>Plagas:</b>						
<b>Que afectan:</b>						
<b>Parte afectada:</b>						
<b>Detalles de Tratamiento:</b>						
<b>Enfermedades:</b>						

<b>Que afectan:</b>							
<b>Parte afectada:</b>							
<b>Detalles de Tratamiento:</b>							
<b>Malezas:</b>							
<b>Nombre de producto:</b>							
<b>Aplicación:</b>							
<b>Fertilizan:</b>	Sí (1)	<b>Nombre de producto:</b>					
	No (2)	<b>Tipo de producto:</b>	Foliar (1)	Sistémico (2)	Granulado (3)	Polvo (4)	
			Líquido (5)	Otro (6)			
<b>¿La variedad es resistente o tolerante a?:</b>							
<b>¿La variedad es susceptible a?:</b>							
<b>Problemas observados durante el almacenamiento:</b>							
<b>Tratamientos de semillas para almacenamiento:</b>							
<b>Tratamientos de grano para almacenamiento:</b>							
<b>¿Cuáles son las características que le gustan de la variedad?:</b>							
<b>Observaciones Adicionales:</b>							
<b>Longitud de la semilla:</b>		<b>MAÍZ</b>	<b>No. de hileras:</b>				

<b>Ancho de semilla:</b>			<b>No. granos/hilera:</b>	
<b>Espesor de semilla:</b>				
<b>¿Cuáles son las características que no le gustan de la variedad?:</b>				
<b>¿Realiza algún tipo de mejoramiento? :</b>		Sí (1)		
<b>¿Cuál/cómo?</b>				
		No (2)		
<b>¿Esas variedades las maneja alguien más, además de usted?:</b>		Sí (1)		No (2)
<b>¿Qué parentesco tiene(n) con usted?:</b>				
<b>Observaciones Adicionales:</b>				
<b>Digitalizado:</b>	<b>Fecha:</b>		<b>Firma:</b>	
<b>Ingresado:</b>	<b>Fecha:</b>		<b>Firma:</b>	

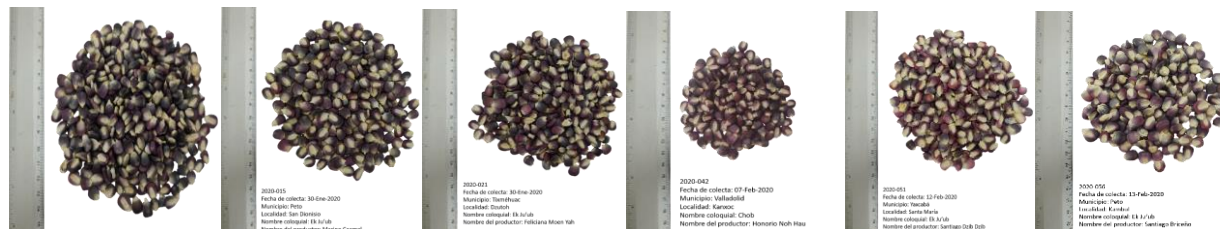
## 1.2. ANEXO 2. FORMATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE LAS COLECTAS EN MAÍCES NATIVOS

				Folio: 2020-						Nombre de Productor:						
				Nombre de la variedad de maíz:					Color de Grano:							
				Fecha de Medición:					Nombres:							
FOLIO:	Fecha de medición:	Nombre:	Firma:	LM (cm):	DM (cm):	PSM (g):	NHM (#):	NGH (#):	NTG (#):	EG (mm):	AG (mm):	LG (mm):	P100s (g):	PGM (g):	DO (mm):	PO (g):
2020-				1												
2020-				2												
2020-				3												
2020-				4												
2020-				5												
2020-				6												
2020-				7												
2020-				8												
2020-				9												
2020-				10												

## 1.3. ANEXO 3. POBLACIONES SELECCIONADAS DE MAÍCES PIGMENTADOS PARA CARACTERIZACIÓN

### 1.3.1. Poblaciones moradas

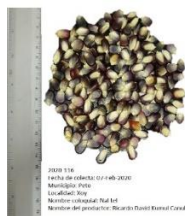
2020-007      2020-015      2020-021      2020-042      2020-051      2020-056



2020-060      2020-064      2020-080      2020-084      2020-103      2020-108



2020-116



## 1.3.2. Poblaciones rojas

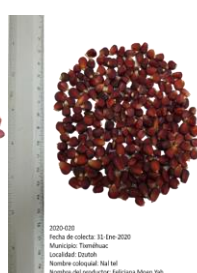
2020-006



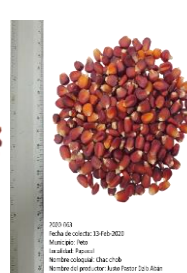
2020-008



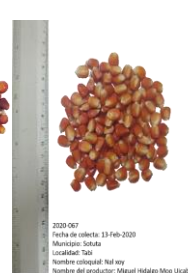
2020-020



2020-063



2020-067



2020-105



2020-107



2020-111



2020-113



2020-114



2020-115





### 1.3.3. Poblaciones descartadas por no cumplir con los criterios de selección

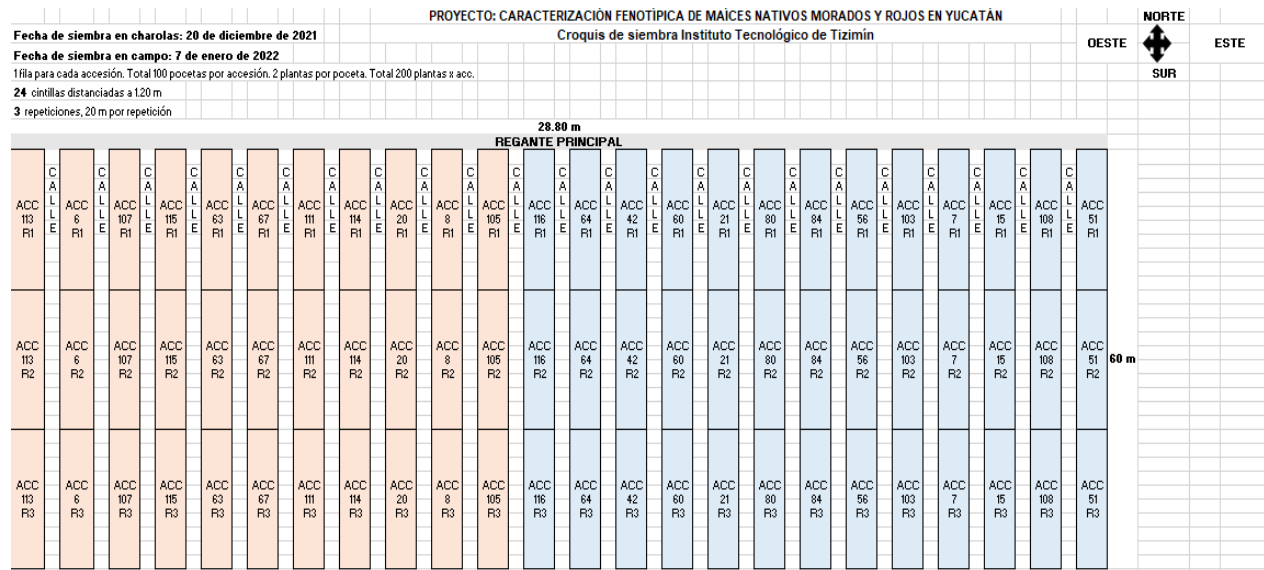
Accesiones con valores promedio inferiores a la  $\bar{X}$  en P100S y PGM, nivel de clasificación B, C o D, con baja intensidad y/o falta de homogeneidad en coloración de mazorca.



## 1.4. ANEXO 4. UTILIZACIÓN DE CARTAS DE COLOR EN POBLACIONES DE MAÍCES PIGMENTADOS (MORADOS Y ROJOS)

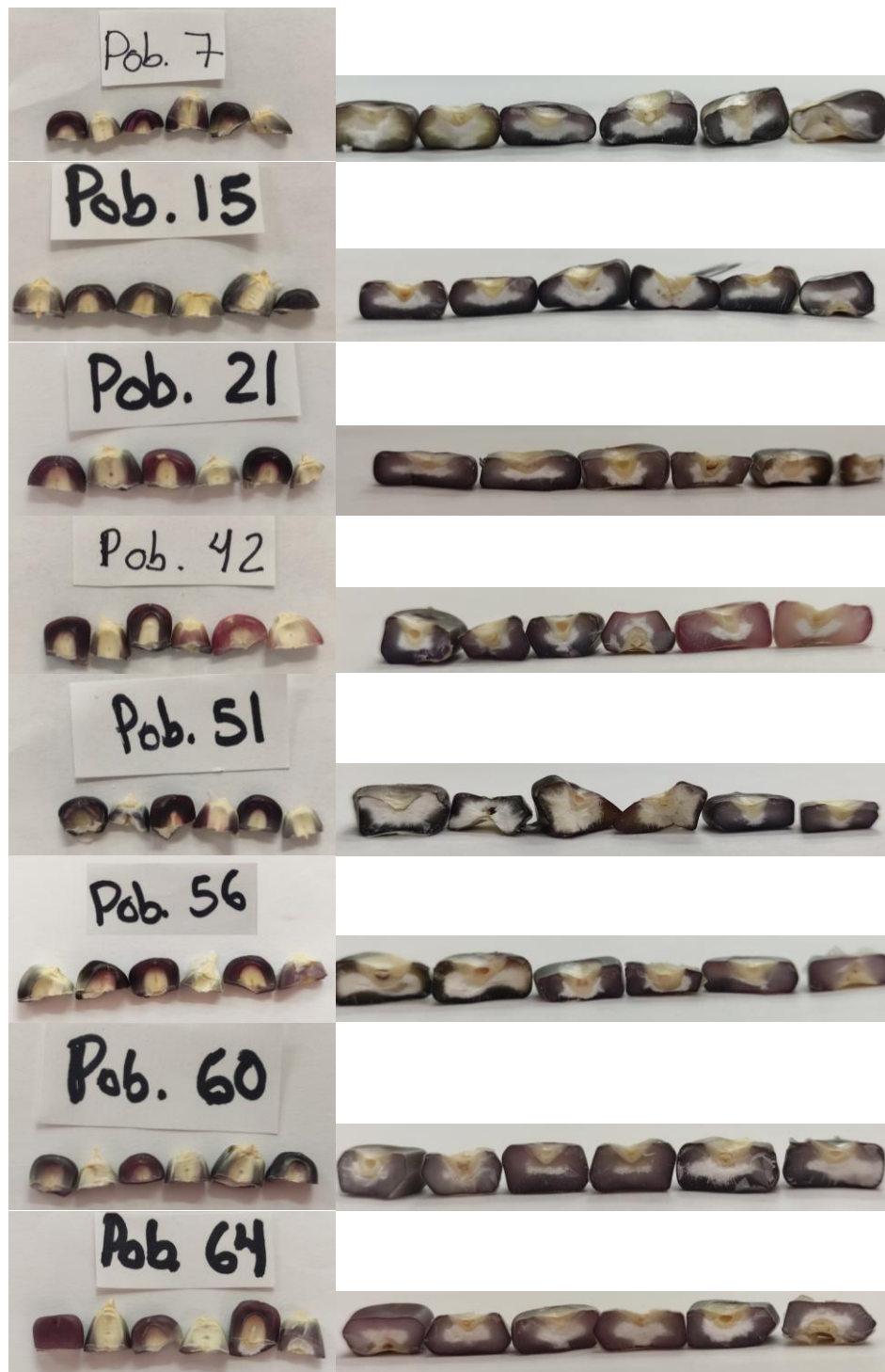


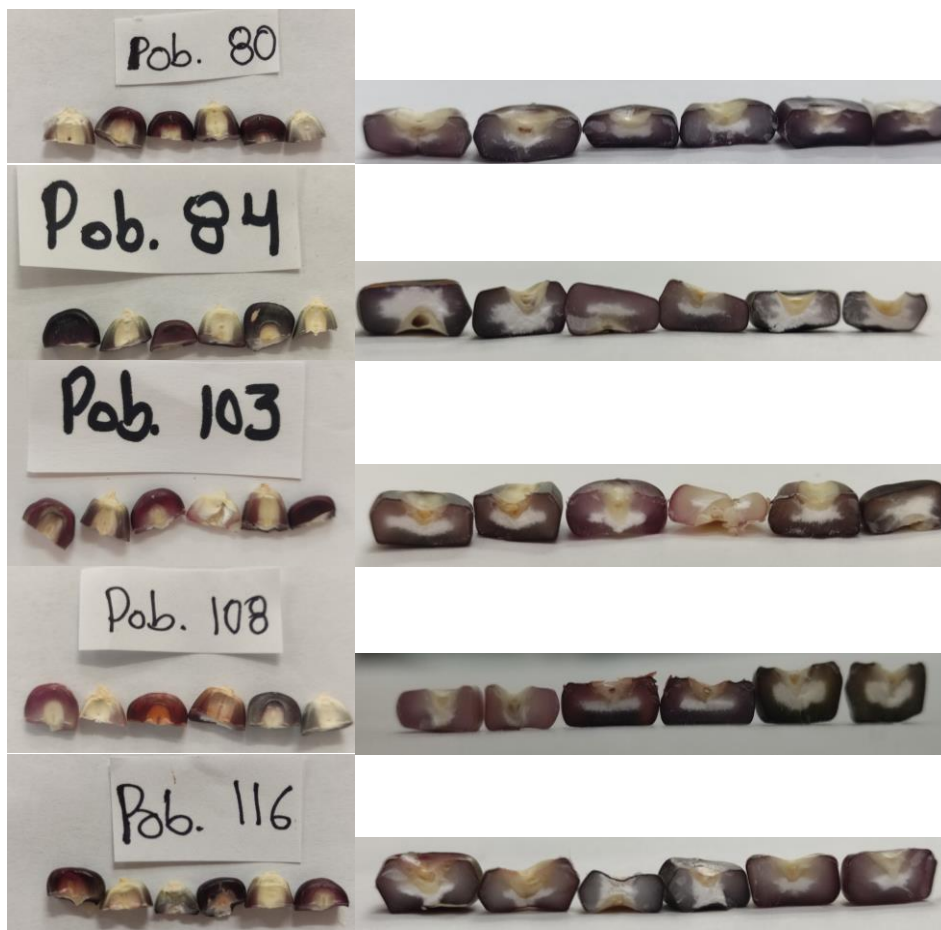
# 1.5. ANEXO 5. DISEÑO DE SIEMBRA PARA LA EVALUACIÓN DE MAÍCES NATIVOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIZIMÍN.



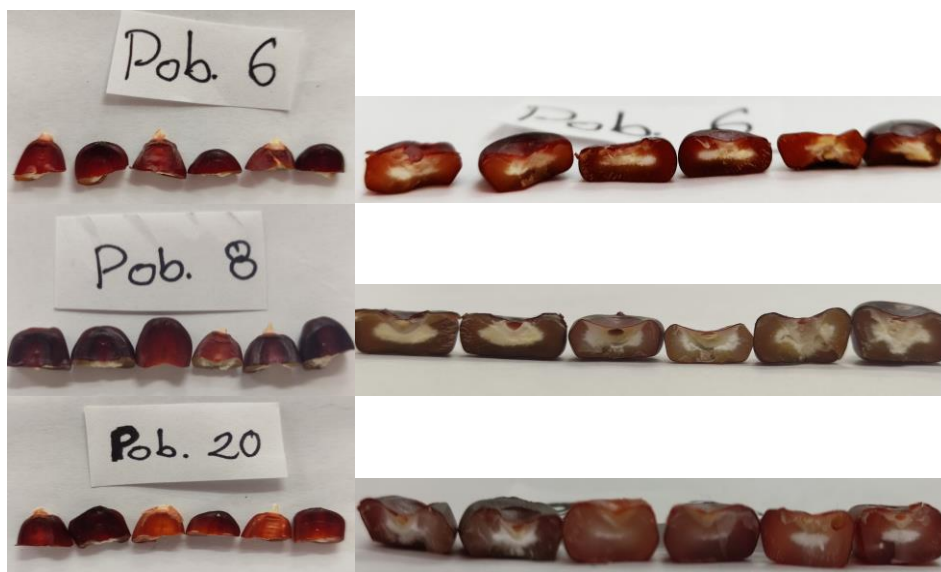
## 1.6. ANEXO 6. VISTA AÉREA Y TRANSVERSAL EN GRANOS DE MAÍCES BAJO CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA

Poblaciones moradas





Poblaciones rojas



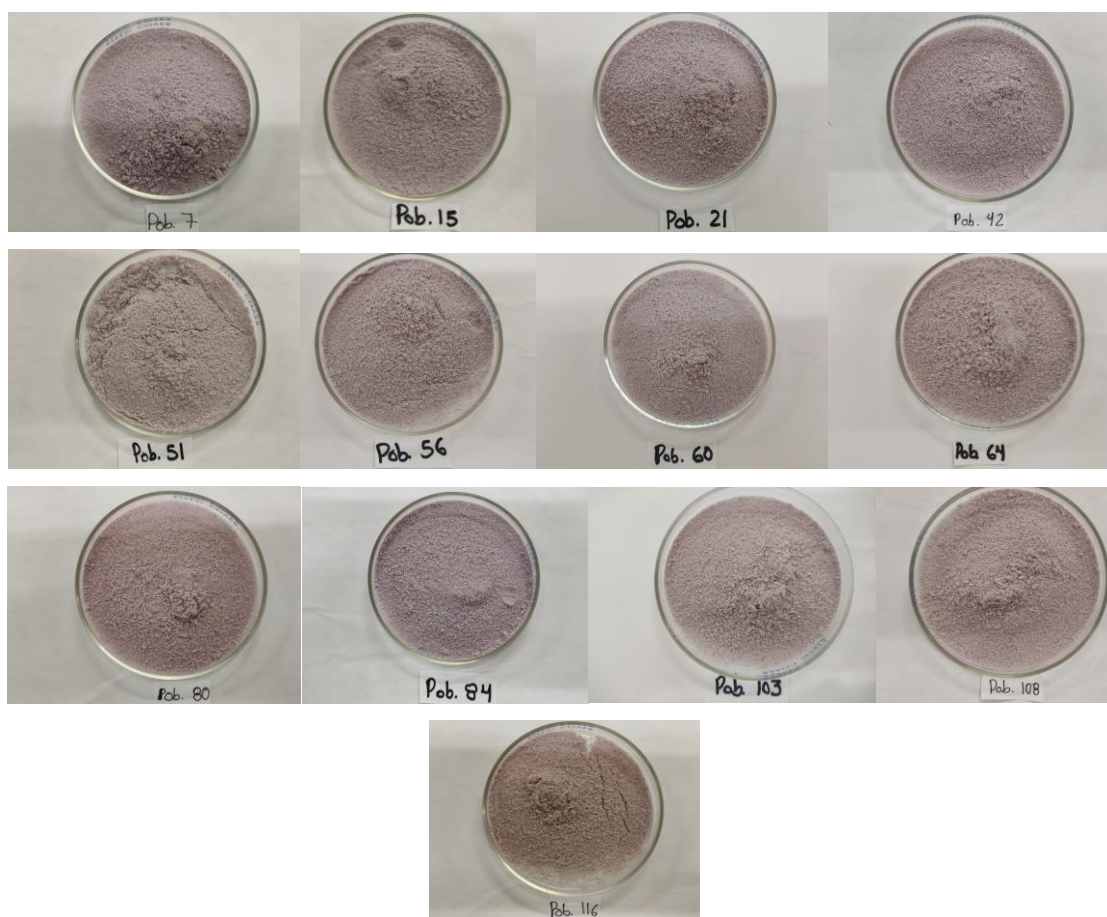


Nota: Las zonas blanquecinas son harinosas y blandas, mientras que las zonas translúcidas o vítreas son duras.

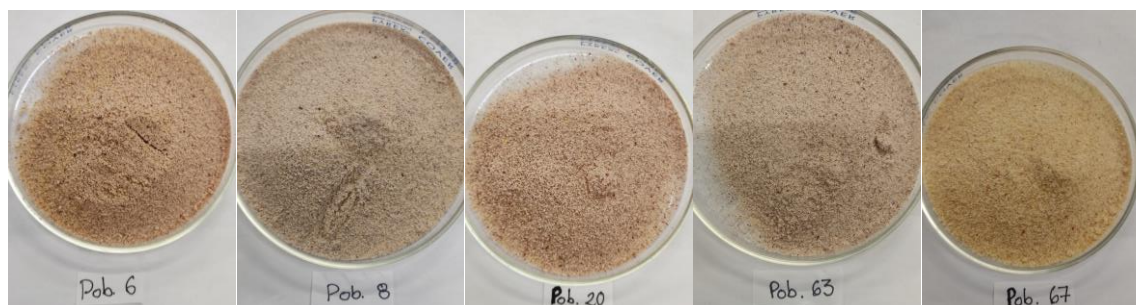
## 1.7. ANEXO 7. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS PARA ESPECTROFOTOMETRÍA Y CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS

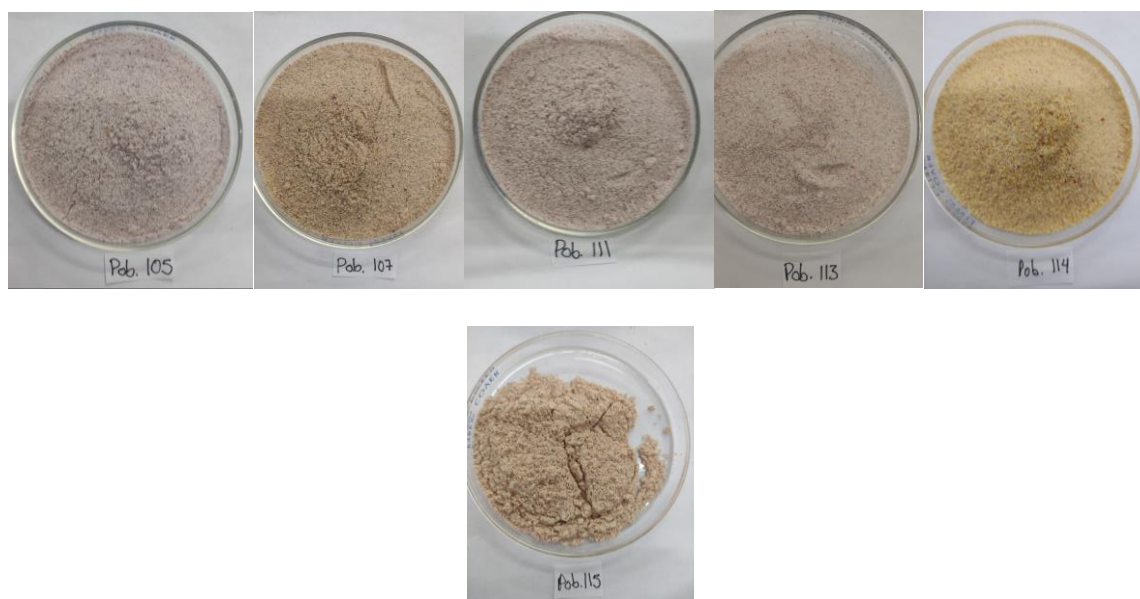
Molienda de grano completo. Tamaño de partícula  $\leq 1$  mm.

Poblaciones moradas



Poblaciones rojas

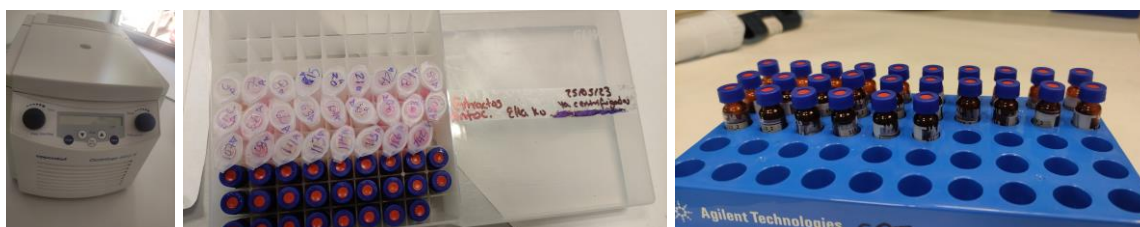




Obtención de extractos por triplicado en maíces morados y rojos para la cuantificación de antocianinas totales. Peso de muestra: 1 g.



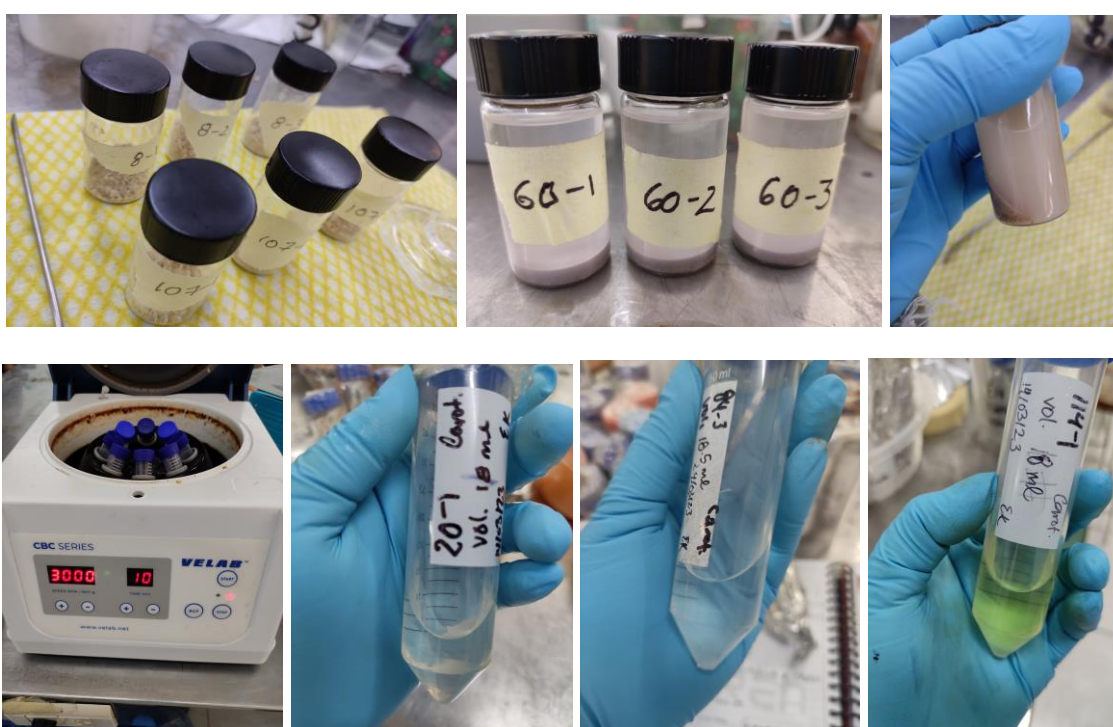
Viales con los extractos obtenidos de antocianinas para su identificación por HPLC-DAD.







Obtención de extractos por triplicado en maíces morados y rojos para la cuantificación de carotenos totales. Peso de muestra: 1.5 g.



## 1.8. ANEXO 8. VALORES EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS Y CAROTENOIDES TOTALES

### Valores de antocianinas en maíces morados y rojos

Pob.	Antocianinas Lectura de Abs. 535-700 nm																		PROMEDIOS ABS						PESO DE MUESTRA (g)	VT (vol. Tot. Extracto en L)	CAT (mg / kg)				PROM	DESV	CV	
	Lect 1	Lect 1	Lect 1	Lect 1	Lect 1	Lect 1	Lect 2	Lect 2	Lect 2	Lect 2	Lect 2	Lect 2	Lect 3	Lect 3	Lect 3	Lect 3	Lect 3	Lect 3	535 nm R1	700 nm R1	535 nm R2	700 nm R2	535 nm R3	700 nm R3			535 nm	700 nm	535 nm	700 nm				Valor máximo
111	0.0340	0.0346	0.0359	0.0167	0.0170	0.0188	0.0242	0.0238	0.0237	0.0076	0.0068	0.0069	0.0287	0.0285	0.0289	0.0102	0.0096	0.0099	0.0348	0.0175	0.0239	0.0071	0.0287	0.0099	1.0013	1.0011	1.0011	0.025	7.48	7.25	8.12	7.62	0.45	5.87
114	0.0383	0.0380	0.0376	0.0246	0.0255	0.0257	0.0395	0.0391	0.0399	0.0306	0.0310	0.0308	0.0395	0.0400	0.0403	0.0394	0.0383	0.0411	0.0380	0.0253	0.0395	0.0308	0.0399	0.0396	1.0009	1.0016	1.0002	0.025	5.49	3.76	0.14	3.13	2.73	87.12
115	0.0923	0.0917	0.0935	0.0394	0.0383	0.0411	0.1035	0.1006	0.0989	0.0562	0.0561	0.0553	0.0848	0.0847	0.0853	0.0450	0.0464	0.0433	0.0925	0.0396	0.1010	0.0559	0.0849	0.0449	1.0036	1.0035	1.0046	0.025	22.79	19.44	17.23	19.82	2.80	14.12
6	0.1305	0.1309	0.1282	0.0312	0.0288	0.0282	0.1279	0.1281	0.1279	0.0394	0.0385	0.0385	0.1569	0.1559	0.1510	0.0598	0.0561	0.0542	0.1299	0.0294	0.1280	0.0388	0.1546	0.0567	1.0021	1.0010	1.0008	0.025	43.34	38.51	42.29	41.38	2.54	6.14
8	0.0825	0.0900	0.0844	0.0395	0.0336	0.0345	0.0647	0.0651	0.0669	0.0170	0.0187	0.0213	0.0640	0.0636	0.0638	0.0145	0.0148	0.0152	0.0856	0.0359	0.0856	0.0190	0.0638	0.0148	1.0017	1.0000	1.0018	0.025	21.48	20.13	21.13	20.91	0.70	3.34
20	0.0681	0.0673	0.0679	0.0145	0.0131	0.0163	0.0770	0.0800	0.0773	0.0165	0.0269	0.0167	0.0901	0.0897	0.0901	0.0352	0.0305	0.0304	0.0678	0.0146	0.0781	0.0200	0.0900	0.0320	1.0021	1.0021	1.0025	0.025	22.92	25.05	24.98	24.32	1.21	4.98
105	0.2858	0.2840	0.2844	0.0080	0.0080	0.0080	0.2917	0.2917	0.2907	0.0102	0.0082	0.0095	0.2919	0.2924	0.2920	0.0090	0.0096	0.0095	0.2847	0.0080	0.2914	0.0093	0.2921	0.0094	1.0031	1.0036	1.0026	0.025	119.27	121.50	121.91	120.89	1.42	1.18
63	0.0498	0.0490	0.0500	0.0161	0.0161	0.0162	0.0483	0.0455	0.0459	0.0135	0.0132	0.0136	0.0637	0.0636	0.0640	0.0350	0.0291	0.0280	0.0496	0.0161	0.0466	0.0134	0.0638	0.0307	1.0028	1.0024	1.0023	0.025	14.43	14.29	14.26	14.33	0.09	0.62
113	0.0316	0.0310	0.0361	0.0187	0.0193	0.0208	0.0294	0.0287	0.0289	0.0166	0.0170	0.0171	0.0276	0.0272	0.0277	0.0186	0.0173	0.0171	0.0329	0.0196	0.0290	0.0169	0.0275	0.0177	1.0041	1.0008	1.0040	0.025	5.73	5.23	4.23	5.06	0.76	15.00
107	0.0835	0.0845	0.0821	0.0477	0.0486	0.0502	0.0637	0.0618	0.0620	0.0261	0.0259	0.0254	0.0622	0.0628	0.0637	0.0315	0.0299	0.0300	0.0834	0.0488	0.0625	0.0258	0.0629	0.0305	1.0029	1.0037	1.0018	0.025	14.89	15.81	14.00	14.90	0.91	6.08
67	0.0297	0.0285	0.0284	0.0240	0.0248	0.0278	0.0467	0.0482	0.0473	0.0404	0.0421	0.0417	0.0222	0.0242	0.0218	0.0188	0.0176	0.0169	0.0289	0.0255	0.0474	0.0414	0.0227	0.0178	1.0072	1.0004	1.0072	0.025	1.43	2.59	2.13	2.05	0.59	28.52
103	0.6679	0.6687	0.6681	0.0137	0.0124	0.0132	0.6556	0.6571	0.6564	0.0038	0.0047	0.0035	0.6640	0.6629	0.6628	0.0130	0.0135	0.0131	0.6682	0.0131	0.6564	0.0040	0.6632	0.0132	1.0039	1.0038	1.0023	0.025	282.12	280.96	280.37	281.15	0.89	0.32
60	0.6261	0.6262	0.6268	0.016	0.017	0.0155	0.6385	0.6385	0.6390	0.0187	0.0188	0.0188	0.6088	0.6095	0.6127	0.0460	0.0472	0.0423	0.6264	0.0162	0.6387	0.0188	0.6103	0.0452	1.0039	1.0030	1.0031	0.025	262.77	267.19	243.57	257.85	12.56	4.87
15	0.6849	0.6851	0.6848	0.0191	0.0191	0.0193	0.6916	0.6911	0.6908	0.0122	0.0100	0.0099	0.6838	0.6847	0.6846	0.0134	0.0131	0.0136	0.6849	0.0192	0.6912	0.0107	0.6844	0.0134	1.0057	1.0029	1.0030	0.025	286.19	293.32	289.21	289.58	3.58	1.24
84	0.6399	0.6382	0.6386	0.0166	0.0178	0.0173	0.6441	0.6437	0.6437	0.0136	0.0144	0.0129	0.6618	0.6625	0.6618	0.0092	0.0095	0.0089	0.6389	0.0172	0.6438	0.0136	0.6620	0.0092	1.0018	1.0028	1.0010	0.025	268.27	271.68	281.95	273.97	7.12	2.60
7	1.0283	1.0287	1.0281	0.0122	0.0114	0.0124	1.0813	1.0787	1.0799	0.0148	0.0120	0.0124	1.0591	1.0589	1.0594	0.0113	0.0115	0.0112	1.0284	0.0120	1.0800	0.0131	1.0591	0.0113	1.0016	1.0006	1.0030	0.025	438.69	460.96	451.62	450.42	11.18	2.48
80	0.6654	0.6644	0.6650	0.0279	0.0277	0.0281	0.6493	0.6481	0.6480	0.0363	0.0376	0.0368	0.6414	0.6426	0.6407	0.0164	0.0155	0.0144	0.6649	0.0279	0.6485	0.0369	0.6416	0.0154	1.0025	1.0046	1.0044	0.025	274.71	263.18	269.50	269.13	5.78	2.15
116	0.7170	0.7166	0.7159	0.0199	0.0229	0.0188	0.6773	0.6773	0.6768	0.0172	0.0174	0.0171	0.7415	0.7410	0.7405	0.0250	0.0231	0.0235	0.7165	0.0205	0.6771	0.0172	0.7410	0.0239	1.0075	1.0057	1.0035	0.025	298.64	283.67	308.94	297.08	12.71	4.28
42	0.7090	0.7084	0.7083	0.0208	0.0192	0.0202	0.7367	0.7353	0.7356	0.0245	0.0249	0.0251	0.6997	0.6996	0.7003	0.0107	0.0108	0.0113	0.7086	0.0201	0.7359	0.0248	0.6999	0.0109	1.0065	1.0002	1.0011	0.025	295.73	307.33	297.51	300.19	6.25	2.08
108	0.5923	0.5937	0.5923	0.0108	0.0112	0.0107	0.6472	0.6465	0.6465	0.0133	0.0132	0.0130	0.6641	0.6637	0.6639	0.0597	0.0571	0.0577	0.5928	0.0109	0.6467	0.0132	0.6639	0.0582	1.0056	1.0023	1.0020	0.025	250.15	273.27	261.34	261.59	11.56	4.42
21	0.7616	0.7613	0.7603	0.0131	0.0148	0.0139	0.8042	0.8033	0.8037	0.0216	0.0216	0.0205	0.8198	0.8200	0.8170	0.0339	0.0278	0.0273	0.7611	0.0139	0.8037	0.0212	0.8189	0.0297	1.0019	1.0001	1.0024	0.025	322.38	338.25	340.39	333.68	9.84	2.95
56	0.8045	0.8047	0.8038	0.0151	0.0146	0.0150	0.8093	0.8081	0.8093	0.0135	0.0135	0.0156	0.8130	0.8130	0.8130	0.0160	0.0171	0.0158	0.8043	0.0149	0.8089	0.0142	0.8130	0.0163	1.0032	1.0006	1.0011	0.025	340.19	343.35	344.05	342.53	2.05	0.60
64	0.5279	0.5263	0.5263	0.0182	0.0177	0.0175	0.5327	0.5327	0.5325	0.0197	0.0199	0.0207	0.5395	0.5391	0.5402	0.0116	0.0119	0.0123	0.5268	0.0178	0.5326	0.0201	0.5396	0.0119	1.0053	1.0019	1.0038	0.025	218.90	221.15	227.25	222.44	4.32	1.94
51	0.6643	0.6644	0.6638	0.0177	0.0170	0.0181	0.6650	0.6647	0.6650	0.0161	0.0166	0.0164	0.6773	0.6767	0.6770	0.0123	0.0123	0.0128	0.6642	0.0176	0.6649	0.0164	0.6770	0.0125	1.0046	1.0021	1.0036	0.025	278.24	279.78	286.26	281.43	4.25	1.51

Valores de carotenoides en maíces morados y rojos

Carotenoides  
Lectura de Abs.  
450 nm

Maíces rojos  
Maíces azules

Valor máximo  
Valor mínimo

Pob	PROMEDIO ABS									CONCENTRACIÓN EN LITROS									CANTIDAD DE CAROTENOS EN EXTRACTO			PESO DE MUESTRA (g)			CAROTENOIDES (mg / kg)			PROM	DESV	CV			
	Lect 1	Lect 1	Lect 1	Lect 2	Lect 2	Lect 2	Lect 3	Lect 3	Lect 3	REP 1	REP2	REP3	CONCENTRACIÓN CAROTENOS (ppm)	V1	V2	V3	V1	V2	V3	Peso 1	Peso 2	Peso 3	mg/g	mg/g	mg/g								
111	0.1003	0.1011	0.1013	0.0868	0.0879	0.0874	0.0772	0.0801	0.0760	0.1009	0.0874	0.0778	6.249	5.562	5.074	0.018	0.018	0.018	0.109	0.100	0.089	1.504	1.505	1.504	0.07	0.07	0.06	72.71	66.52	59.04	66.09	6.84	10.35
114	0.2188	0.2182	0.2183	0.2141	0.2110	0.2109	0.1837	0.1833	0.1836	0.2184	0.2120	0.1835	12.215	11.888	10.443	0.018	0.017	0.018	0.220	0.202	0.188	1.506	1.502	1.501	0.15	0.13	0.13	145.99	134.55	125.24	135.26	10.40	7.69
115	0.1250	0.1272	0.1264	0.1029	0.1005	0.1009	0.0858	0.0871	0.0856	0.1262	0.1014	0.0862	7.533	6.276	5.501	0.018	0.018	0.018	0.136	0.113	0.099	1.507	1.506	1.502	0.09	0.08	0.07	89.98	75.01	65.92	76.97	12.15	15.78
6	0.1541	0.1539	0.1537	0.1722	0.1724	0.1751	0.1227	0.1237	0.1231	0.1539	0.1732	0.1232	8.939	9.920	7.379	0.018	0.018	0.018	0.161	0.179	0.133	1.506	1.507	1.509	0.11	0.12	0.09	106.84	118.49	88.02	104.45	15.38	14.72
8	0.1392	0.1397	0.1385	0.1632	0.1631	0.1628	0.1770	0.1756	0.1766	0.1391	0.1630	0.1764	8.190	9.403	10.081	0.018	0.018	0.018	0.147	0.169	0.181	1.502	1.506	1.503	0.10	0.11	0.12	98.14	112.38	120.73	110.42	11.42	10.34
20	0.1460	0.1464	0.1471	0.1369	0.1372	0.1415	0.1108	0.1108	0.1111	0.1465	0.1385	0.1109	8.563	8.159	6.756	0.018	0.018	0.018	0.154	0.147	0.122	1.505	1.506	1.504	0.10	0.10	0.08	102.42	97.52	80.86	93.60	11.30	12.07
105	0.1418	0.1435	0.1421	0.1152	0.1158	0.1158	0.1221	0.1219	0.1224	0.1425	0.1156	0.1221	8.359	6.995	7.327	0.018	0.019	0.018	0.150	0.129	0.132	1.507	1.505	1.502	0.10	0.09	0.09	99.84	85.98	87.80	91.21	7.53	8.26
63	0.1823	0.1839	0.1817	0.1642	0.1655	0.1560	0.1106	0.1141	0.1117	0.1826	0.1619	0.1121	10.398	9.345	6.819	0.018	0.018	0.019	0.187	0.164	0.126	1.504	1.503	1.506	0.12	0.11	0.08	124.44	108.81	83.77	105.67	20.52	19.42
113	0.0685	0.0697	0.0697	0.1127	0.1117	0.1116	0.0773	0.0819	0.0779	0.0693	0.1120	0.0790	4.645	6.812	5.139	0.019	0.019	0.018	0.088	0.129	0.092	1.508	1.502	1.501	0.06	0.09	0.06	58.52	86.17	61.62	68.77	15.15	22.03
107	0.1787	0.1798	0.1824	0.2156	0.2227	0.2167	0.1869	0.1851	0.1860	0.1803	0.2183	0.1860	10.279	12.210	10.569	0.017	0.018	0.018	0.175	0.220	0.190	1.501	1.505	1.503	0.12	0.15	0.13	116.42	146.03	126.57	129.67	15.05	11.60
67	0.0776	0.0801	0.0773	0.0861	0.0875	0.0881	0.0774	0.0776	0.0771	0.0783	0.0872	0.0774	5.103	5.555	5.054	0.018	0.018	0.018	0.092	0.100	0.088	1.500	1.502	1.505	0.06	0.07	0.06	61.24	66.57	58.77	62.19	3.99	6.41
103	0.1148	0.1144	0.1135	0.1373	0.1379	0.1374	0.0928	0.0921	0.0934	0.1142	0.1375	0.0928	6.926	8.108	5.836	0.018	0.018	0.018	0.125	0.146	0.105	1.504	1.504	1.505	0.08	0.10	0.07	82.89	97.04	69.80	83.24	13.62	16.37
60	0.1465	0.1469	0.1455	0.0894	0.0896	0.0906	0.1144	0.1135	0.1147	0.1463	0.0899	0.1142	8.553	5.689	6.924	0.019	0.018	0.018	0.158	0.102	0.121	1.503	1.506	1.505	0.11	0.07	0.08	105.28	67.99	80.51	84.59	18.98	22.43
15	0.0784	0.0783	0.0781	0.1135	0.1120	0.1111	0.1288	0.1286	0.1287	0.0783	0.1122	0.1287	5.100	6.822	7.660	0.018	0.018	0.019	0.089	0.123	0.142	1.503	1.501	1.505	0.06	0.08	0.09	59.38	81.81	94.16	78.45	17.63	22.47
84	0.0149	0.0164	0.0168	0.0120	0.0135	0.0129	0.0416	0.0416	0.0410	0.0160	0.0128	0.0414	1.941	1.777	3.228	0.018	0.018	0.019	0.034	0.032	0.060	1.506	1.503	1.504	0.02	0.02	0.04	22.55	21.28	39.71	27.85	10.29	36.97
7	0.0921	0.0922	0.0930	0.1043	0.1052	0.1078	0.1064	0.1056	0.1056	0.0924	0.1058	0.1059	5.819	6.496	6.501	0.018	0.018	0.018	0.105	0.117	0.117	1.501	1.501	1.504	0.07	0.08	0.08	69.78	77.90	77.80	75.16	4.66	6.20
80	0.0483	0.0490	0.0483	0.0742	0.0749	0.0742	0.0539	0.0541	0.0534	0.0485	0.0744	0.0538	3.591	4.905	3.858	0.018	0.018	0.018	0.065	0.088	0.069	1.505	1.505	1.502	0.04	0.06	0.05	42.94	58.67	46.23	49.28	8.29	16.83
116	0.0592	0.0594	0.0602	0.0568	0.0568	0.0566	0.0680	0.0693	0.0693	0.0596	0.0567	0.0689	4.152	4.007	4.623	0.018	0.018	0.018	0.075	0.072	0.083	1.505	1.502	1.504	0.05	0.05	0.06	49.66	48.02	55.32	51.00	3.83	7.52
42	0.1323	0.1295	0.1294	0.1372	0.1385	0.1376	0.1418	0.1406	0.1404	0.1304	0.1378	0.1409	7.746	8.120	8.281	0.018	0.018	0.018	0.139	0.146	0.149	1.502	1.500	1.500	0.09	0.10	0.10	92.83	97.44	99.37	96.55	3.36	3.48
108	0.1282	0.1284	0.1282	0.0827	0.0822	0.0838	0.0967	0.0951	0.0949	0.1283	0.0829	0.0956	7.638	5.335	5.978	0.018	0.018	0.018	0.137	0.096	0.108	1.501	1.502	1.504	0.09	0.06	0.07	91.59	63.94	71.55	75.69	14.29	18.88
21	0.0811	0.0803	0.0815	0.0619	0.0604	0.0603	0.1276	0.1290	0.1284	0.0810	0.0609	0.1283	5.237	4.217	7.641	0.018	0.018	0.018	0.094	0.076	0.138	1.503	1.505	1.503	0.06	0.05	0.09	62.72	50.43	91.51	68.22	21.09	30.91
56	0.1183	0.1195	0.1196	0.0789	0.0801	0.0801	0.0726	0.0714	0.0725	0.1191	0.0797	0.0722	7.174	5.173	4.790	0.019	0.018	0.018	0.133	0.093	0.086	1.502	1.503	1.501	0.09	0.06	0.06	88.36	61.95	57.44	69.25	16.70	24.12
64	0.1045	0.1048	0.1046	0.0882	0.0880	0.0884	0.0698	0.0696	0.0694	0.1046	0.0882	0.0696	6.438	5.604	4.660	0.018	0.018	0.018	0.116	0.101	0.084	1.500	1.503	1.502	0.08	0.07	0.06	77.26	67.11	55.84	66.74	10.71	16.05
51	0.1312	0.1304	0.1307	0.1275	0.1281	0.1287	0.1424	0.1477	0.1392	0.1308	0.1281	0.1431	7.765	7.629	8.391	0.018	0.018	0.018	0.140	0.137	0.151	1.502	1.502	1.503	0.09	0.09	0.10	93.05	91.43	100.49	94.99	4.83	5.08

