



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN MAÍCES DE COLOR CULTIVADOS EN TEMPORAL Y FERTIRRIGACIÓN COMO UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO AGRÍCOLA PARA LA REGIÓN ORIENTE DE MORELOS

ELIZABETH BROA ROJAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2012

La presente tesis titulada: **Evaluación del contenido de antocianinas en maíces de color cultivados en temporal y fertirrigación como una estrategia de desarrollo agrícola para la Región Oriente de Morelos**; realizada por la alumna: **Elizabeth Broa Rojas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. LUIS ALBERTO VILLARREAL MANZO

DIRECTOR DE TESIS:


DR. GREGORIO BAHENA DELGADO

ASESOR:


DR. MARIO VALADEZ RAMIREZ

ASESOR:


DR. JOSÉ HILARIO HERNÁNDEZ SALGADO

Puebla, Puebla, México, 19 de octubre de 2012



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO- VERACRUZ

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **Elizabeth Broa Rojas**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Luis Alberto Villarreal Manzo**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis: **Evaluación del contenido de antocianinas en maíces de color cultivados en temporal y fertirrigación como una estrategia de desarrollo agrícola para la Región Oriente de Morelos** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registradas a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla 19 de Octubre del 2012.

Elizabeth Broa Rojas
Firma

Dr. Luis Alberto Villarreal Manzo
Vo. Bo. Profesor Consejero

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN MAÍCES DE COLOR CULTIVADOS EN TEMPORAL Y FERTIRRIGACIÓN COMO UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO AGRÍCOLA PARA LA REGIÓN ORIENTE DE MORELOS

Elizabeth Broa Rojas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

Con el propósito de cuantificar las antocianinas totales en maíces de color y caracterizar a los genotipos seleccionados para encontrar los más promisorios en cuanto al rendimiento de grano, se colectaron 40 maíces nativos de la Región Oriente del Estado de Morelos, de los cuales se seleccionaron 15 específicos y se evaluaron igual número de ellos bajo condiciones de temporal y fertirrigación en el campo experimental del Instituto Profesional de la Región Oriente (IPRO) en Xalostoc, Morelos durante el año 2011. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con 15 tratamientos y 3 repeticiones, la unidad experimental consistió en 4 surcos de 1 m de ancho y 6 m de largo. La separación entre matas fue de 0.3 m, depositando dos semillas; dando un total de 42 plantas por surco. El manejo agronómico de los experimentos correspondió al utilizado por los productores; a excepción de la fertilización y el manejo del agua. Se realizó la cuantificación de antocianinas a los tratamientos de cada sistema así como a los genotipos originales mediante la técnica de espectrofotometría. Los resultados indican que existen maíces de color que, cultivados en fertirrigación muestran alto potencial de rendimiento de grano. Respecto a la cuantificación de antocianinas se identificaron materiales promisorios para la obtención de las mismas. Adicionalmente, se detectaron también genotipos de alto potencial para la producción de antocianinas pero con bajos rendimientos de grano. Se sugiere implementar programas de fitomejoramiento para su mejor aprovechamiento. No se identificó correlación alguna entre rendimiento de grano y el contenido de antocianinas. El empleo de la fertirrigación incrementó de manera notable los rendimientos de grano y de antocianinas.

Palabras clave: antocianinas, fertirrigación, maíces nativos, rendimiento de grano.

ANTHOCYANINS CONTENT EVALUATION IN COLOR MAIZE GROWN UNDER
RAINFED AND FERTIGATION AS AN AGRICULTURAL DEVELOPMENT
STRATEGY FOR THE MORELOS EASTERN REGION

Elizabeth Broa Rojas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

With the purpose of identifying the content of anthocyanins in color maize and characterize the selected genotypes to find the most promising in terms of grain yield were collected 40 varieties in the State of Morelos Eastern Region, from which were selected and evaluated 15 under rainfed conditions and fertirrigation system at the Professional Institute of the Eastern Region (IPRO) experimental field in Xalostoc Morelos, during 2011. The experimental design used was complete random blocks with 15 treatments and 3 replicates, the experimental unit consisted of 4 rows of 1 m wide and 6 m long. The separation between shrubs was 0.3 m, placing two seeds each, giving a total of 42 plants per row. The agronomical experiments management corresponded to that used by the farmers with the exception of fertilization and water supply. Anthocyanin's quantification was conducted by treatment and for each system as well as the original genotypes by spectrophotometry technique. The results indicated that corn varieties are cultivated under fertigation show high grain yield and at the same time with the quantification of anthocyanins were identified promising genotypes for its anthocyanins content. There were also varieties of high potential anthocyanins production, but with low grain yield. Here the recommendation is to implement a breeding program to improve them. There were no correlation identified between grain yield and anthocyanins content. The effect of the environment, soil and crop management and the technology used in the pigmented maize production demonstrated that the fertirrigation system increases significantly the grain and anthocyanins yields.

Key words: anthocyanins, fertirrigation, native maize, grain yield.

A Dios y a la Virgen de Guadalupe que siempre me han bendecido y que con su gracia hoy, culmino una etapa más en mi vida

A mi mamita linda, por su gran apoyo y confianza, por animarme a nunca darme por vencida y a luchar por lo que quiero

A mi pequeño hermano chava por apoyarme en todos mis sueños y animarme a terminar mis estudios

A mí querido novio por su gran paciencia y amor, por ser mi compañero de lucha en éste y en todos los proyectos de mi vida y por todas sus enseñanzas

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme proporcionado los recursos económicos para realizar mis estudios de maestría en ciencias.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCyTEP) por haberme apoyado en el marco del programa becas- Tesis 2012, recurso sin el cual no hubiera sido posible la realización de la etapa final y presentación del presente trabajo.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Puebla por ser la institución que me brindó todos los medios para continuar con mi formación académica.

A todos los académicos del Campus Puebla que me impartieron clase, muchas gracias por todas sus enseñanzas, por su amistad, paciencia y todo el apoyo en resolución de dudas para lograr la acreditación satisfactoria de sus materias.

Al Instituto Profesional de la Región Oriente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por las facilidades prestadas para la realización de mi proyecto de investigación.

A los catedráticos que integraron mi consejo particular:

Al Dr. Gregorio Bahena Delgado, director de tesis, mi eterno agradecimiento por todas sus enseñanzas, el apoyo brindado, su paciencia, disposición a trabajar y la disciplina que siempre lo ha caracterizado, quiero decir que me siento afortunada por contar con su amistad y apoyo en el ámbito profesional y personal el cual es totalmente recíproco.

Al Dr. Luis A. Villarreal Manzo, consejero, en primer lugar por haber aceptado ser mi consejero, por el tiempo dedicado a la revisión de mi proyecto, sus acertadas contribuciones para mejorarlo, la orientación y la disposición que siempre me brindó.

Al Dr. Mario Valadez Ramirez, asesor, por su gran disposición y accesibilidad al aceptar ser parte de este proyecto, su paciencia, por sus atinados consejos y observaciones para la mejora del presente trabajo.

Al Dr. José Hilario Hernández Salgado, asesor, por sus consejos, el apoyo, orientación y gran ayuda que siempre me brindó así como sus recomendaciones para el establecimiento y toma de variables en campo, lo que se vio reflejado en la presente tesis.

Al Dr. Antonio Castillo Gutiérrez, profesor del IPRO quiero expresarle mi agradecimiento ya que aunque no formó parte formal del cuerpo de asesores me brindó parte de su tiempo y de su gran experiencia al orientarme en la parte estadística del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Mauricio Domínguez Quintana, profesor del IPRO muchas gracias por todo el apoyo que a través de los años me ha brindado al disipar mis dudas y perfeccionar mis conocimientos referentes al manejo de cultivos bajo fertirrigación adquiridos en la realización de mi tesis de licenciatura y en la presente.

Al T. L. Roberto Hernández Rojas, responsable del laboratorio del IPRO, por su disposición y tiempo brindado en la realización de los análisis de suelo de las parcelas que fueron seleccionadas para el establecimiento del trabajo de campo.

A la Dra. Yolanda Salinas Moreno a quien sin conocerme físicamente me brindó todo su apoyo y orientación en todo el proceso de selección y envío de muestras al laboratorio para la cuantificación de antocianinas.

A las secretarias del Campus Puebla, Malú, Alma, Bertha por todas las facilidades que siempre me brindaron en la realización de trámites **especialmente a Maguito** quien además de brindarme una excelente atención he contado con su amistad y apoyo el cual es correspondido. **A Iulú y a Lucy** por la gran atención y apoyo en la resolución de dudas y realización de trabajos.

A mis compañeras de clase, Ma. Guadalupe González y Arely Galván por el apoyo y acertados consejos durante mi estancia en el Colegio, así como su amistad, la cual siempre llevaré en mi memoria.

A mis padres, el Sr. Eusebio Broa Pérez y la Sra. Petra Rojas Ramírez, muchas gracias por su apoyo en la decisión de continuar con mis estudios de postgrado, su ayuda de todos los fines de semana para trasladarme al estado de Puebla y por alentarme a terminar con este sueño.

A mis hermanos Aarón David y Salvador Broa Rojas por los consejos y apoyo brindados en toda mi vida.

A mi querida amiga, la Ing. Elizabeth Ibarra Sánchez por brindarme su amistad desde la licenciatura, sus consejos de aliento a no abandonar mis estudios, su gran apoyo que siempre me ha brindado a pesar de todas las adversidades en el aspecto personal y profesional y a la cual quiero mucho.

A todas las personas entre familiares y amigos que siempre han tenido una palabra de aliento a seguir adelante y a superarme al continuar con mis estudios.

A todos mil gracias!!

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. HIPÓTESIS	5
3.1. Hipótesis general.....	5
3.2. Hipótesis específicas.....	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Generalidades del maíz.....	6
4.2. El maíz en México	8
4.3. Importancia del maíz en el Estado de Morelos.....	10
4.4. La producción de maíz en el Estado de Morelos.....	12
4.5. Los flavonoides	13
4.6. Las antocianinas.....	16
4.6.1. Generalidades.....	16
4.6.2. Factores que alteran la estabilidad de las antocianinas.....	19
4.6.2.1. El pH.....	19
4.6.2.2. La temperatura	20
4.6.2.3. Dióxido de sulfuro	21
4.6.2.4. Oxígeno y ácido ascórbico.....	21
4.6.2.5. La copigmentación.....	22

4.6.3. Las antocianinas como colorantes naturales	23
4.6.4. Las antocianinas y el maíz.....	24
5. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1. Características de la Región Oriente del Estado de Morelos	26
5.2. Desarrollo de la Investigación	27
5.2.1. Identificación de sitios en donde se cultivan maíces de color y colecta	27
5.2.2. Trabajo de campo	28
5.2.2.1. Parcela con fertirrigación	32
5.2.2.2. Parcela de temporal.....	36
5.2.2.3. Variables evaluadas en planta.....	37
5.2.2.4. Variables evaluadas en mazorca.....	38
5.2.3. Fase de laboratorio	40
5.2.3.1 Selección de las muestras	40
5.2.3.2. Preparación de las muestras	40
5.2.3.3 Cuantificación de antocianinas en laboratorio	41
5.2.3.3.1. Preparación de la muestra	42
5.2.3.3.2. Extracción de las antocianinas.....	42
5.2.3.3.3. Cuantificación de antocianinas.....	42
5.3. Análisis Estadístico.....	43
5.3.1. Análisis de Varianza (ANOVA).....	43
5.3.1.1. ANOVA individual	43
5.3.1.2. ANOVA combinado.....	44
5.4. Correlación entre variables.....	46
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47

6.1. ANOVA Individual (por ambiente).....	47
6.1.1. Caracterización de materiales en campo	47
6.1.1.1. Parcela de temporal.....	49
6.1.1.1.1. Variables en planta.....	49
6.1.1.1.2. Variables en mazorca.....	50
6.1.1.2. Parcela de fertirrigación	53
6.1.1.2.1. Variables en planta.....	53
6.1.1.2.2. Variables en mazorca.....	54
6.1.1.3. Análisis del incremento del rendimiento obtenido en el sistema de temporal y en fertirrigación	56
6.1.2. Contenido de antocianinas	57
6.1.2.1. Cantidades de antocianinas en maíz de temporal	57
6.1.2.2. Cantidades de antocianinas en maíz de fertirrigación	60
6.1.2.3. Comparación del contenido de antocianinas en el sistema de temporal y fertirrigación	62
6.1.2.4. Análisis del contenido de antocianinas en maíces originales y evaluados en temporal y fertirrigación	64
6.2. ANOVA Combinado.....	65
6.2.1. Efecto de repeticiones	68
6.2.2. Efecto de poblaciones.....	68
6.2.3. Efecto del ambiente	69
6.2.4. Interacción Genotipo x Ambiente	70
6.3. Correlaciones Fenotípicas.....	74
7. CONCLUSIONES.....	80
8. ESTRATEGIA DE DESARROLLO AGRÍCOLA PARA LOS PRODUCTORES DE MAÍCES DE COLOR EN LA REGIÓN ORIENTE DEL ESTADO DE MORELOS.	82

8.1. Introducción.....	82
8.2. Potencialidad de los maíces criollos de color	84
8.3. Problemática de la región	84
8.4. Objetivos de la estrategia	85
8.5. Componentes de la Estrategia de Desarrollo Agrícola Regional para los productores del Oriente de Morelos	88
8.5.1. La organización.....	88
8.5.2. Financiamiento.....	88
8.5.3. Tecnología	89
8.5.4. Mercados y Comercialización	89
8.5.5. Infraestructura.....	90
8.5.6. Insumos	90
8.5.7. Diversificación del uso de los maíces de color.....	91
8.5.8. Participación de las instituciones	91
9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	94
ANEXOS	115

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Superficie de siembra de maíz en la modalidad de temporal en el Distrito de Desarrollo Rural Zacatepec- Galeana en el Estado de Morelos. 2006 PV+OI 12	
Cuadro 2. Superficie de siembra de maíz en la modalidad de temporal en el Distrito de Desarrollo Rural Zacatepec- Galeana en el Estado de Morelos. 2011 PV+OI 13	
Cuadro 3. Descripción de los municipios de colecta en la Zona Oriente de Morelos.29	
Cuadro 4. Relación de los municipios, localidades de los municipios, color, codificación y número de entrada de los genotipos evaluados en Xalostoc, Morelos. 31	
Cuadro 5. Características físicas y químicas del suelo. 32	
Cuadro 6. Equipos y accesorios utilizados en la parcela de fertirrigación. 34	
Cuadro 7. Equipos y reactivos utilizados para la cuantificación de antocianinas. Laboratorio de Maíz, CEVAMEX- INIFAP. 41	
Cuadro 8. Análisis de varianza individual para un diseño de bloques completos al azar (Kuehl, 2000). 44	
Cuadro 9. Análisis de varianza combinado bajo un diseño de bloques completos al azar (Kuehl, 2000). 45	
Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia de caracteres agronómicos en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos. 50	
Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia de componentes de rendimiento en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos. 51	
Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia de caracteres morfológicos en maíces criollos de color establecidos en un sistema de fertirrigación (ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos. 53	
Cuadro 13. Cuadrados medios y significancia de componentes de rendimiento en maíces criollos de color establecidos en un sistema de fertirrigación (ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos. 55	
Cuadro 14. Análisis de varianza para antocianinas en maíces de color bajo temporal en Xalostoc, Morelos. 58	

Cuadro 15. Análisis de varianza para antocianinas en maíces de color en fertirrigación en Xalostoc, Morelos.	61
Cuadro 16. Cuadrados medios y significancia de caracteres agronómicos en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal y fertirrigación (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.....	66
Cuadro 17. Cuadrados medios y significancia de componentes de rendimiento en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal y fertirrigación (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.....	67
Cuadro 18. Escala de interpretación de coeficientes de correlación (Grajales, 1999).	75
Cuadro 19. Correlaciones fenotípicas entre los caracteres medidos en maíces de color cultivados en dos sistemas de producción (temporal y fertirrigación).....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura básica de los flavonoides.	15
Figura 2. Estructura y sustituyentes de las antocianinas.....	17
Figura 3. Ubicación de la Región Oriente de Morelos.	26
Figura 4. Municipios de origen de las variedades utilizadas. Región Oriente de Morelos.....	28
Figura 5. Ubicación del municipio de Ayala y del campo experimental de la UAEM, Xalostoc, Morelos.....	30
Figura 6. Distribución de los tratamientos en campo de la parcela de fertirrigación..	35
Figura 7. Distribución de tratamientos en campo de la parcela de temporal.....	36
Figura 8. Distribución de precipitación pluvial y presencia de floración masculina y femenina en el sitio del experimento.	48
Figura 9. Rendimiento de grano obtenido en la parcela de temporal, Xalostoc, Morelos, 2011.....	52
Figura 10. Rendimiento de grano obtenido en la parcela de fertirrigación, Xalostoc, Morelos, 2011.....	56
Figura 11. Comparación de rendimiento en porcentaje entre los dos sistemas de producción evaluados.....	57
Figura 12. Contenido de antocianinas encontradas en maíces de color en condiciones de temporal en Xalostoc, Morelos, 2011.	59
Figura 13. Contenido de antocianinas encontradas en maíces de color evaluadas en el sistema de fertirrigación en Xalostoc, Morelos, 2011.	62
Figura 14. Antocianinas en temporal y fertirrigación en maíces de color evaluados en Xalostoc, Morelos, 2011.....	63
Figura 15. Incremento de antocianinas en maíces de color cultivados en temporal y fertirrigación en Xalostoc, Morelos, 2011.	64
Figura 16. Antocianinas en materiales originales de la Región Oriente y cultivados en temporal y fertirriego en Xalostoc, Morelos, 2011.	65

Figura 17. Tipos de respuesta de la interacción Genotipo- Ambiente (GxE) encontradas en maíces de color evaluados en dos ambientes en Xalostoc, Morelos, 2011.	72
Figura 18. Componentes de una Estrategia de Desarrollo Agrícola para los productores de la Región Oriente, Morelos.	93

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura mexicana atraviesa por una grave crisis, resultado de las políticas del modelo de desarrollo económico que se aplica en nuestro país, dejando de lado la protección y conservación de recursos naturales y el medio ambiente. Esta crisis cuestiona las políticas públicas en materia rural, aplicadas durante las últimas décadas, traduciéndose en el desmantelamiento de la infraestructura y la cancelación de los servicios de apoyo a la producción agrícola, destruyendo así la economía campesina y los sistemas de producción que siguen siendo la base de la actividad productiva en el campo (Turrent, 2008).

Esta situación se ha reflejado en un aumento de los niveles de pobreza, migración y de manera concreta una “desagrarización” del medio rural, donde las actividades no agrícolas representan más del 50% de los ingresos de las familias rurales en el campo mexicano (Taylor, *et al.*, 2005, Araujo, 2003).

Uno de los sectores más golpeados por la crisis económica y por las políticas adoptadas por el actual gobierno, ha sido el sector agropecuario y principalmente los productores de maíz. El control de precios que afecta al 75% de los productos agropecuarios, la apertura comercial indiscriminada y la reducción del gasto público para el fomento del agro han provocado la caída del 4.5% del PIB agrícola y del 2.8% del producto pecuario del país. Además de déficits en la balanza comercial agropecuaria, dificultades para la colocación de los productos nacionales en el mercado extranjero, medidas proteccionistas y la baja en el precio de los mismos (Barcelata, 2008).

En México, existen diversos factores que han desalentado la producción de maíz entre ellas la desaparición de CONASUPO (Compañía Nacional de Subsistencias Populares) que ofrecía precios de garantía a los productores agrícolas (Yúnez y Barceinas, 2000), así como la apertura comercial que generó un incremento en las

importaciones, ocasionando que una gran cantidad de unidades productoras de granos básicos salieran del mercado (Yúnez y Barceinas, 2002).

La apertura comercial y la firma del TLCAN han sido completamente desfavorables sobre todo para los pequeños productores ya que a pesar de que la producción de maíz para grano destinado al consumo humano ha crecido a un ritmo del 3.2% anual no se han visto beneficiados económicamente. Estos resultados, muestran la enorme heterogeneidad de las unidades productivas de la agricultura mexicana, lo cual se manifiesta en una dispersión de los niveles de ingresos y una diferente capacidad de respuesta, por parte de los productores, ante la apertura comercial (Maestre *et al.*, 2008).

Ante esta situación, es de suma importancia la búsqueda de alternativas para mejorar los aspectos de carácter económico que limitan la participación de los productores de maíz en los mercados locales, regionales, nacionales e incluso internacionales, principalmente de aquellos que se dedican al cultivo de los maíces criollos tanto blancos como de color, ya que el maíz sigue siendo de enorme importancia para los productores rurales y sus familias.

Al desconocer otras propiedades que poseen los maíces de color como son las cualidades nutraceuticas, medicinales, colorantes naturales y la elaboración de platillos que no pueden hacerse con otros maíces, los productores de estos granos han abandonado su cultivo por considerarlos poco rentables económicamente o bien han disminuido las superficies sembradas dedicando su producción principalmente para el autoconsumo y los pocos excedentes los venden sin darles el valor agregado que en realidad poseen limitando sus ingresos.

Con el uso de nuevas tecnologías se han encontrado otras propiedades en los maíces de color como la inhibición de una amplia gama de efectos biológicos, incluyendo las de actividad bacteriana, antiviral, antiinflamatoria, antialérgica, antioxidante, antitrombótica y vasodilatadora (Yen *et al.*, 1993; Siddhuraju y Becker,

2003), además de su empleo como colorantes naturales empleados en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética para reemplazar a los colorantes sintéticos, debido a su naturaleza, inocuidad y funcionalidad. Entre estos colorantes naturales se encuentran las antocianinas que se distribuyen ampliamente en el reino vegetal y están presentes en raíces, tallos, hojas, flores y frutos de las plantas superiores (Gorriti *et al.*, 2009).

La importancia de los constituyentes antioxidantes de los materiales vegetales en el mantenimiento de la salud y la protección contra la enfermedad coronaria y el cáncer aumenta el interés de los elaboradores de alimentos y de los consumidores. La tendencia se encamina hacia la preparación de alimentos con valores específicos para la salud como el empleo de antocianinas (Kähkönen *et al.*, 1999).

Por lo tanto, el presente estudio tuvo como propósitos efectuar en una primera etapa la identificación y recolección de variedades de maíces de color en la Región Oriente del Estado de Morelos. En una segunda etapa cultivar dichos materiales bajo condiciones de temporal y fertirriego para seleccionar los mejores materiales en cuanto a rendimiento de grano. En una tercera etapa la cuantificación del contenido de antocianinas presentes en los maíces de color mediante el envío de muestras al laboratorio y finalmente la construcción de una estrategia de desarrollo agrícola regional para los productores de maíces de color en la Región Oriente de Morelos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de los sistemas de producción de temporal y fertirrigación en el contenido de antocianinas totales en maíces pigmentados en la Región Oriente de Morelos.

2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar morfológicamente a los maíces de color en temporal y fertirriego.
2. Cuantificar las antocianinas totales en maíces pigmentados en ambos sistemas de cultivo.
3. Identificar las mejores variedades en cuanto a rendimiento de grano y cuantificación de antocianinas.

3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

Existen diferencias en cuanto a rendimiento de grano y cantidad de antocianinas presentes en algunos genotipos evaluados de la Región Oriente de Morelos tanto en condiciones de temporal como en fertirrigación.

3.2. Hipótesis específicas

1. Existen diferencias en contenido de antocianinas en las variedades originales colectadas en la Región Oriente, respecto a aquellas cultivadas en temporal y fertirriego en Xalostoc, Morelos.
2. La cantidad de antocianinas presentes en los maíces de color cultivados en fertirrigación es mayor que en los cultivados en temporal.
3. Los maíces de color cultivados en fertirrigación presentan mayor potencial de rendimiento en grano que los de temporal.
4. Las variedades de maíces de color negro y rojo evaluadas difieren en cuanto al rendimiento de grano con la cantidad de antocianinas presentes.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades del maíz

La palabra maíz tiene origen indio caribeño, significa literalmente «lo que sustenta la vida». El maíz, junto con el trigo y el arroz, es uno de los cereales más importantes del mundo, tanto a nivel económico como cultural. Suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, además de ser una materia prima básica en la agroindustria, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y desde hace poco, combustible (FAO, 1996).

El maíz es un cereal nativo de América, cuyo centro original de domesticación fue Mesoamérica, desde donde se difundió hacia todo el continente. No hay un acuerdo sobre cuándo se empezó a domesticar, pero el maíz representa más de diez mil años de cultura y es la herencia de los pueblos indios y campesinos de México (Ribeiro, 2004).

El maíz tuvo su origen con toda probabilidad en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta Canadá y hacia el sur hasta Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, proviene de unos 7,000 años de antigüedad encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. En México además de ser el lugar donde nació el maíz, se encuentra la mayor variedad de sus especies y cruza con distintas propiedades nutricionales, colores y sabores (Warman, 1988).

México se ha considerado el centro mundial de origen de este importante cultivo (Benz, 2001; Benz, 2006; Doebley *et al.*, 1987; Kato, 1976, 1984; OCDE, 2003) ya que las condiciones que favorecieron su diversificación se deben por una parte a la amplia variación ambiental del territorio mexicano y por otra a que es una especie de polinización abierta y presenta la mayor variación genética conocida dentro de los cultivos agrícolas. Estos aspectos han sido explotados por los agricultores para

conservar materiales nativos, así como, adaptar y generar germoplasma nuevo (CONABIO, 2008).

El maíz es la forma domesticada de la gramínea silvestre mexicana conocida como teocintle (*Zea mexicana*). México y los países centroamericanos son considerados como centro de la diversidad de maíz con 59 razas. Actualmente, el maíz es uno de los cuatro principales cultivos producidos en el mundo, y en México su producción ocupa el 50.3% de la superficie agrícola (Martínez, 2008).

El maíz y sus parientes silvestres, los teocintles, se clasifican dentro del género *Zea* perteneciente a la familia Gramínea o Poaceae, que incluye también a importantes cultivos agrícolas como el trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar. Es una planta anual dotada de un amplio sistema radicular fibroso, se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor masculina (espiga) y la flor femenina (elote) se encuentran en distintos lugares de la planta (CONABIO, 2008).

En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. En este sentido, el maíz ha sido y sigue siendo un factor de sobrevivencia para los campesinos e indígenas que habitan en la mayoría de los países del continente americano y en países africanos ya que su producción se destina principalmente al consumo humano (Serratos, 2009).

Los granos de maíz están constituidos principalmente de tres partes: la cascarilla, el endospermo y el germen. La cascarilla o pericarpio es la piel externa o cubierta del grano, que sirve como elemento protector. El endospermo, es la reserva energética del grano y ocupa hasta el 80% del peso del grano, contiene aproximadamente el 90% de almidón y el 9% de proteína, y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. El germen contiene una pequeña planta en miniatura, además de grandes cantidades de energía en forma de aceite, que tiene la función de nutrir a la planta cuando comienza el período de crecimiento, así como otras muchas

sustancias necesarias durante el proceso de germinación y desarrollo de la planta (Asturias, 2004).

4.2. El maíz en México

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Es uno de los principales cultivos debido a sus múltiples usos como materia prima en la industria, ya sea como insumo directo o los subproductos de éste. La molienda del grano en seco produce hojuelas de harina de maíz, frituras, botana y aguardientes para fabricación de bebidas alcohólicas no fermentadas (SIAP, 2007).

México se caracteriza por su tradición en el cultivo del maíz y su diversidad genética. Los principales estados productores de esta gramínea son: Jalisco, Estado de México, Sinaloa, Chiapas, Michoacán, Puebla, Guerrero, Veracruz, Guanajuato, Tamaulipas, Oaxaca y Chihuahua. En estas entidades existe una gran variedad de maíces y su producción depende de distintos factores ambientales socioeconómicos y de manejo. En ciertas regiones la producción se realiza con alta tecnología y de manera intensiva para fines industriales y comerciales y en otras zonas, el cultivo se lleva a cabo con tecnología tradicional, escasos recursos y su fin es el autoconsumo (CIBIOGEM, 2011).

El almidón (fécula de maíz) se obtiene de la industrialización del grano y sus aplicaciones son muy variadas, puede ser parte integrante de pastas y sémolas para sopas, mermeladas, confituras, maicena, goma de mascar, relleno de carnes, fabricación de salchichas, espesado de zumos de frutas, refrescos, cervezas y licores. También se extrae aceite, el cual tiene un valor nutritivo y es de fácil digestión. Se utiliza asimismo para la fabricación de productos de panadería, mayonesas y margarinas. Los derivados de la industrialización del maíz para hacer pegamentos y tienen numerosos usos en las industrias: farmacéuticas, de cosméticos, textiles, de pinturas, papelera, tenería y petrolera, entre muchas otras (SIAP, 2007).

El maíz se consume principalmente en forma de tortillas, es considerado como un alimento básico en la dieta diaria de la población en todos los estratos sociales. Desde el punto de vista nutricional, en una dieta equilibrada se debe de incluir del 55 al 65% de hidratos de carbono, del 10 al 15% de materia proteica y entre 25 al 35% de materia grasa; pues bien, la tortilla aporta una cantidad importante de esos nutrientes en la dieta de la población consumidora, por lo que se le considera como un alimento de excelente calidad (Cruz y Verdalet, 2007).

Las poblaciones nativas de maíz mantienen su valor cultural y como alimento popular, con una gran diversidad de tipos y productos que de ellos se derivan, como nixtamal, masa y sus derivados (tortillas blancas, tortillas azules, sopes, totopos, etc.) pinole, coricos, tesgüino o tejuino, pixnate, atoles, pozole, pancita, tamales, elotes, esquites y tepache de maíz (CONABIO, 2008).

La superficie sembrada de maíz en México, no obstante su disminución, se mantiene en alrededor de los ocho millones de hectáreas, sin embargo la interacción de los factores como el estancamiento de los rendimientos, la tendencia a la baja de los precios que recibe el productor y el incremento en el precio de los insumos, ha tenido un efecto negativo en el ingreso de los productores de granos en general y de maíz en particular (Aquino *et al.*, 2003).

El cultivo del maíz tiene diversos significados y usos. El maíz es imprescindible por representar la mitad del volumen total de alimentos que se consumen cada año y proporcionar a la población mexicana cerca del 50% de las calorías requeridas, sin embargo, la producción del grano no ha cubierto la demanda de la sociedad durante la última década. Hoy en día, encontramos que la mayoría de las entidades del país producen maíz, pero con una serie de obstáculos tanto económicos como agronómicos que tienen repercusiones en el costo de producción y en los rendimientos (CIBIOGEM, 2011).

4.3. Importancia del maíz en el Estado de Morelos

En el Estado de Morelos, el cultivo de maíz es de gran importancia como sistema de producción, ya que forma parte de la dieta de la mayoría de la población. Desde tiempos remotos se han seleccionado y cultivado una gran variedad de materiales criollos, los cuales poseen características especiales en cuanto a tamaño, color, sabor y compuestos nutricionales. Diversos estudios han confirmado que la domesticación del maíz, ocurrió en cuatro centros localizados en México (dos en la región de Oaxaca-Chiapas, una en las tierras altas y una en las tierras medias al norte del Estado de Morelos y Guerrero) y uno en las tierras altas de Guatemala. (CONABIO, 2008).

La región del Pacífico Sur, en este caso los estados de Guerrero, Chiapas , Oaxaca y Morelos, se caracterizan por tener una gran variabilidad genética de maíz y sus parientes silvestres dado su orografía que ha permitido aislamientos geográficos y en consecuencia aislamientos de diferentes tipos de maíz. En una colecta realizada durante 2007 a 2008 se identificaron 14 razas en Morelos, las cuales fueron Tuxpeño, Vandeño, Tepecintle y Olotillo en los tres estados. Las razas más frecuentes en Morelos fueron: Ancho, Pepitilla, Elotes Occidentales, vandeño, tuxpeño, chalqueño, olotillo, arrocillo, bolita, cacahuacintle, ratón, elotes Cónicos y palomero toluqueño. Se localizaron maíces blancos y de colores Negro (azul), Amarillo y Rojo en diferentes tonalidades y se tuvo un porcentaje similar de maíces de color de un 10 al 15% (Ortega *et al.*, 2010). De ahí deriva la importancia que adquieren los maíces de color para los pequeños productores de Morelos.

Esta dispersión indica claramente que la domesticación comenzó en regiones específicas o en centros de distribución. Estos sitios son considerados como los lugares donde el germoplasma original del maíz fue domesticado de las poblaciones de Teocintle donde ya había ocurrido citogenéticamente la diversificación (Kato, 1984).

En el Estado de Morelos en las distintas regiones, existen diferentes tipos de maíces de color encontrándose los rojos, púrpuras, negros, amarillos y blancos tipo pepitilla, cacahuacintles y otras razas. Estos colores están muy relacionados con aspectos nutricionales, ya que los productores los han clasificado de acuerdo a su precocidad, así, los maíces de color negro son los que se cultivan al inicio de cada temporal, ya que proporcionan alimento a las familias de forma rápida, los colores rojos y púrpuras también entran en esta clasificación.

Los colores amarillos normalmente son de floración intermedia y coincide su cosecha con algunas tradiciones religiosas y son empleados para la elaboración de tlascates, gorditas en el día de muertos por su agradable sabor y dulzura de grano, así como alimento para las aves, mientras que el maíz blanco que es más tardío provee de alimento para la época de secas. Es por ello que el maíz de color sigue siendo de enorme importancia para los productores, principalmente los de autoconsumo.

El maíz es un invento nuestro, es una planta humana, cultural, no se reproduce sin la intervención oportuna del hombre y más que domesticada, la planta de maíz se creó por el trabajo humano. Se convirtió en referencia para entender las formas de organización social, ya que es el fundamento de la cultura popular mexicana; el maíz aparece en todos los planos de nuestra cultura, desde el lejano pasado de los pueblos indígenas hasta las más recientes expresiones contemporáneas (Esteva, 2003); así, estudiar al maíz es conocer al país (Barkin, 2003).

Por otra parte, las poblaciones de los maíces nativos en poder de los agricultores continúan evolucionando, mejorando su rendimiento, características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos y con selección para usos especiales; sin embargo, también se está perdiendo la diversidad de los maíces nativos; por erosión genética y cultural, el uso de semilla mejorada, la modernización del agro, cambio de cultivo por la migración, catástrofes naturales o sociales y el apoyo a la industria de la harina, entre otras causas (Ortega, 2003).

4.4. La producción de maíz en el Estado de Morelos

El Estado de Morelos cuenta con una superficie cultivable de 188 mil 041 hectáreas; de éstas, 131 mil 899 son de temporal y 56 mil 142 de riego (Trujillo, 2002). Según el censo agropecuario 2007 (INEGI, 2007) en Morelos se dedican al sector agrícola un total de 40,787 unidades de producción que abarcan 150,218 hectáreas de las que solo 41,921 cuentan con riego y 108,296 están bajo condiciones de temporal, siendo el maíz el tercer cultivo más importante después de la caña de azúcar y sorgo.

En 2006 se sembraron en la región sur de México que comprende los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Morelos 1' 685,400 ha en temporal, donde se siembra más del 80 % con maíces criollos. El rendimiento medio en la región sur de México es de 1.86 t ha⁻¹. En los nichos ecológicos donde se localizan los maíces nativos se siembran 650 mil hectáreas y lo cultivan más de 500 mil productores utilizando 35 millones de jornales al año (Ortega *et al.*, 2010).

Concretamente en el Estado de Morelos el cierre del año agrícola 2006 (P-V + O-I) en la modalidad de temporal mostró que la superficie sembrada fue de 24,403.6 hectáreas con una producción de 77,011.9 ton y un rendimiento promedio de 3.18 t ha⁻¹ (Cuadro 1). Morelos es un estado pequeño; sin embargo, existe una gran variabilidad genética de maíz (Ortega *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Superficie de siembra de maíz en la modalidad de temporal en el Distrito de Desarrollo Rural Zacatepec- Galeana en el Estado de Morelos. 2006 PV+OI

Distrito	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Toneladas)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$/t)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Zacatepec- Galeana	24,403.6	24,180.3	77,011.9	3.18	3,381.8	260,437.5

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2012).

Para el año 2009 se reportó una superficie cosechada de 26,566 hectáreas de maíz cultivadas en condiciones de temporal y una producción de 92,871.6 toneladas con un rendimiento medio de 3.5 t ha⁻¹ (DGEAP, 2009).

Durante el cierre del año agrícola 2011, se cultivaron 28,580 hectáreas, de las cuales 2,490 ha correspondieron a la modalidad de riego, con un rendimiento medio de 3.68 t ha⁻¹ y 26,090 ha a la modalidad de temporal con un rendimiento medio de 3.09 t ha⁻¹ (Cuadro 2), predominando el uso de variedades mejoradas en los dos sistemas de cultivo (SIAP, 2012). Por su parte Gómez (2011) reportó rendimientos entre 2,877 y 1,742 kg ha⁻¹ en maíces criollos de color cultivados en temporal.

Cuadro 2. Superficie de siembra de maíz en la modalidad de temporal en el Distrito de Desarrollo Rural Zacatepec- Galeana en el Estado de Morelos. 2011 PV+OI

Distrito	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Toneladas)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$/t)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Zacatepec-Galeana	28,580	28,580	89,884.6	3.15	3,625.1	325,841.50

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2012).

4.5. Los flavonoides

Los flavonoides pertenecen a un grupo de compuestos naturales arreglados bajo un sistema C6-C3-C6, en el cual dos anillos aromáticos llamados A y B están unidos por una unidad de tres carbonos que pueden o no formar un tercer anillo, que en caso de existir es llamado anillo C. Se conocen como 10 clases de flavonoides los cuales pueden encontrarse como aglicona o bajo la forma de glicósidos con una o tres unidades de azúcar, generalmente en los carbonos 3 y/o 7, siendo los azúcares más comunes la glucosa, galactosa, ramnosa, xilosa y arabinosa. Se hallan presente en todas las partes de la planta, algunas clases se encuentran más ampliamente distribuidas que otras, siendo más comunes las flavonas y flavonoles y más

restringidos en su ocurrencia las isoflavonas, las chalconas y auronas (Lock *et al.*, 2006).

Flavo proviene del latín *flavus* y significa de color entre amarillo y rojo, como el de la miel o el del oro RAE (2001) y flavonoide, se refiere a un grupo aromático, pigmentos heterocíclicos que contienen oxígeno ampliamente distribuido entre las plantas, constituyendo la mayoría de los colores amarillo, rojo y azul de las plantas y frutas (Sax *et al.*, 1993).

Los flavonoides son compuestos fenólicos que se encuentran ampliamente distribuidos en frutas y verduras y en diversas bebidas y que pertenecen al grupo de compuestos fitoquímicos que representan componentes sustanciales de la parte no energética de la dieta humana (González *et al.*, 2008).

Los flavonoides desempeñan un papel importante en la biología vegetal. Así, responden a la luz y controlan los niveles de las auxinas reguladoras del crecimiento y diferenciación de las plantas. Otras funciones incluyen un papel antifúngico y bactericida, confieren coloración lo que puede contribuir a los fenómenos de polinización y tienen una importante capacidad para fijar metales tales como hierro y cobre (Formica y Regelson, 1995).

Los flavonoides contienen un número variable de grupos hidroxilo fenólicos que les confieren una capacidad antioxidante y potencial terapéutico en enfermedades entre las que se incluyen la cardiopatía isquémica, la arteriosclerosis o el cáncer. Sus propiedades antirradicales libres se dirigen fundamentalmente hacia el OH^\bullet y el O_2^- , especies altamente reactivas implicadas en el inicio de la peroxidación lipídica (Jovanovic *et al.*, 1998) y se ha descrito su capacidad de modificar la síntesis de eicosanoides (con respuestas antiprostanoide y antiinflamatoria), de prevenir la agregación plaquetaria (efectos antitrombóticos) y proteger a las lipoproteínas de baja densidad de la oxidación (prevención de la formación de la placa de ateroma) (Pace *et al.*, 1995, Igura *et al.*, 2001, Yang *et al.*, 2000).

Los flavonoides son pigmentos naturales en su mayoría hidrosolubles presentes en el citoplasma y las vacuolas de la célula vegetal que protegen al organismo del daño producido por agentes oxidantes como los rayos ultravioletas y la contaminación ambiental. Los flavonoides están contenidos en extractos de plantas, frutas, verduras, flores y semillas y su origen viene del latín *flavus*, que significa “amarillo”, ya que los primeros que se lograron aislar eran de éste color. Se han identificado más de 5,000 flavonoides diferentes y se estima que el valor medio de ingesta es de aproximadamente 23 mg/día, considerando a la quercitina como el predominante con un valor medio de 16 mg/día (Martínez *et al.*, 2002). Estos compuestos están ampliamente distribuidos en plantas, frutas, verduras, café, cocoa, té verde, té negro, cerveza y vino rojo (Pérez, 2003). La Figura 1 muestra la estructura básica de los flavonoides.

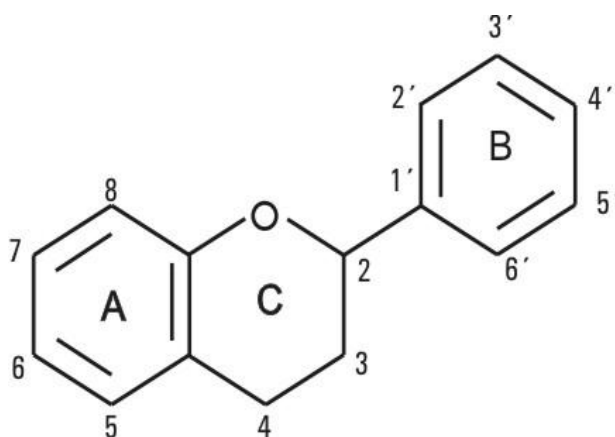


Figura 1. Estructura básica de los flavonoides.
Fuente: Martínez *et al.*, (2002).

Los flavonoides comprenden varias clases de sustancias naturales, entre las cuales están muchas de las que les confieren colores entre ellos amarillo, naranja, rojo, violeta y azul, a muchas flores, hojas y frutos, ya que ese color es debido a dichas sustancias; una fresa jugosa, una uva roja ó morada, una flor amarilla se debe a la presencia de flavonoides. Esos colores que disfruta nuestro cerebro al percibirlos son en su gran mayoría debidos a los flavonoides (Martínez, 2005).

Los flavonoides se encuentran en todas las plantas, pero están localizados principalmente en las vacuolas de las células de la piel de frutas y hortalizas (Awad *et al.*, 2000) aportando parte del sabor y del color; la mayoría son solubles en agua y no son sintetizados por el cuerpo humano ni producidas sintéticamente. Los usos de los flavonoides dependen de su forma de combinarse; cada planta contiene una única combinación de flavonoides (Schieber *et al.*, 2001).

Los flavonoides se encuentran en abundancia en las uvas, manzanas, cebollas moradas, cerezas, repollos; además de ser parte del árbol ginkgo biloba y la *Camellia sinensis* (té verde). Siendo que al consumirlos obtengamos de ellos propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antitrombóticas, antialérgicas, antitumorales, anticancerígenas y antioxidantes. De esta última, principalmente, radica su función en el sistema nervioso, pues se ha visto relación de protección en enfermedades neurodegenerativas (Escamilla *et al.*, 2009).

Los flavonoides son derivados fenólicos sintetizados en cantidades substanciales por las plantas. Son derivados hidroxilados, metoxilados y glicosilados de la 2 fenil benzo y pirano, que consiste en dos anillos benceno combinados por mediación del oxígeno contenido en el anillo pirano. Estos compuestos poseen actividad antioxidante y capacidad para capturar radicales libres (Vinson *et al.*, 1995).

4.6. Las antocianinas

4.6.1. Generalidades

Las antocianinas (del griego *anthos* flor y *kyanos* azul, son el grupo más importante de pigmentos solubles en agua visibles para el ojo humano (Harborne, 1975). Las antocianinas forman parte de la familia de los polifenoles y se definen como flavonoides fenólicos. Los colores rosa, rojo, azul, malva y violeta de las flores, frutas y verduras se deben a la presencia de estos pigmentos (Mazza, 1995).

Las antocianinas son parte de los pigmentos de las flores y ocasionalmente de hojas, tallos y raíces. Su gama abarca desde el color rojo hasta el azul. Estructuralmente

son glicósidos de polihidroflavilio en las cuales la unión glicosídica esta principalmente en C-3 (López *et al.*, 2007).

Las antocianinas como la cianidina-3-glucósido y la delphinidina- 3-glucósido tienen propiedades antioxidantes y no presentan actividad tóxica ni mutagénica. Se ha demostrado que los compuestos fenólicos –como el ácido procatecuico, aislado de las flores de Jamaica tienen fuertes propiedades antioxidantes, mientras que el ácido hibiscus manifiesta una elevada actividad inhibitoria sobre ciertas enzimas pancreáticas (Carvajal *et al.*, 2006).

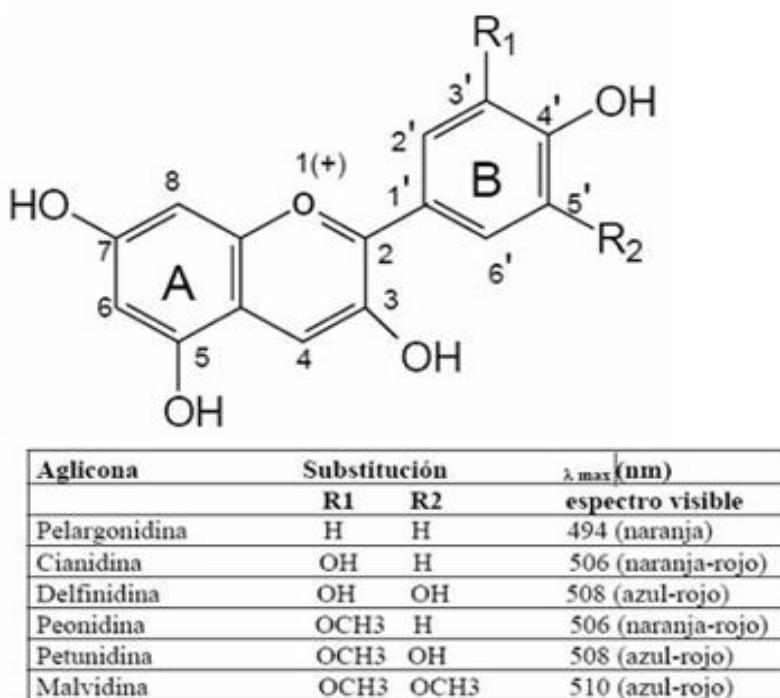


Figura 2. Estructura y sustituyentes de las antocianinas.
Fuente: Durst y Wrolstad, (2001).

Las antocianinas representan el grupo más importante de pigmentos hidrosolubles detectable en la región visible por el ojo humano (Strack y Wray, 1994). Estos pigmentos son responsables de la gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul en varias frutas, vegetales y cereales, y se encuentran acumulados en las vacuolas de la célula (Wagner, 1982).

Además están presentes en las hojas, sobre todo al final del ciclo vegetativo. A nivel subcelular, estas moléculas hidrosolubles se encuentran normalmente dentro de las vacuolas, donde se pueden acumular en unas vesículas esféricas denominadas “antocianoplastos” o “inclusiones antociánicas vacuolares” (Markham *et al.*, 2000).

La síntesis de antocianinas ocurre en el citoplasma de la célula. Cerca del retículo endoplásmico se localiza el conjunto de enzimas que participan en este proceso y cuyo sitio de acción se halla muy cerca del tonoplasto. Una vez que la antocianina es formada, se deposita en la vacuola, mediante un fenómeno de transporte en el que participa un glutatión-S- transferasa (Marrs *et al.*, 1995).

En la actualidad el maíz azul está encontrando nuevos mercados exteriores por el hecho de que de ellos se pueden obtener productos alimenticios teñidos de forma natural, que en el mundo actual tienen relevancia, por los problemas de salud asociados con el consumo indiscriminado de alimentos con colorantes artificiales. Además, los pigmentos presentes en este maíz son de gran interés por el poder antioxidante que poseen, considerándoseles como un alimento nutracéutico (Salinas *et al.*, 1999).

Las antocianinas juegan un papel importante en la reducción de las enfermedades coronarias, cáncer, diabetes; a sus efectos antiinflamatorios y mejoramiento de la agudeza visual y comportamiento cognitivo. Por lo tanto, además de su papel funcional como colorantes, las antocianinas son agentes potenciales en la obtención de productos con valor agregado para el consumo humano (Astrid, 2008).

Los colores rojos, azules, negros y púrpuras de los granos de maíz se deben a la presencia de antocianinas, compuestos que en el grano están en el pericarpio y en la capa de aleurona o en ambas estructuras (Salinas, 2000).

Recientemente se ha identificado que el contenido de pigmentos que presentan los maíces de color rojo, púrpura, amarillo y azul además de emplearse como colorantes naturales se les han atribuido funciones biológicas como antioxidantes (polifenoles,

antocianinas y flavonoides) presentes en el pericarpio, aleurona, endospermo y embrión (Ping y Giusty, 2005).

Los compuestos flavonoides, carotenoides y antocianinas encontrados en los maíces de color presentan un alto interés desde el punto de vista nutricional por su contribución al mantenimiento de la salud humana debido a las propiedades benéficas de su actividad antioxidante (Rao y Agarwal, 2000).

La concentración de antocianinas en los granos de maíces de color constituye una fuente importante de la actividad antioxidante, son potentes antioxidantes que reducen el envejecimiento del cuerpo, disminuyen los riesgos de ataque al corazón y son excelentes preventivos contra el cáncer. Los maíces de color también contienen compuestos como los fenoles que son poderosos antioxidantes que protegen las membranas de las células y el DNA (Ruiz *et al.*, 2008).

Debido a estas características los maíces de color han tenido un repunte significativo en los gustos y preferencias de los consumidores principalmente por sus propiedades nutritivas, antioxidantes y anticancerígenas como las antocianinas que coadyuvan en la salud de los humanos, además de presentar una mejor calidad de proteínas (Espinosa *et al.*, 2009).

4.6.2. Factores que alteran la estabilidad de las antocianinas

4.6.2.1. El pH

La estabilidad de las antocianinas depende de factores como enzimas, pH, temperatura, oxígeno, luz, metales, etc. Investigaciones recientes demostraron que existen antocianinas con ciertas características, presentando una mayor estabilidad debido al desarrollo de ciertos mecanismos como asociación intramolecular: acilación, asociación intermolecular: copigmentación, interacciones con otros compuestos y polimerización (Maza y Miniati, 1993).

El pH es uno de los factores más importantes. Las antocianinas son más estables en un medio ácido que en un medio neutro o alcalino. En un medio ácido la forma predominante es la del ión flavilio, el cual da el color rojo, cuando esta es sometida a pH básico o alcalino, el ión flavilio es susceptible al ataque nucleofílico por parte del agua, produciéndose la pseudobase carbinol, esto es a pH 4.5 y seguido se forma la chalcona, las dos formas son incoloras (Hutchings, 1999).

Los antocianos presentan un equilibrio en función del pH entre formas químicas diferentes, lo que condiciona en forma muy importante el color del vino. Es así como a pH muy bajo, la forma mayoritaria presente en el vino es aquella conocida como catión flavilio, que presenta una coloración roja. Al momento que el pH del medio aumenta, el catión flavilio pasa a una forma química conocida como base quinoidal de color violáceo y en la pseudobase carbinol que es incolora. Por otra parte, la pseudobase carbinol puede transformarse en un compuesto conocido como chalcona que presenta un ligero color amarillo (Peña, 2006).

En medio acuoso las antocianinas actúan como indicadores naturales de pH puesto que su estructura, color y estabilidad varían con el mismo. A 25°C y en medio acuoso las antocianinas existen en cuatro formas en equilibrio de distribución como función del pH: la base quinoidal A (de color púrpura a pH menor que 3), el catión flavilium AH^+ (rojo cereza o púrpura, a pH menor que 2), la pseudo base carbinol B y la chalcona C, esta última en dos isómeros: cis y trans (de color amarillo claro, presentes a pH mayor que 3) (Brouillard, 1982).

Con pH ácido las antocianinas son muy estables, pero esta estabilidad se reduce cuando el pH se aproxima a la neutralidad, llegando a destruirse completamente a un pH de 7 (Brouillard, 1982).

4.6.2.2. La temperatura

Las antocianinas son sensibles a la temperatura y pH. La degradación de las antocianinas por calor supera el 90% de los pigmentos rojos de la fresa en la

elaboración de mermelada. La degradación térmica de los pigmentos sigue una cinética de primer orden en conservas y jugos de fresa (Markakis, 1982).

Las antocianinas reaccionan por condensación y dan lugar a compuestos muchos más complejos que pueden tener otro tipo de coloración. Son objeto de degradación enzimática causado por glucosidasas que rompen enlaces entre el ión flavilio y el azúcar (Huang, 1956), peroxidadas (Grommeck y Markakis, 1964), y fenolasas (Peng y Markakis, 1963); dichas enzimas pueden ser inactivadas por el calor o por la adición de dióxido de azufre.

4.6.2.3. Dióxido de sulfuro

Enzimas que destruyen a las antocianinas pueden ser inactivadas utilizando dióxido de sulfuro en bajas concentraciones (30 ppm). Pueden inhibir la degradación enzimática de antocianinas en cerezas agrias rojas sin blanquear (Goodman y Markakis, 1965).

4.6.2.4. Oxígeno y ácido ascórbico

La presencia de oxígeno y ácido ascórbico contribuye a la degradación de antocianinas. La pérdida de antocianinas ante la presencia de oxígeno depende del pH y se relaciona a la concentración presente de la pseudobase. La retención del color es mejorada cuando el oxígeno es removido por calentamiento, puede ser por vacío o por flujo de nitrógeno (Kallio *et al.*, 1986). La presencia de oxígeno acelera la destrucción de la pelargonina-3-glucosido en ambas soluciones de buffer de pH de 2 a 4 y el jugo de fresa a 45° C (Lukton *et al.*, 1956).

En un sistema modelo de ácido ascórbico–antocianina-flavonol, el ácido ascórbico juega varios roles claves. Este acelera la pérdida del pigmento bajo atmósferas de oxígeno y nitrógeno por blanqueamiento, incrementa el pardeamiento en ambas atmósferas, e incrementa la polimerización de pigmentos (Poei y Wrostad, 1981).

4.6.2.5. La copigmentación

La copigmentación es un proceso que está relacionado con la formación de asociaciones entre moléculas de antocianos o entre éstos y moléculas de otros compuestos conocidos como copigmentos, dando lugar a la formación de estructuras de tipo “sandwich”. Por lo tanto, el proceso de copigmentación permite que el porcentaje de 20 al 30% de los antocianos que están naturalmente contribuyendo al color del vino, aumente, dependiendo de que existan copigmentos adecuados en el medio, tales como ácidos hidroxicinámicos (ácidos cafeico y p-cumárico especialmente), flavanoles y otros compuestos (Peña, 2006).

La copigmentación es un fenómeno debido a asociaciones moleculares entre pigmentos y otras moléculas orgánicas (normalmente no coloreadas) en solución (Boulton, 2001). En general, esto resulta en un aumento de la absorbancia (efecto hiperacrómico) y, en ciertos casos, en un cambio en la longitud de onda del máximo de absorbancia del pigmento (efecto batocrómico) (Romero, 2008).

Los antocianos pueden unirse de forma no covalente con otros compuestos fenólicos presentes en el medio, los cuales pueden ser otra molécula de antociano (autoasociación o copigmentación intramolecular), u otra molécula diferente (Asen *et al.*, 1972; Haslam, 1980; Chen y Hrazdina, 1981; Liao *et al.*, 1992; Mailen *et al.*, 2001; Gómez *et al.*, 2006; Gris *et al.*, 2007) como los ácidos cinámicos, flavanoles y flavonoles y sus glicósidos (copigmentación intermolecular).

Estos compuestos reciben el nombre de cofactores o copigmentos. El resultado que se produce es, como ya se ha comentado, un aumento de la cantidad de color, así como un cambio de tonalidad hacia el color púrpura y azul (Vivar *et al.*, 2002).

Determinados flavonoides son fuertes copigmentos y rápidamente participan en reacciones de copigmentación, lo que hace que la concentración en forma libre de tales compuestos disminuya y, de este modo, no estén disponibles para reacciones de oxidación y polimerización (Darías *et al.*, 2001).

4.6.3. Las antocianinas como colorantes naturales

La creciente preocupación por la toxicidad de los colorantes sintéticos usados en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos ha sido investigada por Hallagan (1991) y Lauro (1991), quienes reportaron que los colorantes rojo No. 2 y No. 40 se han prohibido en Austria, Japón, Noruega y Suecia, pero el rojo No. 40 aún se encuentra en escrutinio en Estados Unidos. Al mismo tiempo, dichos hallazgos se relacionan con modificaciones en la hiperactividad de niños de edad escolar lo cual puede considerarse un mal neuronal agudo (Breakey *et al.*, 2002; McCann *et al.*, 2007, Citado por Astrid, 2008).

Tales antecedentes son indicios suficientes para disminuir la demanda de colorantes artificiales a favor del consumo generalizado de colorantes naturales como las antocianinas (Huck y Wilkes, 1996; Birks, 1999; Ersus y Yurdagel, 2007; Olaya *et al.*, 2008; Wallace y Giusti, 2008). Las políticas regulatorias en cuanto al uso de colorantes derivados de las antocianinas varían de país a país (Ottersäter, 1999 citado por Astrid, 2008).

Actualmente el estudio de los colorantes naturales es un área activa de investigación debido al creciente interés por sustituir colorantes sintéticos que han reportado efectos tóxicos (Chou *et al.*, 2007). Entre los colorantes vegetales más utilizados en el área de alimentos, destacan los carotenoides y las antocianinas, éstas últimas son hidrosolubles y menos estables que los carotenoides. Se obtienen como extractos a partir principalmente de uvas y cerezas. Su principal aplicación es como colorante en alimentos, impartiendo una amplia gama de coloraciones que van del amarillo al azul (Dey *et al.*, 1993).

Hay una fuente importante de colorantes naturales presentes en frutas rojas tales como cerezas, ciruelas, fresas, frambuesas, zarzamoras, uvas, pasas rojas y negras (Jackson *et al.*, 1978; Frankel *et al.*, 1995; Lepidot *et al.*, 1999). Las restricciones en el uso de colorantes sintéticos en alimentos han conducido al interés en el uso potencial de antocianinas como un colorante alimenticio en bebidas, jarabes, jugos de frutas, gelatinas, mermeladas, helados, dulces de pasta y yogures, así como en

pasta dental, productos farmacéuticos, cosméticos y otros similares (Clydesdale y Francis, 1976; Durante *et al.*, 1995).

La práctica de los colorantes en alimentos es muy antigua y los pigmentos naturales se encuentran en muchas especies de vegetales. Posteriormente aparecieron los colorantes inorgánicos, los cuales resultaron muy perjudiciales para la salud humana (Carvalho, 1992).

4.6.4. Las antocianinas y el maíz

La presencia de antocianinas en las variedades pigmentadas del maíz, lo hace un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales. Por ello el estudio de los pigmentos del maíz morado (*Zea Mays*) ha despertado un interés sin precedentes (Cuevas *et al.*, 2008). En el grano de maíz azul, la capa de aleurona contiene los pigmentos de antocianina azul que le dan el color (Betrán *et al.*, 2001).

Los maíces pigmentados se encuentran en las diferentes razas presentes en México. Sus colores negros, morados y rojos se deben a las antocianinas, compuestos presentes en el pericarpio y en la capa de aleurona o en ambas estructuras del grano (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas, 2000).

Los maíces pigmentados según, Abdel-Aal *et al.*, (2006) indican que los granos de maíz pigmentado tales como azul, rosa y morado tienen cantidades relativamente altas de antocianinas, especialmente el maíz morado (1277 $\mu\text{g/g}$) proyectando una promesa para el desarrollo de alimentos funcionales y/o colorantes naturales. Por ejemplo, extractos de antocianinas de maíz morado han sido incorporados como un suplemento dietético antioxidante con recomendaciones para promover la salud, apariencia más joven y una piel más radiante (Shipp y Abdel-Aal, 2010).

El grano de maíz puede diferir significativamente en color de blanco a amarillo, anaranjado, rojo, púrpura (azul o negro) y café. Las diferencias del color pueden ser debido a diferencias genéticas en pericarpio, aleurona, germen y endospermo

(Véles, 2004). Los granos amarillos contienen carotenoides, los rojos y negros tienen antocianinas, mientras que los blancos carecen de estos pigmentos (Ford, 2000).

El pericarpio puede ser transparente, anaranjado, rojo, rojo fresa, rojo oscuro, café o variado; la capa de aleurona puede ser transparente, rojo púrpura, púrpura o café; el germen puede ser transparente, amarillo, rojo anaranjado o púrpura; el endospermo es igualmente incoloro o amarillo, anaranjado o rojo anaranjado. Obviamente, que el pericarpio y la aleurona deben ser transparentes para que el verdadero color del endospermo pueda ser visto (Watson, 1987).

Los pigmentos responsables de las coloraciones en los denominados maíces pigmentados (azul o rojo) son las antocianinas, que en el grano se encuentran principalmente en el pericarpio, en la capa de aleurona o en ambas estructuras. De acuerdo a la literatura, las antocianinas presentes en el maíz azul se derivan de la cianidina, en tanto que las de grano rojo provienen de la pelargonidina (Salinas *et al.*, 1999).

El maíz morado es una variedad pigmentada del *Zea mays* L., cuyos granos y coronta presentan color morado. Investigaciones recientes han revelado la presencia de compuestos tales como: un dímero de cianidina, derivados mono y di-glicosidados de cianidina, pelargonidina, peonidina y otros fenólicos (Gorriti *et al.*, 2009).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Características de la Región Oriente del Estado de Morelos

Según la Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente (CEAMA, 2000) el Estado de Morelos se divide en cinco regiones (Centro- Poniente, Centro- Oriente, Oriente, Sur y Poniente). La región donde se realizó la investigación fue en la Oriente, ubicada geográficamente en el Valle de Cuautla o Plan de Amilpas, el cual ocupa casi el 50% del territorio estatal (Figura 3) y que comprende de norte a sur y de oeste a este los municipios de Tlayacapan, Atlatlahucan, Yecapixtla, Ocuituco y Tetela del Volcán, que son los más elevados. Siguen en un gradiente descendente en una serie Yautepec, Cuautla, Temoac y Zacualpan; otra serie corresponde a los municipios de Tlaltizapan, Ayala, Jonacatepec y Jantetelco y hasta el sur Tlaquiltenango, Tepalcingo y Axochiapan (Morales *et al.*, 2000).



Figura 3. Ubicación de la Región Oriente de Morelos.

Los sectores principales de ésta región son la agricultura, fruticultura, turismo, comercio y abasto e industria en la parte norte y agricultura (principalmente la de secano), agroindustria, comercio, abasto y extracción de materias primas para la construcción en las zonas bajas (CEAMA, 2000).

Por su ubicación geográfica, el oriente de Morelos corresponde al trópico seco, específicamente con relación a la humedad. La precipitación oscila de 800 a 1,100 mm anuales; el periodo de lluvias es predominante de junio a octubre y ocurre una sequía intraestival durante el mes de agosto, que es muy marcada en la parte centro y sur del valle, lo anterior indica que hay una gran erraticidad de la precipitación pluvial dentro la región, lo que afecta de manera importante la producción agrícola (Morales *et al.*, 2000).

5.2. Desarrollo de la Investigación

El trabajo de investigación se llevó a cabo en tres etapas que consistieron en la colecta de maíces de color, evaluación en campo de materiales colectados y la cuantificación de antocianinas.

5.2.1. Identificación de sitios en donde se cultivan maíces de color y colecta

La primera etapa consistió en la ubicación de los municipios y localidades de la Región Oriente en donde se cultivan maíces de color pues a pesar de que se conserva la mayor cantidad de variedades nativas, la siembra se ha ido perdiendo debido a la adopción de nuevos cultivos y/o falta de recursos económicos o humanos (Morales *et al.*, 2000; SAGARPA-INIFAP, 2003). Esta actividad se realizó consultando fuentes secundarias de información como mapas, revistas y periódicos, así como entrevistas con productores de temporal y recorridos de campo, además se analizaron las condiciones ambientales como lo es la altitud (1570 a 1030 msnm), clima, precipitación, etc., para determinar la adaptación de las variedades al sitio donde se cultivarían.

A partir del análisis de la información recopilada se determinaron los sitios de producción de los materiales y se procedió a su colecta. El número de variedades recolectadas fue de cuarenta, los cuales fueron producidos en la modalidad de temporal durante el ciclo PV 2009 y en 2010. Los colores que prevalecieron fueron 10 negros, 15 azules, 3 violetas, 5 púrpuras y 7 rojos, debido a que algunos pertenecían a la misma localidad y color, se seleccionaron nueve de color negro (incluyendo negros, azules y púrpuras) y seis de color rojo (rojos y violetas) representativas de la región.

Los municipios en donde se realizó la colecta fueron Ayala, Tepalcingo, Axochiapan, Jonacatepec, Temoac y Jantetelco (Figura 4) y su descripción así como el número de muestras colectadas se presentan en el Cuadro 3.

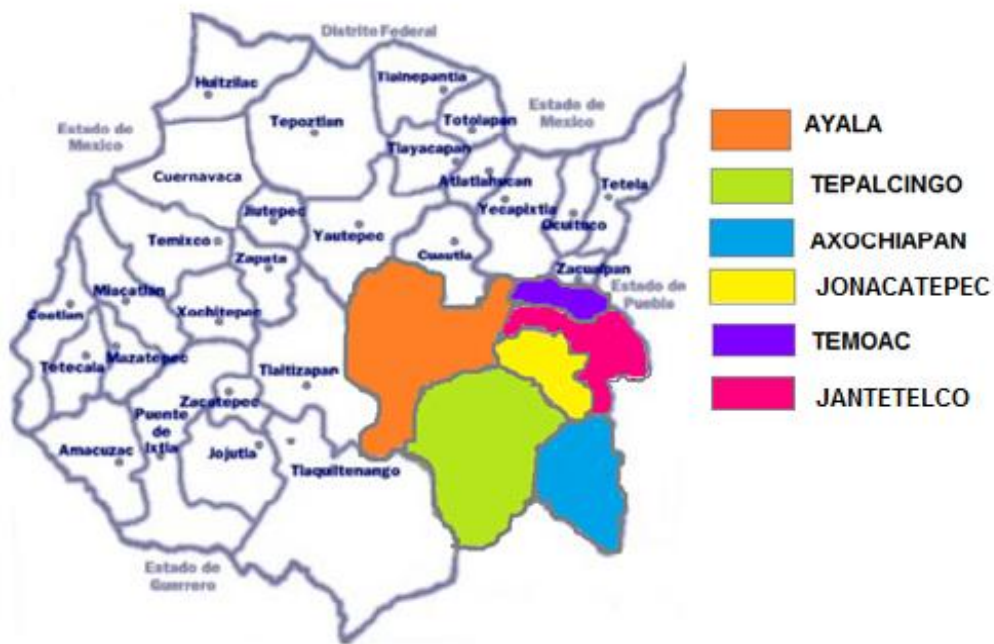


Figura 4. Municipios de origen de las variedades utilizadas. Región Oriente de Morelos.

5.2.2. Trabajo de campo

Una vez que se recolectaron las variedades de maíz criollos de color se procedió a realizar el análisis del lugar más conveniente para su cultivo, para ello se empleó la

cartografía a fin de determinar que las condiciones edafológicas y climáticas eran las adecuadas para el establecimiento de las variedades.

Cuadro 3. Descripción de los municipios de colecta en la Zona Oriente de Morelos.

Municipio	Localización Geográfica	msnm	pp anual (mm)	Colindancias	% Total del Estado	No. de variedades colectadas
Temoac	LN 18°50'23'' LO 90°10'32''	1,570	1,693	Norte: Puebla Oeste: Ayala Sur: Jonacatepec	0.92	4
Jantetelco	LN 18°42'30'' LO 98°46'12''	1,160	988	Norte: Temoac Oeste: Jonacatepec Sur: Axochiapan	1.63	5
Axochiapan	LN 18°30'00'' LO 98°45'00''	1,030	1,000	Norte: Jonacatepec Poniente: Tepalcingo Sur: Puebla	3.97	10
Jonacatepec	LN 18°41'00'' LO 98°48'00''	1,290	890	Norte: Temoac Oeste: Ayala, Tepalcingo Este: Jantetelco	1.97	7
Tepalcingo	LN 18°26'00'' LO 98°18'00''	1,100	885.3	Norte: Jonacatepec Oeste: Ayala Este: Axochiapan	7.05	7
Ayala	LN 18°46'00'' LO 98°59'00''	1220	800	Norte: Cuautla Este: Temoac Sur: Tepalcingo	6.97	7
					Total	40

msn: Metros sobre el nivel del mar.

Fuente: Elaboración propia, con datos de la EMM, 2010.

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Ayala el cual cuenta con una extensión territorial de 345.688 km² y representa el 6.97% con respecto a la superficie del estado. El tipo de suelo que predomina es el Vertisol (arcilloso). El clima es cálido subhúmedo Aw0, el cual se caracteriza por presentar lluvias durante el verano. La época seca comprende de los meses de octubre a mayo. Su precipitación media anual es de 800 mm, con una temperatura media anual de 24°C, alcanzando temperaturas extremas de 46°C (EMM, 2010). Las parcelas se establecieron en el ejido de Xalostoc, concretamente en el campo experimental del Instituto Profesional de la Región Oriente (IPRO) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos el cual está localizado a 18° 44' 37" de latitud Norte y 98° 54' 34" de longitud Oeste, con una altitud de 1,288 msnm (Google Earth, 2012), durante el ciclo primavera verano 2011 debido a que existieron las condiciones adecuadas de suelo, clima, maquinaria, personal e infraestructura para realizar el trabajo tanto en condiciones de temporal como en fertirrigación (Figura 5).

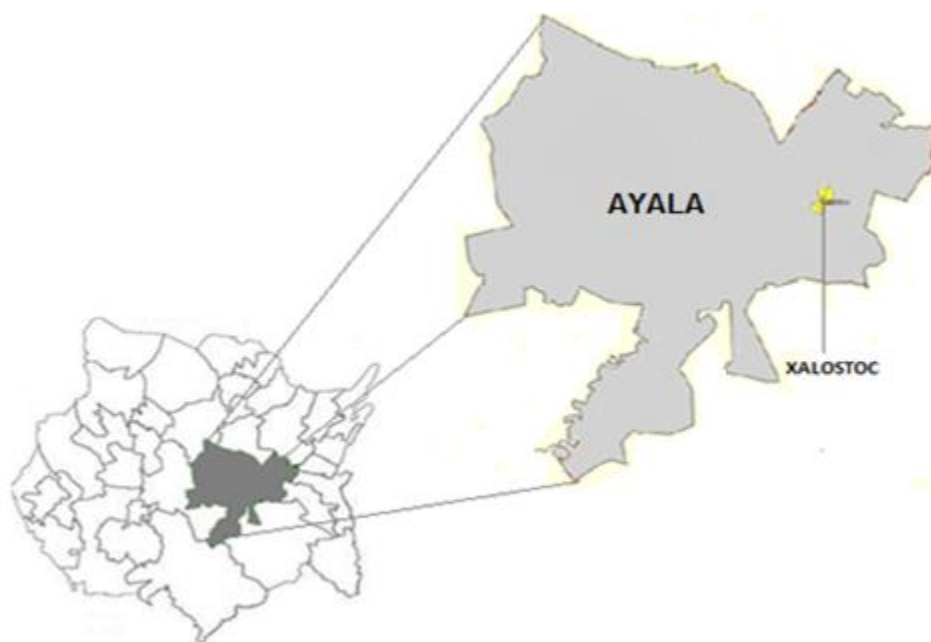


Figura 5. Ubicación del municipio de Ayala y del campo experimental de la UAEM, Xalostoc, Morelos.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definido el lugar de trabajo, se procedió a delimitar los sitios donde se ubicarían tanto la parcela de temporal y la parcela con fertirriego. Posteriormente se comenzó la preparación del suelo, el cual consistió en un barbecho, cruza, rastreo y surcado a una distancia de 1m con tracción mecánica. Una vez surcado se procedió al trazado del experimento en las dos parcelas. El Cuadro 4 muestra la descripción general de los genotipos evaluados así como la codificación y el número de entrada utilizado para ambos sistemas.

Cuadro 4. Relación de los municipios, localidades de los municipios, color, codificación y número de entrada de los genotipos evaluados en Xalostoc, Morelos.

Municipio	Localidad	Color de grano	Codificación	No. de entrada
Temoac	Popotlán	Negro	NPoM1	1
Jantetelco	Chalcatzingo	Negro	NChM1	12
Axochiapan	Tlalayo	Negro	NTM1	6
	Tlalayo	Rojo	RTM1	9
	Palo blanco	Negro	NPM1	8
	Palo blanco	Rojo	RPM2	15
Jonacatepec	Jonancatepec	Negro	NJM1	2
	Amacuitlapilco	Negro	NAM1	5
	Amacuitlapilco	Rojo	RAM1	10
Tepalcingo	Tepehuaje	Rojo	RTeM1	7
	Ixtlilco	Negro	NIM1	3
	Ixtlilco	Rojo	RIM1	4
Ayala	Xalostoc	Negro	NXM1	11
	Xalostoc (IPRO)	Negro	UAEMN1	14
	Xalostoc (IPRO)	Rojo	UAEMR1	13

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1. Parcela con fertirrigación

En la parcela donde se trabajaría con fertirriego y una vez realizado el barbecho se procedió a tomar muestras de suelo y determinar la capacidad de campo mediante el método Chapingo, densidad aparente por el método del petróleo, pH con potenciómetro y color mediante las tablas de Munsell, cuyos resultados son presentados en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características físicas y químicas del suelo.

Tipo de suelo	Color	Capacidad de campo	Conductividad eléctrica	pH	Densidad Aparente
Vertisol	2.5 YR 3/1	40.68%	0.52 mS/cm	7.8	1.80 gr/ml

Posteriormente se realizaron la instalación general del sistema de riego por goteo así como las líneas secundarias, conectores y cintas. En el Cuadro 6 se muestran los equipos y accesorios utilizados para la instalación del sistema de riego por goteo y fertirrigación.

Se realizó la aleatorización de los materiales empleando calculadora científica. Se trazó el experimento y debido a la presencia de malezas por las lluvias tempranas se aplicó el herbicida Glifosato a razón de 2 l/ha de i. a. para sembrar en suelo limpio.

La aplicación del agua de riego junto con el fertilizante, en la época de estiaje se realizó utilizando el sistema de riego por goteo. En el cálculo del tiempo de riego se emplearon tanto el método directo como el indirecto basado en datos climatológicos. En primer lugar se tomaron muestras de suelo húmedo con barrena tipo Veihmeyer a una profundidad de 30 cm antes y después del riego, las muestras se depositaron en botes herméticos de aluminio, se llevaron a laboratorio del Instituto Profesional de la Región Oriente (IPRO), y se pesaron como muestras de suelo húmedo utilizando una balanza digital, se introdujeron al horno eléctrico por espacio de 24 horas a 110°C de temperatura, al término del secado se pesaron nuevamente y por diferencia de peso, se calculó el contenido de humedad gravimétrico del suelo expresado en porcentaje, la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} 100$$

En donde:

% Humedad= Contenido de humedad expresado en porcentaje

Psh= Peso del suelo húmedo

Pss= Peso del suelo seco

Con este valor se continuó calculando la lámina de riego mediante el método directo aplicando la siguiente fórmula:

$$Lr = Ps \cdot Da \cdot Pr$$

Donde:

Lr= Lámina de riego en cm

Ps= Contenido de humedad expresado en porcentaje

Da= Densidad aparente

Pr= Profundidad radicular en cm (para maíz fue de 30 cm)

Cuando no fue posible determinar el porcentaje de humedad del suelo mediante el método directo se empleó el método indirecto basado en datos climatológicos donde se consideró la evaporación media mensual y la fenología del cultivo, empleándose la fórmula de Doorembos y Pruitt, 1977, la cual es la siguiente:

$$ETC = Kc \cdot ETo = Lr = \frac{EV \cdot Kc \cdot Kp}{Ea}$$

Donde:

ETC= Evaporación máxima mensual, mm;

ETo= Evapotranspiración del cultivo de referencia, mm;

EV= Evaporación en mm;

Lr = Lámina de riego en mm;

Kc= Coeficiente de ajuste en función del desarrollo vegetativo del cultivo mediante la curva única de Hansen, adimensional (para maíz fueron de 0.4, 0.75, 1.2 y 0.5)

Kp= Coeficiente del tanque evaporímetro tipo "A" (0.75)

Ea= Eficiencia de aplicación del sistema de riego, adimensional.

Cuadro 6. Equipos y accesorios utilizados en la parcela de fertirrigación.

	UNIDAD	CANTIDAD
SISTEMA DE BOMBEO, FILTRADO Y FERTIRRIEGO		
Bomba eléctrica centrífuga BM 2H.P.	PZA	1
Arkal filtro de anillas 2" super 120 mesh	PZA	1
Inyector de fertilizante Venturi Mod F 3/4"	PZA	1
Plasson válvula de asiento 2" angular/junta rosca macho	PZA	1
Ari-val, Aire Barack gris plas. 1" NPT	PZA	1
Conectores del sistema		
SISTEMA DE TUBERÍA GENERAL		
Tubo hid. RD-26 2"	M	42
Conectores para tubería hid. 2"		
PARCELA DE 1,320 Ha		
Streamline 60c/capa a cada 0.2 m	M	1170
Tubo ciego RAM/TIRAN 17mm- 1mm	M	18
Conector RAM/TIRAN 17mm- 1mm para PVC (dentado)	PZA	36
Conector typhoon* typhoon universal s/anillos	PZA	36
Tapón final de línea typhoon universal c/anillo	PZA	36
Anillo para conector typhoon 10 (azul)	PZA	36
Conector typhoon* typhoon universal c/anillos	PZA	10
Ari Válvula ventosa emek 1" antivació NPT	PZA	1
Conectores para módulo de riego		

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la fertilización, la fórmula general por hectárea que se empleó fue la 140 N-110 P-160 K. Los fertilizantes que se emplearon fueron de tipo soluble (SQM, línea Ultrazol™), cuya presentación está dividida en 4 fórmulas parciales: inicial (15-30-15), crecimiento (18-6-18), desarrollo (25-10-10) y producción (13-6-40), las cuales fueron aplicadas en función del desarrollo fenológico del cultivo y de trabajos de investigación realizados en maíz en esta zona. El fertilizante se aplicó diariamente en el sistema de riego iniciándose la fertilización una vez que se tuvo el 100% de

plantas emergidas. Para incorporar el fertilizante al sistema de riego se disolvió previamente en un recipiente de 18 litros de agua y se utilizó un inyector tipo Venturi. La forma de aplicación fue: agua, fertilizante y agua para mantener limpios los goteros. La etapa inicial se aplicó a los seis días después de la germinación en un período de trece días, la etapa de desarrollo en quince días, la etapa de crecimiento y de producción en diez días cada una.

El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completos al azar con quince tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 6 m de longitud (24m²). La distancia entre plantas fue de 30 cm, depositando dos semillas por mata en donde se localizaba el gotero teniendo una densidad de población equivalente a 66,666 plantas por ha. La distribución de los tratamientos se presenta en la Figura 6.

La siembra se realizó el día 25 de junio del 2011. Para cuantificar la lluvia en el lugar donde se estableció el experimento de fertirriego y con la finalidad de complementar las necesidades del cultivo por falta de agua de lluvia se colocó un pluviómetro y se registró en forma diaria durante todo el ciclo del cultivo.

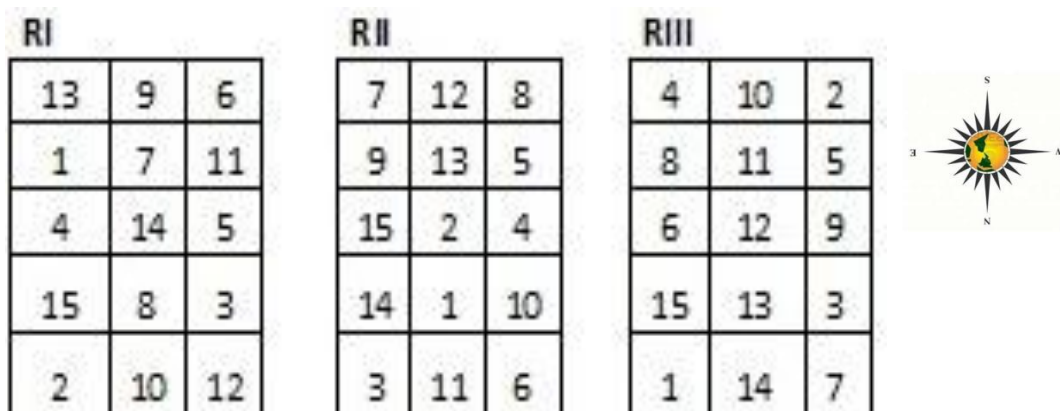


Figura 6. Distribución de los tratamientos en campo de la parcela de fertirrigación.

Una vez que se sembró y para controlar malezas se empleó el método de control químico aplicándose un herbicida preemergente (Atrazina) en dosis de 1.5 kg/ha de i. a. y posteriormente un herbicida postemergente como el 2, 4-D Amina a razón de 1.5 l de i. a. por ha.

La cosecha se realizó durante el mes de noviembre una vez que el grano tenía alrededor del 12% de humedad empleándose para ello un medidor de humedad marca FARMEX modelo DJ GAG 2000. Esto se determinó en ambas parcelas.

5.2.2.2. Parcela de temporal

Una vez realizada la aleatorización de los materiales, se realizó el trazado del experimento en campo bajo un diseño de bloques completos al azar (Reyes, 1990) con quince tratamientos y tres repeticiones (Figura7), esperando a que se estableciera bien el temporal para sembrar. Debido a la presencia de lluvia antes de la siembra se presentaron problemas de malezas procediéndose a la aplicación de Glifosato a razón de 2 l/ha de i. a., para su control.

La siembra se realizó el 24 de junio del 2011, depositando dos semillas por mata teniendo una densidad de 66,666 plantas por hectárea. Una vez sembrado se procedió a la aplicación de un herbicida preemergente (Atrazina) a razón de 1.5 kg/ha de i. a. para el control de malezas. Posteriormente debido a la presencia de malezas sobre todo de hoja ancha, se decidió aplicar 2, 4-D Amina a razón de 1.5 l de i. a. por ha., cuando el cultivo tenía aproximadamente 20 cm de altura.

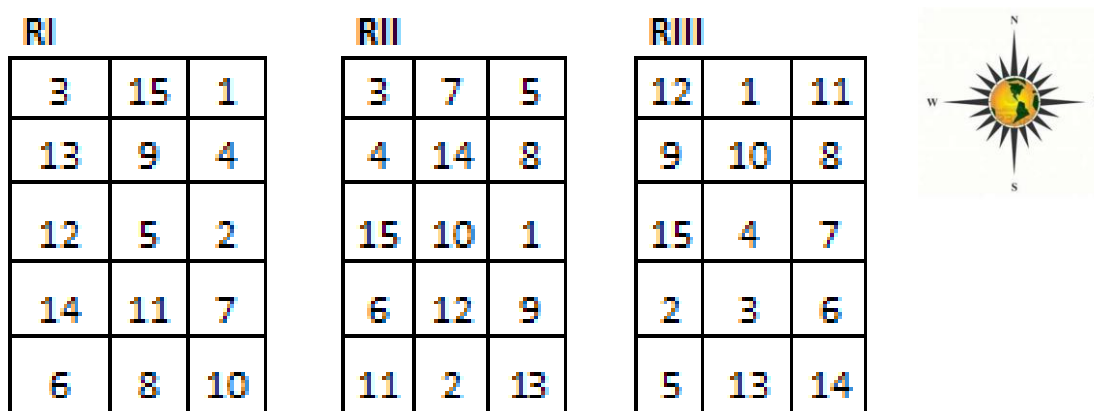


Figura 7. Distribución de tratamientos en campo de la parcela de temporal.

La dosis de fertilización empleada fue la misma que para la fertirrigación siendo la formula 140 N-110 P-160 K, utilizando como fuentes de fertilizantes urea $CO(NH_2)_2$

con 46% de N, superfosfato triple de calcio $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ con (46% como P_2O_5) y cloruro de potasio (KCl) con 60% de potasio. Se realizó una mezcla física y se aplicó en dos etapas del cultivo.

La primera fue a los siete días después de la siembra aplicándose la mitad del nitrógeno, todo el fósforo y potasio cubriendo el fertilizante. La segunda fue a los 30 días después de la siembra aplicándose la otra mitad del nitrógeno cubriéndose el fertilizante para evitar la pérdida por evaporación. En este sistema no se emplearon insecticidas ya que no fue necesario siendo el control biológico el que predominó.

5.2.2.3. Variables evaluadas en planta

Se registraron datos de 12 variables cuantitativas que fueron colectadas en ambas parcelas (temporal y fertirrigación). La forma en que se tomaron estuvo basada en los descriptores de maíz del CIMMYT (IBPGR, 1991) y a continuación se describe:

Días hasta la antesis (Floración Masculina)

En lo que respecta a esta variable se consideró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% +1 de las plantas habían liberado el polen.

Días hasta la emisión de estigmas (Floración Femenina)

Se consideró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la emergencia de estigmas del 50% de las plantas.

Altura de planta (cm)

Se midieron 10 plantas al azar con estadal desde el suelo (base del tallo) hasta la base de la espiga, después del estado lechoso del grano.

Altura de la mazorca (cm)

Se midieron 10 plantas al azar desde el suelo (base del tallo) hasta el nudo de la mazorca principal, después del estado lechoso.

Diámetro del tallo (mm)

Se midieron 10 plantas al azar por tratamiento con vernier electrónico en la zona de la base del tallo al primer entrenudo.

Número total de hojas por planta

Se contó el número total de hojas en 10 plantas al azar después de la floración.

5.2.2.4. Variables evaluadas en mazorca

Longitud de mazorca (cm)

Se midió la longitud de 10 mazorcas por tratamiento al azar de la base hasta la punta con longímetro de 30 cm, obteniéndose un promedio.

Diámetro de mazorca (mm)

Se midió el diámetro de 10 mazorcas en la parte central con la ayuda de un Vernier electrónico.

Número de hileras por mazorca

Se contó el número total de hileras de 10 mazorcas al azar en la parte central, para después obtener el promedio, el cual representó al tratamiento.

Número de granos por mazorca

Se contó el número total de granos en 10 mazorcas, obteniendo un promedio para cada tratamiento.

Diámetro de olote (mm)

Se midió el diámetro de olote de las 10 mazorcas cosechadas de cada tratamiento con un Vernier digital.

Rendimiento de Grano

El rendimiento de grano por hectárea se calculó con base en el peso de grano seco de las mazorcas cosechadas de toda la parcela al 12% de humedad por el número de parcelas de 24 m² en 10,000 m², expresándolo en t ha⁻¹. El peso del grano de las mazorcas cosechadas en la parcela se midió con una balanza digital marca AE ADAM modelo AQT-1500 con precisión de ± 0.1g.

Para calcular el rendimiento por hectárea se empleó la siguiente formula (Reyes, 1990):

$$t/ha = \frac{RPC \times NPH}{1000}$$

Donde:

t/ha= Rendimiento de grano en toneladas por hectárea

RPC= Rendimiento de la parcela cosechada

NPH= Número de parcelas por hectárea

La comparación de medias se realizó con los datos obtenidos de las 12 variables, los cuales se ordenaron en una matriz general con los 15 tratamientos ordenados en forma ascendente, dicha matriz se corrió en el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1, aplicando la prueba de Tukey al 0.01 de probabilidad.

5.2.3. Fase de laboratorio

5.2.3.1 Selección de las muestras

Una vez terminada la recolección de los materiales en campo, se procedió a la selección de grano de los materiales evaluados en ambos sistemas para la determinación del contenido de antocianinas.

5.2.3.2. Preparación de las muestras

Se mezcló adecuadamente el grano con la finalidad de tener una muestra homogénea de color auxiliándose por medio de las tablas de Munsell. De cada variedad evaluada se seleccionaron los granos sanos y más grandes y se pesaron 50 g. Una vez que se terminó la selección de las muestras se guardaron en bolsas de papel y se pusieron en refrigeración a -20°C para evitar la presencia de plagas en el grano. Posteriormente se enviaron al laboratorio de maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Texcoco, Estado de México para el respectivo análisis. El Cuadro 7 muestra el equipo y los reactivos utilizados para la cuantificación de antocianinas.

La determinación de antocianinas en el grano se efectuó en los materiales originales del lugar de procedencia (15 muestras) y de las parcelas de temporal y de fertirriego. Por cuestiones de costos elevados por muestra y la falta de recursos económicos se decidió enviar solamente 30 muestras de la parcela de temporal y 30 de la parcela de fertirriego correspondientes a la repetición uno y dos.

Cuadro 7. Equipos y reactivos utilizados para la cuantificación de antocianinas. Laboratorio de Maíz, CEVAMEX- INIFAP.

Equipo	Reactivos
Tubos de ensayo	Metanol acidificado
Vaso de precipitados	Parafilm "M"
Matraz Erlenmeyer	Cianidina 3-glucósido
Matraz de destilación	Pelargonidina clorada
Probeta	
Gradilla para tubos de ensayo	
Pinzas para tubos de ensayo	
Pinzas	
Embudo	
Molino tipo ciclónico (UDY)	
Malla 0.5 mm	
Mortero con pistilo	
Agitador	
Capsula de porcelana	
Baño sonicador	
Centrífuga	
Filtro Whatman No.4	
Espectrofotómetro	
Balanza analítica	
Vernier	
Bisturí	
Termómetro	
Cristalizador de vidrio	
Estuche de disección	
Espátula	
Goterros	
Medidor de pH	
Desecador	
Agua destilada	
Agua corriente	
Estufa	
Etc.	

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el laboratorio del INIFAP.

5.2.3.3 Cuantificación de antocianinas en laboratorio

La cuantificación de antocianinas en maíces de color azul/morado y rojos, tanto de los materiales originales, como los cultivados en temporal y fertirriego se realizó en el laboratorio de Maíz del INIFAP utilizando la técnica de espectrofotometría y siguiendo el protocolo establecido por Salinas *et al.*, (2005), el cual se describe a continuación:

5.2.3.3.1. Preparación de la muestra

Se tomó una muestra aleatoria de 20 a 30 semillas (sanas y completas) representativas de cada variedad, los materiales originales fueron tratados con fosforo de aluminio para su conservación, por lo que se procedieron a lavar con agua corriente y posteriormente enjuagados con agua destilada y se dejaron secar los granos a temperatura ambiente.

Posteriormente se retiró la estructura del germen con ayuda de un bisturí. Se molió la muestra en un molino tipo ciclónico (UDY) con malla 0.5 mm, para obtener la harina de maíz de cada genotipo analizado. En seguida se procedió a la deshidratación de la harina en una estufa a 40 °C durante un periodo de 20 horas. Se colocó la harina deshidratada en un desecador para enfriarla a temperatura ambiente y almacenarla en el desecador hasta su posterior uso.

5.2.3.3.2. Extracción de las antocianinas

Se pesó 1.0 g de muestra seca y se depositó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml previamente rotulado con la identificación de la muestra. Se añadieron 20 ml de metanol acidificado con 1% TFA. Se agitó cuidadosamente el matraz para homogenizar la muestra con el disolvente y posteriormente se cubrió el matraz con Parafilm "M". Se colocaron los matraces dentro del baño sonicador por 15 min. Los matraces se colocaron en un agitador horizontal bajo condiciones de oscuridad por un periodo de 1 h con 45 min, para completar 2 h de extracción y se centrifugó por 15 minutos a 4000 RPM. Se filtró el sobrenadante con ayuda de un filtro Whatman No. 4, tubos de ensayo y se midió su volumen.

5.2.3.3.3. Cuantificación de antocianinas

Se determinó la absorbancia del extracto en un espectrofotómetro a longitudes de onda de 520 y 700 nm. El equipo se calibró a cero empleando como blanco el disolvente de extracción. Al valor de absorbancia obtenido a 520 se le restó el valor

obtenido a 700 y se obtuvo la absorbancia corregida. Esto se hizo para eliminar el problema de turbidez que a menudo se presenta en los extractos de antocianinas de grano de maíz.

Se preparó una curva patrón a partir de Cianidina 3-glucósido (para maíces de grano azul/morado) o bien a partir de Pelargonidina clorada (para maíces de grano rojo). Se obtuvo la regresión correspondiente entre los valores de concentración y los de absorbancia y se efectuaron los cálculos correspondientes. Los resultados se expresaron en ppm (mg/kg).

5.3. Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos de varianza tanto individual como combinado así como la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.01$ y 0.05) en los dos ambientes de producción y de la cantidad de antocianinas, se realizaron utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1. El análisis de varianza combinado se realizó mediante el procedimiento GLM (SAS, 2008).

5.3.1. Análisis de Varianza (ANOVA)

5.3.1.1. ANOVA individual

Los datos de las 13 variables consideradas en este trabajo fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), en forma individual y combinado. Después de haber identificado las diferencias significativas entre genotipos, se realizó una comparación de medias basadas en la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0.01 y 0.05 de probabilidad. El Cuadro 8 muestra los componentes del análisis de varianza individual para cada sistema de producción (ambiente) bajo el diseño de bloques completos al azar.

Cuadro 8. Análisis de varianza individual para un diseño de bloques completos al azar (Kuehl, 2000).

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Poblaciones	p-1	SCBloques	CMB
Repeticiones	r-1	SCR	CMR
Error	(p-1)(r-1)	SCError	CME
Total	pr -1		

El modelo lineal para el diseño de bloques completos al azar para el ANOVA individual fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$i=1, 2, \dots, p$ (población)

$j=1, 2, \dots, r$ (repetición)

Y_{ij} = La observación de la i -ésima población en la j -ésima repetición

μ = media general

P_i = efecto de la i -ésima población

β_j = efecto de la j -ésima repetición

ε_{ij} = efecto aleatorio del error ocurrido en la unidad experimental de la i -ésima población en la j -ésima repetición.

5.3.1.2. ANOVA combinado

El análisis de varianza combinado se realizó de acuerdo al diseño de Bloques Completos al Azar. El Cuadro 9 muestra los componentes del análisis de varianza combinado.

Cuadro 9. Análisis de varianza combinado bajo un diseño de bloques completos al azar (Kuehl, 2000).

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Repeticiones	r-1	SCBloques	CMB
Ambientes	a-1	SCA	CMA
Error (a)	(a-1)(r-1)	SCError (a)	CME(a)
Poblaciones	p-1	SCP	CMP
A*P	(a-1)(p-1)	SCA*P	CMA*P
Error (b)	a(r-1)(p-1)	SCError (b)	CME(b)
Total	pr -1	SCTotal	

A*P: Ambiente por Población.

Particularmente, se analizaron los datos de ambos sistemas de producción (ambientes), por lo que el factor A lo constituyeron los ambientes y el factor B las poblaciones. El modelo lineal utilizado para el ANOVA combinado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_k + \alpha_{jk} + P_j + (AP)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$i=1, 2, \dots, a$ (ambientes)

$j=1, 2, \dots, p$ (población)

$k=1, 2, \dots, r$ (repetición)

Y_{ijk} = La observación del i -ésimo ambiente en j -ésima población en la k -ésima repetición

μ = media general

A_i = efecto del i -ésimo ambiente

R_k = efecto de la k -ésima repetición

α_{jk} = error aleatorio para el factor A (ambientes)

P_j = efecto de la j -ésima población

AP_{ij} = efecto de la interacción entre el i-ésimo ambiente y la j-ésima población
 ε_{ijk} = error aleatorio para el factor B (poblaciones)

5.4. Correlación entre variables

El coeficiente de correlación fenotípica entre las variables fue estimado usando la fórmula clásica de correlación (Falconer y Mackay, 1996).

$$r_{P(xy)} = \text{COV}_{P(xy)} / S_{P(x)} \cdot S_{P(y)}$$

En donde:

$r_{P(xy)}$ Es la correlación fenotípica entre los caracteres X e Y.

$\text{COV}_{P(XY)}$ Es la covarianza fenotípica entre los caracteres X e Y.

$S_{P(x)}$ y $S_{P(y)}$ Son la desviaciones estándar fenotípicas de X e Y, respectivamente.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANOVA Individual (por ambiente)

6.1.1. Caracterización de materiales en campo

En muchas regiones de México los agricultores que cultivan el maíz contribuyen a la conservación y generación de la diversidad genética. Así, por un lado, en la práctica mantienen las variedades locales tradicionales al pasarlas de generación en generación, y por otro, al seleccionar deliberadamente las semillas más favorables por sus diversas características, a través de las variantes que se han ido presentando por selección natural, mutación, introducción, recombinación y aislamiento, llegan a formar nuevos tipos, variedades o razas a través del tiempo (Murillo *et al.*, 2007).

Bajo esta perspectiva, es de suma importancia el conocimiento adecuado de las características de los genotipos evaluados ya que si el objetivo a futuro es el mejoramiento genético de las variedades más promisorias es esencial la descripción exacta del germoplasma. Existen evidencias que indican que una gran cantidad de razas de maíz criollo en México poseen excelentes cualidades en cuanto a rendimiento y otras características que los hacen tener ventajas significativas en comparación con los maíces mejorados.

Por lo anterior, es necesario conocer las características específicas de los materiales evaluados con la finalidad de observar el efecto del medio ambiente, manejo y nutrición en el comportamiento final de los mismos. Por lo que se procedió a realizar un análisis y observar los efectos de los tratamientos aplicados tanto en condiciones exclusivamente de temporal como de fertirriego.

Durante el mes de junio que es cuando da inicio el temporal en esta región se presentaron lluvias suficientes para la realización de la siembra y con ello se tuvo una germinación del 100% de las plantas. La presencia de lluvias continuó de forma adecuada para el desarrollo de las plantas, sin embargo durante el mes de agosto

cuando se presentó la etapa de floración masculina y femenina en la parcela de temporal se tuvieron lluvias irregulares con intervalos de quince días, lo que afectó el rendimiento final de las variedades más precoces. Posteriormente se presentaron lluvias de manera adecuada lo que permitió que los demás genotipos se desarrollaran de forma normal. El registro de las precipitaciones diarias del sitio del experimento dio inicio el día 20 de junio cuatro días antes de la siembra. Como se muestra en la Figura 8, la mayor precipitación ocurrió durante los meses de junio y julio, durante los primeros quince días del mes de agosto disminuyeron las precipitaciones, posteriormente en los meses de septiembre y octubre las precipitaciones volvieron a presentarse de forma regular. La floración masculina se presentó en el periodo del 10- 21 de Agosto, mientras que la femenina del 12 al 26 del mismo mes. En todo el ciclo del cultivo se tuvo una precipitación acumulada de 639 mm.

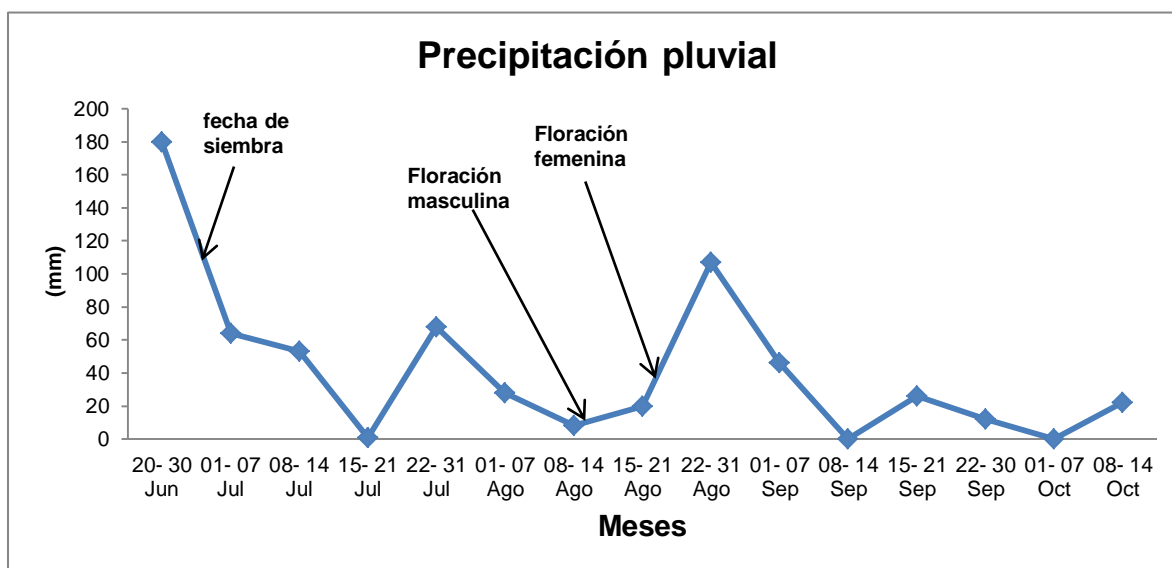


Figura 8. Distribución de precipitación pluvial y presencia de floración masculina y femenina en el sitio del experimento.

6.1.1.1. Parcela de temporal

6.1.1.1.1. Variables en planta

Considerando únicamente la parcela de temporal se realizó un análisis de varianza individual para observar si existían diferencias entre tratamientos. El Cuadro 10 muestra los resultados del análisis estadístico para las variables en planta, donde se puede observar que existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos para floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y número de hojas. Mientras que para diámetro de tallo no existieron diferencias entre los tratamientos evaluados.

En cuanto a la variable floración masculina la población 14 fue la que presentó el mayor promedio con 57 días, seguida de la población 7 con 52 días, en cambio la población 4 fue la que presentó la menor cantidad en días con 47. En cuanto a la variable floración femenina la población 14 presentó un promedio de 62 días, seguida por la población 7 con 58 días. Mientras que la población 4 presentó un promedio de 48 días.

Para la variable altura de planta los resultados mostraron que la población 14 fue que alcanzó la mayor altura en promedio con 302 cm, seguida por la población 1 con 274 cm y la población que alcanzó la menor altura fue la población 4 con 235 cm. Para el carácter altura de mazorca los resultados indican que la población 2 fue la que alcanzó en promedio la mayor altura con 189 cm, seguida de la población 14 con 188 cm y la población con menor altura de mazorca en promedio fue la 4 con 135 cm.

En cuanto a la variable número de hojas por planta se observó que la población 14 fue la que presentó un promedio de 15 hojas, seguida de la población 3 con un promedio de 14 hojas. En cambio la población 10 fue la que presentó un promedio de 12 hojas por planta.

Lo anterior indica la gran variabilidad que existe en los maíces criollos y el efecto que juega el medio ambiente, suelo y manejo. Los maíces criollos tienen estas

características genotípicas y fenotípicas que son propias y que pueden servir de base para realizar trabajos de mejoramiento genético seleccionando los mejores materiales y ser cultivados por los productores de acuerdo con sus necesidades de alimentación, tanto para la familia como para el ganado. Este tipo de resultados, de acuerdo con Linares y Bye (2008) se debe a que son materiales que se desarrollan en diferentes medios agroecológicos, alturas, humedad, tipos de grano, tamaño de mazorca, altura de planta, temperaturas, disponibilidad de agua, nutrientes y época de siembra.

Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia de caracteres agronómicos en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.

FV	gl	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	NH
Tratamientos	14	15.9620**	28.3281**	818.6785**	833.2678**	1.1680**
Bloques	2	25.7968**	30.8203**	32.6250**	219.6250**	8.1208**
Error	28	0.9905**	1.9882**	195.0000**	276.9285**	0.2720**
Total	44					
Media General		50.70	54.20	261.32	155.78	12.79
CV (%)		1.96	2.60	5.34	10.68	4.05

significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; **FV= Fuentes de variación; **gl**= grados de libertad; **CV**= Coeficiente de variación; **FM**= Floración masculina; **FF**=Floración femenina; **AP**= Altura de planta; **AM**= Altura de mazorca; **NH**= Número de hojas.

6.1.1.1.2. Variables en mazorca

En el Cuadro 11 se observan los cuadrados medios y significancias estadísticas para las variables medidas en mazorca. En cuanto a las variables longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos y diámetro de olote se realizó un análisis de varianza para observar si existían diferencias estadísticas. Los resultados del análisis indicaron que solo existieron diferencias estadísticas en diámetro de mazorca, número de hileras y diámetro de olote. Para la variable diámetro de mazorca se encontró que la población 5 fue la que mayor promedio

alcanzó con 51.2 mm, seguida de la población 15 con un promedio de 48.7 mm. Mientras que la población que presentó el más bajo promedio fue la 11 con 42.8 mm. En cuanto a número de hileras por mazorca el análisis mostró que la población 2 fue la que presentó un mayor promedio con 12.8, seguida de la población 5 con 12.5. En cambio la población 6 fue la que presentó el menor promedio con 10.5. Para diámetro de olote los resultados mostraron que la población que alcanzó el mayor promedio fue la 5 con 24.2 mm, seguida de la población 10 con 23.3 mm y la población con menor promedio fue la 7 con 19.8 mm.

Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia de componentes de rendimiento en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.

FV	gl	DM (mm)	NHi	DO (mm)	RG (kg ha ⁻¹)
Tratamientos	14	13.7940**	1.2311**	2.9856**	615812.56*
Bloques	2	4.3789**	0.0063**	0.5683**	358360.00*
Error	28	4.1741**	0.2842**	0.4654**	291518.84*
Total	44				
Media General		40.07	11.64	22.22	2127.44
CV (%)		4.34	4.58	3.07	25.38

*significancia al 0.05, **significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; **FV**= Fuentes de variación; **gl**= grados de libertad; **CV**= Coeficiente de variación; **DM**= Diámetro de mazorca; **NHi**= Número de hileras por mazorca; **DO**= Diámetro de olote; **RG**= Rendimiento de grano, en kg ha⁻¹.

Diversas investigaciones sugieren que estas variables en variedades criollas se encuentran influenciadas por factores como: cambios en la domesticación y mejoramiento realizado por los campesinos, buena disposición de agua y nutrientes en el momento de la polinización, características genéticas de cada variedad, la selección de semillas que efectúan los productores, la adaptabilidad de los genotipos y la buena sincronía entre la floración masculina y femenina determinando que exista una buena polinización y un mayor rendimiento. En concordancia con Sánchez *et al.*, (2008) quienes determinaron que las características de las mazorcas son las que

más cambios han tenido en las poblaciones de maíz probablemente por las domesticaciones que los campesinos e investigadores han realizado y dirigido la atención principalmente a caracteres de importancia económica.

En cuanto al rendimiento de grano ajustado al 12% de humedad el análisis de varianza mostró que existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los resultados mostraron que el mayor rendimiento lo alcanzó el genotipo 2 con 2,905 kg ha⁻¹ seguido por el genotipo 9 con 2,558 kg ha⁻¹ en tanto que el genotipo 11 alcanzó el menor rendimiento de grano con 1,247.5 kg ha⁻¹ (Figura 9). Estos rendimientos probablemente se deben a que los maíces de color proceden de diferentes agrohábitats, manejo, selección, clima y suelos distintos al lugar donde fueron cultivados y esto influyó en los rendimientos alcanzados, así como la escasez de lluvias en el momento de floración de varios genotipos.

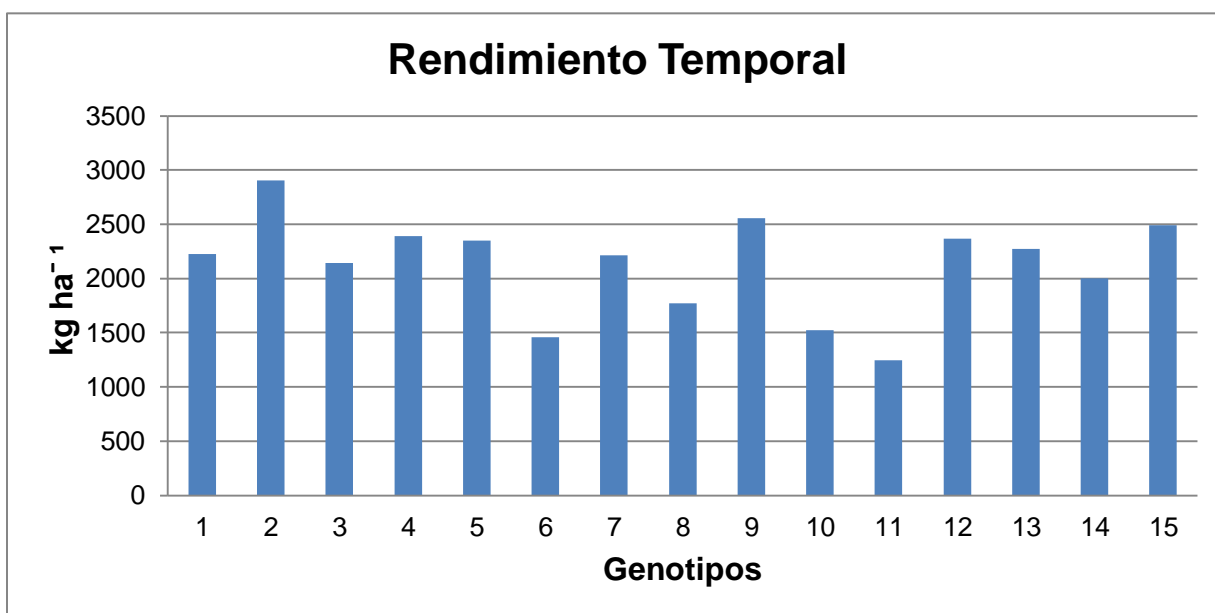


Figura 9. Rendimiento de grano obtenido en la parcela de temporal, Xalostoc, Morelos, 2011.

Estos resultados coinciden con lo reportado por María *et al.*, (2003) quienes encontraron que los rendimientos de grano en maíces criollos se ven afectados severamente por la escasez de lluvias en el momento de la floración, así como el mayor período de floración femenina. Según Grant *et al.*, (1989), a los siete días

después de la floración femenina ocurre la mayor sensibilidad al déficit de agua, por lo que el número de granos por planta se puede reducir a 45%, mientras que entre los 12 y 16 días después de la floración la sequía reduce el peso del grano a 51%.

6.1.1.2. Parcela de fertirrigación

6.1.1.2.1. Variables en planta

En la parcela de fertirrigación se realizó un análisis de varianza a las variables de planta para determinar si existieron diferencias entre las variedades evaluadas, (Cuadro 12). Dicho análisis mostró que en las variables floración masculina, floración femenina, diámetro de tallo, altura de planta, altura de mazorca y número de hojas existieron diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos.

Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia de caracteres morfológicos en maíces criollos de color establecidos en un sistema de fertirrigación (ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.

FV	gl	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	NH	DT (mm)
Tratamientos	14	22.1434**	33.8521**	910.4107**	608.5982**	1.0940**	4.7047**
Bloques	2	7.3984**	4.6210**	549.1250**	369.3750**	1.3972**	3.1933**
Error	28	1.8998**	2.3122**	82.2142**	38.5580**	0.2301**	0.9833**
Total	44						
Media General		50.30	53.00	279.70	150.27	12.22	24.03
CV (%)		2.74	2.87	3.24	4.05	3.93	4.13

significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; **FV= Fuentes de variación; **gl**= grados de libertad; **CV**= Coeficiente de variación; **FM**= Floración masculina; **FF**=Floración femenina; **AP**= Altura de planta; **AM**= Altura de mazorca; **NH**= Número de hojas; **DT**= Diámetro de tallo.

Lo anterior coincide con lo establecido por Márquez (2011) quien destaca la gran variabilidad genética de los maíces criollos y sus características que pueden ser aprovechadas desde el punto de vista agronómico, nutritivo, nutraceútico y la

necesidad de conocer más esta variabilidad genética que todavía ha sido poco explorada.

Lo anterior indica la gran variabilidad genética que existe en las características que poseen los maíces de color debido a la selección que han realizado los productores por muchos años, tomando los mejores atributos de acuerdo con los objetivos que persiguen como: conservación de semillas, alimentación, elaboración de tamales, atoles, pozole, pinole, totopos, tostadas y algunos excedentes para comercializarlos.

6.1.1.2.2. Variables en mazorca

En cuanto a las variables en mazorca se efectuó un análisis estadístico para determinar si existían diferencias entre tratamientos. Los resultados del análisis indicaron que los maíces criollos de la Región Oriente de Morelos presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las siguientes variables: longitud, número de hileras, diámetro, número de granos por mazorca y diámetro de olote, (Cuadro 13).

En cuanto a longitud de mazorca la población 14 presentó el mayor promedio 16 cm, seguida de la población 13 con 14.8 cm, sin embargo la población 4 fue la que mostró el menor promedio 13.1 cm. Con relación al número de hileras el genotipo que presentó mayor promedio fue el número 5 con 13.5, seguido del tratamiento 4 con 12.6 hileras, en cambio la población 14 fue la que presentó menor cantidad de hileras 11.1. Para la variable diámetro de mazorca el genotipo que alcanzó en promedio un diámetro mayor fue el número 5 con 53.6 mm, seguido del tratamiento 9 con 51.5 mm y el tratamiento que presentó menor diámetro fue el número 11 con un promedio de 45.7 mm, esto se debe a que son mazorcas más cilíndricas que las de los otros genotipos. Para el carácter número de granos por mazorca el tratamiento que presentó mayor promedio de granos fue el 5 con 438.6 seguido del tratamiento 2 con 408.5 granos en promedio. En cambio el que presentó el menor promedio de granos fue el número 8 con 326.3.

Cuadro 13. Cuadrados medios y significancia de componentes de rendimiento en maíces criollos de color establecidos en un sistema de fertirrigación (ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.

F.V	gl	LM (cm)	DM (mm)	NHi	NG	DO (mm)	RG (kg ha ¹)
Tratamientos	14	1.8003**	11.3136 **	1.1622**	1959.9642**	4.0795**	897209.12*
Bloques	2	1.4106**	15.3632**	0.1074**	840.0000**	0.4042**	4863536.00*
Error	28	0.4584**	3.1782**	0.2632**	464.3055**	0.5696**	272596.56*
Total	44						
Media General		14.07	48.65	11.99	353.54	22.73	2973.26
CV (%)		4.81	3.66	4.28	5.74	3.32	17.56

*significancia al 0.05, **significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; **FV**= Fuentes de variación; **gl**= grados de libertad; **CV**= Coeficiente de variación; **DM**= Diámetro de mazorca; **NHi**= Número de hileras por mazorca; **NG**= Número de granos por mazorca; **DO**= Diámetro de olote; **RG**= Rendimiento de grano, en kg ha⁻¹.

Para la variable diámetro de olote se encontró que el mayor promedio con 24.9 mm correspondió a la población 5, seguida de la población 13 con 24.6 mm y la población que presentó menor diámetro de olote fue la 7 con 20.6 mm.

En cuanto al rendimiento de grano ajustado al 12% de humedad y al realizar el análisis de varianza, el resultado mostró que existieron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos evaluados. La población que mayor rendimiento obtuvo en promedio bajo este sistema fue la número 5 con 4,163 kg ha⁻¹ seguida de la población 12 con un promedio de 3,425 kg ha⁻¹ mientras que la población 11 fue la que obtuvo el menor promedio de rendimiento con 2,039 kg ha⁻¹ (Figura 10). Sin embargo existieron genotipos como 1, 6, 7, 8, 14 y 15 que presentaron un rendimiento aceptable ya que superaron el rendimiento promedio nacional de maíz de temporal que es de 2.3 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2009).

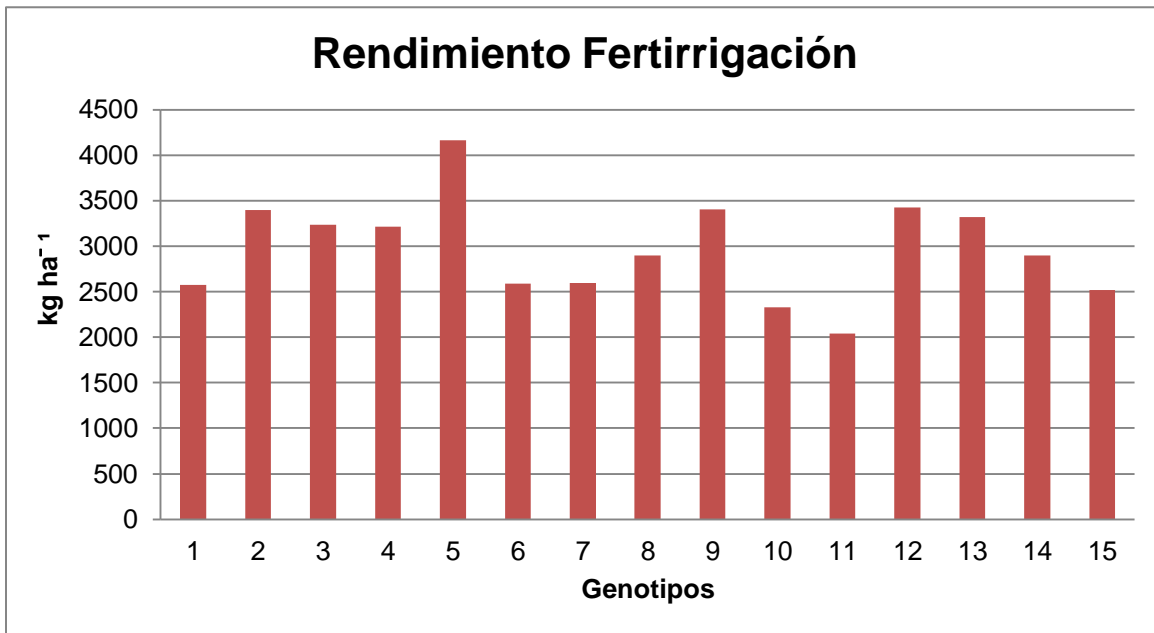


Figura 10. Rendimiento de grano obtenido en la parcela de fertirrigación, Xalostoc, Morelos, 2011.

Por otro lado, las poblaciones 5,12, 9, 2, 3, 13 y 4 superaron el promedio estatal de rendimiento por hectárea en maíz de temporal que es de 3.09 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2011). Estos resultados indican que existen variedades de maíces de color con un alto potencial productivo y que es posible elevar los rendimientos de maíces criollos de color por unidad de superficie cuando se les proporcionan cantidades adecuadas de agua, buen control de malezas y nutrientes de acuerdo a las etapas fenológicas de las plantas.

6.1.1.3. Análisis del incremento del rendimiento obtenido en el sistema de temporal y en fertirrigación

Debido a la diversidad en los caracteres presentados se hace necesaria la comparación de rendimientos entre sistemas de producción. En la Figura 11, se puede observar que el sistema de fertirrigación superó en todos los casos al sistema de temporal, siendo los más sobresalientes los genotipos 6, 5 y 8 con un incremento de 77.8%, 77% y 63.8% respectivamente.

Lo anterior indica que el sistema de fertirrigación incrementó de forma significativa los rendimientos en la mayoría de los genotipos evaluados, resaltando la importancia de aplicar riegos de auxilio cuando se dispone de agua ante la escasez de lluvia en

la etapa de floración lo que incrementa los rendimientos de grano por mazorca. De igual forma la aplicación de nutrientes de acuerdo con la etapa fenológica de las plantas se traduce en mayores rendimientos. Resultados similares fueron reportados por Bahena *et al.*, (2009) quiénes obtuvieron rendimientos similares en maíces de color cultivados en fertirriego. Lo anterior indica que existen materiales criollos con alto potencial de rendimiento si se les proporcionan nutrientes y agua de acuerdo con sus etapas fenológicas en momentos importantes como la floración y polinización.

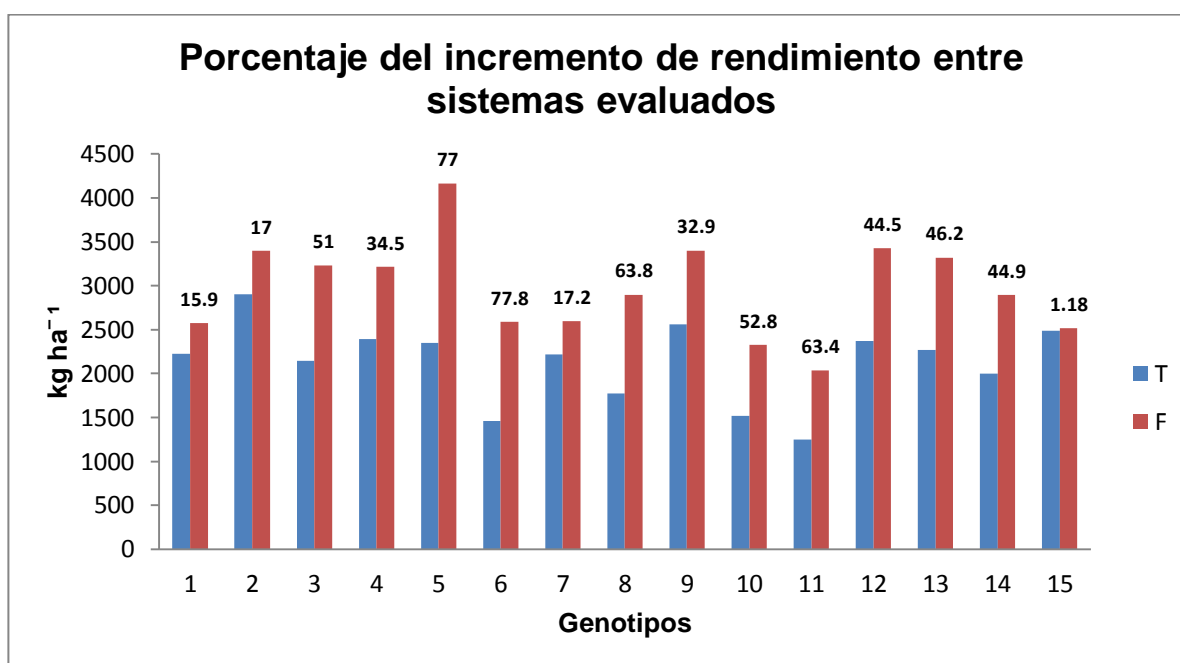


Figura 11. Comparación de rendimiento en porcentaje entre los dos sistemas de producción evaluados.

6.1.2. Contenido de antocianinas

6.1.2.1. Cantidades de antocianinas en maíz de temporal

A fin de determinar la cantidad de antocianinas presentes en los granos de maíz de temporal se enviaron al laboratorio de maíz del INIFAP en Texcoco, México, en donde se realizó el análisis de 9 muestras de color azul/ morado y a 6 muestras de color rojo solamente de dos repeticiones; las muestras se tomaron sin considerar el rendimiento de grano, y sin presuponer que por ser bajas en rendimiento tuvieran

bajas cantidades de antocianinas. Además de las muestras obtenidas de ambos sistemas de producción se enviaron muestras de los materiales colectados en los lugares de origen para observar el efecto del medio ambiente, suelo, manejo y sistema de producción en el comportamiento de los materiales estudiados y que pudieron influir en la cantidad de antocianinas obtenidas.

El análisis de laboratorio para las muestras de temporal mostró que existieron diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos, Cuadro 14, lo que corrobora la hipótesis planteada en este trabajo de que existen materiales de color con distintos rendimientos en grano y cantidades de antocianinas y que al emplear el sistema de fertirrigación se incrementan los rendimientos de grano y antocianinas en algunos genotipos. Además de que las cantidades de antocianinas presentes en algunos genotipos varían sin importar el rendimiento de grano.

Cuadro 14. Análisis de varianza para antocianinas en maíces de color bajo temporal en Xalostoc, Morelos.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
TRATAMIENTOS	14	2626355.5	187596.82	21.9186	0.000
BLOQUES	1	15951	15951	1.8637	0.191
ERROR	14	119823	8558.78		
TOTAL	29	2762129.5			

C. V= 19.01%

En la Figura 12 se puede observar que la población número 11 presentó la mayor cantidad de antocianinas con 1,013.4 mg/kg de maíz, seguida por la población 2 con 817.97 mg/kg de maíz, en tanto que el genotipo13 con 92.29 mg/kg fue el que menor cantidad de antocianinas presentó. Los materiales que mayor cantidad de antocianinas presentaron fueron los granos de color negro/violeta y los de menor cantidad de antocianinas se presentaron en los granos de maíces de color rojo.

Lo anterior coincide con lo reportado por Salinas *et al.*, (2011) quiénes observaron que en maíces de color azul el contenido de antocianinas (CAT) varía desde 216.8 hasta 904 mg kg⁻¹, mientras que para los maíces de color rojo según Salinas *et al.*, (1999) encontraron cantidades de antocianinas que varían entre 8.7 a 60.96 mg/100

g, mientras que De la Parra *et al.*, (2007) reportaron un CAT de 9.75 mg/100 g, en tanto que López *et al.*, (2009) indicaron valores desde 62.3 hasta 154.0 mg/100 g para cinco poblaciones de maíces de grano rojo de orígenes diversos.

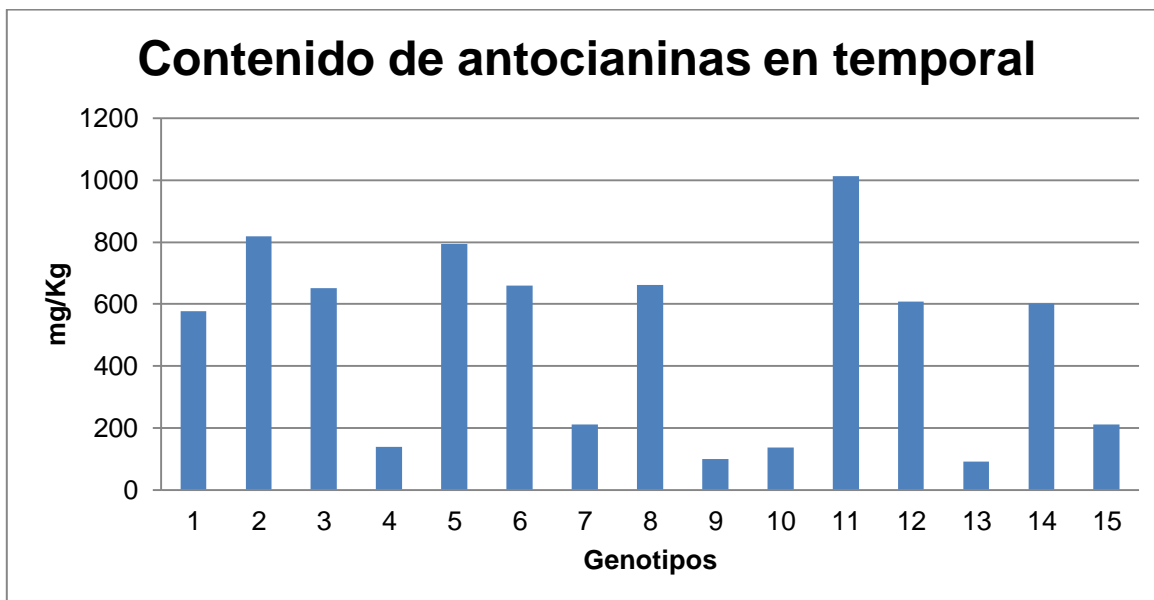


Figura 12. Contenido de antocianinas encontradas en maíces de color en condiciones de temporal en Xalostoc, Morelos, 2011.

La mayor cantidad de antocianinas encontradas en algunas poblaciones de maíz de color azul o azul/violeta probablemente se debe a la influencia de factores de tipo ambiental, del tipo de suelo, temperaturas y principalmente a factores genéticos de las plantas. Esto coincide con lo encontrado por Cuevas *et al.*, (2008) quienes consideran que en los granos de color azul se encuentran presentes la *cianidina* y *delfinidina* las cuales tienen mayor cantidad de grupos hidroxilos y producen un incremento en el proceso de hidroxilación, mientras que en los colores rojos se encuentra presente la *pelargonidina*, la cual tiene mayor cantidad de grupos *metoxilos* que producen un incremento en el proceso de metoxilación. Por su parte Betrán *et al.*, (2001), mencionan que en el grano de maíz azul, la capa de aleurona contiene los pigmentos de antocianina azul que le dan el color. Tales antocianinas se derivan de la *cianidina* y *pelargonidina* Harborne y Gavazzi (1969); una de las principales antocianinas en el maíz azul de Bolivia es la *cianidina 3-glucósido* (Nakatani *et al.*, 1979).

Springer y Stupar (2007) mencionan que una mayor expresión fenotípica de pigmentación por antocianinas podría resultar de las interacciones epistáticas entre los factores de transcripción, y no por las interacciones entre los genes estructurales, es decir, epítasis transcripcional. Esto explicaría por qué algunas poblaciones de color azul y violeta presentaron mayor cantidad de antocianinas en comparación con los granos de color rojo.

6.1.2.2 Cantidades de antocianinas en maíz de fertirrigación

Para poder determinar la cantidad de antocianinas presentes en los granos en el sistema de fertirrigación se enviaron al laboratorio de maíz del INIFAP, 9 muestras de color azul/violeta y 6 de color rojo en dos repeticiones. Las muestras se tomaron sin importar el rendimiento de grano de las poblaciones evaluadas ya que no se consideró que existiera una relación directa con la cantidad de antocianinas presentes en los granos tal como lo demuestran los resultados del análisis.

El resultado del análisis de varianza se muestra en el Cuadro 15, donde se pueden observar diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos evaluados.

Se realizó la prueba de Tukey ($p < 0.01$) donde se corroboraron los resultados de las diferencias estadísticas entre los promedios encontrados. El resultado de este análisis permite observar las diferencias encontradas entre los tratamientos evaluados en cuanto a la cantidad de antocianinas de acuerdo con el resultado de los análisis de laboratorio efectuados.

Cuadro 15. Análisis de varianza para antocianinas en maíces de color en fertirrigación en Xalostoc, Morelos.

FV	GL	SC	CM	F	P > F
TRATAMIENTOS	14	2639749.00	188553.50	114.2353	0.000
BLOQUES	1	1032.00	1032.00	0.6252	0.552
ERROR	14	23108.00	1650.57		
TOTAL	29	2663889.00			

C. V= 7.85%

En la Figura 13 se puede observar que la población número 5 presentó la mayor cantidad de antocianinas con 939.01mg/kg de maíz, seguida por la población 2 con 871.40 mg/kg de maíz, en tanto que el genotipo13 con 146.23 mg/kg fue el que menor cantidad de antocianinas presentó en este sistema, no obstante superó al tratamiento evaluado en temporal. Los materiales que mayor cantidad de antocianinas presentaron fueron los granos de color negro/violeta y los de menor cantidad de antocianinas se presentaron en los granos de maíces de color rojo.

Lo anterior coincide con lo reportado por Salinas *et al.*, (2010) quienes observaron que en maíces de color azul el rango en el contenido de antocianinas fue de 409.5 a 933.8 mg/kg⁻¹ en grano sin germen. Estos valores son consistentes con los informados por otros investigadores en maíces de grano morado (De la Parra *et al.*, 2007) y azul (López *et al.*, 2009). En otras investigaciones realizadas por Salinas *et al.*, (2005) encontraron que en maíces peruano, arrocillo, purépecha y cónico el contenido de antocianinas presentes en la fracción pericarpio capa de aleurona (FPCA) varió de 25.4 a 135.2 mg/100 g.

Estos resultados indican que al emplear láminas de riego de acuerdo con las características del suelo, del cultivo, etapas fenológicas de las plantas, fertilizantes empleados en la fertirrigación (solubles) calculados en función del desarrollo del cultivo, control adecuado de malezas y mejoramiento genético es posible aumentar el rendimiento de grano de los maíces de color y la cantidad de antocianinas ya que estudios realizados por (Brown *et al.*, 2003; Cisneros, 2003) encontraron que es posible lograr un aumento en la cantidad de antocianinas en los maíces de color

mediante el mejoramiento genético y a través del manejo en los factores ambientales controlables.

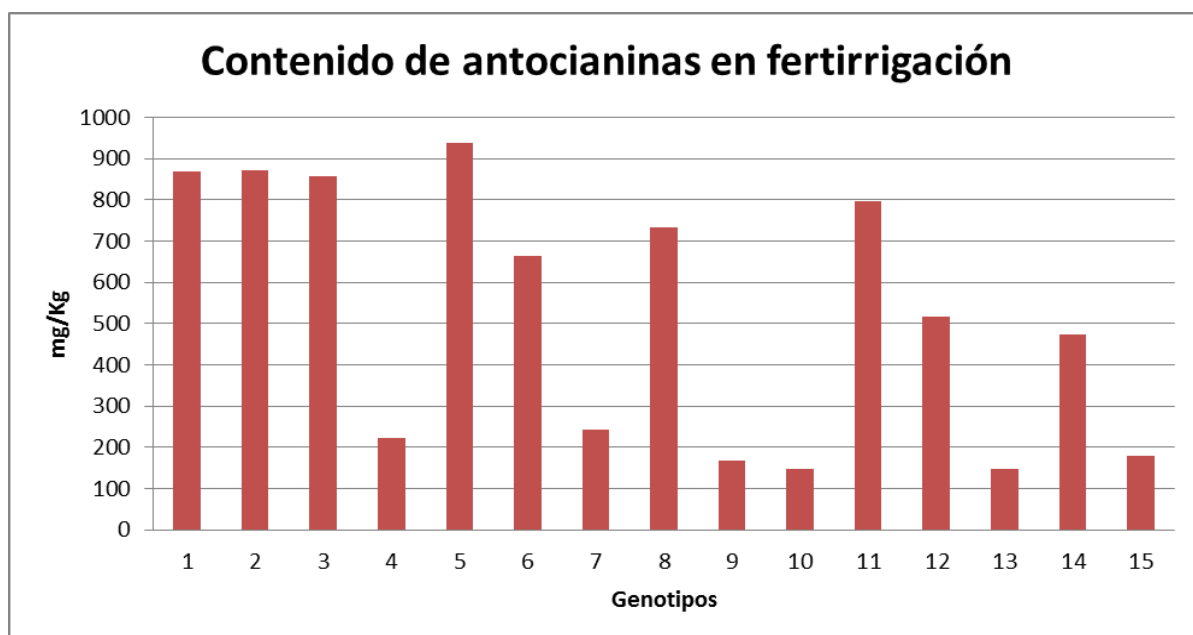


Figura 13. Contenido de antocianinas encontradas en maíces de color evaluadas en el sistema de fertirrigación en Xalostoc, Morelos, 2011.

6.1.2.3. Comparación del contenido de antocianinas en el sistema de temporal y fertirrigación

En la Figura 14 se muestra una comparación de las cantidades de antocianinas encontradas en la evaluación de temporal con respecto a las cantidades encontradas en el sistema de fertirrigación. Donde se puede observar que once genotipos cultivados en el sistema de fertirrigación superaron a los producidos en temporal con excepción de los genotipos 11, 12, 14 y 15, esto probablemente se debe a que en condiciones de fertirrigación se proporciona agua y nutrientes a las plantas en función de sus etapas fenológicas en el momento adecuado, lo que puede dar origen a una mayor cantidad de antocianinas, ya que como lo establece Pierce (2009) la mayor concentración de color de los granos de maíz se presentan en las primeras etapas del desarrollo de las plantas cuando existen condiciones adecuadas del medio ambiente, nutrientes y agua, mientras que cuando estas condiciones no son

adecuadas en estas etapas y se presentan de manera tardía el contenido de pigmentos disminuye de manera significativa.

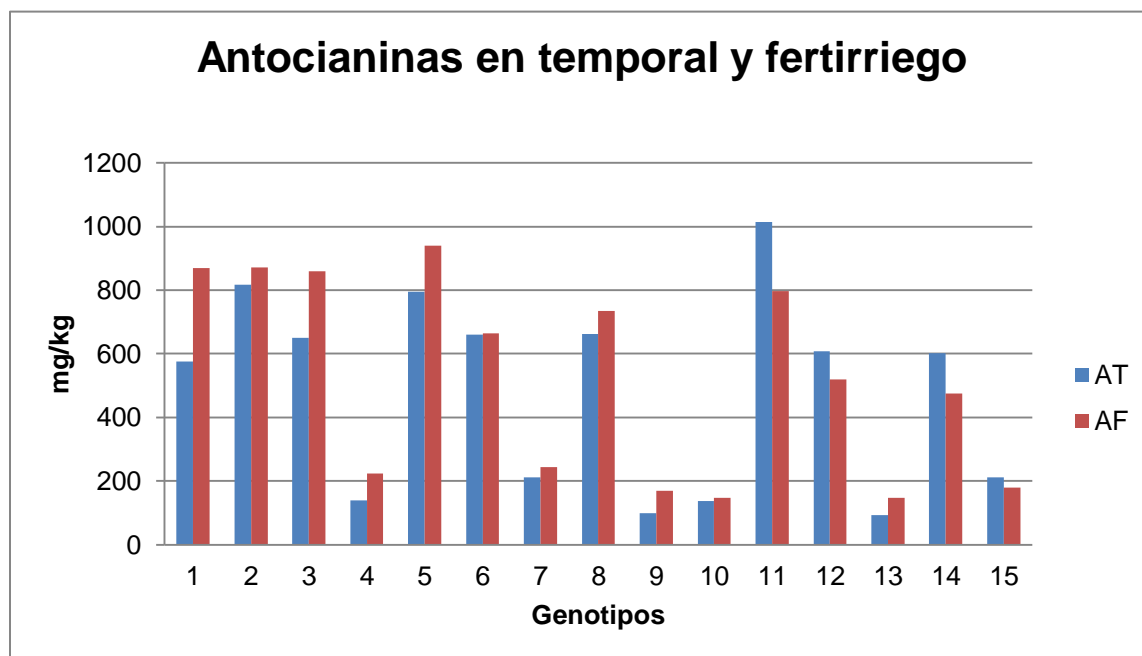


Figura 14. Antocianinas en temporal y fertirrigación en maíces de color evaluados en Xalostoc, Morelos, 2011.

Estos resultados indican que en la Región Oriente del Estado de Morelos existen genotipos de maíz de color que respondieron de manera adecuada a la aplicación de la fertirrigación y que presentaron cantidades significativas de antocianinas. Siendo los maíces de color negro/violeta los que mayor concentración de antocianinas presentaron siendo esta característica de suma importancia para realizar programas de mejoramiento genético con el objetivo de aumentar los rendimientos de grano y la producción de antocianinas para darle valor agregado y mejorar los ingresos de los productores dedicados a la producción y conservación de los maíces de color.

En la Figura 15 se presenta el incremento en porcentaje de las cantidades obtenidas en el sistema de fertirrigación respecto del sistema de temporal, donde se puede observar que en algunos genotipos cultivados en fertirrigación el contenido de antocianinas obtenidas superó hasta en 70% a las obtenidas en el sistema de temporal, sin embargo en los genotipos 11, 12, 14 y 15 la cantidad de antocianinas

fue mayor en el sistema de temporal con respecto del cultivado en fertirriego. Con esto se demuestra que las cantidades de antocianinas pueden incrementarse de manera significativa con el uso del sistema de fertirrigación.

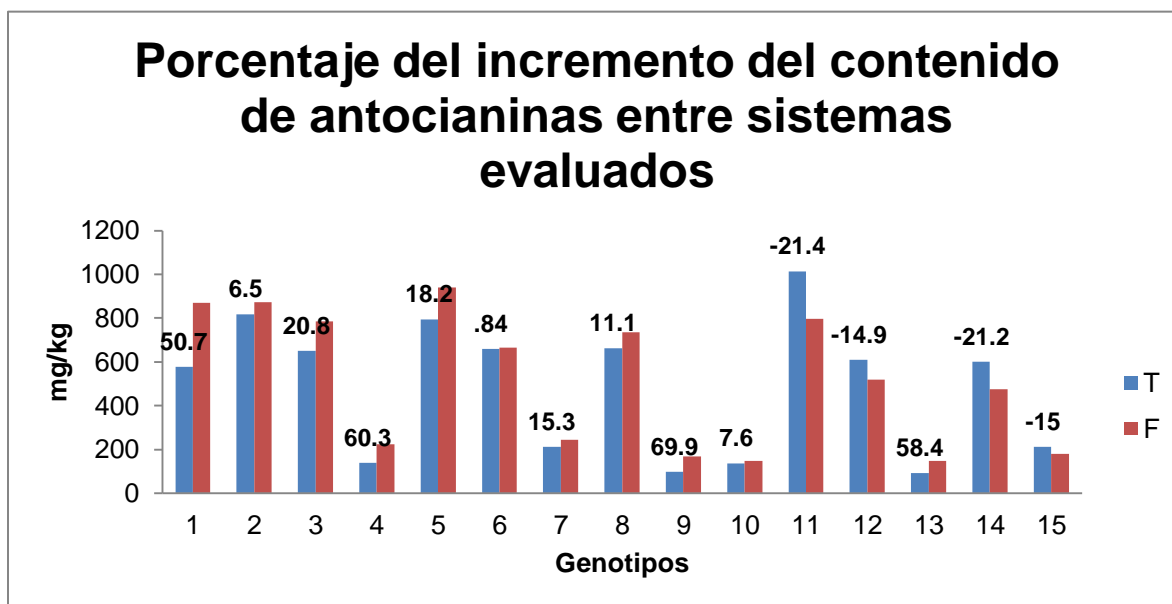


Figura 15. Incremento de antocianinas en maíces de color cultivados en temporal y fertirrigación en Xalostoc, Morelos, 2011.

6.1.2.4. Análisis del contenido de antocianinas en maíces originales y evaluados en temporal y fertirrigación

En la Figura 16 se muestra la cantidad de antocianinas encontradas en las poblaciones evaluadas tanto en el sistema de fertirrigación y temporal con respecto a las cantidades de antocianinas encontradas en los materiales de origen, donde se puede observar que en ocho de las quince poblaciones colectadas en los lugares de origen presentaron una mayor cantidad de antocianinas que en ambos sistemas, cabe hacer mención que también se encontraron poblaciones que incrementaron el contenido de antocianinas en el sistema de temporal y fertirrigación.

Esto probablemente se debe a que estos genotipos están adaptados a medios ambientes específicos, diferentes tipos de suelos, temperatura, nutrición, lluvia y otro tipo de manejo. Sin embargo, se puede observar que también existieron materiales

que superaron a los genotipos de origen, esto probablemente se debe a que cuando son cultivados en ambientes diferentes, con suelos diferentes, temperaturas diferentes, mayores niveles de nutrición, pH del suelo, radiación solar, humedad adecuada en el suelo y sistemas diferentes de producción, es posible incrementar el contenido de antocianinas en los maíces de color.

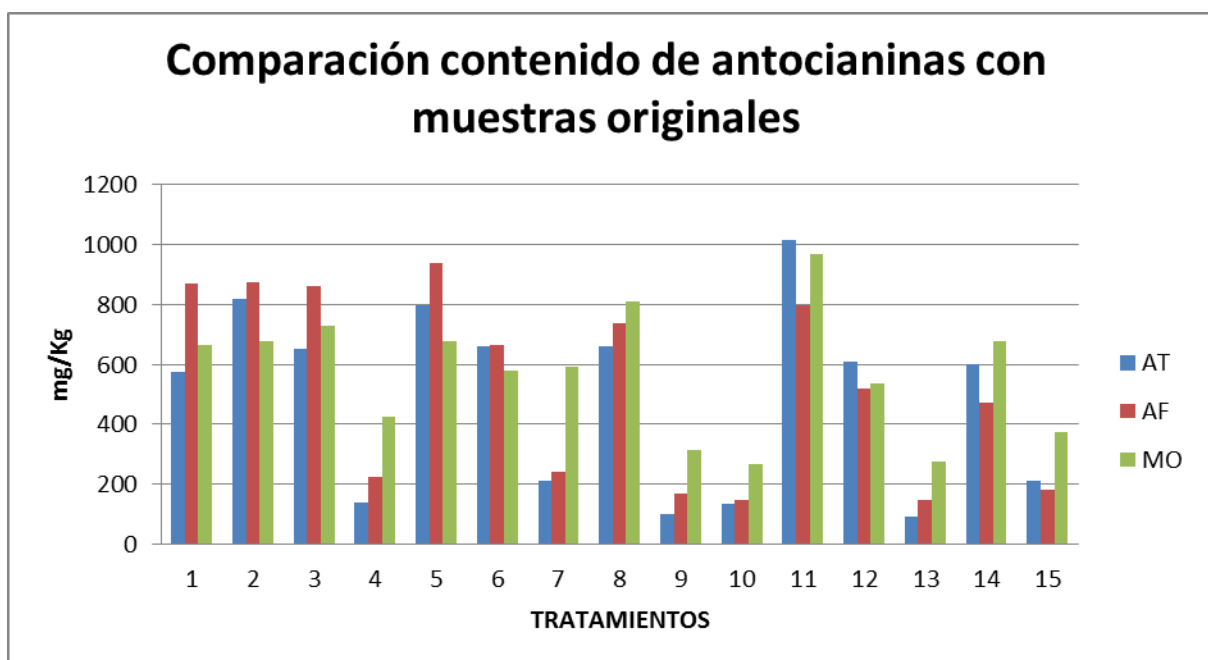


Figura 16. Antocianinas en materiales originales de la Región Oriente y cultivados en temporal y fertirriego en Xalostoc, Morelos, 2011.

Lo anterior coincide con lo reportado por Risco *et al*, (2007) quiénes encontraron que los suelos óptimos para cultivar maíz morado son los suelos profundos con pH entre 5 y 8, con una conductividad eléctrica entre 1 y 4 dS/m., altitudes entre 1,000 y 2,900 m.s.n.m., y que los excesos de humedad limitan la acumulación de pigmentos en la mazorca.

6.2. ANOVA Combinado

Para determinar el grado de respuesta diferencial de los genotipos a dos ambientes de producción (temporal y fertirrigación) o la interacción genotipo ambiente se realizó el ANOVA combinado cuya varianza fue echa a partir de los análisis individuales,

este análisis se realizó con el objetivo de estudiar la interacción de los genotipos con los sistemas de producción.

En lo que respecta a las variables agronómicas evaluadas en campo, (Cuadro 16), se puede observar que en la fuente de variación de Ambiente, solo una de las seis variables (altura de planta), presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), para el resto de variables no hubo diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 16. Cuadrados medios y significancia de caracteres agronómicos en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal y fertirrigación (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.

Fuentes de Variación	G.L	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	DT (mm)	NH
Repeticiones	4	16.60**	17.72**	432.12 ^{NS}	1279.94**	2.14*	4.76**
Ambientes	1	3.60 ^{NS}	27.78 ^{NS}	5849.54*	125.55 ^{NS}	1.37 ^{NS}	7.17 ^{NS}
Error (a)	4	16.60	17.72	432.12	1279.94	2.14	4.76
Poblaciones	14	36.74**	61.50**	1770.21**	1321.30**	4.37**	2.02**
A*P	14	1.36 ^{NS}	0.68 ^{NS}	170.39 ^{NS}	121.38 ^{NS}	1.62*	0.24 ^{NS}
Error (b)	56	1.44	2.15	321.61	157.94	0.75	0.25
Total							
C.V (%)		2.38	2.74	6.60	8.13	3.62	4.01

significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; *significancia al 0.05 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; **GL= grados de libertad; **CV**= Coeficiente de variación; **A*P**: Ambiente por Población.

Por otro lado, la fuente de variación repeticiones mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) para la variable diámetro de tallo y altamente significativas ($P < 0.01$), para floración masculina, floración femenina, altura de mazorca y número de hojas, la variable altura de planta no mostró diferencias estadísticas.

Para la fuente de variación poblaciones todas las variables presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$). Para la interacción genotipo – ambiente (ambiente-

población) solo la variable diámetro de tallo mostró diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). Los coeficientes de variación, mostraron como valor mínimo 2.38 y 8.13% como el valor máximo, correspondiendo a floración masculina y altura de mazorca, respectivamente.

Para las variables correspondientes a los componentes del rendimiento y contenido de antocianinas, (Cuadro 17), se observa que en la fuente de variación de ambiente, 3 de las 7 variables diámetro de olote, número de granos por mazorca y número de hileras, presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), para el resto de variables no hubo diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 17. Cuadrados medios y significancia de componentes de rendimiento en maíces criollos de color establecidos en un sistema de temporal y fertirrigación (Ciclo P-V 2011) en Xalostoc, Morelos.

Fuentes de Variación	G.L	LM (cm)	DM (mm)	DO (mm)	NG	NHi	RG (kg ha ⁻¹)	CA (mg/kg)
Repeticiones	4	0.96 ^{NS}	11.25*	0.49 ^{NS}	868.36 ^{NS}	0.06 ^{NS}	2612826.0**	7290.28 ^{NS}
Ambientes	1	3.52 ^{NS}	51.62 ^{NS}	6.02*	15197.0*	2.92*	16079897.0 ^{NS}	15803.0 ^{NS}
Error (a)	4	0.96	11.25	0.49	868.36	0.06	2612826.0	7290.28
Poblaciones	14	1.98**	19.38**	6.48**	2455.31**	2.07**	1244712.0**	360481.0**
A*P	14	0.84 ^{NS}	3.18 ^{NS}	0.59 ^{NS}	1578.54 ^{NS}	0.31 ^{NS}	267345.0 ^{NS}	14664**
Error (b)	56	0.73	3.71	0.52	867.86	0.27	282404.0	4647.81
Total								
C.V (%)		6.16	4.03	3.20	8.12	4.36	20.84	13.60

significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; *significancia al 0.05 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; **GL= grados de libertad; **CV**= Coeficiente de variación; **A*P**: Ambiente por Población.

En la fuente de variación repeticiones, las variables que mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) y altamente significativas ($P < 0.01$) fueron diámetro de mazorca y rendimiento de grano respectivamente, las demás no mostraron diferencias estadísticas.

Para la fuente de variación poblaciones todas las variables presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$). Para la interacción genotipo – ambiente (ambiente-población) solo la variable cantidad de antocianinas mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$).

Los coeficientes de variación mostraron como valor mínimo 3.20 y 20.84% como el valor máximo, correspondiendo a diámetro de olote y rendimiento de grano, respectivamente.

6.2.1. Efecto de repeticiones

En general, los efectos estadísticos significativos entre repeticiones detectadas por el análisis de varianza combinado indican que en el 53.8% de las variables de respuesta (siete de 13) los resultados fueron diferentes en cada repetición en ambos ambientes evaluados, lo que podría ser explicado por la variación en factores relacionados al suelo como profundidad, fertilidad, pH, etc., lo que origina unidades experimentales heterogéneas en las parcelas de evaluación de cada ambiente (Ibarra, 2011).

A su vez, ésta presencia de heterogeneidad entre repeticiones justifica la elección del Diseño Experimental de Bloque Completos al Azar, ya que uno de los principales fundamentos de dicho diseño según Kuehl (2000) es la formación de bloques que contrarresten el alto grado de variación entre unidades experimentales. Lo cual es apoyado por bajos valores de coeficientes de variación (de 2.38 a 20.84%) lo que indica que el diseño utilizado fue eficiente para contrarrestar la heterogeneidad de cada unidad experimental.

6.2.2. Efecto de poblaciones

La respuesta de las poblaciones de maíces de color a los ambientes evaluados presentó diferencias estadísticas altamente significativas para el 100% de las variables medidas, lo que demuestra que los genotipos tienen un comportamiento diferencial en los ambientes probados y que coincidió con lo esperado debido a que

existe una gran diversificación entre los genotipos colectados, al menos para el grupo de variables tomadas en esta investigación.

Dicha diversificación entre genotipos tiene su origen en primer lugar a que provienen de distintos municipios, todos ellos con características edafoclimáticas y de manejo diferentes entre sí. Por otra parte, el comportamiento diferencial observado entre genotipos puede deberse a que fueron evaluados en ambientes distintos en los que se siembran comúnmente en los cuales se les proporcionó un control de malezas adecuado, dosis y fuentes de fertilización distintas a la empleada y abastecimiento del agua en las etapas esenciales de requerimientos de la misma.

Chávez *et al.*, (2011) mencionan que en diferentes regiones de México, las poblaciones cultivadas de maíz por los pequeños agricultores son altamente dinámicas debido a diversos factores de manejo humano y del ambiente. Entre los primeros se destaca el intercambio de semillas o sistema informal de semillas (Badstue *et al.*, 2006) y la selección que hacen los agricultores de caracteres fisiológicos, de planta y mazorca (Soleri y Cleveland, 2001; Pressoir y Berthaud, 2004). En los segundos está la adaptación natural a micronichos y gradientes altitudinales (Muñoz *et al.*, 2002; Ruiz-Corral *et al.*, 2008; Mercer *et al.*, 2008).

6.2.3. Efecto del ambiente

Se observaron diferencias estadísticas entre ambientes en el 38.5% de las variables (cinco de 13), las cuales pueden ser resultado de diferencias encontradas por algunos factores edáficos específicos como fertilidad, profundidad así como también al factor manejo ya que en la parcela de fertirrigación se suministró la cantidad de agua requerida por las plantas en el momento adecuado, hecho que no fue posible en la de temporal ya que ésta dependió de la presencia de lluvias. También la fertilización fue diferente en ambas parcelas.

En lo que respecta a la variable altura de planta, Evans (1983) indica que existen efectos más directos como las variaciones en el nivel de humedad, nutrición, temperatura, cantidad y calidad de luz de manera que la altura definitiva de la planta

es el resultado final de la influencia que ejerce el conjunto de factores sobre el alargamiento de cada uno de los entrenudos.

El número de granos y número de hileras por mazorca son componentes importantes del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996), los cuales, al igual que rendimiento de grano mostraron diferencias en cada ambiente evaluado. En la parcela de fertirrigación se encontraron los más altos valores para éstas variables lo que concuerda con Ritchie *et al.*, (1993) quienes indicaron que el grano es más pesado debido a una mayor disponibilidad de nutrimentos en el suelo durante el periodo de diferenciación floral, floración y llenado de grano. A su vez, Zepeda *et al.*, (2009) mencionan que la disponibilidad de agua y nutrimentos, así como las condiciones climáticas, modifican la estructura y composición del grano de maíz.

6.2.4. Interacción Genotipo x Ambiente

La interacción G x E es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993).

Con respecto a los efectos en la interacción genotipo- ambiente, hubo evidencia que los maíces de color respondieron de manera diferencial a la variación de cada ambiente evaluado como lo demuestran las significancias estadísticas ($P < 0.01$) en el 23 % de las variables (tres de 13).

Específicamente para la variable contenido de antocianinas que es la de mayor interés en esta investigación hubo interacción genotipo por ambiente. Las interacciones identificadas fueron del tipo de diferencias en magnitud y cambio de rango. Con el propósito de ejemplificar los tipos de interacción encontradas, en el caso de diferencias en magnitud se presenta el caso particular de los genotipos 3 y 12, en donde el 3 fue superior al 12 en ambos ambientes, pero las magnitudes fueron diferentes para cada ambiente ya que en temporal presentaron diferencias estadísticas significativas de 42 mg/kg, mientras que en la parcela de fertirrigación resultaron con un valor de diferencia de 268 mg/kg.

Por otra parte, las interacciones de cambio de rango se ejemplifican al comparar los genotipos 11 y 2 pues presentan patrones de comportamiento diferentes, mientras en el genotipo 2 el contenido de antocianinas aumenta de un ambiente a otro, el genotipo 11 en el ambiente de temporal obtiene 1013 mg/kg y en el ambiente de fertirrigación cae de manera drástica a 796 mg/kg. La Figura 17 muestra los tipos de interacciones de Genotipo-Ambiente de los materiales evaluados en donde pueden observarse las interacciones antes mencionadas.

Los resultados anteriores indican que en general las interacciones de diferencia en magnitud pueden ser explicadas con lo que mencionan Brown *et al.*, (2003) y Cisneros (2003) quienes establecen que un aumento en la cantidad de antocianinas en los maíces de color se puede lograr mediante el mejoramiento genético y a través del manejo en los factores ambientales controlables. Lo que se ejemplifica con los dos ambientes de evaluación ya que en la parcela de fertirrigación se tuvo un control de los factores edafoclimáticos como la fertilización y aplicación de agua.

Caso contrario, para la respuesta de cambio de rango en donde es posible que los genotipos 11, 12, 14 y 15 que obtuvieron mayor cantidad de antocianinas en temporal probablemente se debió a que a estos genotipos tengan una mayor capacidad de fotosíntesis por el número de hojas (12.4, 13, 14.5 y 12.6) respectivamente, comparada con el número de hojas que se tuvieron en las plantas con fertirriego (12.4, 12.5, 13.7 y 11.6) respectivamente, ya que como considera Evans (1983) las plantas de maíz interceptan la luz con diferentes grados de eficiencia, aspecto que depende del índice del área foliar, además de que en altas densidades de siembra aumentan el sombreado recíproco al incrementarse el área foliar por el efecto del crecimiento de la planta, lo que pudo traducirse en que las plantas cultivadas en temporal pudieron captar mayor cantidad de radiación solar probablemente por la menor longitud de las hojas teniendo menos sombreado por la altura de las plantas en este sistema de cultivo.

Esto coincide con lo reportado por Yuri (2006) quien considera que la fotosíntesis y la radiación solar son factores importantes para activar la enzima Fenilalanina-Amonio-Liasa (PAL) indispensable para la síntesis de antocianinas. Por su parte

Gross (1987) considera como uno de los factores ambientales más importantes para la síntesis de antocianinas es la cantidad de luz ya que su efecto se expresa en la activación de diferentes enzimas involucradas en la biosíntesis de dichos compuestos.

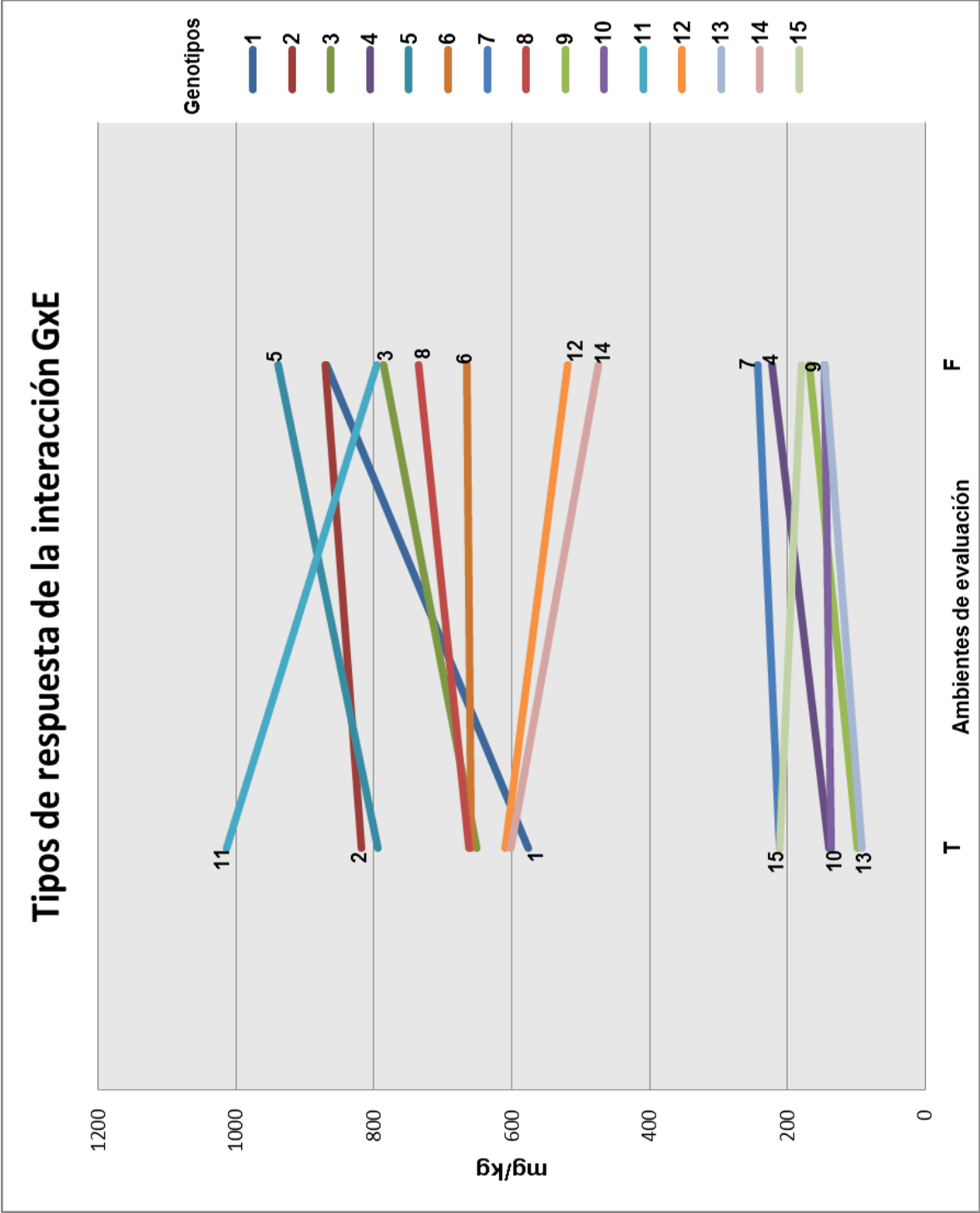


Figura 17. Tipos de respuesta de la interacción Genotipo- Ambiente (GxE) encontradas en maíces de color evaluados en dos ambientes en Xalostoc, Morelos, 2011.

De igual forma pudo tener una influencia la escasez de lluvia, temperatura, presión de selección de las variedades y la expresión génica en el momento de la floración, la formación y la madurez fisiológica del grano presentándose un estrés en las plantas lo que dio como resultado una mayor cantidad de antocianinas en los genotipos 11, 12, 14 y 15 cultivados en temporal, ya que de acuerdo con (Chalker, 1999; Hawrylak 2008) la mayor cantidad de antocianinas se manifiestan como síntomas del estrés y como mecanismos de respuesta al estrés, ya que sin tomar en cuenta su localización la síntesis generalmente es regulada como respuesta a uno o más factores de estrés ambiental como radiación solar intensa, temperaturas extremas, sequía, ozono, deficiencias de nitrógeno y fósforo, herbicidas y varios contaminantes.

Así mismo, la poca cantidad de nitrógeno y fósforo disponible para las plantas influyeron en el crecimiento y desarrollo, ya que debido a las características físicas del suelo, escasez o exceso de lluvia parte de los fertilizantes se perdieron por evaporación o lixiviación, lo que tuvo una influencia directa en la formación de mayor cantidad de antocianinas, ya que como lo establece Gross (1987), al aumentar la dosis de éste nutriente, la cantidad de antocianinas en los frutos se reduce por lo que se postula que a mayor cantidad de N se promueve un mayor crecimiento vegetativo lo que a su vez, limita la entrada de luz, o bien por que al haber más N disponible, hay mayor síntesis de proteínas, que interfiere con la biosíntesis de azúcares y antocianinas.

Por su parte Pierce (2009) menciona que el patrón de pigmentación de un grano depende de la información presente en varios loci, uno de los alelos codificadores de pigmento presente en uno de estos loci puede denominarse C y un alelo en el mismo locus que no confiere pigmento puede denominarse c. Si en el momento de la escisión (división celular) se lleva a cabo en una etapa temprana del desarrollo muchas células conservaran el alelo C funcional y el contenido de pigmentación será grande y si la escisión se efectúa en etapas tardías del desarrollo pocas células conservaran el alelo C funcional y el sector pigmentado será pequeño.

Algunos otros estudios indican que en maíces de grano púrpura, azul, rojo y blanco, es nula la información publicada sobre la aptitud combinatoria del contenido de antocianinas en el grano. Los estudios pioneros de la pigmentación del grano de maíz por antocianinas pretendieron determinar su herencia desde el enfoque mendeliano (East, 1912). Sin embargo, se encontró que algunos alelos de ciertos loci del color del grano segregan de manera impredecible (Coulter, 1920). Entre las razones por las cuales se presenta esa variación en el color de grano están los efectos maternos (Fujii y Kuwada, 1916), la influencia de transposones (Peterson, 2005), la ocurrencia de fenómenos epigenéticos y los cambios sutiles a nivel transcripcional de los genes estructurales de la ruta biosintética (epistasis transcripcional) (Springer y Stupar, 2007).

6.3. Correlaciones Fenotípicas

Es importante la selección de los caracteres cuantitativos más adecuados para la clasificación taxonómica. Algunos autores señalan que los datos morfológicos pueden tener una precisión taxonómica limitada, debido a la interacción ambiental y al desconocimiento de los mecanismos genéticos que controlan esos caracteres (Camussi *et al.*, 1983). Por su parte, otros sugieren que los caracteres morfológicos deben ser estudiados para identificar aquellos que estén altamente correlacionados, los cuales además de tener una alta repetibilidad podrían contribuir a la estimación de las asociaciones entre las poblaciones (Smith y Smith, 1989).

Por estas razones, resulta importante conocer las correlaciones fenotípicas que se dan en las diferentes poblaciones de maíz, de manera que brinden una panorámica clara de los caracteres que se asocian entre sí, permitiendo de esta manera dilucidar cuándo seleccionar sobre un carácter, en cuáles otros caracteres se está influyendo de manera indirecta y si la influencia es positiva o negativa (Martínez *et al.*, 2010).

Grajales (1999), propone una escala que sirve de un criterio guiador para interpretar las correlaciones, (Cuadro 18), haciendo mención a que es el sentido común y la lógica lo que en muchos casos puede guiar en determinar la importancia de una relación observada.

Cuadro 18. Escala de interpretación de coeficientes de correlación (Grajales, 1999).

Coeficiente de correlación	Interpretación
.80 a 1.00	Una alta relación de dependencia
.60 a .79	Una relación entre moderada a acentuada
.40 a .59	Una mediana relación
.20 a .39	Una ligera relación
.00 a .19	Una relación fortuita o insignificante

Por su parte, Morales (2008) muestra una forma de cuantificar (medir) el grado de relación que ayuda a la comprensión e interpretación de los valores obtenidos, presentando tres casos:

Caso 1. Si las dos variables están relacionadas y esta relación es *positiva* → Los sujetos tenderán a estar por encima o por debajo de la media *en las dos variables a la vez*.

Caso 2. Si las dos variables están relacionadas y esta relación es *negativa* → Los sujetos tenderán a estar por encima de la media en *una* variable y por debajo de la media en la *otra*.

Caso 3. Si las dos variables *no* están relacionadas → El estar por encima o por debajo de la media en una variable es *independiente* del estar por encima o por debajo de la media en la otra variable.

Los resultados de la estimación de los coeficientes de correlación fenotípica entre las 13 variables registradas en las poblaciones de maíces de color en ambos ambientes de evaluación (temporal y fertirrigación), se presentan en el Cuadro 19 en donde se puede observar que de los 78 coeficientes de correlación estimados, en 21 de ellos se mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$), mientras que solamente 7 manifestaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). El resto de los coeficientes de correlación estimados, presentaron nula significancia estadística.

Cuadro 19. Correlaciones fenotípicas entre los caracteres medidos en maíces de color cultivados en dos sistemas de producción (temporal y fertirrigación).

	FF	AP	AM	DT	NH	LM	DM	DO	NG	NHi	RG	CA
FM	0.98**	0.74**	0.69**	0.82**	0.81**	0.60*	-0.50 ^{NS}	-0.22 ^{NS}	-0.21 ^{NS}	-0.48 ^{NS}	-0.31 ^{NS}	0.36 ^{NS}
FF		0.70**	0.64**	0.85**	0.78**	0.63*	-0.52*	-0.24 ^{NS}	-0.18 ^{NS}	-0.46 ^{NS}	-0.33 ^{NS}	0.36 ^{NS}
AP			0.85**	0.47 ^{NS}	0.82**	0.57*	-0.03 ^{NS}	0.13 ^{NS}	0.32 ^{NS}	0.03 ^{NS}	0.31 ^{NS}	0.40 ^{NS}
AM				0.35 ^{NS}	0.91**	0.60*	-0.09 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	0.32 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.28 ^{NS}	0.33 ^{NS}
DT					0.52*	0.43 ^{NS}	-0.60*	-0.38 ^{NS}	-0.35 ^{NS}	-0.57 ^{NS}	-0.56**	0.32 ^{NS}
NH						0.74**	-0.28 ^{NS}	-0.12 ^{NS}	0.04 ^{NS}	-0.22 ^{NS}	-0.07 ^{NS}	0.26 ^{NS}
LM							-0.22 ^{NS}	0.26 ^{NS}	0.12 ^{NS}	-0.16 ^{NS}	-0.01 ^{NS}	0.10 ^{NS}
DM								0.67**	0.65**	0.83**	0.69**	-0.13 ^{NS}
DO									0.43 ^{NS}	0.48 ^{NS}	0.35 ^{NS}	-0.09 ^{NS}
NG										0.89**	0.81**	0.35 ^{NS}
NHi											0.72**	0.20 ^{NS}
RG												-0.03 ^{NS}

** : Significancia al 0.01 de probabilidad

* : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS : No significativo

En lo que respecta al grado de asociación entre caracteres, los pares de mayor correlación (positiva) fueron entre floración masculina (FM) y floración femenina (FF), entre altura de mazorca (AM) y número de hojas (NH) y entre altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM), con valores de 0.98**, 0.91** y 0.85** respectivamente. Por otro lado, las variables que mostraron mediana correlación correspondieron a diámetro de tallo (DT) y número de hojas (NH) y floración femenina (FF) y diámetro de mazorca (DM), registrando valores de asociación de 0.52* y -0.52* respectivamente.

En cuanto al rendimiento de grano (RG), esta variable resultó estar asociada solo con el diámetro de mazorca (DM) con 0.69**, número de granos (NG) con 0.81** y número de hileras (NHi) con 0.72**. Particularmente la variable contenido de antocianinas (CA) al menos en este trabajo no presentó correlación con ninguna de las otras variables evaluadas.

El significado de las correlaciones positivas como las identificadas entre altura de mazorca y número de hojas, implicó que las poblaciones con la mazorca más alta

mostraron así mismo una mayor cantidad de hojas así como las más altas mostraron una mayor altura de mazorca.

En contraparte, las poblaciones más tardías mostraron una tendencia a producir mazorcas con menor diámetro de mazorca (más delgadas), según lo revela el valor del coeficiente de correlación entre éstas variables ($r=-0.52^*$).

En la variable rendimiento de grano, las correlaciones estimadas revelaron que las poblaciones con mazorcas más gruesas, con mayor número de grano y mayor número de hileras tuvieron un alto rendimiento de grano.

Los resultados para la variable contenido de antocianinas muestran que éste actúa de manera independiente en la manifestación fenotípica de las poblaciones evaluadas, esto es debido probablemente a que la formación de antocianinas ocurre a nivel celular y las características de las plantas tienen poca influencia en la formación de este tipo de compuestos.

Tal como lo establece Lee y Collins (2001) las antocianinas constantemente se encuentran asociadas con células clorofílicas. Por otra parte la cantidad de antocianinas dependió en gran medida de las condiciones del medio ambiente que se presentaron en la parcela de temporal ya que existió un periodo de quince días sin lluvia coincidiendo con la época de floración lo que ocasionó un estrés en las plantas aumentando la concentración de este producto en los granos de maíz, lo anterior coincide con lo reportado por Mendoza (2012) quien encontró que en un gran número de especies, la cantidad de antocianinas es mayor cuando las plantas se encuentran enfermas o estresadas.

Otro factor que incidió en la acumulación de una mayor cantidad de antocianinas probablemente se debió al incremento de la temperatura que se dio en los días con poca presencia de lluvia pudiendo incidir en la cantidad de antocianinas formadas ya que como lo considera Brat *et al.*, (2006) en condiciones de clima cálido la tasa de acumulación de antocianinas se reduce probablemente debido a que se requiere una

mayor cantidad de energía para la síntesis de pigmento, caso contrario cuando se tiene una menor temperatura se promueve la síntesis y acumulación de antocianinas.

Espinosa *et al.*, (2010) quienes aplicaron un diseño genético para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), maternos (EM) y recíprocos (ER) de la concentración de antocianinas por unidad de peso de grano (CAkg) y el rendimiento de antocianinas por hectárea (RAha) observaron que la producción de antocianinas no presentó asociación con los valores de los componentes del rendimiento ni con las características fenológicas, lo que brinda la oportunidad de formar variedades e híbridos con características agronómicas aceptables, sin alterar la concentración del pigmento.

Datos reportados por Casañas *et al.*, (1989) en su investigación sobre correlaciones genotípicas y ambientales en maíz muestran que obtuvieron una correlación entre floración masculina y femenina altamente significativa con un valor de (0.98**).

Por su parte Ligarreto *et al.*, (1998) al evaluar las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz presenta, correlaciones entre la altura de la mazorca superior con altura de planta (0.82**); así como floración masculina con floración femenina (0.96**).

Asimismo, Muñoz *et al.*, (2000) realizaron una selección recíproca recurrente en poblaciones de maíz y encontraron niveles altamente significativos para las correlaciones positivas entre floración femenina y masculina; altura de planta y altura de mazorca con valores de (1.00**) y (0.70**) respectivamente. Gutiérrez *et al.*, (2004) reportan coeficientes de correlación de (0.99**) para los caracteres agronómicos altura de planta y altura de mazorca, mientras que Martínez *et al.*, (2010) obtuvieron un coeficiente de correlación de (0.80**) para este mismo par de caracteres.

En lo que respecta a la alta correlación entre rendimiento de grano y diámetro de mazorca, Pérez *et al.*, (2000) obtuvieron un coeficiente de (0.42**) encontrando también correlaciones significativas entre rendimiento de grano y el número de

hileras por mazorca (0.40**) como los encontrados en esta investigación, lo que revela la asociación de caracteres a través de poblaciones de maíz de distinto origen genético y/o geográfico.

7. CONCLUSIONES

Derivado de los resultados obtenidos en la presente investigación, se presenta la siguiente serie de conclusiones las cuales han sido contrastadas con cada una de las hipótesis inicialmente planteadas, aceptándose las mismas en todos los casos.

1. Los maíces de color cultivados tanto en temporal como en fertirrigación presentaron diferencias altamente significativas en las variables de floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, número de hojas, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, diámetro de olote y rendimiento de grano, agregando diámetro de tallo, longitud de mazorca y número de granos al sistema de fertirrigación. Lo anterior indica la gran heterogeneidad que presentan los maíces de color cultivados en la Región Oriente del Estado de Morelos y su respuesta al manejo en diferentes ambientes.
2. Existió una diferencia significativa en cuanto al contenido de antocianinas en los materiales evaluados en ambos sistemas con respecto a los materiales cultivados en los lugares de donde fueron recolectados, lo cual demuestra el efecto que tiene el medio ambiente, suelo, manejo del cultivo y la tecnología empleada en la producción de los maíces de color.
3. En la parcela de fertirrigación todos los genotipos evaluados alcanzaron rendimientos superiores con respecto a la de temporal, así mismo, la cantidad de antocianinas fue superior en 11 genotipos predominando los de color azul. Esto demuestra que el empleo de la fertirrigación incrementa de manera notable los rendimientos de grano y de antocianinas en los maíces de color.
4. Existieron poblaciones con bajos rendimientos de grano en la parcela de temporal y contenidos de antocianinas elevado como es el caso del genotipo 11 con $1247.5 \text{ kg ha}^{-1}$ y 1013 mg/kg de antocianinas. Es en estos genotipos donde se pueden realizar trabajos de adaptación a condiciones específicas de

clima y de fitomejoramiento con la finalidad de reducir los problemas de enfermedades principalmente en mazorca y aumentar el rendimiento.

8. ESTRATEGIA DE DESARROLLO AGRÍCOLA PARA LOS PRODUCTORES DE MAÍCES DE COLOR EN LA REGIÓN ORIENTE DEL ESTADO DE MORELOS.

8.1. Introducción

Para tratar de contribuir a la solución de la problemática de los pequeños productores agrícolas que cultivan maíces criollos en condiciones de temporal a partir de la recolección y producción de maíces cultivados en fertirriego y temporal, se plantea la presente estrategia de desarrollo agrícola regional. Esta estrategia se basa en la situación actual que padecen las unidades de producción rural y principalmente los productores de granos básicos debido a liberación de la economía y a las políticas implementadas por la firma del TLC con Estados Unidos y Canadá. En el campo, los programas neoliberales de ajuste estructural comprendieron un proceso de liberalización del sector agropecuario, teniendo como eje fundamental la severa reducción de la participación del Estado en la promoción del desarrollo económico sectorial, así como la apertura comercial, escasez de capital y asistencia técnica lo que ha dejado en indefensión total a los productores agrícolas y principalmente a los pequeños productores de granos básicos en condiciones de temporal destinados al autoconsumo, logrando que estén fuera de toda posibilidad de competir en el mercado nacional e internacional. La política de modernización del campo no se refleja en este sector, ya que han desaparecido los principales apoyos de los programas, afectando a las instituciones que proporcionaban asistencia técnica a la producción agrícola (Calva, 2004).

La entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) ha traído graves consecuencias a la agricultura nacional, tal como lo establece un estudio de la Comisión de Agricultura y Ganadería de la Cámara de Diputados acerca del efecto del TLC en el campo mexicano en el que concluye que después de 14 años de entrar en vigor “los efectos a las poblaciones rurales son desastrosos” acentuando las condiciones de miseria y marginación en el campo y su reactivación económica y productiva no ha sucedido (CAGCD, 2008).

En la agricultura del Estado de Morelos los efectos destructores del TLC se profundizan debido a lo precario de su estructura productiva caracterizada por una actividad agrícola escasamente tecnificada y principalmente orientada solo a la subsistencia familiar. A pesar de ello, la agricultura sigue siendo una de las principales actividades productivas y fuentes de empleo para muchos de sus habitantes lo que les permite allegarse recursos económicos para su existencia. Sin embargo es notoria la existencia de múltiples problemas sobre todo dentro de la producción de granos básicos como el maíz, abandonando esta actividad por su baja rentabilidad y condiciones agroclimáticas inciertas.

La alternativa para lograr el desarrollo agrícola regional en cuanto a la producción campesina es el fortalecimiento de las organizaciones de productores, siendo la base para mejorar cuantitativa y cualitativamente los procesos productivos y la apertura de mercados a mayor escala, con precio más atractivo para los productores, lo que se reflejaría en una mayor rentabilidad (García *et al.*,2001). Para efectuar la comercialización ésta, debería ser mediante contratos formales y alianzas estratégicas asociando capacidades y recursos entre empresas relacionadas con el medio rural y organizaciones económicas de productores para incrementar el valor agregado de sus actividades (FIRA-BANCO DE MÉXICO-SAGARPA, 2002).

Una de las acciones que se consideran adecuadas para mejorar las condiciones de vida de los pequeños productores agrícolas de temporal en la Región Oriente de Morelos es el rescate y cultivo de las variedades de maíces criollos de color, mediante la elaboración de una estrategia de desarrollo agrícola regional, cuyos conceptos se fundamentan en el análisis y evaluación de las mejores opciones que se deben seguir para lograr el proceso de desarrollo agrícola.

8.2. Potencialidad de los maíces criollos de color

En México, el maíz criollo de color es de enorme importancia para los habitantes de las distintas regiones como recurso natural, ya que representa para los pequeños productores de las zonas rurales una gran importancia desde el punto de vista social y económico, debido a los subproductos que se pueden obtener, ya que en sus granos se encuentran sustancias químicas como las antocianinas que contribuyen a mejorar y conservar la salud de los consumidores y que pueden ser aprovechadas en la industria alimenticia como colorantes naturales y medicinales . Además de su empleo en la elaboración de diversos platillos por su sabor y color como tortillas, tlacoyos, gorditas, atoles, pinole, etc. (Salinas *et al.*, 2010). También los subproductos generados por este cultivo como son los esquilmos y las hojas son utilizados por los productores para alimento de animales de traspatio y para su comercialización.

8.3. Problemática de la región

En la región de estudio existe una gran gama de problemas por los cuales un productor abandona el cultivo de maíz y principalmente los maíces de color; estos se enfrentan a un ambiente de incertidumbre económica a la luz de la liberalización del sector agrícola lo que llevó a disminuir la participación del Estado, reducción de los subsidios destinados al campo, eliminación de los precios de garantía, servicios de extensión agrícola, la inclusión del maíz en el Tratado de Libre Comercio y la caída de los precios, dejando de ser rentable su producción. Adicionalmente, existen problemas de manejo, carencia de recursos económicos, elevada migración de la gente joven, escasa o nula asistencia técnica, carencia de organización para la producción y comercialización y nula agroindustrialización.

Por lo anterior es de relevancia la construcción de una propuesta de desarrollo agrícola regional, donde se consideren aspectos de transferencia de tecnología como son los sistemas tecnificados de riego y de nutrición, esquemas de educación,

capacitación, asistencia técnica con la apropiación del conocimiento por parte de los productores y su familia, esquemas de organización y la creación de agroindustrias para darle mayor valor agregado y la búsqueda de mercados nacionales o internacionales para los maíces de color.

8.4. Objetivos de la estrategia

Los objetivos de la propuesta son:

1. Elevar los ingresos de los productores de maíz de color a través de la conservación, producción, tecnificación, mejoramiento genético, incrementos de la producción y comercialización mediante la creación de pequeñas microempresas en la región que contribuyan a mejorar sus necesidades básicas de alimentación, salud, vivienda, educación, vestido y calzado, considerando el cuidado de los recursos naturales y el medio ambiente.
2. Creación de empleos en la región evitando la migración de los jóvenes de la región.

Para ello será importante la participación de instituciones de gobierno Federal, Estatal o municipal como SAGARPA, FIRA, FIRCO, SEDESOL, SEDAGRO, SEDESOL, Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, y Desarrollo agropecuario municipal para adquirir insumos como fertilizantes, herbicidas y todo lo relacionado con el sistema de fertirrigación, créditos baratos y oportunos. En cuanto a las instituciones de educación media y superior su participación sería el proporcionar equipos interdisciplinarios para realizar actividades de investigación en transferencia de tecnología, capacitación, educación, aspectos de organización, economía, administración, mejoramiento genético, a través de seminarios, cursos rápidos, talleres, relacionados con los sistemas de producción de los maíces criollos, así como la implementación de parcelas demostrativas para la adopción de la tecnología.

Bajo este contexto, es importante considerar que la planificación puede ser utilizada como una herramienta indispensable para reducir el riesgo y la incertidumbre que enfrentan las diferentes organizaciones proporcionando los elementos adecuados para el logro con mayor certidumbre de las actividades a las que se dediquen. De Mattos, (1988) establece que un propósito de la planificación es considerar las diferentes situaciones políticas y macroeconómicas del país, del estado, de la región y del ámbito local ya que al implementar una serie de acciones y decisiones estas inciden en el logro de determinados objetivos.

El concepto de planificación adquiere relevancia puesto que es una herramienta de mucha utilidad al reducir el riesgo y la incertidumbre que enfrentan las distintas organizaciones, su propósito consiste en proporcionar los elementos necesarios a las organizaciones para que estas lleguen a alcanzar, con mayor certidumbre, el éxito en las actividades a las que se dediquen.

Tal como lo establece Soms (1995) dentro de la planificación y ya en lo específico la planificación regional considera la articulación con el funcionamiento del sistema espacial, buscando incidir racionalmente sobre los factores que han dado como resultado la actual configuración.

La planificación regional no es ajena a la dinámica territorial y a los impactos de las políticas macroeconómicas. Las desigualdades regionales no son sólo el resultado de aquellas, sino además, de un conjunto de elementos propios de las regiones. El conjunto de tendencias presentes en el ámbito internacional de corte económico, político, social y cultural, representan retos que los gobiernos nacionales y las sociedades organizadas deben enfrentar para poder impulsar el desarrollo, debe ser efectuada de acuerdo con las condiciones de recursos naturales, económicos, sociales, culturales, políticos e institucionales tanto de gobierno como de educación media y superior con la finalidad de no implementar modelos importados de otras regiones y países ocasionando problemas para el logro de los objetivos planteados,

motivo por el cual no se ha logrado el desarrollo de las distintas regiones (Bahena, 2006).

Para el logro de la planificación regional es importante la aplicación de una estrategia o estrategias que contribuyan a lograr los objetivos planteados y que indiquen el camino o caminos a seguir. Bajo esta perspectiva el concepto de estrategia se ha empleado de diversas formas de acuerdo con las actividades del ser humano. En el caso de esta investigación su importancia radica de acuerdo con Boisier (1990), en que la estrategia es una manera de actuar, enfrentar la realidad (que no es un medio puramente físico e inanimado, sino por el contrario un medio social) que implica un intento de anticipación a las reacciones que desata una acción dada, y por tanto se supone un conocimiento acerca del patrón de conducta (pasado, presente, futuro) de quien reacciona, sea un individuo, una empresa, una colectividad o un Estado. En tanto que Coraggio (1994) considera que la estrategia son las formas de acción organizadas en situaciones conflictivas, así el término estrategia hace referencia a la anticipación de una serie de eventos en relación con el objetivo.

En cuanto a la estrategia, la FAO (2004) considera que constituye tanto la visión de lo que el sector debería ser en el futuro como el mapa de ruta que muestra cómo alcanzar dicha visión. Su punto de partida es la situación actual de la agricultura y la problemática que enfrenta. Por lo tanto, la estrategia debe proporcionar una visión clara de lo que se pretende lograr en donde la participación de los actores sociales que son los agricultores es fundamental para el logro de los objetivos planteados, así, como el trabajo interdisciplinario que se requiere para realizar investigación científica para resolver la problemática encontrada.

Por lo anterior, los objetivos que se pretenden lograr con la elaboración y aplicación de la estrategia de desarrollo agrícola para la Región Oriente del Estado de Morelos buscan 1. Elevar los ingresos de los productores rurales a través de la producción de los maíces de color mediante la aplicación de tecnología como lo es la fertirrigación para elevar los rendimientos. 2. Seleccionar los mejores genotipos en cuanto a la cantidad de antocianinas para darles un valor agregado mediante la transformación

en subproductos. 3. Efectuar un programa de fitomejoramiento para homogenizar genotipos en cuanto a rendimiento y cantidad de antocianinas. Todo ello considerando el cuidado del medio ambiente mediante el empleo de tecnologías adecuadas de producción, al igual que la generación de empleo para los habitantes de la región, mediante la construcción de redes de producción y la creación de pequeñas empresas familiares para la transformación y agregación de valor a la materia prima.

8.5. Componentes de la Estrategia de Desarrollo Agrícola Regional para los productores del Oriente de Morelos

Con base en el análisis presentado anteriormente se plantean una serie de componentes de la estrategia para el logro de los objetivos planteados (Figura 18), los cuales se encuentran interrelacionados y que deben considerarse y adaptarse para lograr construir una estrategia de desarrollo agrícola regional cuyo eje central sea el cultivo de maíz de color, los cuales se presentan a continuación.

8.5.1. La organización

El primer componente de enorme importancia es la organización de los productores ya que es el primer eslabón de la estrategia y puede ser considerado como un aspecto de gran importancia en el logro de los objetivos, debiendo buscar las formas de cómo concientizar a los productores de trabajar de manera organizada para aumentar las probabilidades de éxito de la estrategia planteada y del compromiso que deben asumir dentro de la organización.

8.5.2. Financiamiento

El financiamiento rural es otro de los aspectos de enorme importancia en la formulación de la estrategia ya que la disponibilidad de recursos económicos permite el incremento de la producción y la productividad, generación de empleo y el impulso de la actividad económica y el desarrollo regional. Una forma de obtener el financiamiento es a través de instituciones que proporcionen créditos agrícolas (FIRA, SAGARPA, Gobierno del Estado, Financiera Rural, Fondo para el apoyo a

proyectos productivos en núcleos agrarios), recursos propios, cajas populares y cooperativas. Con los recursos económicos se podrán adquirir insumos a emplearse en el manejo del cultivo, cosecha, acopio, selección, empaque, transporte y comercialización de los maíces de color. De todas las fuentes de financiamiento consideradas Financiera Rural es la que mejores ventajas ofrecen a los productores rurales ya que se caracteriza por entregar créditos oportunos y con una tasa de interés muy bajo a lo largo de la vida útil del proyecto.

8.5.3. Tecnología

Con el objetivo de incrementar los rendimientos es necesario la implementación de nuevas tecnologías como el sistema de riego por goteo y fertirrigación por lo cual, se propondrá realizar una transferencia de tecnología mediante recorridos de campo, parcelas demostrativas, cursos de manejo del sistema en ayudantías municipales y en campo. Para ello, es necesario contar con un equipo técnico el cual se encargará de realizar dicha capacitación a todos los actores involucrados en el proceso. Este equipo técnico estaría conformado por un grupo interdisciplinario de investigadores en ciencias agrícolas, administrativas, de organización, donde instituciones como la UAEM, INIFAP y Gobierno del Estado participen con personal calificado para el logro de los objetivos.

8.5.4. Mercados y Comercialización

Para el logro de la estrategia se plantea contar con un estudio de mercado adecuado para la venta de los maíces de color, de tal manera que se logre la colocación del producto ofertado a un buen precio. Esta investigación de mercados sería realizada por personal especializado como son los economistas o ingenieros agrónomos especialistas en proyectos agrícolas quienes se encargaran de la investigación de mercados en el ámbito regional, nacional e internacional. Para ello se requiere de la identificación y generación de canales adecuados de comercialización ya que estos dos aspectos son fundamentales en el buen funcionamiento de la estrategia. Posteriormente se conformaría un comité de comercialización conformado por productores, técnicos y personal administrativo quienes serán los encargados del

acopio del producto, distribución, ventas y analizar los aspectos de la posible agroindustrialización de los maíces de color.

8.5.5. Infraestructura

Es necesario contar con infraestructura para la producción, adquisición de una seleccionadora, empacadora, molino, equipo y reactivos para la extracción de colorantes, con la finalidad de darle valor agregado y una excelente presentación en el mercado, sobre todo si se proyecta competir en un mercado extranjero. En el largo plazo se plantea la construcción de dos bodegas con capacidad para cien toneladas para almacenar granos o mazorca para manejar diferentes precios. Posteriormente y de acuerdo con el crecimiento en la producción de maíz y demanda en el mercado se analizaría la posibilidad de adquirir maquinaria como tractor, desgranadora, remolques, pala mecánica, transportador de grano, tolva medidora, molinos, recolector de harina y equipo como tolvas, calderas, tanque de almacenamiento de agua, refractómetros, cromatógrafos, para el análisis del contenido de antocianinas y la posible obtención de colorantes naturales. Todo ello es factible a partir de que existen las condiciones ambientales, genotipos, personal capacitado, recursos humanos, vías de comunicación eficientes y quizá el único limitante es la disponibilidad de recursos económicos.

8.5.6. Insumos

Para el logro de la estrategia es importante contar con insumos necesarios en cuanto al proceso productivo, comercialización y agroindustrialización. Para ello es necesaria la participación de las instituciones gubernamentales como SAGARPA, SEDAGRO, CADER, BID, apoyando a los productores en sus diferentes programas como Alianza para el Campo, PROCAMPO, FAPPA, FIRCO, FONAES, PRODESCA, Apoyos a la comercialización ASERCA, que inciden en la producción agrícola, lo cual les permita a los productores hacer del cultivo de maíces de color la base de su desarrollo económico y por lo tanto contribuir a mejorar el bienestar social de la región.

8.5.7. Diversificación del uso de los maíces de color

Se recomienda la aplicación de tecnologías sustentables en el Oriente del Estado de Morelos encaminadas al manejo sustentable de los recursos naturales como el suelo y agua mediante la utilización del sistema de riego por goteo con la técnica de fertirrigación en los sistemas productivos para aumentar los rendimientos de grano y diversificar los usos de los maíces de color. Entre ellas se considera la producción de elotes, mejoramiento de las variedades, obtención de semilla certificada, elaboración de tostadas, chalupas, totopos, harinas, pinole, vinos, aceites y otros derivados que pudieran obtenerse derivados de la investigación.

8.5.8. Participación de las instituciones

Para el logro de la estrategia de desarrollo agrícola planteada para la Región Oriente se requiere de la participación activa del Gobierno Federal, Estatal, municipal y local a través de sus diferentes programas de apoyo a la producción y creación de infraestructura. Es de igual importancia la participación de las universidades a través de cursos de capacitación para la apropiación del conocimiento por los productores. Por lo tanto, es importante la construcción de apoyos a la educación, capacitación para la producción, organización, asistencia técnica, investigación especializada, exclusivamente para los productores de maíces de color para que sea parte importante del desarrollo económico de la región y de las familias, logrando el bienestar de las comunidades que conforman la Región Oriente de Morelos. Además es importante concientizar a los productores de la importancia de su participación para el logro de los objetivos establecidos en la estrategia.

Esta estrategia de desarrollo agrícola regional diseñada para la Región Oriente del Estado de Morelos puede ser implementada mediante la participación de los tres niveles de gobierno ya que existen programas de apoyo a los productores rurales que pueden ser aprovechados, está dirigida a los productores de maíces criollos que siguen produciendo de manera individual y no se encuentran organizados, por lo que

es indispensable en un futuro el poder organizarlos para que puedan tener mejores oportunidades de manejar sus recursos de manera adecuada.

Para poder ejecutar la estrategia de desarrollo agrícola regional se requiere de la participación de un equipo interdisciplinario formado por especialistas en diversas ramas del conocimiento ya que la problemática que existe en las unidades de producción agrícola es imposible eliminarla o reducirla con un solo técnico, además de requerir de la participación activa de los productores que son el objetivo de esta propuesta.

Estrategia de Desarrollo Agrícola por los productores de maíces de color de la Región Oriente de Morelos.

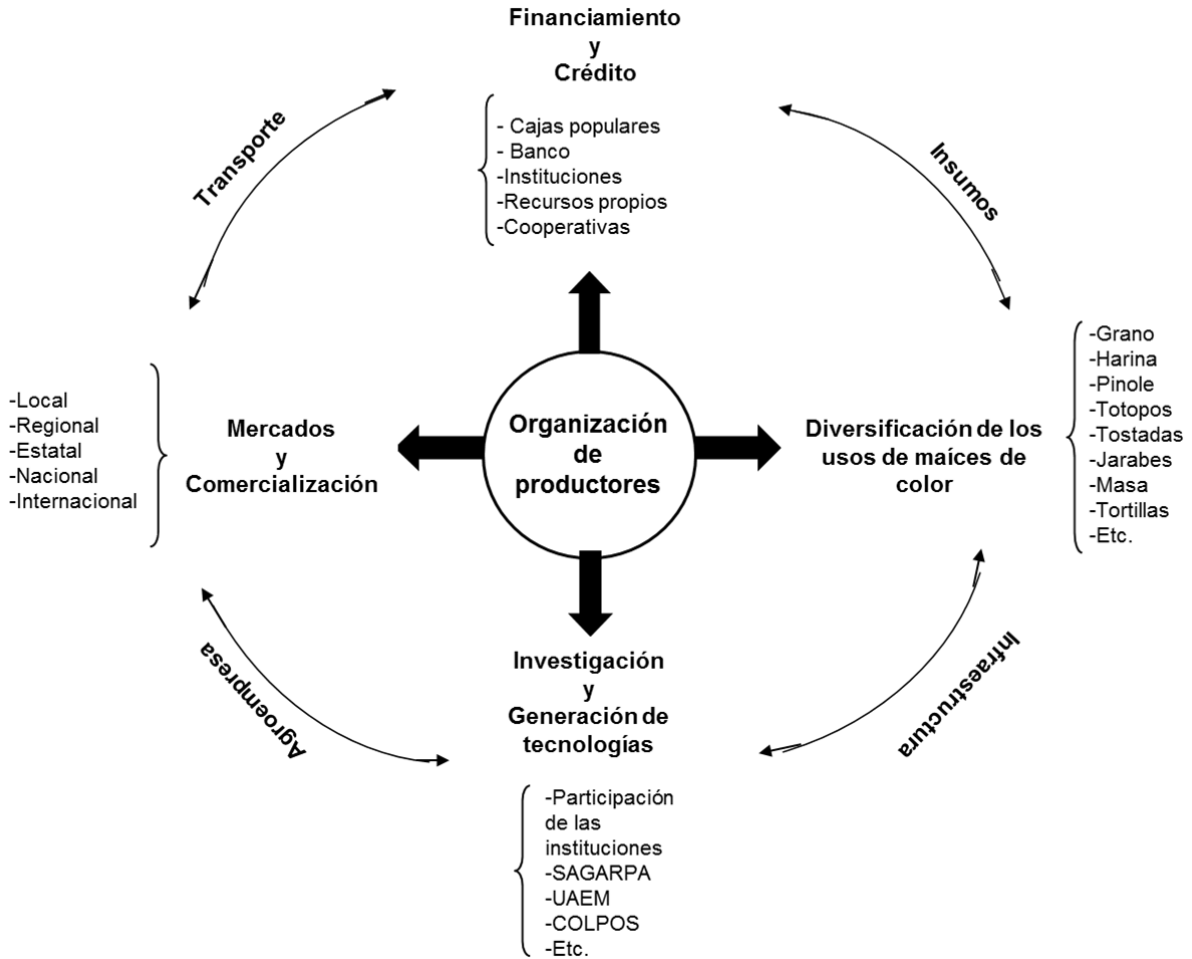


Figura 18. Componentes de una Estrategia de Desarrollo Agrícola para los productores de la Región Oriente, Morelos.

9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abdel-Aal E-S., Young C. y Rabalski I. 2006. Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple and Red Cereal Grains. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 54.
- Andrade F, Cirilo A, Uhart S y Otegui M E. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa y Dekalb Press, Buenos Aires, Argentina.
- Aquino, M. P. R., Carrión P. F., de la Rosa, Z. A., Cruz, A. L., Martínez S. M. A., Almazán J. I. 2003. Estadísticas. La productividad y competitividad del cultivo de maíz en el Estado de México. Programa de Economía del CIMMYT. México D. F.
- Araujo, C. 2003. "Non-agricultural employment growth and rural poverty reduction in Mexico during the 90s", *Working Papers*, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Berkeley.
- Asen, S; Stewart, R.N.; Norris, K.H. 1972. Co-pigmentation of anthocyanins in plant tissues and its effect on color. *Phytochemistry*, 11.
- Astrid, G. G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Asturias, M. A. 2004. Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. Acción Ecológica. Red por una América latina libre de transgénicos Quito- Ecuador.
- Awad, M. A., De Jager A. Van Westing L. M. 2000. "Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit: characterization of variation". *Scientia Horticulturae* (83).
- Badstue, L. B., Bellon, M. R., Berthaud, J., Juárez, X., Manuel-Rosas, I., Solano, A.M., Ramírez, A. 2006. Examining the role of collective action in an informal

seed system: a case study from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. Human Ecology No.34, Vol. 2.

Bahena, D. G, Broa R. E, Vázquez S. J. M, Morales S. M, Delgado E. I, Sainz A. M. de J. 2009. Sustentabilidad del agua en la producción de maíces criollos en Xalostoc, Morelos, México. Rev. Agricultura Sociedad Desarrollo. Vol. 6 No 2. Colegio de Postgraduados. Montecillo Texcoco Edo. de México.

Barcelata, Ch. H. 2008. La economía mexicana. Crisis y reforma estructural. 1984-2006. Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/libros/2008b/383/.

Barkin, D. 2003, "El maíz y la economía", pp. 155-176 en *Sin Maíz, No Hay País*, G. Esteva y C. Marielle (eds.), México, CONACULTA, Museo Nacional de Culturas Populares.

Benz, B. F. 1997. Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. Arqueología mexicana 5(25).

Benz, B. F. 2001. Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz. PNAS 98 (4).

Benz, B. F. 2006. Maize in the Americas in Staller J.E., R.H. Tykot & B.F. Benz (ed.) Histories of Maize. Elsevier-Academic Press. EUA.

Betrán, F. J, Brockholt A. J, Rooney L. 2001. Bue corn. *In: Specialty Corns*. A. R. Hallauer (ed). Iowa State University. Ames Iowa, USA.

Birks S. The Potential of Carrots. Food-Manuf. 1999; 47(4).

Boisier, S. 1990. Ideas básicas para el desarrollo estratégico regional. ILPES (Documento de trabajo). Santiago de Chile.

Boulton, R. 1995. Red wines. En: *Fermented Beverage Production*. Lea, A.; Piggott, J. (Eds.), Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London.

- Boulton, R. 2001. The Copigmentation of Anthocyanins and Its Role in the Color of Red Wine: A Critical Review. *American Journal of Enology and Viticulture*. Vol. 52 (2). U. S. A.
- Brat P., George S., Bellamy A., Chauffaut, Du L., A. Scalbert, A., Mennen L. 2006. Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *Journal of Nutrition*.
- Brouillard, R. 1982. Chemical structure of antocianyns. In: *Antocianyns as food colors*. P Markakis (ed). Academic Press. New York.
- Brown, C. R., Wrolstad, R., Durst, R., Yang, C. P. Clevidence, B. 2003. Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins. *Amer. J. Potato Res.* 80.
- Calva J. L. 1995. El modelo neoliberal mexicano: costos, vulnerabilidad alternativas. 2da edición Juan Pablos editor, S. A. México D. F.
- Carpenter, J., Sánchez G. & E. Villalpando 2005. *The Late Archaic/Early Agricultural Period in Sonora, Mexico. New Perspective on the Late Archaic Across the Borderlands*. University of Texas Press, Austin.
- Carpenter, S. J. 2006. Reflexiones sobre el maíz prehispánico en Sinaloa y Sonora. Comunicación personal.
- Carvajal, O. Waliszewski S., Infanzon R. M. 2006. Los usos y maravillas de la Jamaica. *Revista Ciencia y el Hombre*. No. 2. Universidad veracruzana.
- Carvalho, P.R. 1992. Potencialidade dos conservantes naturais. *Revista Brasileira de Corantes Naturais* 4.
- Chávez S, J L, Diego F P y Carrillo R, J C. 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en san Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Revista ra ximhai*, No. 1, Vol. 7. Universidad Autónoma Indígena de México .Mochicahui, el fuerte, Sinaloa, México.

- Chalker, S. L. 1999. Environmental Significance of Anthocyanins in Plant Stress Responses. In: Photochemistry and Photobiology. Vol. 70 University of Washington, Seattle, WA, USA.
- Chen, L. J.; Hrazdina, G. 1981. Structural properties of anthocyanin flavonoid complex formation and its role in plant color. *Phytochemistry*, 20.
- Chou, S. Matsui, K. Misaki, T. Matsuda. 2007. Environmental Science & Technology. 41 [2], 652-657. *In: Castañeda et al.* Estudio de efectos que afectan la estabilidad de antocianinas y piranoantocianinas en solución acuosa mediante herramientas estadísticas. México D. F.
- Cisneros, Z. L. 2003. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding value of fresh fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 68.
- Clydesdale F. M. and Francis F. J. 1976. Pigments. En: Principles of Food Chemistry, Part I, Food Chemistry, 1st ed. Marcel Dekker, New York. . *In: Caracterización y estabilidad de las antocianinas de higo ficus carica variedad misión, cultivado en ciudad lerdo Durango, México.*
- Comisión de Agricultura y Ganadería de la Cámara de Diputados (CAGCD). 2008. Desastrosos efectos del TLCAN en el agro. La jornada. México D. F.
- Comisión Estatal del Agua y Medio ambiente (CEAMA). 2000. ESTADO DE MORELOS: Ordenamiento Ecológico del Territorio, Caracterización y Análisis de Ocupación del Territorio. Gobierno del Estado de Morelos. Cuernavaca Morelos.
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM). 2011. Impactos económicos, sociales y culturales de la posible introducción de maíz y otras especies genéticamente modificadas en México. México D. F.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008. Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz. México, D. F.
- Coraggio, J. L. 1994. Territorios en transición, crítica a la planificación regional en América Latina. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Edo. de México.
- Coulter, M. C. 1920. Inheritance of aleurone color in maize. *Bot. Gazette* 69:407-425.
In: Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. Rev. Fitotecnia mexicana. Vol. 33 (1).
- Cruz, H. E., Verdalet G. I. 2007. Tortillas de maíz: una tradición muy nutritiva. *Revista la Ciencia y el hombre. Vol. XX. No. 3. Universidad veracruzana. Veracruz, México.*
- Cuevas, M. E., Antezana A., Winterhalter P. 2008. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. *Memorias Red-Alfa Lagrotech. Comunidad Europea Cartagena, Colombia.*
- Cuevas, M. E., Antezana A., Winterhalter P. 2008. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. *Universidad Javeriana, departamento de química. Bogotá Colombia.*
- Darías M. J, Carrillo M, Diaz E, Boulton R. 2001. Enhancement of red wine colour by pre-fermentation addition of copigments. *Food Chemistry, 73.*
- De la Parra C, Serna S. S. O, Hai L. R. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem. 55.*
- De Mattos C. 1988. Política planificación y gobierno. Fundación ALTADIR. Caracas, Venezuela.

- Dey P. M., Harborne J. B. 1993. Plant phenolics Methods. In Plant Biochemistry, Academic Press Limited, England. *In: Castañeda et al.* Estudio de efectos que afectan la estabilidad de antocianinas y piranoantocianinas en solución acuosa mediante herramientas estadísticas. México D. F.
- Dirección General de Estudios Agropecuarios y Pesqueros (DGEAP). 2009. Síntesis del Sector Agropecuario de Morelos. SAGARPA. México D. F.
- Doebley, J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1987. Patterns of isozyme variation between maize and Mexican annual teosinte. *Econ. Bot.* 41(2).
- Durante, M. J., Pifferi P. G., Spagna G. and Gilioli E. 1995. Partial Caracterización of *Vitis vinifera* grape var. Ancellota, *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 28:635. *In: Caracterización y estabilidad de las antocianinas de higo ficus carica variedad misión, cultivado en ciudad lerdo Durango, México.*
- Durst R y Wrolstad R, E. 2001. Separation and Characterization of Anthocyanins by HPLC. *In: Handbook of Food Analytical Chemistry.* New Jersey: John Wiley & Sons.
- East, E. M. 1912. Inheritance of color in the aleurone cells of maize. *Amer. Naturalist* 46.
- Enciclopedia de los municipios de México (EMM). 2010. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Gobierno del Estado de Morelos. Cuernavaca Morelos.
- Ersus S, Yurdagel U. 2007. Microencapsulation of Anthocyanin Pigments of Black Carrot (*Daucuscarota* L.) by Spray Drier. *J Food Eng.* 80.
- Escalante R., H. Catalán, L. Galindo y Orlando Reyes (2007), “Desagrarización en México: tendencias actuales y retos hacia el futuro”, Documento de trabajo, México. D. F.
- Escalante S., I. H., Catalán H. 2008. Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos. *Revista Economía informa* No. 350. UNAM.

- Escamilla J. C. I., Cuevas M. E. Y., Guevara F. J. 2009. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista medigraphic* Vol. 52 No. 2. UNAM. México D. F.
- Espinosa T., E, Mendoza C., Ma. C, Castillo G., F, Ortíz C., J y Delgado A., A. 2010. Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol.33, Núm. 1. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. México
- Esteva G., Marielle C (Eds). 2003. Sin maíz no hay país. 1ª edición. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México D. F.
- Evans, L T. 1983. Fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur, Bs, Argentina.
- Falconder, D. S. and Mackay F.C. T. 1996. Introducción a la genética cuantitativa. Editorial Acribia. España.
- FAO. 1996. *El maíz blanco*: un grano alimentario tradicional en los países en desarrollo, Boletín de Servicios Agrícolas, Roma.
- FAO. 2004. Política de desarrollo agrícola. Estrategias y políticas. Roma.
- FIRA-BANCO DE MÉXICO-SAGARPA. 2002. Curso alianzas estratégicas empresariales: una alternativa para incrementar el valor agregado en actividades rurales. México, D. F.
- Ford R, H. 2000. Inheritance of kernel color in corn: explanations and investigations. *Amer. Biol. Teacher* 62.
- Formica J. V., Regelson W. 1995. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. *Food Chemistry and Toxicology* 33.
- Frankel E. N., Waterhouse A. L., and Teissedre P. L. 1995. Principal Phenolic Phytochemicals in Selected California Wines and Their Antioxidant Activity in Inhibiting Oxidation of Human Low-density Lipoproteins. *J. Agric. Food*

Chem. 43:890. *In*: Caracterización y estabilidad de las antocianinas de higo ficus carica variedad misión, cultivado en ciudad lerdo Durango, México.

Fujii K, Y Kuwada. 1916. On the comparison of factorial formula for zygotes in the study of inheritance of seed characters of *Zea mays* L. with notes on seed pigments. Bot. Magazine 30:83-88. *In*: Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. Rev. Fitotecnia mexicana. Vol. 33 (1).

García, C. J., Gallardo J., Arteaga J. 2001. Situación actual de la ovinocultura en México. Memoria XXXVII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Chiapas, México.

Gómez M. M., González M. S., Escribano B, M.; Heredia, F.; Santos-B. C. 2006. Influence of different phenolic copigments on the color of malvidin 3-glucoside. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54.

González G. J, Culebras F. J. M, Mataix V. J., Tuñón G. M. J. Sánchez C. S. 2008. Papel protector de los flavonoides de la cerveza frente a las alteraciones hepáticas inducidas por estrés oxidativo: estudio de los mecanismos moleculares implicados. Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad de León. León Gto. México.

Goodman L. P. Y Markakis P. 1965. Sulfur dioxide inhibition of anthocyanin degradation by phenolase., *Journal Food Sci.*

Google Earth, 2012. Europa technologies.

Gorriti G. A., Quispe J. F., Arroyo A. J. L., Córdova R. A., Jurado T. B., Santiago A. I., Taype E. E. 2009. Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea mays* l. "maíz morado". *Revista Ciencia e Investigación* 12(2): 64-7. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima. Peru.

Grant, R. F, B. S. Jackson, J. R. Kinray, G. F. Akin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agro. J.* 81.

- Gris, E.; Ferreira, E.; Falcado, L.; Bordignon-Luiz, M. T. 2007. Caffeic acid copigmentation of anthocyanins from Cabernet Sauvignon grape extracts in model systems. *Food Chemistry*, 100.
- Gross, J, 1987. Pigments in fruits. Academic Press.
- Grommeck, R, Markakis, P. 1964. Effect of peroxidase on anthocyanin pigments. *Journal of Food Science*, 29 (1).
- Hallagan J. B. 1991. The Use of Certified Food Color Additives in the United States. *Cereal Food World*. 36.
- Harborne J. B. Gavazzi G. 1969. Effect of Pr and Pr alleles on anthocyanins biosynthesis in *Zea mays*. *Phytochemistry* 8.
- Harborne, J.B. 1975. Function of flavonoids in plants. In "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments" (T.W. Goodwin, Ed.) Academic Press, London.
- Haslam, E.1980. In vino veritas: Oligomeric procyanidins and the aging of red wines. *Phytochemistry*, 19.
- .Hawrylak, B. J. *Plant Nutr.* 2008, 31.
- Huang, H.T. 1956. The kinetics of decolorisation of anthocyanins by fungal enzyme. *Journal American Chemistry Society* 78.
- Huck P, Wilkes M. C. 1996. Beverage Natural Colors: Chemistry and Application. In: International Congress and Symposium on Natural Colorants, Puerto de Acapulco. Abstracts. México: Asociación Mexicana de Especialistas en Colorantes y Pigmentos Naturales, A.C.
- Hutchings, B. 1999. Food Color and Appearance. Chapman and May Food Science Book.
- Ibarra S E. 2011. Comportamiento agronómico de híbridos de sorgo bajo tres distancias entre surcos en dos ambientes de temporal de Morelos. Tesis de

licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Morelos, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Censo agropecuario 2007. Tabulados estatales. México, Morelos. México D. F.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome.

Jackson M. G., Timberlake C. F., Bridle P. and Vallis L. 1978. Red Wine Quality: Correlation Between Color, Aroma and Flavor and Pigment and other parameters of Young Beaujolais. *J. Sci. Food Agric.* 29:715. *In: Caracterización y estabilidad de las antocianinas de higo ficus carica variedad misión, cultivado en ciudad lerdo Durango, México.*

Jovanovic S.V., Steenken S., Simic M. G., Hara Y. 1998. Antioxidant properties of flavonoids: reduction potentials and electron transfer reactions of flavonoid radicals. *In: Rice Evans C, Packer L, eds. Flavonoids in health and disease.* Marcel Dekker, Nueva York.

Kallio, H., Pallasaho, S., Kärppä, J., & Linko, R.R. 1986. Comparison of the half-lives of the anthocyanins in the juice of crowberry, *Empetrum nigrum*. *Journal of Food Science*, 51 (2).

Kato Y., T. A. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrader Kuntze) in relation to their origin and evolution. *Massachusetts Agric. Expt. Sta. Bull.* 635.

Kato Y., T. A. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evol. Biol.* 17.

- Kuehl O R. 2000. Desing of Experiments: Statiscal principles of Research Design and Analysis. 2ª Ed. Editorial Duxbury.
- Lauro G. J. 1991. A primer on Natural Colors. J Am Assoc Cer Chem. 36(11).
- Lepidot T., Harel S., Akiri B., Granit R. and Kaner J. 1999. pH-dependent Forms of Red Wine Anthocyanins as Antioxidants. J. Agric. Food Chem. 47:67. *In: Caracterización y estabilidad de las antocianinas de higo ficus carica variedad misión, cultivado en ciudad lerdo Durango. México.*
- Liao, H.; Cai, Y.; Haslam, E. 1992. Polyphenol interactions. Anthocyanins : Co-pigmentation and colour changes in red wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59.
- Linares, E, y Bye, R. 2008. Diversidad bio-cultural del maíz en México. Revista Mujeres y maíz criollo. Vol. 9, Núm. 39.
- Lock, O., Cabello I., Hugo V. D. 2006. Análisis de flavonoides en plantas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- López R. R., Quiñones W., Echeverri F. 2007. Perfil cromatográfico de las antocianinas presentes en algunos frutos colombianos. Revista Scientia ET Technica. Vol. XIII. No. 033. Pereira, Colombia.
- López, M. L. X, Oliart R. R M, Valerio A. G, Lee C. H, Parkin K. L, García H. S. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. LWT-Food Sci. Technol. 42.
- Lukton A, Chichester CO, MacKinney G. 1956. The breakdown of strawberry anthocyanin pigment. Food Technol 10.
- Maestre A. J., Casas G. A. M., González J. A. 2008. Nuevas rutas de desarrollo para América Latina. Experiencias globales y locales. Edit. Universidad Iberoamericana.

- Magari, R. and Kang M. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica* No. 70.
- Mailen A, C.; Dangles, O.; Amiot, M. J. 2001. Color stability of commercial anthocyanin-based extracts in relation to the phenolic composition. Protective effects by intra- and intermolecular copigmentation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49.
- María, R. A., Salinas, M. Y., Taboada, G. O. R. 2003. Maíz azul de los valles altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. Vol. 26. No. 002. Chapingo, México.
- Markakis, P. 1982. *Anthocyanins as food colors*. New York: Academic Press.
- Markham, K. R, Gould, K. S, Winefield, C. S, Mitchell, K. A, Bloor, S. J, Boase, M. R. 2000. Anthocyanic vacuolar inclusions - their nature and significance in flower coloration. *Phytochemistry*, 55.
- Márquez, S. F. 2011. Conservación, mejoramiento y uso de los maíces criollos. IV Reunión nacional de criollos. Centro de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Universidad de Guadalajara. Guadalajara Jal. México.
- Marrs, K. A, Alfenito M. R, Lloyd A. M, Walbot V. 1995. A glutathione Stransferase involved in vacuolar transfer encoded by the maize gene Bronze. *Nature*. 375:397-400. *In: Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización*. Tesis de Doctorado. IPN. México D. F.
- Martínez F. S., González G. J. Culebras J. M., Tuñón M. J. 2002. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria* 17 (6).
- Martínez M. A. 2005. Flavonoides. Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

- Martínez, G. A. 2008. Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz. Dirección de Economía Ambiental. México, D. F.
- Matsuoka, Y., Y, Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sánchez G., E. Buckler and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. Proc. Natl. Acad. Sci. 99.
- Mazza, G y Miniati, E. 1995. Anthocyanins in fruits, vegetables and grains, CRC Press.
- Mercer, K., Martínez V, A., Perales, H. R. 2008. Asymmetrical local adaptation of maize landraces along an altitudinal gradient. Evolutionary Applications No.1, Vol.3.
- Mendoza, M. C. G. 2012. Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo de México.
- Morales S M, Oliver G R, García G E y Taboada S M. 2000. El potencial de la agricultura de temporal de la región oriente de Morelos en: Contribuciones a la investigación regional del Estado de Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México- Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Cuernavaca, Morelos.
- Muñoz O., A., Pérez, G., López, P. A., Salvador, R. J. 2002. Maíz de cajete: agrosistema y resistencia a sequía. *In*: Palerm, J (ed.). Antología sobre pequeño riego, Vol. III Sistemas de riego no convencionales. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- Murillo G. I., Espinosa B. A., Palomo G. A., Antuna G. O. 2007. Caracterización agronómica de germoplasma criollo de maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila.
- Nakatani N., Fakuda H., Fuwa H. 1979. Major anthocyanins of Bolivian Purple Corn (*Zea mays* L) Agric. Biol. Chem 43 (2).

- OCDE. 2003. Consensus Document on the Biology of *Zea mays* subsp. *mays* (maize). Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology, No. 27.
- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS). 2009. Producción de maíz de grano. Anuario estadístico de la producción agrícola. SAGARPA-Gobierno del Estado. Disponible en: www.oeidrusmorelos.gob.mx. Consultado 15 de Octubre de 2009.
- Olaya C. M., Castaño M. P., Garzón G. A. 2008. Effect of Temperature and Water Activity on the Stability of Microencapsulated Anthocyanins Extracted From Andes Berry (*Rubus glaucus*) and Tamarillo (*Solanum betaceum*).
- Ortega C. A., Gómez M. O. N., Coutiño E. B., Trujillo C. A. 2010. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009. Informe Final FZ016. México D. F.
- Ortega P. R., 2003, "La diversidad del maíz en México", pp. 123-154 en *Sin Maíz, No Hay País*, G. Esteva y C. Marielle (Eds.), México, D.F., CONACULTA/ Museo Nacional de Culturas Populares.
- Pace A. C. R, Hahn S., Diamandis E. P., Soleas G, Goldberg D. M. 1995. The red wine phenolics trans-resveratrol and quercetin block human platelet aggregation in eicosanoid synthesis: implication for protection against coronary heart disease. *Clinica Chimica Acta* 235.
- Peng, C.Y., & Markakis, P. 1963. Effect of phenolase on anthocyanins. *Nature* 199.
- Peña, A. 2006. El color de los vinos. Informe técnico. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Pérez, T. G. 2003. Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 22 (1).

- Peterson, P. A. 2005. The plant genetics discovery of the century: transposable elements in maize. Early beginnings to 1990. *Maydica* 50:321-338. *In*: Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. *Rev. Fitotecnia mexicana*. Vol. 33 (1).
- Pierce, B. 2009. *Genética un enfoque conceptual*. Edit. Médica Panamericana. Madrid, España.
- Ping, P. Giusty, M. N. 2005. Characterization of anthocyanin-rich waste from purple corn cobs (*Zea mays* L) and its application to color milk. *J. Agric. Food Chem.* 53.
- Piperno, D. R. & K. V. Flannery. 2001. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry date and their implications. *PNAS* 98 (4).
- Poei L. M. S., Wrostad R. E. 1981. Color degradation in an ascorbic acidanthocyanin – flavanol model system. *Journal of Food Science*, 46 (4).
- Pressoir, G., Berthaud, J. 2004. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* No. 92, Vol. 2.
- Rao A V and Agarwal S. 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *J. Am. Coll. Nutr.* 19.
- Real Academia Española (RAE). 2001. *Diccionario de la Lengua Española*. 22a ed. España: Mateu cromo artes gráficas, S. A.
- Reyes C, P. 1990. *Diseño de experimentos aplicados*. Tercera edición. México. Editorial trillas.
- Reyes G. G., Guerra N. J., Calderón P. G. 2005. Condiciones del cultivo del maíz criollo en comunidades de Puebla, Tlaxcala e Hidalgo: un análisis de las economías de autoconsumo. *Rev. Aportes. BUAP. México.* 29.

- Ribeiro, S. 2004. El día en que muera el sol: contaminación y resistencia en México. GRAIN. Periódico La jornada.
- Risco, M. M., Donckers R., Avendaño T. E., Martínez A. A., Quispe P. R. D., Pérez Ch. L., Arostegui G. L. A., Calderón G. C. I., Guerra C. L. A. 2007. Conociendo la cadena productiva del maíz morado en Ayacucho. Proyecto PRA. Perú.
- Ritchie, W. S., G. O. Benson, S. J. Lupkes, and R. J. Salvador. 1993. How a corn plant develops. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Iowa State University of Science and Technology.
- Romero C. I. 2008. Extracción de compuestos fenólicos de la uva al vino. Papel de los enzimas de maceración. Tesis de doctorado. Murcia. España.
- Romero J. Puyana A. 2004. Evaluación integral de los impactos e instrumentación del capítulo agropecuario del TLCAN. Secretaría de Economía, México D. F.
- Ruiz T N A, Rincón S F, Hernández L V M, Figueroa C J D, Loarca P. M. G. 2008. Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. Rev. Fitotecnia. México. 31.
- Ruiz, C J. A., Duran P, N., Sánchez G, J. J., Ron P, J., González E, D. R., Holland, J. B., Medina G, G. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 mexican maize races. Crop Science No. 48.
- Salinas M Y, M Soto H, F Martínez B, V González H, R Ortega P. 1999. Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. Rev. Fitotec. Mex. 22.
- Salinas, M.Y., Soto, H.M., Martínez B. F., González, H.V., Engleman, E.M., and Ortega, P.R. 1999. Anthocyanin analysis in blue and red corn grain samples from four different strains. No published data at this time.

- Salinas, M.Y., Soto, H.M., Martínez B. F., González, H.V., Engleman, E. M., and Ortega, P.R. 1999. Anthocyanin analysis in blue and red corn grain samples from four different strains. No published data at this time. *In*: Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de Doctorado. IPN. México D. F.
- Salinas, M.Y., Soto, H.M., Martínez B. F., González, H.V., Engleman, E. M., and Ortega, P.R. 1999. Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnia mexicana*. 22.
- Salinas, M Y. 2000. Antocianinas en granos de maíces mexicanos. Tesis. Colegio de post graduados. Montecillo, México.
- Salinas M. Y, Rubio H. D., Díaz V. A. 2005. Extracción y uso de pigmentos del grano de maíz (*Zea Mays L.*) como colorantes en yogur. *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 55, No 3. Venezuela.
- Salinas M. Y, Soria R. J. Espinosa T. E. 2010. Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Folleto técnico No 42. INIFAP. Coatlínchan, Estado de México.
- Salinas, M. Y., Cruz, Ch. F, J., Díaz, O. S., Castillo, G. F. 2011. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35 (1).
- Sánchez, P., P. López V. J. A., Lugo M. R., Leyva, O. J. F., Hernández V. S., Cauich P. S. O., González G. R. Villarreal R. M., Parra T. S., Corrales M. J. L., Sánchez P. J., Quintero A. J. R., Garzón T. J. A., Palacios V. O., Armenta S. J. L. 2008. Variación fenotípica de maíces nativos del Estado de Sinaloa, México. Memorias del XI congreso, Internacional en Agrícolas, Mexicali B C. México.
- Sax N. I., Lewis R. L., Hawley. 1993. Diccionario de química y de productos químicos. 2ª ed. Barcelona: Omega.

- Schieber A., Stintzing F. C., Carle R. 2001. "By products of plant food processing as a source of functional compounds recent developments". *Trends in Food Science and Technology* (12).
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Síntesis del Sector Agropecuario de Morelos.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Síntesis del Sector Agropecuario de Morelos.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (SAGARPA-INIFAP). 2003. Guía para seleccionar semilla de maíz criollo y variedades de polinización libre. Folleto para el productor No.40. Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental "Zacatepec". Zacatepec, Morelos, México.
- Serratos, H. J. A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. México D. F.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Maíz: Situación Actual y perspectivas 1996- 2010. Gobierno Federal, México.
- Shipp J. y Abdel-Aal S. M. 2010. Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. *The Open Food Science Journal*, 4:7-22.
- Siddhuraju, P. and K. Becker. 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 51, 2144 – 2155.
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM). 2010. comparativo de precios semanales de granos básicos al mayoreo. México, D. F.

- Soleri, D., Cleveland, D. A. 2001. Farmers' genetic perception regarding their crop populations: an example with maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Economic Botany* No. 55.
- Soms, G. E. 1995. Apuntes metodológicos para la elaboración de estrategias y planes regionales. Ministerio de Desarrollo Social. Colombia.
- Springer, N. M. Stupar R. M. 2007. Allelic variation and heterosis in maize: how do two halves make more than a whole? *Genome Res.* 17:264-275. *In: Aptitud combinatoria del rendimiento de antocianinas y de características agronómicas en poblaciones nativas de maíz pigmentado. Rev. Fitotecnia mexicana.* Vol. 33 (1).
- Statistical Analysis System (SAS) Institute Inc. 2008. SAS user's guide. Statistics. Versión 9.1. Cary, NC, USA.
- Taylor, J. E, Mora, J, Adams R y López A. 2005. "Remittances, inequality and poverty: evidence from rural Mexico", *Working Paper No. 05-003*, University of California.
- Trujillo C. A. 2002. Guía para cultivar maíz bajo condiciones de riego en el Estado de Morelos. INIFAP. Zacatepec. Morelos.
- Turrent F. A. 2008. Plan nacional para elevar la producción y mejorar la comercialización y el consumo del maíz en México. *Revista Extensión al campo.* Año II. Núm. 07-08, 20-26.
- United State Department Agriculture USDA. 2006. México, NAFTA, and Agricultura". A Snapshot. USA. Foreign Agricultural Service. EEUU.
- Véles M. J. J. 2008. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Querétaro, Qro.

- Vinson, J. A.; Yousef A. Dabbag; Mamdouh M. Sherry and Jinhee Jang. 1995. Plant flavonoids, especially tea flavonols, are powerful antioxidants using an in vitro oxidation model for heart disease. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 43, Nº11.
- Vivar Q, A. M.; Santos B, C.; Rivas G, C. 2002. Anthocyanin derived pigments and colour of red wines. *Analytica Chimica Acta*, 458: 147-155.
- Wagner, G. J. 1982. Cellular and Subcellular Location in Plant Metabolism. In: Creasy L, Hrazdina G. Editors. Recent advances in Phytochemistry. New York: Plenum Press.
- Wallace T. C., Giusti M. M. 2008. Determination of Color, Pigment, and Phenolic Stability in Yogurt Systems Colored with Nonacylated Anthocyanins from *Berberis boliviana* L. as Compared to Other Natural/Synthetic Colorants. *J Food Sci*; C1-C7.
- Warman A. 1988. *La historia de un bastardo: maíz y capitalismo*, Ed. IIEC's-UNAM, FCE, México.
- Watson, A. S. and Ramstad, E. D. 1987. Structure and composition. In *Corn: Chemistry and Technology*. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN.
- Wellhausen, E. J. L. M. Roberts, E. Hernández, and P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. *In: Xolocotzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Revista de Geografía Agrícola. Tomo II* Universidad Autónoma de Chapingo.
- Yang, R. and Baker R. 1991. Genotype – environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* No. 31.
- Yang K., Lamprecht S. A., Liu Y., Shinozaki H., Fan K., Leung D. y Cols. 2000. Chemoprevention studies of the flavonoids quercetin and rutin in normal and azoxymethane-treated mouse colon. *Carcinogenesis* 21, 1655-1660.

- Yen, G. C.; Duh, P.D. and Tsai, C. L. 1993. Relationship between antioxidant activity and maturity in peanuts hulls. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 41, 67-70.
- Yúnez, N. A., Barceinas, F. 2000 "Efectos de la desaparición de la CONASUPO en el comercio y los precios de los cultivos básicos", *Estudios Económicos*, Vol. 15, N° 2, pp. 189-227.
- Yúnez, N. A. y Barceinas F. 2002. "Lessons from NAFTA: The Case of Mexico's Agricultural Sector", Report to the World Bank, Mimeo, December.
- Yuri, J. A. 2006. Desarrollo de color en manzanas. Centro de Pomáceas. Universidad de Talca. Chile.
- Zepeda B R, Carballo C A, Hernández A C. 2009. Interacción genotipo-ambiente en la estructura y Calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Revista Agrociencia* Vol. 43, No. 7.

ANEXOS

Cuadro A-1. Análisis de varianza combinado para la variable floración masculina (FM) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
* A	1	3.600000	3.600000	0.22	0.6657
Error: MS(R(A))	4	66.400000	16.600000		
R(A)	4	66.400000	16.600000	11.49	<.0001
* P	14	514.400000	36.742857	25.42	<.0001
A*P	14	19.066667	1.361905	0.94	0.5213
Error: MS(Error)	56	80.933333	1.445238		

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-2. Comparación de medias para la variable floración masculina (FM), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	A
A	50.7333	6	1
A	50.3333	6	2
A	56.6667	6	14
B	52.5000	6	7
B	52.3333	6	11
B	52.0000	6	1
C B	51.1667	6	6
C B	51.0000	6	8
C B D	50.3333	6	2
C B D	50.1667	6	13
C B D	50.1667	6	3
C B D	50.1667	6	12
C D	49.5000	6	9
C D	49.3333	6	5
C D	49.0000	6	15
D	48.5000	6	10
E	45.1667	6	4

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-3. Análisis de varianza combinado para la variable floración femenina (FF) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F

*	A	1	27.777778	27.777778	1.57	0.2788
	Error: MS(R(A))	4	70.888889	17.722222		
	R(A)	4	70.888889	17.722222	8.24	<.0001
*	P	14	860.933333	61.495238	28.59	<.0001
	A*P	14	9.555556	0.682540	0.32	0.9893
	Error: MS(Error)	56	120.444444	2.150794		

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-4. Comparación de medias para la variable floración femenina (FF), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	61.6667	6	14
B	56.8333	6	7
C B	56.1667	6	11
C B D	54.5000	6	6
C B D	54.3333	6	1
C B D	53.8333	6	12
C D	53.6667	6	8
C D	53.3333	6	2
D	52.8333	6	3
D	52.6667	6	5
D	52.1667	6	13
D	51.8333	6	15
D	51.6667	6	10
D	51.6667	6	9
E	46.8333	6	4

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-5. Análisis de varianza combinado para la variable altura de planta (AP) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
*	A	5849.948444	5849.948444	13.54	0.0212	
	Error: MS(R(A))	1728.461778	432.115444			
	R(A)	1728.461778	432.115444	1.34	0.2653	
*	P	24783	1770.207016	5.50	<.0001	
	A*P	2385.498222	170.392730	0.53	0.9049	
	Error: MS(Error)	18010	321.605206			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-6. Comparación de medias para la variable altura de planta (AP), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping		Mean	N	P
	A	309.32	6	14
	A			
B	A	287.53	6	5
B	A			
B	A C	281.90	6	3
B	A C			
B	A C	281.80	6	1
B	A C			
B	A C	279.68	6	13
B	A C			
B	A C	278.22	6	12
B	A C			
B	D A C	277.45	6	8
B	D A C			
B	D A C	274.23	6	7
B	D A C			
B	D A C	273.47	6	2
B	D A C			
B	D C	266.90	6	9
B	D C			
B	D C	261.45	6	6
B	D C			
B	D C	259.08	6	11
B	D C			
B	D C	254.45	6	15
B	D C			
	D C			
	D C	247.67	6	10
	D C			
	D C			
	D C	240.92	6	4

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-7. Análisis de varianza combinado para la variable altura de mazorca (AM) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
* A	1	125.552111	125.552111	0.10	0.7698	
Error: MS(R(A))	4	5119.749778	1279.937444			
R(A)	4	5119.749778	1279.937444	8.10	<.0001	
* P	14	18498	1321.296302	8.37	<.0001	
A*P	14	1699.316222	121.379730	0.77	0.6972	
Error: MS(Error)	56	8844.903556	157.944706			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-8. Comparación de medias para la variable altura de mazorca (AM), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	186.517	6	14

		A			
B		A		175.200	6 2
B		A			
B		A	C	166.250	6 3
B		A	C		
B	D	A	C	161.900	6 8
B	D	A	C		
B	D	A	C	160.883	6 12
B	D		C		
B	D		C	159.550	6 1
B	D		C		
B	D		C	159.233	6 13
B	D		C		
B	D	E	C	155.950	6 7
	D	E	C		
	D	E	C	147.933	6 15
	D	E	C		
	D	E	C	147.917	6 5
	D	E	C		
	D	E	C	146.733	6 9
	D	E	C		
	D	E	C	142.400	6 11
	D	E			
	D	E		139.917	6 6
	D	E			
	D	E		137.883	6 10
		E			
		E		130.750	6 4

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-9. Análisis de varianza combinado para la variable diámetro de tallo (DT) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
* A	1	1.366534	1.366534	0.64	0.4685	
Error: MS(R(A))	4	8.541431	2.135358			
R(A)	4	8.541431	2.135358	2.85	0.0322	
* P	14	61.124362	4.366026	5.82	< .0001	
A*P	14	22.735949	1.623996	2.16	0.0213	
Error: MS(Error)	56	42.019502	0.750348			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-10. Comparación de medias para la variable diámetro de tallo (DT), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	25.2683	6	7
A			
B	25.0583	6	11
B			
B	25.0517	6	14
B			
B	24.5167	6	8
B			
B	24.2817	6	6

B		A	C			
B		A	C	24.0817	6	3
B		A	C			
B		A	C	24.0717	6	10
B		A	C			
B		A	C	23.7783	6	1
B		A	C			
B		A	C	23.7700	6	12
B		A	C			
B		A	C	23.7700	6	5
B		A	C			
B	D	A	C	23.5333	6	13
B	D		C			
B	D		C	23.4050	6	9
	D		C			
	D		C	23.2600	6	2
	D		C			
	D		C	23.2017	6	15
	D					
	D			21.9633	6	4

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-11. Análisis de varianza combinado para la variable número de hojas (NH) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
* A	1	7.168444	7.168444	1.51	0.2870	
Error: MS(R(A))	4	19.036444	4.759111			
R(A)	4	19.036444	4.759111	18.95	<.0001	
* P	14	28.298222	2.021302	8.05	<.0001	
A*P	14	3.371556	0.240825	0.96	0.5052	
Error: MS(Error)	56	14.063556	0.251135			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-12. Comparación de medias para la variable número de hojas (NH), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	14.1000	6	14
B	12.9833	6	3
B			
C B	12.7833	6	12
C B			
C B	12.7833	6	2
C B			
C B	12.7500	6	8
C B			
C B D	12.5667	6	7
C B D			
C B D	12.5333	6	9
C B D			
C B D	12.4667	6	13
C B D			
C B D	12.4667	6	1
C B D			
C B D	12.4167	6	11

C	B	D			
C	B	D	12.0833	6	15
C	B	D			
C	B	D	12.0500	6	6
C	B	D			
C	B	D	12.0333	6	5
C		D			
C		D	11.9167	6	10
		D			
		D	11.6333	6	4

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-13. Análisis de varianza combinado para la variable longitud de mazorca (LM) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
*	A	1	3.520444	3.520444	3.67	0.1279
	Error: MS(R(A))	4	3.837298	0.959324		
	R(A)	4	3.837298	0.959324	1.32	0.2751
*	P	14	27.767516	1.983394	2.72	0.0040
	A*P	14	11.775222	0.841087	1.15	0.3350
	Error: MS(Error)	56	40.809636	0.728743		

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-14. Comparación de medias para la variable longitud de mazorca (LM), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	15.4417	6	14
A			
B A	14.4117	6	10
B A			
B A	14.1800	6	2
B A			
B A	14.0217	6	3
B A			
B A	14.0133	6	11
B A			
B A	13.9767	6	12
B A			
B A	13.9633	6	9
B A			
B A	13.8983	6	13
B A			
B A	13.8133	6	5
B A			
B A	13.7133	6	7
B			
B	13.5367	6	1
B			
B	13.4267	6	8
B			
B	13.2800	6	6
B			
B	13.2200	6	4
B			

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-15. Análisis de varianza combinado para la variable diámetro de mazorca (DM) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
* A	1	51.619840	51.619840	4.59	0.0989	
Error: MS(R(A))	4	45.015676	11.253919			
R(A)	4	45.015676	11.253919	3.04	0.0246	
* P	14	271.278216	19.377015	5.23	<.0001	
A*P	14	44.580127	3.184295	0.86	0.6049	
Error: MS(Error)	56	207.588058	3.706930			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-16. Comparación de medias para la variable diámetro de mazorca (DM), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	51.747	6	5
A			
B A	49.463	6	15
B A			
B A	49.442	6	9
B A			
B A	48.748	6	4
B A			
B A	48.645	6	8
B A			
B A C	48.163	6	1
B A C			
B A C	48.127	6	2
B A C			
B A C	47.920	6	10
B C			
B C	47.662	6	13
B C			
B C	47.348	6	3
B C			
B C	47.257	6	12
B C			
B C	46.697	6	14
B C			
B C	45.755	6	6
B C			
B C	45.737	6	7
C			
C	44.317	6	11

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-17. Análisis de varianza combinado para la variable diámetro de olote (DO) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
* A	1	6.021760	6.021760	12.36	0.0245
Error: MS(R(A))	4	1.948853	0.487213		
R(A)	4	1.948853	0.487213	0.94	0.4470
* P	14	90.710827	6.479345	12.52	<.0001
A*P	14	8.208373	0.586312	1.13	0.3518
Error: MS(Error)	56	28.991147	0.517699		

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-18. Comparación de medias para la variable diámetro de olote (DO), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	24.5750	6	5
A			
B A	23.6017	6	13
B A			
B A	23.5450	6	10
B A			
B A C	23.2683	6	14
B C			
B D C	22.8383	6	9
B D C			
B D C	22.7233	6	15
B D C			
B D C	22.5883	6	4
B D C			
B D C	22.4433	6	2
B D C			
B D C	22.3267	6	1
D C			
D C	21.9817	6	8
D C			
D C	21.8617	6	6
D C			
D C	21.8600	6	3
D			
E D	21.6867	6	12
E D			
E D	21.6200	6	11
E			
E	20.2200	6	7

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-19. Análisis de varianza combinado para la variable número de granos (NG) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
* A	1	15197	15197	17.50	0.0139
Error: MS(R(A))	4	3473.262849	868.315712		
R(A)	4	3473.262849	868.315712	1.00	0.4151
* P	14	34374	2455.308211	2.83	0.0029
A*P	14	22100	1578.536465	1.82	0.0583

Error: MS(Error) 56 48600 867.857450

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-20. Comparación de medias para la variable número de granos (NG), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P
A	410.18	6	5
A			
A	405.00	6	2
A			
B A	368.98	6	12
B A			
B A	368.07	6	3
B A			
B A	361.51	6	4
B A			
B A	358.58	6	1
B A			
B A	357.75	6	13
B A			
B A	357.40	6	9
B A			
B A	357.25	6	8
B A			
B A	357.05	6	15
B A			
B A	356.90	6	14
B A			
B A	353.78	6	7
B A			
B A	352.30	6	10
B			
B	338.68	6	11
B			
B	336.49	6	6

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-21. Análisis de varianza combinado para la variable número de hileras (NH_i) (P≤0.01). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
* A	1	2.916000	2.916000	47.12	0.0024	
Error: MS(R(A))	4	0.247556	0.061889			
R(A)	4	0.247556	0.061889	0.23	0.9184	
* P	14	28.968889	2.069206	7.81	<.0001	
A*P	14	4.290667	0.306476	1.16	0.3336	
Error: MS(Error)	56	14.845778	0.265103			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-22. Comparación de medias para la variable número de hileras (NH_i), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping		Mean	N	P
	A	13.0667	6	5
	A			
B	A	12.6833	6	2
B	A			
B	A C	12.2000	6	4
B	A C			
B	A C	12.2000	6	15
B	C			
B	D C	12.0000	6	8
B	D C			
B	E D C	11.9667	6	12
B	E D C			
B	E D C	11.8833	6	1
B	E D C			
B	E D C	11.8167	6	3
B	E D C			
B	E D C	11.7333	6	10
B	E D C			
B	E D C	11.6333	6	9
	E D C			
	E D C	11.5333	6	13
	E D C			
	E D C	11.2667	6	7
	E D			
	E D	11.1333	6	14
	E D			
	E D	11.1167	6	11
	E			
	E	10.9333	6	6

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-23. Análisis de varianza combinado para la variable rendimiento de grano (RG) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
* A	1	16079897	16079897	6.15	0.0502
Error: MS(R(A))	4	10451305	2612826		
R(A)	4	10451305	2612826	9.25	<.0001
* P	14	17425972	1244712	4.41	<.0001
A*P	14	3742829	267345	0.95	0.5171
Error: MS(Error)	56	15814632	282404		

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-24. Comparación de medias para la variable rendimiento de grano (RG), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping		Mean	N	P
	A	3257.5	6	5
	A			
	A	3151.6	6	2
	A			
B	A	2979.4	6	9

B	A				
B	A	2897.1	6	12	
B	A				
B	A	2803.9	6	4	
B	A				
B	A	2791.5	6	13	
B	A				
B	A	C	2687.8	6	3
B	A	C			
B	A	C	2505.1	6	15
B	A	C			
B	A	C	2447.6	6	14
B	A	C			
B	A	C	2406.7	6	7
B	A	C			
B	A	C	2400.0	6	1
B	A	C			
B	A	C	2334.6	6	8
B		C			
B		C	2023.3	6	6
B		C			
B		C	1923.0	6	10
		C			
		C	1643.0	6	11

Means with the same letter are not significantly different.

Cuadro A-25. Análisis de varianza combinado para la variable contenido de antocianinas (CA) ($P \leq 0.01$). The SAS System.

The GLM Procedure						
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
* A	1	15803	15803	2.17	0.2788	
Error: MS(R(A))	2	14581	7290.275467			
R(A)	2	14581	7290.275467	1.57	0.2261	
* P	14	5046728	360481	77.56	<.0001	
A*P	14	205300	14664	3.16	0.0047	
Error: MS(Error)	28	130139	4647.812099			

* This test assumes one or more other fixed effects are zero.

Cuadro A-26. Comparación de medias para la variable contenido de antocianinas (CA), Tukey 0.05, The SAS System.

Tukey Grouping	Mean	N	P		
A	904.88	4	11		
A					
B	866.69	4	5		
B					
B	844.69	4	2		
B					
B	722.52	4	1		
B					
B	718.27	4	3		
B					
B					
B	C	D	698.16	4	8
C	D				

C	D	662.04	4	6
C	D			
C	D	563.54	4	12
	D			
	D	537.75	4	14
E		227.29	4	7
E				
E		195.87	4	15
E				
E		181.13	4	4
E				
E		141.35	4	10
E				
E		133.63	4	9
E				
E		119.26	4	13

Means with the same letter are not significantly different.

Fotos de ambientes de evaluación

TEMPORAL:



FERTIRRIGACIÓN:



TEMPORAL:



FERTIRRIGACIÓN:



TEMPORAL:



FERTIRRIGACIÓN:

