

PROTEÍNA, LISINA Y TRIPTÓFANO EN POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ MIXTECO

PROTEIN, LYSINE AND TRYPTOPHAN IN NATIVE POPULATIONS OF MIXTECO MAIZE

Araceli M. Vera-Guzmán^{1*}, J. Luis Chávez-Servia¹
y José C. Carrillo-Rodríguez²

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Oaxaca, Hornos #1003, 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-Hacienda Nazareno. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia (avera@ipn.mx)

RESUMEN

La diversidad de variantes locales de maíz (*Zea mays* L.) en la Mixteca Oaxaqueña, México, es una respuesta a las presiones de selección natural y humana. Con el objetivo de evaluar el contenido de proteína, lisina y triptófano en el maíz nativo de la Mixteca, se hizo una colecta de 70 muestras poblacionales en 51 comunidades de agricultores de 13 municipios del distrito geopolítico de Tlaxiaco, Oaxaca. Las muestras fueron sembradas en el ciclo primavera-verano de 2008, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en San Martín Huamelulpam. En la cosecha se tomó aleatoriamente una muestra de 300 g de grano por parcela experimental y en cada una se cuantificó el contenido de proteína, lisina y triptófano, por triplicado. Se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en el contenido de proteína, lisina y triptófano del grano, entre y dentro de grupos de colectas de maíz Mixteco de diferente color de grano (amarillo, azul, blanco, rojo y pinto). En proteína, 10 colectas superaron al testigo tipo QPM. En lisina y proteína no hubo diferencias significativas entre el testigo y las colectas de grano amarillo, blanco rojo y pinto evaluadas. La colecta CIIDIR-185 se detectó como promisorio debido a que fue estadísticamente igual al testigo en triptófano y lisina y lo superó en contenido de proteína.

Palabras clave: *Zea mays*, aminoácidos, composición de grano, variación fenotípica.

SUMMARY

The landrace diversity of maize (*Zea mays* L.) in the Mixteca Oaxaqueña region in México is a response to natural and human selection pressures. In order to evaluate the protein, lysine and tryptophan content in the native Mixteca maizes, a collection of 70 population samples at 51 farmer communities belonging to 13 municipalities of the Tlaxiaco, Oaxaca district was determined. Populations were planted during the 2008 Spring - Summer agricultural cycle under a complete randomized blocks design with four replications at San Martín Huamelulpam. At harvest, a random 300 g kernel sample per experimental plot was taken and the protein, lysine and tryptophan contents were assessed. Significant differences ($P \leq 0.05$) were observed among and within groups of accessions of Mixteca maizes with different kernel color (yellow, blue, white, red and color combinations) for the protein, lysine and tryptophan content in the whole kernel. Control and evalua-

ted accessions of yellow, white, red kernel and color combinations of kernel color showed no significant differences in lysine and tryptophan content. In protein, 10 accessions surpassed the QPM control. Accession CIIDIR-185 is promissory since it presented similar values in tryptophan and lysine, and higher values in protein content in relation to the control.

Index words: *Zea mays*, amino acids, kernel composition, phenotypic variation.

INTRODUCCIÓN

En el Estado de Oaxaca se cosechan anualmente más de 500 mil hectáreas de maíz (*Zea mays* L.), y en la región Mixteca alrededor de 120 mil hectáreas; del total, 87.6 % corresponden a siembra de temporal (secano) en monocultivo o en asociación con otros cultivos, con un rendimiento promedio en la Mixteca de 0.4 a 2.7 t ha⁻¹ (OEIDRUS, 2010). El maíz se cultiva en la Mixteca desde tiempos precolombinos (Anderson y Finan, 1945) y prevalece en el sistema "milpa", donde se reconocen diferentes colores de grano como azul, rojo, blanco, amarillo o pinto y se asocia, doble o triple, con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), calabaza (*Cucurbita pepo* L.), chilacayote (*Cucurbita ficifolia* L.) o haba (*Vicia faba* L.) (Chávez y Diego, 2011).

En la Mixteca oaxaqueña, el ambiente y selección humana ejercen fuertes presiones sobre las poblaciones cultivadas de maíz hasta definir poblaciones con adaptaciones específicas, como al estrés hídrico en los maíces de "cajete" (Muñoz *et al.*, 2002; Hayano-Kanashiro *et al.*, 2009), cambios en morfología de planta y mazorca distintivas como en la raza Mixteco, denominada por Benz (1997) y en diversos grupos poblacionales o complejos raciales (Chávez-Servia *et al.*, 2011; Chávez y Diego, 2011). También es de esperar que las fuertes presiones de selección humana y natural hayan influenciado la composición del grano en los maíces cultivados en diferentes micronichos de la Mixteca, ya que se cultivan en suelos de baja fertilidad, ligeros, de alta erosión y con bajo o nulo uso de insumos (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2005).

En particular, la selección que hacen los agricultores de caracteres fisiológicos de planta y mazorca han determinado, en parte, las poblaciones de maíz que hoy en día se observan en las parcelas de cultivo (Soleri y Cleveland, 2001; Pressoir y Berthaud, 2004). En las comunidades rurales, el maíz es la base de la alimentación, y mediante procesos básicos de transformación, como la nixtamalización, convierten al grano en diversos productos y platillos gastronómicos entre los que se destacan las tortillas de colores distintos, tamales, pozole, totopos, atoles, etc. Sin embargo, la calidad nutritiva del grano de los maíces nativos, particularmente los cultivados en la Mixteca, no ha sido completamente identificada, evaluada y caracterizada, con el propósito de

promover la diversidad de maíces que mejoren la dieta y fortalezcan la salud de las comunidades indígenas.

En México el maíz es la principal fuente de energía y proteínas de la población. En particular, los maíces nativos aportan a la dieta compuestos antioxidantes (López-Martínez *et al.*, 2009; Salinas-Moreno *et al.*, 2003), carotenoides (Lozano-Alejo *et al.*, 2007), aminoácidos (Vidal *et al.*, 2008) y diversos elementos nutricionales que tienen un efecto positivo en la prevención de enfermedades como hipertensión, altos niveles de triglicéridos, colesterol (Guzmán-Gerónimo *et al.*, 2011; Com. pers.¹) y efecto anticarcinogénico colorrectal (Hawigara *et al.*, 2001). Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de proteína, lisina y triptófano en una colección de 70 muestras poblacionales de maíz nativo de la Mixteca oaxaqueña.

MATERIALES Y METÓDOS

Material biológico

Se colectaron 70 muestras poblacionales de maíz durante los meses de febrero-abril de 2008 a una altitud de 2000 a 2900 m en 51 comunidades de agricultores de 13 municipios de la Mixteca oaxaqueña: Chalcatongo de Hidalgo, San Juan Numí, Santa Catarina Ticuá, San Miguel el Grande, Santa Cruz Nundaco, San Antonio Nduaxico, San Esteban Atlatlahuca, Santa Catarina Yosonotú, San Pedro Mártir Yucuxaco, Santa Cruz Tayata, Santiago Nundiche, San Pedro Molinos y Magdalena Peñasco. Las muestras de las colectas se clasificaron por color de grano: azul, blanco, rojo y pinto (dos o más combinaciones de granos azules, rojos, blancos, amarillos, etc., en la misma mazorca), y se sembraron en una parcela de San Martín Huamelúlpam, Oaxaca, durante el ciclo primavera-verano 2008, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. A la cosecha se tomaron muestras aleatorias de 300 g de grano de cada unidad experimental y se refrigeraron por 10 meses en frascos ámbar hasta su análisis. Se utilizó un testigo externo (S.L. 2009, var. 'VG 1-2', del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) del tipo QPM (maíz de alta calidad proteínica, por sus siglas en inglés).

Composición de grano

El grano de maíz se molió en un molino ciclónico y se cribó por un tamiz con malla de 500 μ m. La muestra mo-

lida se desengrasó con acetona de acuerdo con el método propuesto por Obi (1982). Posteriormente, a cada muestra se le determinó el contenido de proteínas por el método de Bradford (1976), técnica que se basa en la interacción del indicador azul brillante de Coomassie G-250 con las proteínas. La cuantificación de proteína se hizo por medio de un espectrofotómetro (Shimadzu, modelo UV-1601®; Kyoto, Japan) y con base en la curva de calibración de albúmina de suero de bovino (98 % de pureza; Sigma), como estándar de proteína. Los resultados se reportan en porcentaje de proteína en base húmeda libre de aceite (p.b.h.) y en base seca libre de aceite (p.b.s.). El triptófano y lisina en base seca se cuantificaron de acuerdo con los métodos colorimétricos descritos por Villegas *et al.* (1985) y se expresaron en porcentaje. Todos los análisis se hicieron por triplicado.

Análisis estadístico

Las diferencias entre grupos de color de grano y poblaciones dentro de grupos se evaluaron mediante un análisis de varianza con un modelo lineal de bloques completos al azar y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Con los promedios estandarizados por muestra se hizo un análisis de componentes principales para describir los patrones poblacionales con referencia al testigo QPM, todo ello mediante el paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados aquí presentados se refieren a los contenidos de proteína lisina y triptófano del grano completo, sin separar endospermo ni germen. En el análisis de varianza se detectaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre y dentro grupos de colectas de diferente color de grano. Se observó mayor variación en contenido de proteína entre grupos que dentro de grupos (Cuadro 1).

En los trabajos previos de caracterización morfológica realizados por Chávez-Servia *et al.* (2011) en las mismas muestras de este estudio, se observaron diferencias significativas en características de mazorca y grano. Aunque no son los mismos patrones diferenciales, también se reflejaron diferencias sustanciales de muestra a muestra en contenido de proteína, lisina y triptófano. En los promedios por grupo de color de grano, se observó que los maíces denominados como pintos y rojos fueron semejantes en composición al testigo (QPM), y al valor medio registrado por Sierra *et al.* (2011) en el híbrido 'H-564C' de alta calidad de proteína recientemente liberado para el trópico; y sobrepasan ligeramente al promedio reportado por Vidal *et al.* (2008) para los maíces nativos de Nayarit (Cuadros 2, 3 y 4).

En relación con el contenido de proteína base húmeda y

¹Guzmán-Gerónimo R I, T M Alarcón-Zavala, E Silva-Hernández, J E Meza-Alvarado, S Herrera-Meza, R M Oliart-Ros, J L Chávez-Servia (2011) Polifenoles totales, antocianinas, actividad antioxidante de maíz azul y su efecto en ratas Wistar con síndrome metabólico inducido. In: 3er. Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía, Septiembre 28-Octubre 1, 2011. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza, coeficientes de variación y promedios de proteína, triptófano y lisina de 70 poblaciones de maíz de la Mixteca oaxaqueña.

Fuente de variación	Proteína en base húmeda (%)	Proteína en base seca (%)	Triptófano en base seca (%)	Lisina en base seca (%)
Grupo de color de grano	7.51**	9.24**	<0.001**	<0.001**
Colecta (grupo)	6.61**	8.49**	<0.001**	<0.001**
Coeficiente de variación (%)	4.99	4.99	3.740	3.740
Promedio	10.99	12.33	0.067	0.392
Testigo QPM	12.30	13.80	0.090	0.620

**Diferencias significativas ($P \leq 0.01$).

seca, 32 colectas se comportaron estadísticamente iguales al testigo QPM y 11 de ellas sobrepasaron al valor promedio estimado para el testigo en >12.3 % de proteína en base húmeda y >13.8 % de proteína en base seca. Un comportamiento similar reportaron Coutiño *et al.* (2008) en las variedades 'V-229' y 'V-231A', Vidal *et al.* (2008) en colectas de maíz nativo de Nayarit y Vázquez *et al.* (2010) en maíces nativos de Hidalgo, lo que indica que algunas poblaciones nativas o material mejorado a partir de los acervos genéticos locales del maíz mexicano, tienen igual o mayor contenido de proteína total que los denominados QPM; no obstante, estos últimos pueden tener mayores proporciones de algunos aminoácidos esenciales. Es de primordial importancia señalar que la composición del grano está influenciada por las condiciones de cultivo o por efectos considerados como no-genéticos.

Respecto al contenido de triptófano en base seca, se observó que ninguna de las colectas superó al valor promedio determinado para el testigo QPM (0.09 % de triptófano); sin embargo, la colecta CIIDIR-185 no mostró diferencias significativas con respecto al testigo (> 0.08 %). Este mismo efecto observó Sierra *et al.* (2011) al comparar el híbrido 'H-564C' de alta calidad de proteína con otras variedades mejoradas ('V-556AC'). No obstante, se observó un efecto estabilizador del alto contenido de triptófano en los materiales mejorados con el objetivo de incrementar la calidad de proteína; por lo que no se deben dejar de lado los acervos genéticos locales que presentan esa característica, como también se confirmó en el estudio de Vidal *et al.* (2008). Además, no sólo se detectaron materiales promisorios en grano blanco sino que también los hay en azul, amarillo, rojo y pinto.

Los valores promedio de 0.4 a 0.6 % de lisina en base seca de 29 colectas fueron estadísticamente iguales al valor determinado para el testigo QPM (0.62 %). Estos valores fueron ligeramente superiores a los reportados para el híbrido

'H-564C' (Sierra *et al.*, 2011), al estimado para las variedades 'V-229' y 'V-231A' de la raza Comiteco reportadas por Coutiño *et al.* (2008) y al promedio de los maíces nativos de Nayarit (Vidal *et al.*, 2008). Esto puede indicar, en parte, que el ambiente de cultivo influye de manera significativa en la expresión del carácter y también refleja una estimación del estado de la composición de grano y no necesariamente que existan genes en las poblaciones que le confieren esa característica (Mittelmann *et al.*, 2011). Esto conlleva a pensar que deben obtenerse diferentes estimaciones de la composición del grano en colectas cultivadas en diferentes ambientes para obtener una estimación del efecto ambiental y del efecto genotípico.

En el análisis de componentes principales se determinó que en los dos primeros componentes se concentró 89.6 % de la variabilidad total evaluada; por consiguiente, pueden considerarse a los dos primeros componentes principales como índices de selección. En la Figura 1 se ubicó al testigo QPM en el cuadrante inferior derecho y varias colectas en el cuadrante superior derecho. Este patrón indica que en la evaluación se observaron más de 10 colectas que superan al testigo en proteína, pero no en contenido de lisina y triptófano.

CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias significativas entre y dentro de grupos de colectas de maíz Mixteco de diferente color de grano (amarillo, azul, blanco, rojo y pinto), en el contenido de proteína, lisina y triptófano del grano entero. En proteína en base húmeda y proteína en base seca, 11 colectas superaron al testigo QPM. En lisina 29 colectas fueron superiores al testigo. La colecta CIIDIR-185 se considera promisorio porque fue estadísticamente igual al testigo QPM en triptófano y lisina, y lo superó en contenido de proteína.

Cuadro 2. Contenido promedio de proteína en base húmeda y en base seca, triptófano y lisina de 70 poblaciones de maíz de la Mixteca de Oaxaca de color amarillo y azul.

Colecta	Origen de la colecta (comunidad o agencia, municipio)	Proteína base húmeda (%)	Proteína base seca (%)	Triptófano base seca (%)	Lisina base seca (%)
Colectas de grano amarillo					
CIIDIR-59	Cañada María, Tlaxiaco	10.5	11.9	0.063	0.313
CIIDIR-50	El Uval, Santa Cruz Tayata	9.7	10.9	0.063	0.280
CIIDIR-11	Guadalupe Mirasol, San Juan Ñumí	10.5	11.7	0.068	0.380
CIIDIR-78	Cabacúa, Magdalena Peñasco	10.1	11.4	0.063	0.373
CIIDIR-94	Yosocahua, Magdalena Peñasco	10.1	11.2	0.068	0.420
CIIDIR-102	Chapultepec, Chacaltongo de Hidalgo	10.5	11.9	0.069	0.330
CIIDIR-113	Abasolo, Chacaltongo de Hidalgo	11.9	13.4	0.081	0.496
CIIDIR-115	Reforma, Chacaltongo de Hidalgo	8.7	9.8	0.055	0.420
CIIDIR-136	Reforma, Chacaltongo de Hidalgo	10.4	11.7	0.064	0.586
CIIDIR-198	Cañada de Morelos, Chacaltongo de Hidalgo	12.8	14.4	0.075	0.526
CIIDIR-196	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	10.5	11.8	0.068	0.303
CIIDIR-187	Yucuiji, San Esteban Atlatlahuca	11.1	12.5	0.077	0.496
CIIDIR-177	Morelos, San Esteban Atlatlahuca	12.6	14.1	0.076	0.386
CIIDIR-175	Morelos, San Esteban Atlatlahuca	9.9	11.1	0.072	0.506
CIIDIR-166	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	11.7	13.3	0.066	0.356
CIIDIR-165	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	10.5	11.8	0.061	0.476
CIIDIR-153	Yute Tintaku, San Esteban Atlatlahuca	9.9	10.9	0.068	0.313
CIIDIR-147	Benito Juárez, San Miguel El Grande	9.7	11.0	0.059	0.323
Promedio de grupo		10.6 c[†]	11.9 c	0.068 ab	0.404 a
Colectas de grano azul					
CIIDIR-197	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	10.4	11.6	0.068	0.426
CIIDIR-190	Yucuiji, San Esteban Atlatlahuca	12.1	13.6	0.077	0.276
CIIDIR-185	Ojo de Agua, Santa Cruz Nundaco	14.2	15.9	0.086	0.533
CIIDIR-163	Ignacio Zaragoza, San Miguel el Grande	8.3	9.3	0.059	0.326
CIIDIR-129	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	10.2	11.3	0.068	0.356
CIIDIR-112	Abasolo, Chalcatongo de Hidalgo	10.8	12.1	0.055	0.230
CIIDIR-107	Abasolo, Chalcatongo de Hidalgo	10.7	12.0	0.056	0.296
CIIDIR-12	Guadalupe Mirasol, San Juan Ñumí	9.6	10.9	0.056	0.276
CIIDIR-05	San Nicolás, Tlaxiaco	12.3	13.7	0.069	0.310
CIIDIR-02	San Esteban, San Esteban Atlatlahuca	9.9	11.1	0.061	0.473
CIIDIR-125	Independencia, Chalcatongo de Hidalgo	8.9	9.9	0.063	0.323
Promedio de grupo		10.6 c	11.9 c	0.065 c	0.348 b

[†]En cada columna, medias de grupos con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Contenido promedio de proteína base en húmeda y en base seca, triptófano y lisina de 70 poblaciones de maíz de la Mixteca de Oaxaca de color blanco y rojo.

Colecta	Origen de la colecta (comunidad o agencia, municipio)	Proteína base húmeda (%)	Proteína base seca (%)	Triptófano base seca (%)	Lisina base seca (%)
Colectas de grano blanco					
CIIDIR-182	La Loma, Santa Cruz Nundaco	9.8	10.8	0.058	0.316
CIIDIR-77	Barrio San Jose, Santa Catarina Ticua	9.6	10.7	0.058	0.466
CIIDIR-76	Chamizal, Santa Catarina Ticua	10.7	12.1	0.067	0.460
CIIDIR-75	Fortín Juárez, Santa Catarina Ticua	10.2	11.5	0.066	0.373
CIIDIR-70	Barrio Guadalupe, San Pedro Molinos	11.5	13.1	0.071	0.490
CIIDIR-68	Morelos, Santiago Nundiche	8.5	9.7	0.062	0.530
CIIDIR-57	Enduayavi, Santa Cruz Tayata	10.3	11.6	0.055	0.260
CIIDIR-149	Benito Juárez, San Miguel El Grande	12.2	13.6	0.071	0.416
CIIDIR-157	Yutebey, San Esteban Atlatlahuca	9.7	10.9	0.067	0.476
CIIDIR-178	Morelos, San Esteban Atlatlahuca	9.5	10.4	0.062	0.346
CIIDIR-42	Cañada María, San Pedro Mártir Yucuxaco	11.1	12.3	0.067	0.366
CIIDIR-39	Cañada María, San Pedro Mártir Yucuxaco	12.5	14.2	0.070	0.570
CIIDIR-34	Río, San Juan Ñumí,	11.9	13.4	0.071	0.346
CIIDIR-27	San Jose Ñumí, San Juan Ñumi	8.7	9.7	0.073	0.370
CIIDIR-19	Santo Domingo Yosoñama, San Juan Ñumi	12.3	13.9	0.069	0.373
CIIDIR-14	San Antonio Nduaxico, San Juan Ñumi	11.8	13.3	0.063	0.376
CIIDIR-04	Barrio San Nicolas, Tlaxiaco	9.9	10.9	0.067	0.473
CIIDIR-137	Iturbide, San Miguel El Grande	13.5	15.3	0.069	0.380
CIIDIR-134	Reforma, Chacaltongo de Hidalgo	10.3	11.5	0.067	0.500
CIIDIR-132	Allende, Chacaltongo de Hidalgo	13.3	14.9	0.069	0.336
CIIDIR-126	Independencia, Chacaltongo de Hidalgo	11.2	12.8	0.071	0.346
CIIDIR-109	Abasolo, Chacaltongo de Hidalgo	12.3	13.8	0.072	0.526
Promedio de grupo		10.9 bc	12.3 bc	0.067 bc	0.413 a
Colectas de grano rojo					
CIIDIR-183	La Loma, Santa Cruz Nundaco	11.0	12.4	0.067	0.340
CIIDIR-158	Yutebey, San Esteban Atlatlahuca	12.7	14.4	0.061	0.373
CIIDIR-160	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	9.3	10.5	0.073	0.363
CIIDIR-173	Yuñana, San Esteban Atlatlahuca	11.4	12.9	0.069	0.356
CIIDIR-176	Morelos, San Esteban Atlatlahuca	13.8	15.3	0.074	0.403
CIIDIR-194	Santa Catarina Yosonotú	11.4	12.8	0.065	0.480
CIIDIR-195	Ignacio Zaragoza, San Miguel El Grande	9.3	10.4	0.071	0.386
CIIDIR-13	Guadalupe Mirasol, San Juan Ñumí	9.3	10.5	0.062	0.576
CIIDIR-41	Cañada María, San Pedro Mártir Yucuxaco	9.1	10.2	0.065	0.306
CIIDIR-122	Fortín Juárez, Santa Catarina Ticúa	11.9	13.4	0.065	0.393
CIIDIR-103	Chapultepec, Chacaltongo de Hidalgo	14.2	15.9	0.081	0.480
CIIDIR-186	Santa Cruz Nundaco	11.2	12.5	0.067	0.280
Promedio de grupo		11.2 b	12.6 b	0.068 a	0.395 a

³En cada columna, medias de grupos con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 4. Contenido promedio de proteína base en húmeda y en base seca, triptófano y lisina de 70 poblaciones de maíz de la Mixteca de Oaxaca de color pinto y variegado.

Colecta	Origen de la colecta (comunidad o agencia, municipio)	Proteína base húmeda (%)	Proteína base seca (%)	Triptófano base seca (%)	Lisina base seca (%)
Colectas de grano pinto y variegado					
CIIDIR-150	Benito Juárez, San Miguel El Grande	9.0	10.1	0.052	0.353
CIIDIR-155	Yuvitinaña, San Esteban Atlatlahuca	12.1	13.4	0.062	0.440
CIIDIR-156	Yonama, San Esteban Atlatlahuca	11.4	12.8	0.075	0.460
CIIDIR-168	Yucuiji, San Esteban Atlatlahuca	10.5	11.9	0.062	0.463
CIIDIR-171	Independencia, San Esteban Atlatlahuca	13.0	14.6	0.069	0.340
CIIDIR-170	Independencia, San Esteban Atlatlahuca	14.9	16.8	0.082	0.400
CIIDIR-191	Yucuiji, San Esteban Atlatlahuca	12.5	13.8	0.069	0.350
	Promedio	11.9 a	13.3 a	0.067 ab	0.400 a
	DSH [‡]	1.90	2.13	0.008	0.230
	Testigo-QPM [‡]	12.3	13.8	0.090	0.620
	H-564C [¶]	---	---	0.086	0.352
	Maíces nativos de Nayarit ^{¶¶}	---	10.3	0.050	0.304

[‡]QPM = maíz de alta calidad proteínica (testigo externo); [¶]Híbrido tipo QPM (Sierra *et al.*, 2011); ^{¶¶}Vidal *et al.* (2008); [‡]DSH = diferencia significativa honesta para la comparación de colectas (Tukey, 0.05).

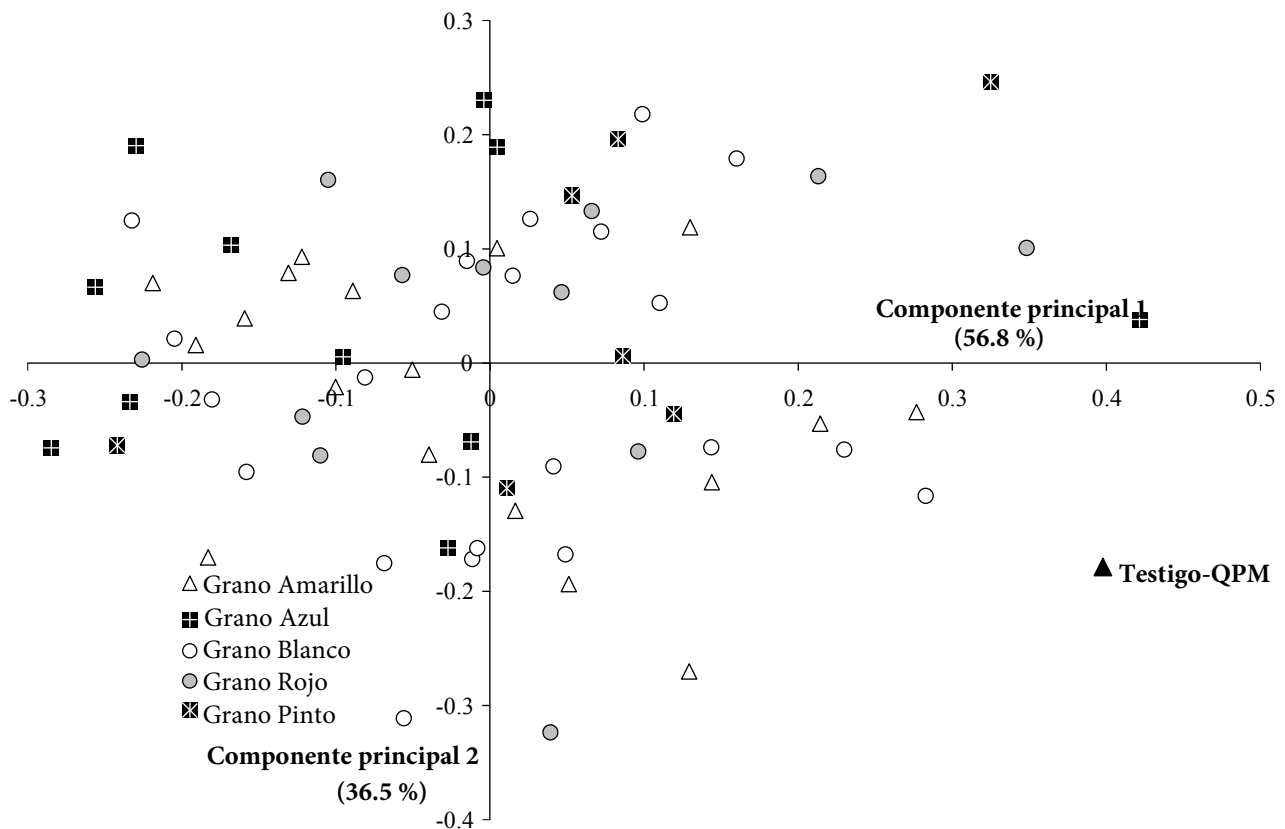


Figura 1. Dispersión de 70 poblaciones de maíz nativo colectado en la Mixteca Oaxaqueña, con base en el plano formado por los dos primeros componentes principales.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson E, J J Finan (1945)** Maize in the Yanhuitlan codex. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 32:361-368.
- Benz B F (1997)** Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueol. Mex.* 5:16-23.
- Bradford M M (1976)** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analyt. Biochem.* 72:248-254.
- Chávez S J L, P Diego F (2011)** Familias campesinas y variación fenotípica de poblaciones nativas de maíz en la región de Tlaxiaco, Oaxaca. *Des. Amb. Cult.* 1:28-38.
- Chávez-Servia J L, P Diego-Flores, J C Carrillo-Rodríguez (2011)** Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelúlpam, Oaxaca. *Ra Ximhai* 7:107-115.
- Contreras-Hinojosa J, V Volke-Haller, J Oropeza-Mota, C Rodríguez-Franco, T Martínez-Saldaña, A Martínez-Garza (2005)** Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuitlán, Oaxaca, México. *Terra Latinoam.* 23:399-408.
- Coutiño E B, G Vázquez C, B Torres M, Y Salinas M (2008)** Calidad de grano, tortilla y botanas de dos variedades de maíz de la raza Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(Núm. Esp. 3):9-14.
- Hagiwara A, K Miyashita, K Nakanishi, M Sano, S Tamano, T Kadota, T Koda, M Nakamura, K Imaida, N Ito, T Shirai (2001)** Pronounced inhibition by a natural anthocyanin, purple corn color of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazol [4,5-b]pyridine (PhIP)-associated colorectal carcinogenesis in male F344 rats pretreated with 1,2-dimethylhydrazine. *Cancer Lett.* 171:17-25.
- Hayano-Kanashiro C, C Calderón-Vázquez, E Ibarra-Laclette, L Herrera-Estrella, J Simpson (2009)** Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *PLOS ONE* 4:e7531. doi:10.1371/journal.pone.0007531.
- López-Martínez L X, R M Oliart-Ros, G Valerio-Alfaro, C-H Lee, K L Parkin, H S García (2009)** Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT- Food Sci. Technol.* 42:1187-1192.
- Lozano-Alejo N, G Vázquez C, K Pixley, N Palacios-Rojas (2007)** Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8:385-389.
- Mittelmann A, J Branco de Miranda F, L Lourenço N, G J Melo M, C Hara-Klein, R Machado S (2011)** Quantitative variation for grain quality in Brazilian maize populations. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 68:50-56.
- Muñoz O A, G Pérez J, P A López, R J Salvador (2002)** Maíz de cajete: agrosistema y resistencia a sequía. *In: Antología sobre Pequeño Riego, Vol. III. Sistemas de Riego no Convencionales.* J Palerm (ed). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp:137-164.
- OEIDRUS, Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (2010)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2010, Oaxaca. Disponible en: http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_oax/a1.php (Diciembre 2011).
- Obi I U (1982)** Application of 2,4,6-trinitrobenzene-1-sulfonic acid (TNBS) method for determination of available lysine in maize seed. *Agric. Biol. Chem.* 46:15-20.
- Pressoir G, J Berthaud (2004)** Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92:95-101.
- Salinas-Moreno Y, F Martínez-Busto, M Soto-Hernández, R Ortega-Paczka, J L Arellano-Vázquez (2003)** Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37:617-628.
- SAS Institute (1999)** SAS Procedure Guide, Release 8.0. Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 1643 p.
- Sierra M M, A Palafox C, F Rodríguez M, A Espinosa C, G Vázquez C, N Gómez M, S Barrón F (2011)** H564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 2:71-84.
- Soleri D, D A Cleveland (2001)** Farmers' genetic perceptions regarding their crop populations: an example with maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Econ. Bot.* 55:106-128.
- Vázquez M G, J P Pérez C, J M Hernández C, M L Marrufo D, E Martínez R (2010)** Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del Mezquital México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(Núm. Esp. 4):49-56.
- Vidal M V A, G Vázquez C, B Coutiño E, A Ortega C, J L Ramírez D, R Valdivia B, M J Guerrero H, F J Caro V, O Cota A (2008)** Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la Sierra de Nayarit, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(Núm. Esp. 3):15-21.
- Villegas E, E Ortega, R Bauer (1985)** Métodos químicos usados en el CIM-MYT para determinar la calidad de la proteína de los cereales. *Boletín Técnico* 20. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Edo. de México. 32 p.