

Evaluación y caracterización, morfológica y química, de 51 cultivares de maíz criollo (*Zea mays*) del departamento de Sololá

Rolando Cifuentes, Sofía Gómez, Brenda Rodas, Edwin de León, Josué Bocel & Josué Ajcalón

Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

rcifuen@uvg.edu.gt

RESUMEN: El estudio se llevó a cabo durante el período 2011-2013 con la finalidad de regenerar, caracterizar y evaluar materiales de maíz criollo colectados en el departamento de Sololá. Se partió de la colecta y del establecimiento de un banco de semillas, al cual ingresaron más de 200 muestras. Se seleccionaron 51 accesiones de maíz que de acuerdo a información proporcionada por los agricultores presentaron una productividad mayor a 3 t/ha. Los sitios experimentales se ubicaron en San Lucas Tolimán (SLT) (1,500 msnm), San Antonio Palopó (SAP) (1,690 msnm) y Santa Lucía Utatlán (SLU) (2,200 msnm). La caracterización morfológica se realizó en SAP y la evaluación del rendimiento en los 3 sitios, utilizando cada sitio como una repetición. Se encontró alta variabilidad en las características morfológicas, productividad y composición química de los materiales evaluados. Los resultados permitieron hacer una selección de un grupo de 20 accesiones con base en rendimiento, contenido de proteína, Fe y Zn, para su posterior evaluación en un mayor número de sitios. Los materiales seleccionados presentan ciclos de producción y altura de planta diferentes. Se incluyeron materiales de grano blanco, amarillo, negro y rojo.

PALABRAS CLAVE: maíz criollo, agrobiodiversidad, composición química, productividad, Milpa.

(1,500 msnm), San Antonio Palopó (SAP) (1,690 msnm) and Santa Lucía Utatlán (SLU) (2,200 msnm). The morphological characterization was implemented in SAP whereas the yield evaluation included the three sites, using each site as a replication. A high variability in morphological characteristics, productivity and chemical composition among the cultivars was found. The results allowed to select a set of 20 corn cultivars based on yield and protein, Fe and Zn contents, for further testing in a higher number of sites. The corn cultivars selected presented differences in plant height and the production cycle. Cultivars with white, yellow, black or red grain color were included as the promising cultivars.

KEY WORDS: native corn, agrobiodiversity, chemical composition, productivity, Milpa.

Introducción

La alimentación de la mayor parte de guatemaltecos, principalmente del área rural, depende del maíz y del frijol. Estas dos especies son usualmente plantadas en el mismo sitio de producción como parte del sistema Milpa.

En Guatemala se siembran entre 700 a 900 mil hectáreas de maíz y aproximadamente 230 mil hectáreas de frijol, con un rendimiento aproximado de 2 y 0.9 t/ha para cada cultivo, respectivamente (MAGA, 2013).

La mayor parte de variedades de maíz utilizadas en Sololá, y en el Altiplano en general, son nativas o criollas (Cifuentes et al., 2014). La región de Sololá, por la variedad de zonas climáticas, dispone de una amplia agro biodiversidad de maíz y frijol de enredo. Esto es sumamente positivo para la búsqueda de maíces de alto rendimiento y alto valor nutricional a fin de encontrar los mejores maíces criollos para contribuir al combate de la inseguridad alimentaria y la malnutrición.

Evaluation and Characterization, morphological and Chemical, of 51 cultivars of native corn (*Zea mays*) from the Sololá region

ABSTRACT: The study was carried out during the period 2011-2013 in order to regenerate, characterize and evaluate cultivars of native corn collected in the Sololá region. It was started by collecting corn seeds and the establishment of a seed bank in which over 200 samples were stored. 51 cultivars were selected based on the yield report (> 3t/ha) provided by the farmers. The experimental sites were located in San Lucas Tolimán (SLT)



Figura 1. Panorámica del banco de semillas establecido para especies vinculadas al sistema Milpa de Sololá

La evidencia científica sugiere que México es el lugar más probable de origen del maíz, o Guatemala como segunda opción (Galinat, 1995; Wilkes, 1989). La riqueza genética registrada en Guatemala es significativa, si se compara con el número de razas presentes en México (25) y que están distribuidas en una mayor área geográfica (Welhausen et al., 1952).

De acuerdo a Wellhaunse et al. (1957), en el país existen 13 razas distintas de maíz y 9 sub-razas. Se estima que el 50% de esas razas se encuentran distribuidas en la región de Sololá. Estos resultados han llevado a plantear a Guatemala como un centro de convergencia y diversificación de razas de maíz. A nivel departamental prevalecen los colores de grano amarillo, blanco, amarillo-blanco, amarillo-blanco-negro, negro y rojizo (Cifuentes et al., 2014).

Como parte de la conservación y uso de las especies nativas, se ha iniciado la colecta de las especies vinculadas al sistema Milpa del departamento de Sololá. En este estudio se buscó regenerar, caracterizar y evaluar maíces criollos colectados en Sololá a fin de identificar algunas variedades de alto valor productivo y nutricional para contribuir a la seguridad alimentaria nutricional de la región.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el periodo 2011 - 2013. Se partió de la colecta de semilla de maíz criollo para su posterior conservación en un banco de semillas de especies vinculadas al sistema Milpa, establecido en el Campus Altiplano (Sololá) de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) (Figura 1).

Banco de semillas

El banco se estableció siguiendo la secuencia operativa y procedimientos establecidos a nivel internacional por Bioversity International (Rao et al. 2007), para bancos de semillas y germoplasma. La secuencia operativa incluyó la documentación y limpieza de las muestras, ensayos de germinación, ensayos de determinación de humedad, secado de las semillas y el almacenamiento de las semillas.

Los ensayos de germinación se hicieron bajo condiciones controladas (20/30 °C por 8/12 horas, sin luz) en una cámara de germinación. Los ensayos de determinación de humedad se realizaron con el método de temperatura de horno alta y constante recomendado para maíz y frijol (Rao et al. 2007). El secado de las semillas a 8% se realizó con el método de gel de sílica (Rao et al. 2007). Las semillas secas se almacenaron en frascos de vidrio bajo condiciones de temperatura ambiente (19-21°C) y 40% de humedad relativa. Las condiciones de almacenamiento en el Banco se monitorearon con un termómetro de pared y empleando un deshumidificador. Actualmente se resguardan 206 accesiones de maíz criollo y 22 de frijol de enredo criollo.

Para la regeneración, caracterización y evaluación en campo se seleccionaron 51 accesiones de maíz (Cuadro 1). Se incluyeron maíces de grano blanco, amarillo, negro y rojo. Se dio énfasis a materiales con un rendimiento de por lo menos 2.8 t/ha, lo cual corresponde al promedio del rendimiento de maíz reportado por los agricultores de Sololá durante la colecta.

Cuadro 1. Materiales de maíz criollo seleccionados para el estudio

No.	Accesión	Color de grano	No.	Accesión	Color de grano
1	8A-8	Blanco	27	109-119	Amarillo
2	25-32	Amarillo	28	116-126	Blanco
3	28-37	Amarillo	29	126-137	Amarillo
4	29-38	Amarillo	30	131D-142	Amarillo
5	34A-43	Blanco	31	148U-159	Amarillo
6	34B-44	Blanco	32	149V-160	Amarillo
7	46-56	Amarillo	33	DrP11-175	Blanco
8	44-55	Blanco	34	DrP25-176	Blanco-amarillo
9	47-57	Amarillo	35	DrP26-177	Blanco
10	48-58	Amarillo	36	DrP28-N-179	Negro
11	50-60	Amarillo	37	DrP28-A-178	Amarillo
12	51-61	Amarillo	38	DrP28-B-180	Blanco
13	53-63	Amarillo	39	DrP30-181	Blanco
14	57B-68	Amarillo	40	DrP32-182	Amarillo
15	62-73	Amarillo	41	DrP43-183	Blanco
16	66-77	Blanco-amarillo	42	DrP48-184	Blanco
17	68-79	Blanco	43	DrP49-185	Amarillo
18	73-83	Amarillo	44	DrC 1	Blanco
19	74-84	Blanco	45	DrC 2	Amarillo
20	76-86	Rojo	46	CG-N-FA	Negro
21	80-90	Blanco	47	UALt-B	Blanco
22	85-92	Negro	48	CG-A-FA	Amarillo
23	87-94	Blanco	49	OA-B-LX	Blanco
24	92-100	Amarillo	50	SLT-A-AJ	Rojo-amarillo
25	93-101	Amarillo	51	SAP-B-CM	Blanco
26	106-116	Amarillo			

Regeneración de las accesiones

La regeneración de las 51 accesiones de maíz criollo seleccionadas por su rendimiento se llevó a cabo en el año 2012. El sitio de la evaluación se estableció en la Comunidad Ojo de Agua, San Antonio Palopó (SAP), ubicado a una altitud de 1960 msnm. Se realizó una regeneración tipo fraternal que consistió en 1. deshoje (identificación de lígulas potenciales para el proceso de polinización), 2. Glacinaje (cobertura de protección en lígulas maduras para evitar su fecundación con polen no deseado), 3. Generación de mechas (recolección de polen de plantas hermanas, con características deseables de reproducción), 4. Polinización (cobertura de polen en lígulas maduras y fecundación) y 5. Cosecha. La semilla cosechada fue secada al aire y resguardada de insectos y enfermedades para su posterior uso en la evaluación de campo.

Evaluación y caracterización

La evaluación y caracterización de los 51 materiales de maíz se realizó durante el año 2013. La caracterización fenotípica se realizó únicamente en el sitio experimental de San Antonio

Palopó. En ese sitio también se realizó una segunda regeneración de los 51 materiales para la caracterización química del grano, a fin de asegurar la pureza de cada material. Para la caracterización morfológica, se realizó un registro de 43 descriptores siguiendo la metodología sugerida por Fuentes (2008).

La caracterización química del grano se realizó en los laboratorios de UVG. Las muestras de grano fueron molidas con un molino de martillo y pasadas por un tamiz con mesh No. 60. Los análisis realizados incluyeron proteína y los minerales Fe, Zn, Cu, Mn, K, Ca y Mg. Se utilizaron los métodos de la AOAC (1984).

Para la evaluación del rendimiento se sumó un sitio ubicado en San Lucas Tolimán (SLT) (1500 msnm) y otro ubicado en Santa Lucía Utatlán (SLU) (2200 msnm). Tomando en cuenta las limitaciones de tierra por el alto número de accesiones, cada uno de los tres sitios se utilizó como un repetición a fin de tener una evaluación preliminar con 3 repeticiones. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo formada por 4 hileras de 5.4 m de largo y 4m de ancho, lo cual es equivalente a 21.6 m² por unidad experimental.

Identificación	Días a floración masculina	Días a floración femenina	# de nudos por planta	# de hojas por planta	Ángulo predominante de hoja y tallo	Color de hoja	Ancho de hoja (cm)	Longitud de hoja (cm)	Color de tallo	Color de anera	Longitud de pedúnculo de la espiga (cm)	Longitud de eje central de la espiga (cm)	Número de ramitas secundarias de la espiga	Número de ramitas primarias de la espiga	Número de ramitas secundarias de la espiga	Número de ramitas terciarias de la espiga	Color de estigma	Ángulo predominante de la mazorca	Color de brácteas	Textura de grano	Tipo de grano	Longitud de mazorca	Diámetro de mazorca	Número de hilera por mazorca	Número de granos por hilera	Forma de la mazorca	Color de mazorca	Longitud del grano (cm)	Ancho del grano (cm)	Peso de la mazorca (g)	Peso de granos por mazorca (g)	Peso de granos 100 kg/ha (g)			
84-8	109	121	12	13	90	V	10	100	M1	A3	M1	19	36	0	2	2	A3	87	M1	D	M1	9	15	4	11	26	L	Co	B	1	1	185	156	54	1297
25-32	104	115	12	12	73	V	10	82	M1	A3	M1	13	34	4	2	1	A3	83	M1	SD	6	17	5	13	26	L	Co	A	1	1	284	227	65	1615	
28-37	104	116	12	12	83	V	9	81	M1	R1	M1	20	30	1	3	1	A3	93	SD	SC	4	10	4	10	16	L	Co	A	1	1	213	156	96	2532	
29-38	104	116	11	11	100	V	8	85	M1	A1	M1	16	35	1	1	1	A3	60	V2	SD	6	14	4	11	25	L	Co	A	1	1	156	128	49	1895	
34A-43	114	123	13	13	70	V	9	95	M1	A1	R1	13	29	2	1	1	A1	90	M1	SD	6	22	4	12	36	L	Co	B	1	1	227	185	42	3662	
34B-44	117	130	12	12	80	V	8	79	V2	A1	M1	14	32	0	2	2	A3	112	M2	D	8	17	4	12	33	L	Co	B	1	1	170	128	32	2777	
46-56	109	121	10	10	120	V	9	84	M1	M1	M1	14	36	3	0	1	A1	100	V2	SD	6	14	4	12	30	L	Co	A	1	1	213	156	43	1853	
44-55	106	117	11	11	80	V	9	93	M1	A1	M1	16	34	0	1	3	A2	100	M2	D	7	13	4	11	26	L	Co	B	1	1	170	128	47	2265	
47-57	101	113	10	10	77	V	8	84	V2	M3	M2	10	41	0	2	1	A1	100	V2	SC	5	14	4	13	25	L	Co	A	1	1	114	85	25	2893	
48-58	104	115	11	11	73	V	8	78	M1	A1	M1	10	37	3	1	0	A3	113	V2	SD	6	14	4	9	26	L	Co	A	1	1	185	128	55	2343	
50-60	106	119	10	10	73	V	8	79	V2	A1	M1	15	39	1	1	2	A2	80	M2	SC	4	10	3	10	21	L	Co	A	1	1	114	99	47	1485	
51-61	98	110	11	11	90	V	8	76	M1	A1	R1	18	38	0	3	0	A3	73	V2	SC	4	9	3	12	19	L	Co	A	1	1	185	128	57	3009	
53-63	100	112	11	11	67	V	7	86	V2	M3	M1	20	35	3	1	1	R1	100	V2	SD	5	17	4	13	30	L	Co	A	1	1	199	114	29	3117	

Identificación	Días a floración masculina	Días a floración femenina	# de nudos por planta	# de hojas por planta	Ángulo predominante de hoja y tallo	Color de hoja	Ancho de hoja (cm)	Longitud de hoja (cm)	Color de tallo	Color de anera	Longitud de pedúnculo de la espiga (cm)	Longitud de eje central de la espiga (cm)	Número de ramitas secundarias de la espiga	Número de ramitas primarias de la espiga	Número de ramitas secundarias de la espiga	Número de ramitas terciarias de la espiga	Color de estigma	Ángulo predominante de la mazorca	Color de brácteas	Textura de grano	Tipo de grano	Longitud de mazorca	Diámetro de mazorca	Número de hilera por mazorca	Número de granos por hilera	Forma de la mazorca	Color de mazorca	Longitud del grano (cm)	Ancho del grano (cm)	Peso de la mazorca (g)	Peso de granos por mazorca (g)	Peso de granos 100 kg/ha (g)		
57B-68	114	125	11	12	110	V	8	87	V2	A1	M1	16	40	0	2	1	A1	90	V2	SD	6	18	4	13	31	L	Co	A	1	1	213	156	39	4447
62-73	117	128	12	13	90	V	9	86	V2	A1	M1	19	38	1	3	2	A1	80	V2	SD	6	17	4	12	32	L	Co	A	1	1	199	142	37	2705
66-77	98	107	11	11	80	V	9	85	V2	A1	R1	18	46	4	1	0	A3	80	V2	D	7	15	4	11	25	L	Co	B	1	1	142	114	43	2560
68-79	106	120	12	12	120	V	11	94	V2	A1	M1	20	28	1	2	1	A3	90	V2	SD	5	21	4	10	29	L	Co	B	1	1	213	185	63	4302
73-83	102	114	11	11	70	V	8	78	V2	A1	M1	21	34	1	2	0	A1	60	V2	D	7	16	3	11	29	L	Co	A	1	1	142	114	36	2628
74-84	121	136	11	11	113	V	7	56	V2	A1	M1	13	31	3	3	1	A3	90	V2	SD	6	21	4	12	36	L	Co	B	1	1	241	185	43	2497
76-86	100	110	9	9	80	V	8	87	V2	A2	A1	19	31	0	1	0	A1	90	V2	SD	6	11	4	10	21	L	Co	R	1	1	170	114	52	1910
85-92	129	141	12	13	90	V	8	108	V2	M3	R1	19	39	0	3	1	A3	80	V2	SD	6	18	4	19	32	L	Co	N	1	1	170	114	19	3948
87-94	127	138	13	13	100	V	9	101	V2	A1	R1	24	44	0	2	2	R1	90	V2	SD	5	20	4	21	33	L	Co	B	1	1	213	156	23	3336
92-100	106	119	15	14	73	V	11	102	V2	A1	R1	22	34	0	2	1	R1	80	V2	SD	8	14	4	15	23	L	Co	A	1	1	170	114	32	4215
93-101	109	120	13	12	90	V	10	97	V2	A1	A1	18	41	0	2	1	A3	85	V2	SD	6	18	4	18	30	L	Co	A	1	1	142	114	22	4516
106-116	106	118	13	13	80	V	9	94	V2	A3	M1	18	39	0	3	1	A3	80	V2	SD	6	19	4	13	31	L	Co	A	1	1	213	156	40	3370

L= Lineal
Co= Conica
Ci= Cilindrica

C= Cristalina
SC= Semi cristalina
SD= Semi Sertada
D= Dentada

V1= Verde fuerte
V2= Verde medio
V3= Verde claro
A1= Amarillo fuerte
A2= Amarillo medio
A3= Amarillo claro
M1= Morado fuerte
M2= Morado medio
M3= Morado claro
R1= Rojo fuerte
R2= Rojo medio
R3= Rojo claro

Cuadro 2. Caracterización morfológica de los maíces criollos

Identificación	Días a floración masculina	Días a floración femenina	# de nudos por planta	# de hojas por planta	Ángulo predominante de hoja y tallo	Color de hoja y tallo	Ancho de hoja (cm)	Longitud de hoja (cm)	Color de tallo	Color de gluma	Longitud de pedúnculo de la espiga (cm)	Longitud de eje central de la espiga (cm)	Número de ramitas primarias de la espiga	Número de ramitas secundarias de la espiga	Número de ramitas terciarias de la espiga	Color de estigma	Ángulo predominante de la mazorca	Color de brácteas	Textura de grano	Tipo de grano	Longitud de mazorca (cm)	Dímetro de mazorca (cm)	Número de hilos por mazorca	Número de granos por hilera	Forma de la mazorca	Color de la mazorca	Longitud del grano (cm)	Ancho del grano (cm)	Peso de la mazorca (g)	Peso de granos por mazorca (g)	Peso 100 granos (g)	Kg/ha		
109-119	126	138	16	13	110	V	12	118	V2	A1	M1	21	39	0	1	2	A2	90	V2	SD	6	14	4	13	26	L	Co	A	1	1	156	99	29	4829
116-126	125	126	21	21	110	V	11	96	V2	M3	M1	23	53	0	1	3	A3	90	V2	SD	5	19	4	13	41	L	Cl	B	1	1	199	142	28	3793
126-137	118	131	14	14	130	V	9	103	V2	A1	M1	19	43	0	2	2	A3	90	V2	SC	6	17	4	14	30	L	Cl	A	1	1	199	142	33	4459
131D-142	114	125	15	15	117	V	7	91	V2	M3	M2	28	31	1	3	0	R1	90	V2	SD	5	18	4	12	33	L	Co	A	1	1	213	170	43	3165
148U-159	114	125	13	12	127	V	10	116	V2	A1	M1	21	40	0	2	1	A3	93	V2	SD	6	16	4	13	29	L	Co	A	1	1	227	170	44	3743
149V-160	107	119	12	13	117	V	8	124	V2	M3	M1	20	46	0	2	1	A3	90	M2	SD	6	16	4	11	22	L	Co	A	1	1	270	213	87	2662
DrP11-175	111	125	19	19	103	V	11	121	V2	A1	R2	23	33	0	3	1	A3	90	V2	SC	5	20	5	15	32	L	Cl	B	1	1	412	270	57	4018
DrP25-176	105	117	13	12	103	V	8	120	V2	M3	M2	19	44	0	2	1	A3	90	M2	SC	5	15	5	13	32	L	Co	B	1	1	170	114	27	1976
DrP26-177	114	126	10	11	120	V	9	100	V2	A1	R1	21	41	1	2	0	A3	90	V2	SC	5	14	4	14	23	L	Co	B	1	1	156	99	30	1936
DrP28-N-179	129	139	13	15	100	V	10	116	V2	A1	M1	20	30	0	3	1	A3	90	M2	SD	6	16	4	12	29	L	Cl	N	1	1	199	142	40	3366
DrP28-A-178	102	116	14	13	100	V	10	116	V2	A1	M2	23	43	0	3	1	A3	90	V2	SD	6	13	4	12	29	L	Co	A	1	1	199	142	41	3908
DrP28-B-180	132	143	15	14	103	V	10	120	V2	A1	R1	17	46	0	2	1	A3	90	M2	SD	6	18	4	13	28	L	Cl	B	1	1	312	241	64	4773
DrP30-181	112	124	15	11	117	V	12	149	V2	A1	M1	18	31	0	1	1	A3	80	V2	SD	6	17	4	13	29	L	Co	B	1	1	199	142	39	3564

Identificación	Días a floración masculina	# de nudos por planta	# de hojas por planta	Ángulo predominante de hoja y tallo	Color de hoja y tallo	Ancho de hoja (cm)	Longitud de hoja (cm)	Color de tallo	Color de gluma	Longitud de pedúnculo de la espiga (cm)	Longitud de eje central de la espiga (cm)	Número de ramitas primarias de la espiga	Número de ramitas secundarias de la espiga	Número de ramitas terciarias de la espiga	Color de estigma	Ángulo predominante de la mazorca	Color de brácteas	Textura de grano	Tipo de grano	Longitud de mazorca (cm)	Dímetro de mazorca (cm)	Número de hilos por mazorca	Número de granos por hilera	Forma de la mazorca	Color de la mazorca	Longitud del grano (cm)	Ancho del grano (cm)	Peso de la mazorca (g)	Peso de granos por mazorca (g)	Peso 100 granos (g)	Kg/ha			
DrP32-182	111	124	12	12	107	V	10	123	V2	A1	M1	21	39	0	1	2	A3	87	V2	SD	6	15	4	11	28	L	Co	A	1	1	185	128	40	3880
DrP43-183	113	124	13	14	120	V	10	120	V2	A1	R1	22	34	0	2	1	A3	100	M2	SD	6	18	5	15	33	L	Co	B	1	1	327	256	53	1738
DrP46-184	113	124	13	14	120	V	10	110	V2	A1	M2	24	36	0	3	1	A3	107	M2	SD	5	18	4	14	33	L	Co	B	1	1	114	85	19	4364
DrP49-185	105	119	16	15	130	V	10	113	V2	A1	R1	21	42	0	2	1	A3	107	M2	SD	6	20	4	12	37	L	Co	A	1	1	199	142	32	5363
DrC1	103	116	14	14	120	V	10	109	V2	M3	R1	14	41	2	2	0	A3	90	M2	SC	5	10	3	11	25	L	Co	B	1	1	114	71	26	2531
DrC2	106	118	12	12	130	V	9	100	V2	A1	M1	24	44	0	3	1	A3	110	M2	SD	6	15	3	10	25	L	Co	A	1	1	170	128	50	4183
CG-NFA	105	117	12	13	130	V	10	102	V2	A1	R1	21	44	0	2	1	A3	97	V2	SD	6	13	4	11	29	L	Co	N	1	1	142	114	35	2605
UWt-8	112	123	13	13	117	V	11	107	V2	M1	R1	16	43	0	2	2	R3	88	V2	SD	6	14	4	12	27	L	Cl	B	1	1	227	170	53	3538
CG-AFA	117	129	10	10	123	V	9	91	V2	A1	M1	28	46	1	2	1	A3	85	V2	SD	5	13	3	9	29	L	Co	A	1	1	128	99	37	2218
OA-B-LX	130	140	12	12	110	V	10	100	V2	A1	R1	20	43	0	2	1	R3	103	V2	SD	6	18	5	15	32	L	Cl	B	1	1	312	199	42	2941
ST-H-AI	115	126	12	13	130	V	10	87	V2	A1	R1	25	38	0	2	2	A3	110	V2	SD	6	15	4	14	27	L	Cl	A	1	1	142	85	23	2507
SAP-B-CM	109	120	13	13	120	V	8	106	V2	A1	R1	22	43	0	1	2	A3	110	V2	SD	6	16	4	13	29	L	Cl	B	1	1	213	185	50	3462

L= Lineal
Co= Conica
Cl= Cilíndrica

C= Cristalina
SC= Semi cristalina
SD= Semi Sentada
D= Deentada

V1= Verde fuerte A1= Amarillo fuerte M1= Morado fuerte R1= Rojo fuerte
V2= Verde medio A2= Amarillo medio M2= Morado medio R2= Rojo medio
V3= Verde claro A3= Amarillo claro M3= Morado claro R3= Rojo claro

Cuadro 2. Caracterización morfológica de los maíces criollos

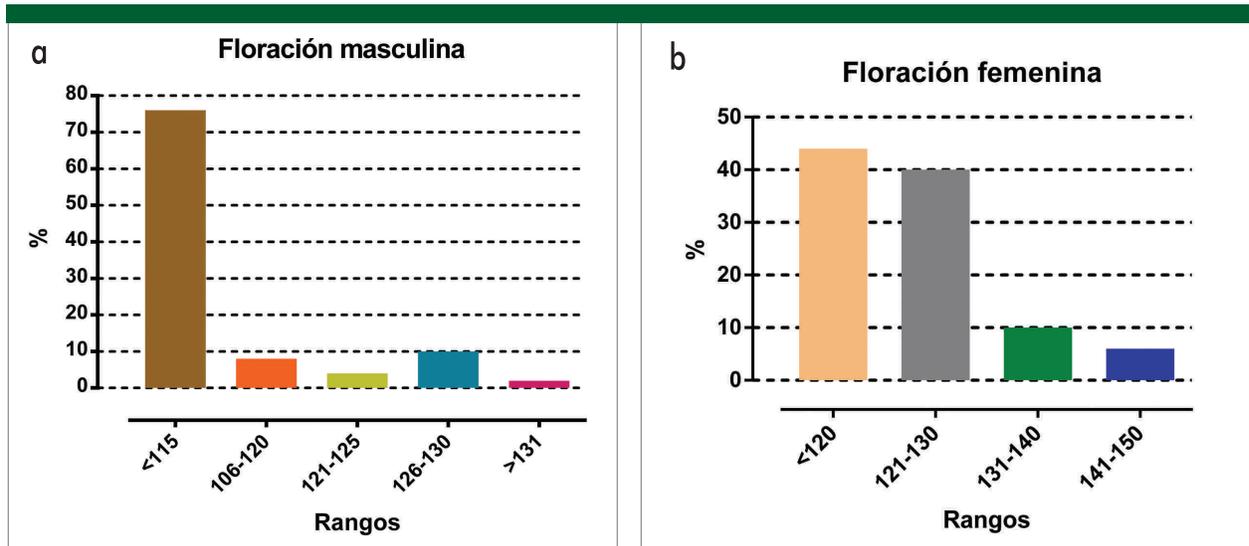


Figura 2. Distribución (%) de los días a floración masculina (a) y femenina (b) de los materiales de maíz criollo

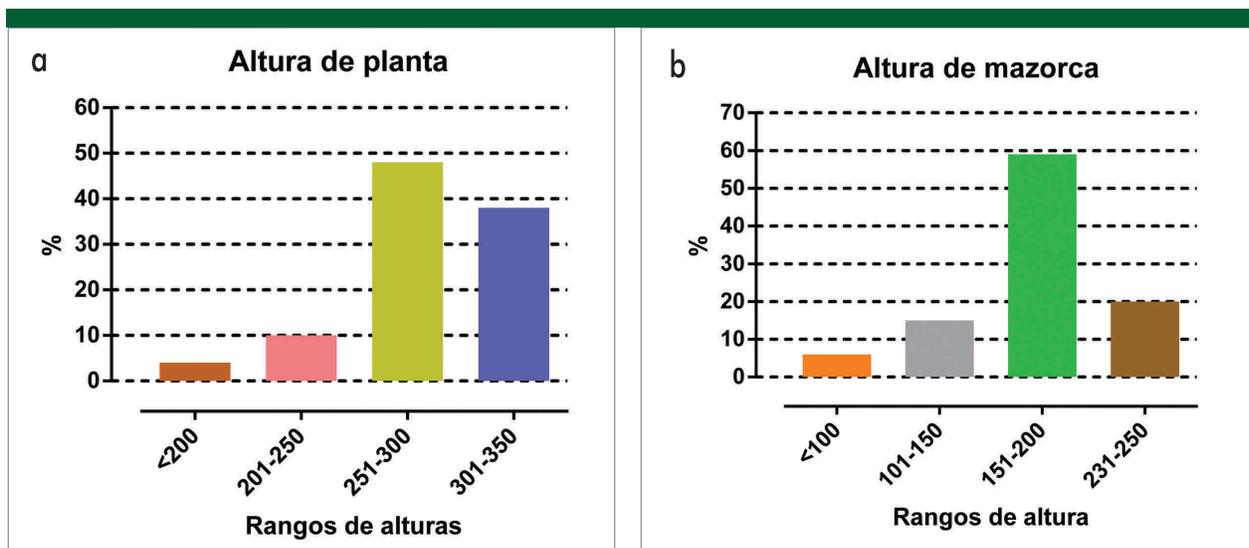


Figura 3. Distribución (%) de la altura de la planta (a) y altura de mazorca (b) de los materiales de maíz criollo

El suelo fue labrado a 20 centímetros de profundidad. La siembra se realizó en forma manual y tradicional de acuerdo a la fecha del agricultor colaborador. Se depositaron 5 semillas de maíz por postura, dejando 4 plantas al momento del raleo. La distancia de siembra establecida fue de 0.90 metros entre matas y 1.0 metros entre surcos. La densidad final de 44,444 plantas/hectárea.

La fertilización se realizó en forma manual utilizando fertilizante granulado. Se aplicaron 120 - 60 Kg de N - P₂O₅ por hectárea, respectivamente. La dosis se fraccionó en dos aplicaciones, utilizando las fórmulas 20-20-0 y 46-0-0 (urea) como las fuentes de nutrientes.

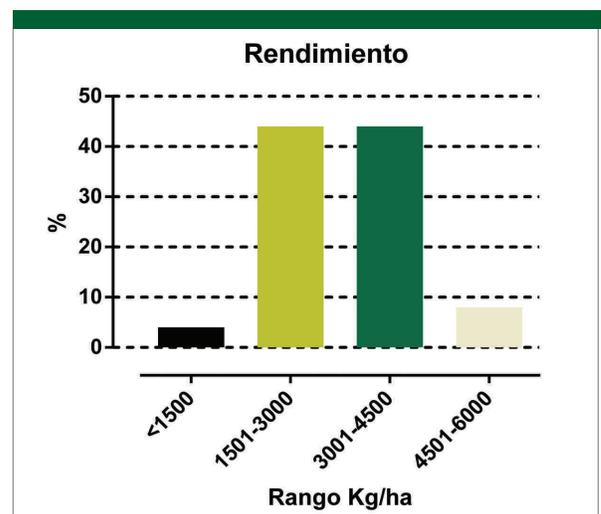


Figura 4. Distribución (%) del rendimiento de los materiales de maíz criollo

Resultados

Caracterización morfológica

Los resultados de la caracterización morfológica para cada uno de los materiales se presentan en el Cuadro 2, y la distribución de algunas características seleccionadas se presenta en las Figuras 2 y 3.

Se encontró alta variabilidad en los días a floración (masculina y femenina) entre accesiones (Figuras 2a y 2b). La floración masculina varió desde menos de 115 hasta más de 131 días, con una media de 111 ± 9 días; en tanto que la floración femenina varió de menos de 120 a 150 días, con una media de 123 ± 9 .

La altura de planta y la altura de mazorca (Figura 3) también variaron entre accesiones. La altura de planta varió de menos de 2 a 3.5 metros, con una media de 2.8 ± 0.3 m; en tanto que la altura de mazorca varió de menos de 1 a 2.5 m con una media de 1.7 ± 0.3 .

Para el resto de descriptores caracterizados también variaron entre accesiones y los detalles pueden verse en el Cuadro 2.

Rendimiento

Se encontró diferencia significativa en el rendimiento entre accesiones y entre repeticiones (sitios) ($p < 0.05$). El rendimiento promedio en SAP fue de 2585 kg/ha, SLU con 3472 kg/ha y SLT con 3342 kg/ha (Figura 4).

Promediado sobre sitios, el rendimiento varió de 1297 a 5363 kg/ha, con una media de 3133 kg/ha. Los mejores rendimientos se obtuvieron con las accesiones de color amarillo (25, 27 y 43) y la accesión 38 que es de color blanco. La mejor accesión de color negro fue la número 22 (3.9 t/ha), en tanto que el rendimiento de la accesión de color rojo fue de 1.9 t/ha.

Composición química

A excepción del contenido de Mg en el grano, para el resto de parámetros químicos evaluados (proteína, Fe, Zn, Cu, Mn, K y Ca) no se encontró diferencia significativa entre sitios ($p > 0.05$).

Sin embargo, la diferencia entre accesiones fue estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

El contenido de nutrientes varió de la siguiente manera: proteína 7.8 - 13.7, con una media de $11.1 \pm 1.1\%$; Zn 1.4 a 4.9, con una media de 2.8 ± 0.7 mg/100 g; Fe 1.3 a 18.2 con una media de 3.8 ± 2.7 mg/100g; Ca 3.74 - 14.01, con una media de 9.6 ± 2.3 mg/100 g; K 192.2 - 401.7, con una media de 257.8 ± 35.9 mg/100 g; Mg 20.1-28.3, con una media de 24.4 ± 2.4 mg/100 g, Mn 0.08-0.65, con una media de 0.3 ± 0.1 mg/100 g y Cu 0.15-1.50, con una media de 0.4 ± 0.2 mg/100 g. La distribución de proteína, Zn y Fe se presenta en la Figura 5.

Discusión y conclusiones

Los resultados muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) de rendimiento entre sitios. Entre las condiciones de crecimiento que pudieran causar la diferencia de rendimiento entre sitios están principalmente el clima y suelo (Shaw, 1988), así como la interacción genotipo-ambiente. El crecimiento y rendimiento

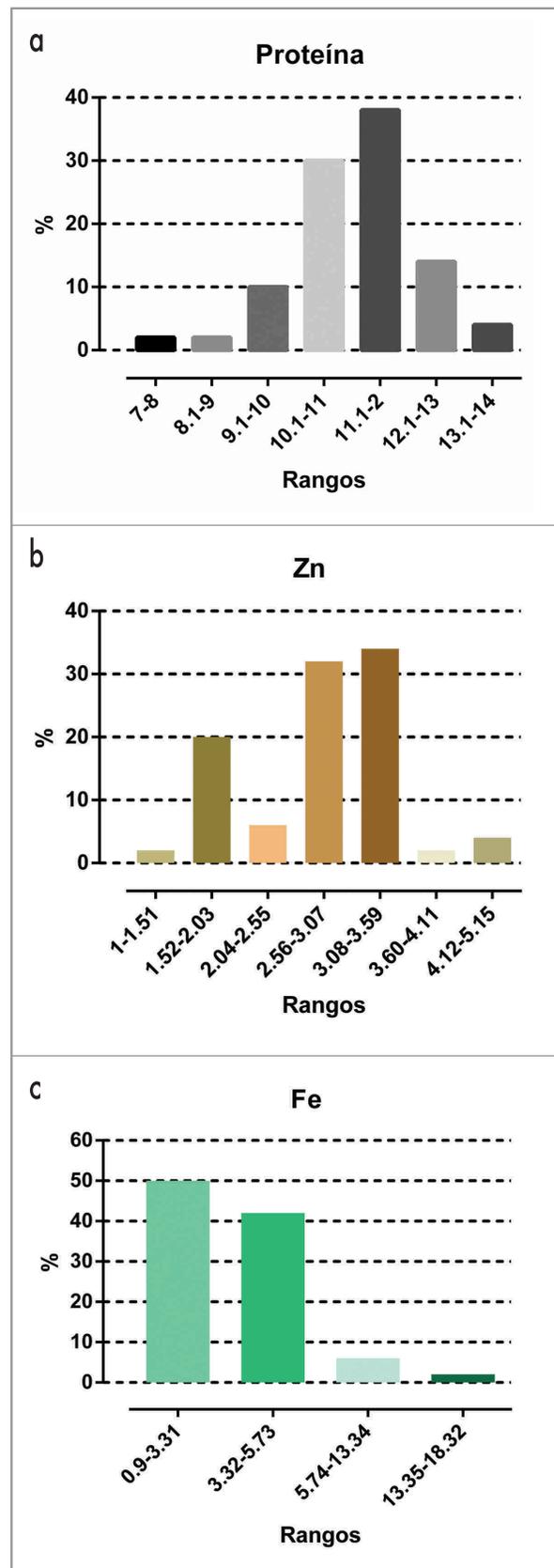


Figura 5. Distribución (%) del contenido de proteína (a), Zn (b) y Fe (c) en los maíces criollos evaluados

del maíz en condiciones extensivas depende principalmente del agua disponible y morfología de la planta. Además, el grado de sensibilidad al estrés hídrico en este cultivo depende del momento en que ocurra (Andrade et al., 1996). Se ha demostrado que la sensibilidad del cultivo de maíz al déficit hídrico declina en el siguiente orden: floración, llenado de granos, estado vegetativo (Musick y Dusek, 1980) citados por (Rhoads & Bennett, 1990). Esto indica que la ocurrencia de deficiencias hídricas severas durante la floración produce importantes reducciones en el rendimiento (Andrade et al., 1996; Rhoads & Bennett, 1990; Doorenbos & Kassam, 1979).

De igual manera el rendimiento promedio varió significativamente ($p < 0.05$) entre accesiones, en un rango de 1297 a 5363 kg/ha. En promedio, el 52% de las accesiones presentó un rendimiento de por lo menos 3 t/ha. Cuatro accesiones (accesión 25, 27, 38 y, 43) presentaron un rendimiento arriba de 4.5 t/ha. Estos valores están muy por arriba del valor medio de la productividad a nivel nacional (2 t/ha) y del rendimiento (1.4 - 3.0 t/ha) de los maíces mejorados de grano blanco y amarillo (Don Marshall, San Marceño Mejorado, Compuesto Blanco y V-301) recomendados para el Altiplano obtenidos en Sololá. Utilizando técnicas moleculares, Maselli et al. (2014) reportó una alta diversidad genética para los mismos cultivares criollos utilizados en el presente estudio.

Los resultados también reportan alta variabilidad en la morfología de los diferentes cultivares de maíz. Se detectó una diferencia de aproximadamente un mes entre los maíces más precoces y los tardíos. La precocidad de maíces criollos es una característica

a tomar en cuenta para mitigar el problema de la falta de agua por la alteración del clima.

Los materiales de maíz presentaron diferencias significativas y variabilidad en altura de planta. Materiales con altura < 200 cm representan plantas de porte bajo y materiales con altura mayor a 300 cm son considerados materiales de porte alto. La altura de planta es otro de los factores a tomar en cuenta por el problema del volcamiento de las plantas por efecto del viento. Se prefieren materiales no muy altos a pesar que la producción de materia seca es deseable cuando se incorpora el rastrojo en el suelo con fines de mantener o incrementar el contenido de humus.

La calidad nutritiva del maíz como alimento está determinada por el contenido y calidad de la proteína, aminoácidos y algunos minerales, particularmente Zn y Fe. En las variedades convencionales de maíz el contenido de proteínas puede oscilar entre 8 - 11% del peso del grano. En los 51 materiales de maíz evaluados se encontraron valores de hasta del 14% de proteína.

El contenido de Zn varió de 14 a 49 mg/kg y el de Fe varió de 13 a 182 mg/kg. El valor de esos minerales en la mayor parte de materiales evaluados está dentro del rango de valores reportados por el ICTA (2007) para maíces de grano blanco y amarillo evaluados en Guatemala. Sin embargo, algunos materiales presentaron valores de Zn (accesiones 28 y 30) y Fe (accesiones 8 y 9) arriba del rango de valores reportados por el ICTA (2009). Las accesiones 8 (grano blanco) y 9 (grano amarillo) presentaron un rendimiento inferior a 3 t/ha.

Cuadro 3. Materiales de maíz criollo promisorios para la región de Sololá

Código	Identificación	Color	Raza ¹	Rendimiento Kg/ha	Altura de planta (Cm)	Días a floración femenina	Proteína %	Zn mg/100g	Fe mg/100g
43	Dr. P 49 A	Amarillo	Comiteco	5,363	307	119	10	1.92	4.17
14	57B-68	Amarillo	NaI-Tel	4,447	302	125	10	3.42	3.64
17	68-79	Blanco	NaI-tel	4,302	238	120	11	3.15	3.73
24	92-100	Amarillo	NaI-Tel	4,215	262	119	11	2.53	3.72
27	109-119	Amarillo	NaI-Tel	4,829	262	138	11	2.98	2.88
29	126-137	Amarillo	NaI-tel	4,459	270	131	11	2.96	3.32
33	Dr. P 11 B	Blanco	Comiteco	4,018	298	125	09	2.87	3.37
38	Dr. P 28 B	Blanco	Olotón	4,773	334	143	12	2.86	2.19
42	Dr. P 48 B	Blanco	Olotón	4,364	289	124	12	1.64	3.04
45	Dr. C2	Amarillo	Comiteco	4,183	289	118	10	1.94	2.56
30	131D-142	Amarillo	Comiteco	3165	278	125	10	4.92	8.19
28	116-126	Blanco	NaI-Tel	3793	322	126	9	4.98	5.25
13	53-63	Amarillo	NaI-Tel	3117	289	112	12	3.11	3.10
39	DrP30B	Blanco	Olotón	3564	316	124	13	3.39	2.86
12	51-61	Amarillo	Quicheño rojo	3009	288	110	14	3.16	4.28
40	DrP32A	Amarillo	Comiteco	3880	314	124	14	2.31	2.27
22	85-92	Negro	Negro Chimaltenango	3948	316	141	10	3.17	4.16
36	DrP28N	Negro	Negro Chimaltenango	3366	295	139	10	3.14	3.05
46	CG-N-FA	Negro	Negro Chimaltenango	2605	300	117	12	2.87	1.52
20	76-86	Rojo	Bolita	1910	173	100	11	2.73	2.96

¹ Con base en Aragón (2010), Aragón et al. (2005), Wellhausen et al. (1957), Wellhausen et al. (1952) y Fuentes (2012).



Figura 6. Panorámica de los materiales de maíz criollo promisorios para la región de Sololá

Con base a los resultados de rendimiento, contenido de proteína, Zn y Fe, se realizó una selección de materiales promisorios en el área, para continuar investigaciones a futuro (Cuadro 3 y Figura 6). Se incluyeron materiales de grano blanco, amarillo, negro y rojo los cuales difieren en la altura de planta y su ciclo de producción.

Las principales conclusiones emanadas del estudio son:

- Se encontró una alta diversidad en las características morfológicas, rendimiento y composición química de los maíces criollos estudiados.
- Los resultados permitieron hacer una selección de las mejores accesiones de maíz con base a al rendimiento, contenido de proteína, Fe y Zn para su posterior evaluación en un mayor número de sitios.

Agradecimiento

Al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa *Food for Progress 2010* (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGSM: FCC-520-2010/026-00).

Bibliografía

Andrade F, S Cirilo, S Uhart, M Otegui (1996) *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa-Dekalb Press, Buenos Aires, Argentina

AOAC (1984) *Official Methods of Analysis* (S. Williams, Ed.) 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA

Aragón Cuevas F (2010) Video: *Razas de maíz en Oaxaca* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur, México

Aragón F, S Taba, JM Hernández, J de D Figueroa, V Serrano (2005) *Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca Informe final proyecto*

CONABIO CS-002, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valles Centrales, México

Cifuentes R, C Sierra, LA Arevalo, C Beteta, E Herrera, M Alvarez M (2014) El sistema Milpa del departamento de Sololá visto desde la experiencia y vivencia de los productores de la región *Revista UVG* **27**: 11-30

Doorenbos J, AH Kassam, CLM Bentvelsen, V Branscheid, JMGA Plusje (1979) *Yield response to water* FAO Irrigation and Drainage paper N° 33. Roma, Italia

Fuentes M (2012) Módulo I: *Manejo, conservación y uso de la agrobiodiversidad en maíz* Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo de Mesoamérica

Fuentes Lopez M (2008) *Descriptores de Maíz* Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamerica, Managua, Nicaragua

Galinat WC (1995) *El origen del maíz: el grano de la humanidad* *Econom Bot* **49**: 3-12

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (2007) *Memoria de labores 2007 Avances en la investigación, Granos básicos* ICTA, Guatemala

Maselli S, A Navas, F Melgar (2014) *Establecimiento de un banco de semillas en UVG-Altiplano y estudio preliminar a nivel molecular de la diversidad del maíz criollo almacenado en el banco* *Revista UVG* **27**:31-39

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2013) *El agro en cifras 2013* Dirección de Planeamiento-MAGA, Guatemala

Rao NK, J Handson, ME Dulloo, D Novell, M Larinde (2007) *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma* Manuales para bancos de germoplasma (No. 8), Bioversity International, Roma

Rhoads FM, JM Bennett (1990) In: *Corn* Stewart BA, DR Nielsen (eds) *Agronomy* N° 30 Madison, Wisconsin USA

Shaw RH (1988) *Climate requirements*. In: *Corn and corn improvement* GF Sprague, JW Dudley (eds), ASA-CSSA-SSSA, 3rd Edition Madison, Wisconsin

Wellhausen EJ, LM Roberts, E Hernández Xolocotzi, PC Mangelsdorf (1952) *Races of maize in Mexico: their origin, characteristics and distribution* The Bussey Institution, Harvard University USA

Wellhausen EJ, A Fuentes, A Hernández, P Mangelsdorf (1957) *Races de Maize in Central America* Publication 511, National Academy of Sciences - National Research Council, Washington DC

Wilkes HG (1989) *Maize: domestication, racial evolution and spread* In: *Forage and farming* DR Harris, GC Hillman (eds) Unwin Hyman, London