

**Caracterización morfológica de la diversidad de razas de *Zea mays*  
en la Sierra norte de Ecuador**

**Morphological characterization of the diversity of *Zea mays* races in  
the northern Sierra of Ecuador**

**Autores:**

César Guillermo Tapia Bastidas

Nelly Judith Paredes Andrade (nelly.paredes@iniap.gob.ec)

Edwin Jesús Naranjo Quinaluisa

Marcelo Vicente Tacán Pérez

Álvaro Ricardo Monteros Altamirano

César Félix Pérez Ruíz

Yolanda Marilú Valverde Vanegas

**Instituciones:**

Estación Experimental Santa Catalina, Quito, Ecuador.

Estación Experimental Central de la Amazonía, Orellana,

Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Extensión Norte Amazónica.

Escuela de Biología de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

## Resumen

Ecuador tiene gran diversidad genética de maíz con 36 razas, seis de las cuales no están bien definidas. El objetivo de ésta investigación fue caracterizar morfológicamente 129 accesiones proveniente de la zona norte de la región Sierra de Ecuador, a fin de contribuir a la conservación de la agrobiodiversidad. Para la caracterización morfológica se utilizaron siete descriptores cualitativos y ocho cuantitativos. La similitud entre las accesiones se analizó con el agrupamiento jerárquico de Ward, y la distancia con el coeficiente de Gower. Se calculó el estadístico Chi-cuadrado ( $X^2$ ), el coeficiente de Cramer (V) y el de contingencia (P) para identificar descriptores cualitativos. Los análisis se realizaron con el programa SAS. El análisis de agrupamiento identificó cuatro grupos con las razas Morochón y Chulpi agrupadas en dos grupos (G2 y G4, respectivamente). Las variables tipo de grano y forma de la superficie del grano fueron las más discriminantes. Mayormente se observó accesiones con tipo de grano semidentado y forma de semilla puntiaguda. La variable longitud de la mazorca fue la más discriminante, con promedios que estuvieron desde  $11,15 \pm 2,46$  a  $13,72 \pm 2,83$  cm. La Sierra Norte se debe priorizar como un área de conservación por encontrarse alta diversidad de razas de maíz.

**Palabras clave:** agrobiodiversidad; análisis cualitativo; análisis cuantitativo; descriptores.

## Abstract

Ecuador has a large genetic diversity of maize with 36 races, six of which are not well defined. The objective of this study was to characterize morphologically 129 accessions deriving from the northern Sierra of Ecuador as a contribution to agrobiodiversity conservation. For the morphological characterization seven qualitative and eight quantitative descriptors were used. The similarity between the accessions was analyzed by Ward's grouping, the distance with the Gower coefficient. Chi-square statistic ( $X^2$ ), the Cramer coefficient (V) and the contingency coefficient (P) were calculated to identify the most discriminating qualitative descriptors and the Engels D index for the quantitative descriptors. For statistical analyzes, the SAS program was used. Cluster analysis identified four groups where Morochón and Chulpi races were located in one group (G2 and G4 respectively).

Descriptors such as endosperm type and shape of kernel were the most discriminants. Accessions presented mainly semi-dent type of endosperm and shape of kernel were the most discriminants. Accessions presented mainly semi dent type of endosperms and pointed shape of seed. Ear length was the most discriminant, with averages from  $11,15 \pm 2,46$  to  $13,72 \pm 2,83$  cm. The northern Sierra has a high diversity of maize races and should be prioritized as a conservation area

**Key words:** agrobiodiversity; qualitative analysis; quantitative analysis; descriptors.

## Introducción

El maíz (*Zea mays*) ocupa el segundo lugar en producción agrícola a escala mundial, después de la caña de azúcar, y ocupará el primero para 2025 según las predicciones de [Rosegrant et al. \(2008\)](#). La producción mundial de la gramínea fue de 1038 millones de toneladas superando los 967 millones de toneladas estimados para ese año.

En Ecuador, en el año 2012, el maíz en producción fue el quinto cultivo (6,7%) por detrás del arroz (7,8%), la palma africana (13,3%), el banano (35,2%) y la caña de azúcar (37,0%) ([INEC, 2012](#)). Aproximadamente el 60% de los productores agropecuarios del país siembra maíz en 404873 Unidades Productivas Agropecuarias ([MAGAP, 2015](#)).

La diversidad de maíz ofrece múltiples opciones genéticas que hacen posible su persistencia en ciertos agroecosistemas y es fuente de resistencia a plagas y enfermedades ([Tilman, 2000](#)); además, es la base de la seguridad alimentaria de muchas comunidades ([Le Coeur, D., Baudry, J., Burel, F., & Thenail, C., 2002](#); [Marshall & Moonen, 2002](#); [Paoletti, 2001](#)) ya que ofrece a los agricultores la materia prima para la selección y la adaptación de forma continua a las condiciones cambiantes del ambiente ([Herrera et al., 2004](#)).

Muestras arqueológicas de maíz de Sur América fueron analizadas mediante estudios de caracterización molecular, reportan que la gramínea estaba presente desde hace 400 a 1400 años, existiendo una estrecha relación de los antiguos ejemplares con el complejo andino de Sur América ([Lia et al., 2007](#)), lo que ha llegado a considerar a la región andina y en particular a Ecuador como uno de los centros de diversidad más importantes del maíz, desde tiempos inmemoriales. Marcos (2005) mostró evidencias al respecto, al encontrar en las localidades de Real

Alto y las Vegas (provincia de Santa Ana), fitolitos de maíz con más de seis mil años de antigüedad además de instrumentos para su siembra y procesamiento.

El maíz presenta una gran variabilidad en color, textura, composición y apariencia del grano. Puede ser clasificado en distintos tipos según: a) tipo del grano; b) color del grano; c) ambiente en el que se cultiva; d) madurez, y e) uso ([Badstue, I., Bellon, M. Berthaud, J., Ramírez, A., & Flores, D., 2007](#); [Dyer & López-Feldman, 2013](#)). Los tipos de maíz que se han difundido en la zona Andina son: duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso, cristalino, amiláceo, palomero semiharinoso o Morocho y tunicado ([Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H., & Violic, A., 2001](#); [Carrera, 2009](#)). Pandei y Gardener (1992) mencionaron que en el hemisferio occidental se han descrito 285 razas de maíz, de las cuales 265 están presentes en América Latina, la mayoría de ellos en América del Sur.

En Ecuador se reconocen 29 razas de maíz, 17 presentes en la Sierra (seis de las cuales no están bien definidas) y las restantes en las regiones Litoral y Amazónica. Esta clasificación se basa en 675 colecciones, estudiadas en relación con los caracteres de la mazorca. La gran diversidad de razas que hay en Ecuador tiene relación con la historia y la geografía del país ([Timothy et al., 1966](#)). [Tapia, Torres, & Parra-Quijano \(2015\)](#) describieron la distribución de 26 razas de maíz criollo a lo largo de los Andes ecuatorianos, sin embargo previamente las Familias de Cotacachi (2010), ya habían descrito 12 razas presentes en su jurisdicción, perteneciente a la provincia de Imbabura.

En este contexto, la caracterización morfológica es un elemento fundamental para la conservación de la diversidad de variedades tradicionales de maíz ya que permite identificar alelos favorables para la producción agrícola que no han sido totalmente utilizados ([Tarter, Goodman, & Holland, 2004](#)), pero han contribuido a los incrementos de la producción mediante la generación de variedades mejoradas ([Smith, Castillo & Gómez, 2001](#)).

Con estos antecedentes, el propósito de este estudio fue caracterizar la diversidad de las razas botánicas de maíz en la Sierra norte de Ecuador, utilizando descriptores morfológicos.

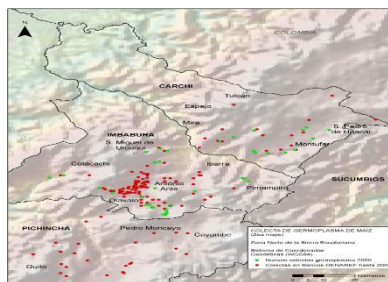
## Metodología

### Área de estudio

El presente estudio fue realizado en las zonas altas de las provincias de Carchi e Imbabura, cuyo clima es muy variado, por la presencia de la cordillera de Los Andes con temperaturas entre 10°C y 15°C. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y de octubre a noviembre. La estación seca principal, de junio a septiembre, es generalmente muy marcada; en cuanto a la segunda. Aunque pueden presentarse variaciones edáficas a cortas distancias derivadas de la pendiente y la altitud, los suelos predominantes son profundos, de textura media a gruesa y con un contenido en materia orgánica media a alta ([World Climate, 2016](#)).

### Material genético

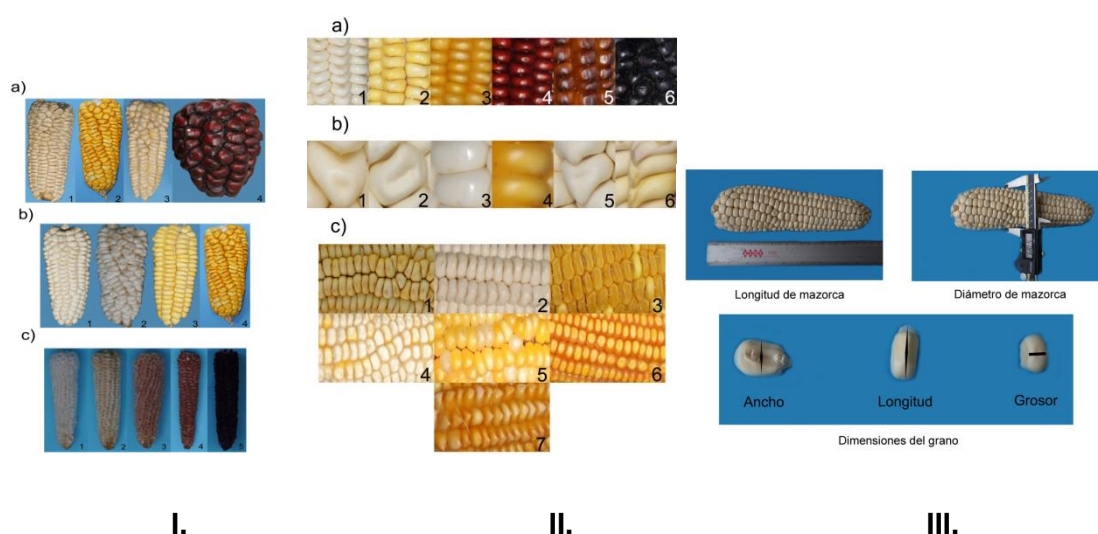
En la figura 1 se indica las 129 accesiones estudiadas, producto de colectas realizadas en el 2009 ([Tapia et al., 2015](#)) en zonas de la Sierra de las provincias de Imbabura y Carchi. Previamente, se identificaron zonas que estuvieran poco (o nada) representadas en el banco de germoplasma del INIAP mediante Sistemas de Información Geográfica. Tomando como base esta información, se planificaron dos expediciones (una por provincia), haciendo coincidir los viajes con la época de la cosecha. Para la recolección del germoplasma se aplicaron los procedimientos y metodologías recomendados por el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del INIAP, así como los protocolos sugeridos en el Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal de la FAO ([FAO, 1994](#)). La recolección se hizo directamente en las fincas de los agricultores.



**Mapa 1.** Mapa de colectas en las provincias de Carchi e Imbabura.

## Caracterización morfológica

Las accesiones colectadas fueron caracterizadas morfológicamente tomando como base los descriptores de maíz de Bioersity International ([IBPGR, 1991](#)). Entre los descriptores propuestos, se seleccionaron los más discriminantes para diferenciar las razas. En total se utilizaron 15 descriptores: siete cualitativos (color de tallo, forma de la mazorca, disposición de hileras, color del olote, tipo de grano, forma del grano y color del pericarpio) y ocho cuantitativos (altura de planta, longitud de la panoja, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca, número de hileras, diámetro del olote, número de granos por mazorca y longitud del grano) (Figura 1).



**Figura 1./.** Variables cualitativas de la mazorca y categorías consideradas. a) Forma de la mazorca: 1. Cilíndrica, 2. Cilíndrica-cónica, 3. Cónica, 4. Esférica; b) Disposición de las hileras: 1. Regular, 2. Irregular, 3. Recta, 4. En espiral; c) Color del olote: 1. Blanco, 2. Amarillo, 3. Naranja grisáceo, 4. Rojo, 5. Púrpura; *II.* Variables cualitativas del grano y categorías consideradas. a) Color del grano: 1. Blanco, 2. Amarillo, 3. Naranja, 4. Rojo, 5. Café, 6. Púrpura; b) Forma del grano: 1. Contraído, 2. Dentado, 3. Plano, 4. Redondo, 5. Puntigudo, 6. Muy puntigudo; c) Tipo de endosperma: 1. Harinoso, 2. Semiharinoso, 3. Dentado, 4. Semidentado, 5. Semicristalino, 6. Cristalino, 7. Reventador; y, *III.* Variables cuantitativas utilizadas para la caracterización de colectas de maíz de la Sierra norte de Ecuador

La similitud entre las accesiones caracterizadas se analizó por medio del agrupamiento jerárquico de [Ward \(1963\)](#). Para ello se calculó una matriz de distancia entre todos los posibles pares de accesiones aplicando el coeficiente de [Gower \(1967\)](#), mismo que permitió combinar los descriptores cualitativos y

cuantitativos después de procesar cada uno de ellos de acuerdo a su propia naturaleza.

Una vez construido el fenograma, la elección del número de grupos se basó en los estadísticos pseudo  $F$  y pseudo  $t^2$  ([Milligan & Cooper, 1985](#)). Posteriormente, se calculó el estadístico Chi-cuadrado ( $X^2$ ) ([Cochran, 1954](#)), el coeficiente de Cramer ( $V$ ) ([Kendall & Stuart, 1979](#)) y el coeficiente de contingencia ( $P$ ) ([Fienberg, 1977](#)) para identificar los descriptores cualitativos más discriminantes y el índice  $D$  de [Engels \(1983\)](#), para los descriptores cuantitativos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (versión 6.12).

## Resultados

En la Tabla 1, se presentan los coeficientes de variación que están en los rangos permitidos para investigaciones en campo, dada la influencia que el ambiente ejerce en los caracteres cuantitativos.

**Tabla 1.** Estadísticos de los ocho descriptores cuantitativos utilizados en la caracterización morfológica de las 129 accesiones de maíz recolectadas en 2009, en el norte de la Sierra de Ecuador.

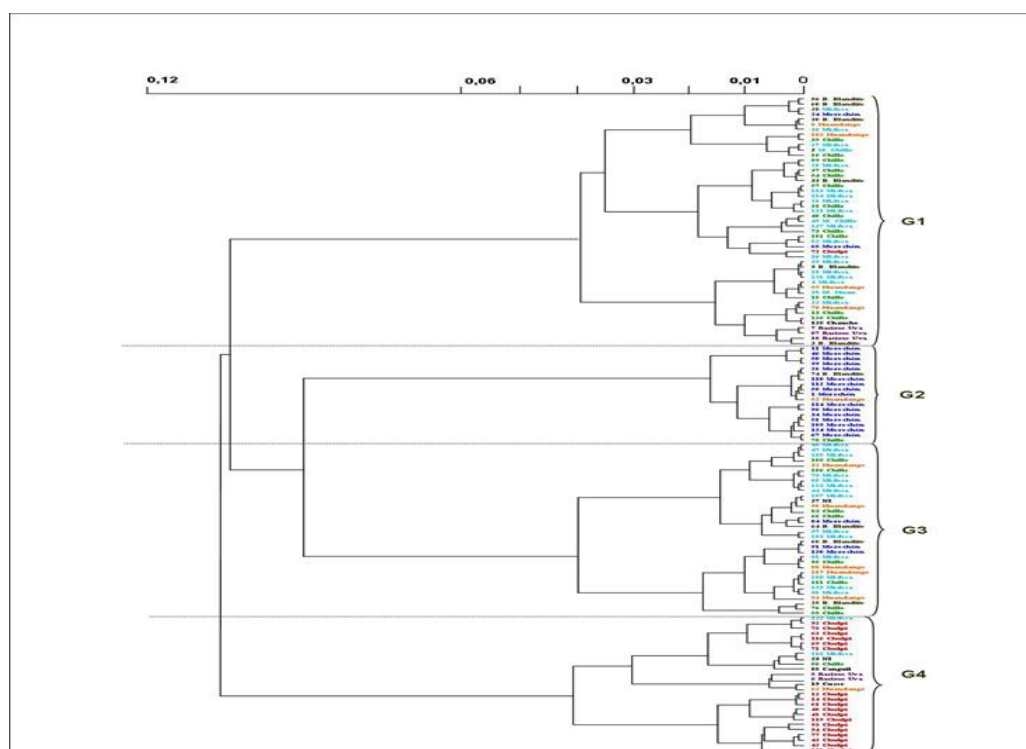
| Descriptor                  | n  | Mínimo | Máximo | $\mu \pm \sigma$ | CV (%) |
|-----------------------------|----|--------|--------|------------------|--------|
| Altura de planta (cm)       | 10 | 66,0   | 285,0  | 141,1 $\pm$ 35,1 | 24,9   |
| Longitud de la panoja (cm)  | 10 | 10,0   | 43,0   | 31,6 $\pm$ 5,3   | 16,8   |
| Longitud de la mazorca (cm) | 10 | 6,8    | 19,8   | 12,5 $\pm$ 2,6   | 21,0   |
| Diámetro de la mazorca (cm) | 10 | 1,9    | 6,7    | 4,5 $\pm$ 0,7    | 15,6   |
| Número de hileras           | 10 | 8,0    | 24,0   | 11,9 $\pm$ 2,6   | 22,2   |
| Diámetro del olote (cm)     | 10 | 1,6    | 6,2    | 2,5 $\pm$ 0,5    | 19,7   |
| Nº granos por mazorca       | 2  | 96,0   | 542,0  | 241,0 $\pm$ 75   | 31,1   |
| Longitud del grano (mm)     | 10 | 8,0    | 16,0   | 12,0 $\pm$ 1,9   | 15,5   |

*n*: tamaño muestral;  $\mu$ : media aritmética;  $\sigma$ : desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

A través del agrupamiento jerárquico de Ward (1963) se obtuvo como resultado el fenograma de la Figura 2. Según los estadísticos pseudo  $F$  y pseudo  $t^2$  se forman cuatro grupos de accesiones. El grupo más numeroso fue el G1 con 49 accesiones (38,0%), seguido de los grupos G3 con 34 accesiones (26,4%), G4 con 27 accesiones (20,9%) y G2 con 19 accesiones (14,7%). El grupo G1 agrupó accesiones de las razas Chillo (17), Mishca (14), Blanco Blandito (6), Huandango (4), Mishca Chillo (1) y Mishca Huandango (1). El grupo G2 está bien definido y compuesto mayoritariamente por accesiones de la raza Morochón (16,84%). Las

restantes accesiones que forman este grupo fueron identificadas como Huandango (1), Chillo (1) y Blanco Blandito (1). El grupo G3 presenta una composición similar al G1 con la diferencia que tiene tipo de grano harinoso. Está formado por accesiones de la raza Mishca (14), Chillo (8), Huandango (5) y Blanco Blandito (3). Finalmente, el G4 está formado principalmente por accesiones de la raza Chulpi Ecuatoriano (18). En este grupo existe un subgrupo formado por accesiones de las razas Racimo de Uva (2), Mishca (2), Cuzco Ecuatoriano (1), Canguil (1) y Huandango (1), que posiblemente se ubicaron en esta zona del fenograma por tener características similares en cuanto al tipo de grano (dentado).

Es importante mencionar que las accesiones identificadas como Racimo de Uva se ubicaron en dos ramas diferentes del fenograma, detectándose que dentro de esta raza puede haber germoplasma con características diferentes en cuanto al tipo y forma del grano. Las mayores distancias se presentaron entre G4 y G3, y entre G2 y G1. Por el contrario, los grupos más relacionados fueron el G2 y el G3. Es decir, que el grupo de la raza Chulpi Ecuatoriano es el más distante morfológicamente con relación a los otros tres grupos, en cambio el grupo de la raza Morochón está muy relacionado con las razas harinosas y semidentadas (Figura 2).



**Figura 2.** Fenograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward de las 129 accesiones de maíz colectadas en la sierra norte de Ecuador, basado en la distancia de Gower

De los siete caracteres analizados mediante la prueba de  $X^2$ , se detectaron seis de ellos con alta significancia (1%) (Tabla 2). Estos resultados indican que la mayoría de los descriptores utilizados aportan información para definir razas y para separar grupos de accesiones similares. El tipo y forma del grano fueron los descriptores con mayor valor discriminante ( $X^2 = 267,35$  y  $228,72$ , respectivamente) y con los coeficientes de asociación más altos ( $P= 1,44$  y  $1,33$ ;  $V = 0,83$  y  $0,77$ ).

**Tabla 2.** Descriptores cualitativos de mayor valor discriminante entre los cuatro grupos de accesiones obtenidos en el agrupamiento jerárquico de Ward.

| Descriptor             | $X^2$    | Coefficiente de contingencia | Coefficiente de Cramer |
|------------------------|----------|------------------------------|------------------------|
| Tipo de endospermo     | 267,35** | 1,44                         | 0,83                   |
| Forma del grano        | 228,72** | 1,33                         | 0,77                   |
| Color del pericarpio   | 48,72**  | 0,62                         | 0,36                   |
| Color del olote        | 44,79**  | 0,59                         | 0,34                   |
| Forma de la mazorca    | 39,10**  | 0,55                         | 0,32                   |
| Disposición de hileras | 23,55**  | 0,43                         | 0,25                   |

\*\* = Significancia estadística al 1%

En la Tabla 3, se detallan las frecuencias para los descriptores cualitativos más discriminantes. Para el tipo de grano, el grupo G3, presentó un mayor porcentaje de accesiones con tipo harinoso. En relación a la forma del grano, los grupos G1 y G4 presentaron cinco de los seis estados posibles, en el G2 casi todas las accesiones tuvieron grano redondo y en el G3 predominaron las accesiones de grano plano. Para el color del pericarpio, los grupos G1, G2 y G3 presentaron grano de color amarillo, mientras que en el grupo G4 el color predominante fue el naranja. La forma de la mazorca fue cilíndrica y cilíndrica-cónica en los cuatro grupos. Para disposición de hileras, los cuatro grupos presentaron una disposición regular e irregular, y solamente en el G1 no se observó el estado de hileras rectas.

**Tabla 3.** Frecuencia de los estados para los caracteres cualitativos con mayor poder discriminante para cada uno de los grupos obtenidos en el agrupamiento jerárquico de Ward.

| <b>Descriptor</b>             | <b>G1</b> | <b>G2</b> | <b>G3</b> | <b>G4</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Tipo de endospermo</b>     |           |           |           |           |
| Harinoso                      | 7         | -         | <b>23</b> | -         |
| Semiharinoso                  | 2         | 19        | 4         | -         |
| Dentado                       | 3         | -         | -         | 10        |
| Semidentado                   | 35        | -         | 1         | -         |
| Semicristalino                | 0         | -         | 5         | -         |
| Cristalino                    | 2         | -         | -         | 17        |
| Reventador                    | 0         | -         | 1         | -         |
| <b>Forma del grano</b>        |           |           |           |           |
| Contraído                     | 2         | 1         | -         | 10        |
| Dentado                       | 3         | -         | -         | 4         |
| Plano                         | 4         | -         | 28        | 2         |
| Redondo                       | 2         | 18        | 6         | -         |
| Puntiagudo                    | 38        | -         | -         | 4         |
| Muy puntiagudo                | -         | -         | -         | 7         |
| <b>Color del pericarpio</b>   |           |           |           |           |
| Blanco                        | 3         | 6         | 2         | -         |
| Amarillo                      | <b>27</b> | <b>10</b> | <b>25</b> | 5         |
| Naranja                       | 12        | 2         | 3         | 14        |
| Rojo                          | 2         | -         | 2         | 5         |
| Café                          | 5         | 1         | 2         | 2         |
| Púrpura                       | -         | -         | -         | 1         |
| <b>Color del olote</b>        |           |           |           |           |
| Blanco                        | 9         | 15        | 16        | 18        |
| Amarillo                      | 7         | 4         | 2         | -         |
| Naranja grisáceo              | 1         | -         | 1         | 2         |
| Rojo                          | <b>22</b> | -         | 14        | 4         |
| Púrpura                       | 10        | -         | 1         | 3         |
| <b>Forma de la mazorca</b>    |           |           |           |           |
| Cilíndrica                    | 19        | 14        | 16        | 11        |
| Cilíndrica-cónica             | 29        | 5         | 18        | 7         |
| Cónica                        | -         | -         | -         | 1         |
| Esférica                      | 1         | -         | -         | 8         |
| <b>Disposición de hileras</b> |           |           |           |           |

|            |    |   |    |    |
|------------|----|---|----|----|
| Regular    | 22 | 7 | 18 | 3  |
| Irregular  | 15 | 5 | 8  | 17 |
| Recta      | -  | 3 | 2  | 1  |
| En espiral | 12 | 4 | 6  | 6  |

En la Tabla 4 se observan los cinco caracteres cuantitativos con mayor valor discriminante de los ocho medidos, observándose que los descriptores relacionados con la mazorca y el grano fueron los que permitieron diferenciar los cuatro grupos. Además se detectó que las accesiones, dentro de los grupos, mantienen una relación estrecha, es decir, no existe mucha variación ya que presentan valores pequeños de desviación estándar, a excepción del número de granos por mazorca. El G4 presentó accesiones con los mayores valores de número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca, longitud del grano y diámetro de la mazorca. En cambio, el G2 presentó los menores valores para estas variables. En longitud de la mazorca se destacó el G3.

**Tabla 4.** Caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre grupos de accesiones de la colecta de maíz realizada en las provincias de Imbabura y Carchi.

| Descriptor                         | G1             | G2             | G3             | G4            | D**  |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|------|
| <b>Diámetro de la mazorca (cm)</b> | 4,66 ± 0,69*   | 4,00 ± 0,38    | 4,52 ± 0,55    | 4,76 ± 0,91   | 0,25 |
| <b>Número de hileras</b>           | 11,35 ± 1,39   | 10,63 ± 1,80   | 11,09 ± 1,56   | 14,96 ± 3,62  | 0,25 |
| <b>Longitud del grano (mm)</b>     | 12,34 ± 1,75   | 10,31 ± 1,73   | 11,09 ± 1,56   | 12,42 ± 2,05  | 0,25 |
| <b>Nº de granos por mazorca</b>    | 220,43 ± 45,71 | 221,05 ± 77,74 | 236,06 ± 58,86 | 300,67±102,69 | 0,25 |
| <b>Longitud de la mazorca (cm)</b> | 12,29 ± 2,23   | 13,02 ± 2,57   | 13,72 ± 2,83   | 11,15 ± 2,46  | 0,66 |

\*= Promedio del carácter para el grupo y desviación estándar

\*\*= El valor de D con valor de 0 indica baja discriminancia, y 1 alta discriminancia

Se observó una alta variabilidad intra-raza, posiblemente por la cercanía geográfica entre las zonas de cultivo, encontrándose poblaciones en “mezcla” que dificulta la cuantificación de la diversidad, ya que este tipo de poblaciones presentan mazorcas con granos de diferente forma, color y tipo de endospermo.

De igual forma, en el análisis de la variabilidad morfológica, se detectó que los datos están dentro de los rangos observados en el estudio realizado por [Timothy et al. \(1966\)](#), incluso [Tapia \(2015\)](#) observó que la variabilidad intra-raza ha aumentado, posiblemente por la cercanía geográfica entre razas, encontrándose categorías que no fueron definidas para ciertas razas, como por ejemplo Chulpi Ecuatoriano. Es por esto que [Scheldeman y van Zonneveld \(2010\)](#), recomiendan utilizar caracteres cualitativos que no son influenciados por el ambiente cuando se realice la caracterización *in situ* en lugares ambientalmente heterogéneos.

En relación a la “mezcla”, se observó una alta variación morfológica que posiblemente se deba al gran número de razas presentes en terrenos contiguos, lo que ocasiona la polinización cruzada. La pregunta que surge es; ¿la “mezcla” es beneficiosa o no? Desde el punto de vista de la conservación de la diversidad, podría ser beneficiosa por el aumento de la heterocigosidad, pero, desde el punto de vista económico, para los agricultores puede no serlo, ya que no son apreciadas en el mercado las mazorcas con diferentes tipos de colores y de endosperma. Desde el punto de vista de mejoramiento, en investigaciones realizadas por [Gil, López, Muñoz y López \(2004\)](#) se encontraron variedades nativas que poseen mejores características en términos de comportamiento, debido a su amplia variación genética intrapoblacional y a su buen comportamiento *per se*, ventajas que pueden aprovecharse con fines de mejoramiento genético.

Los descriptores cualitativos discriminantes identificados en esta investigación, concuerdan con los descriptores escogidos por [Welhausen, Fuentes, Corso y Mangelsdorf \(1952\)](#) [Brieger et al. \(1958\)](#) y [Goodman y Paterniani \(1969\)](#), siendo el tipo y forma del grano los más discriminantes. De igual forma, [Timothy et al. \(1966\)](#), al caracterizar las razas de maíz en Ecuador, encontraron una interesante variabilidad en tonalidades que van desde el naranja hasta el púrpura, el mismo comportamiento encontrado en este estudio. Del mismo modo, [Hortelano, Gil, Santacruz, Miranda, y Córdova\(2008\)](#), señalan que la variación genética existente puede agruparse de acuerdo con el color del grano.

Los resultados del fenograma indican una mayor hibridación entre las razas de tipo harinoso, mientras que las razas Morochón y Chulpi Ecuatoriano mantienen en mayor grado las características propias de su raza. Este resultado podría ser

consecuencia del manejo que el agricultor hace de las razas (en relación a la época de siembra) o bien a diferencias genéticas en cuanto a precocidad. Esta hipótesis que concuerda con [Gil, López, Muñoz y López \(2004\)](#), quienes manifiestan que la precocidad es común entre las poblaciones nativas, variabilidad que es atribuible a la selección efectuada durante generaciones por los productores.

El tipo de grano que presentaron las razas Huandango, Chillo y Blanco Blandito en el G2, no es propio de sus razas (harinoso), sino que coincide con el de la raza Morochón (semiharinoso). Es muy posible que las tres accesiones de estas tres razas estén en un proceso de introgresión, más si tenemos en cuenta que fueron recolectadas en fincas donde también se cultivaba la raza Morochón.

La gran variabilidad morfológica y de razas en la Sierra Norte, es producto de la diversidad cultural ([Galluzzi, Eyzaguirre, & Negri, 2010](#)) y étnica. Por ejemplo, los agricultores del cantón Otavalo (Imbabura), utilizan las razas locales en rituales como en el festejo milenario de “*El Coraza*”, en el cual viven la religiosidad ancestral centrada en el ciclo agrícola anual del maíz ([Coba, 1989](#)), al igual que en Chiapas, México ([Benz, Perales & Brush, 2007](#); [Brush & Perales, 2007](#)). Otra costumbre de gran relevancia para el mantenimiento de las razas, es el uso en las recetas de la gastronomía ancestral de las comunidades indígenas que se preparan hasta la actualidad en la cocina contemporánea, como el “*choclo cocinado*” (mazorca con el grano tierno cocinado), el mote (remojar el grano y luego cocinarlo) o la “*chicha de jora*” (una bebida elaborada a partir de granos de varias razas de maíz) entre otras.

La variabilidad morfológica encontrada en este estudio que se ve reflejada en el fenotipo de las razas, es producto de la diversidad genética expresada en multiplicidad de frecuencias alélicas presentes en estas razas. Esta diversidad en áreas relativamente pequeñas y contiguas, hace que exista mayor segregación, expresión genética, adaptaciones específicas y alta variabilidad que es de utilidad como fuente importante de nuevos alelos para mejoradores de maíz en todo el mundo ([Cardona, 2010](#)).

## **Conclusiones**

- En esta investigación se logró identificar 13 razas botánicas de maíz en las provincias de Carchi e Imbabura.

- Dentro de los descriptores morfológicos utilizados en este estudio, el tipo de grano, forma del grano y longitud de la mazorca son los descriptores más discriminantes para identificación de razas.
- En esta investigación se logró identificar 13 razas botánicas de maíz en las provincias de Carchi e Imbabura, los materiales presentan una gran variabilidad fenotípica, notándose que las razas identificadas como Huandango, Mishca, Chillo y Blanco Blandito son similares morfológicamente como resultado del proceso introgresión, mientras que las accesiones identificadas como Morochón y Chulpi Ecuatoriano mantuvieron en mayor grado las características propias de su raza.
- Se evidenció que la Sierra Norte es una zona de alta diversidad de razas de maíz, y dentro del análisis general de la diversidad de maíz en Ecuador, se debería priorizar esta zona, como un área de conservación.

### Referencias bibliográficas

- Badstue, I., Bellon, M., Berthaud, J., Ramírez, A. & Flores, D. (2007). The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the central valleys of Oaxaca, Mexico. *World Devel*, 35(9), 1579-1593. doi:10.1016/j.worlddev.2006.05.023
- Benz, B.F., Perales, H.R. y Brush, S.B. (2007). Tzeltal and Tzotzil farmer knowledge and maize diversity in Chiapas, Mexico. *Curr Anthropol* 48, 289-300.
- Brandolini, A. (1970). *Maize*. En: O.H. Frankel y E. Bennett (Ed.), *Genetic resources in plants: their exploration and conservation*, (pp. 273-309). Philadelphia, PA, USA, F.A. Davis.
- Brieger, F.G., Gurgel, J.T., Paterniani, E., Blumenschein, A. & Alleoni, M.R. (1958). *Races of maize in Brazil and other eastern South American countries*. Washington, D.C. Natl Acad Sci Natl Res Council, Publication 593.
- Brush, S.B. & Perales, H. (2007). A maize landscape: Ethnicity and agrobiodiversity in Chiapas Mexico. *Agr Ecosyst Environ*, 121, 211-221. doi:10.1016/j.agee.2006.12.018
- Cardona, J. (2010). Análisis de diversidad genética de las razas colombianas de maíz a partir de datos Roberts *et al.*, (1957) usando la estrategia Ward-MLM. *Cienciagro*, 2, 1, 199-207.

- Carrera, J. (2009). *Los colores del maíz. Agrobiodiversidad campesina del maíz en el Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Coba, C.A. (1989). Comentarios a una fiesta que ha muerto: el Coraza. *Sarance* 13, 99-104.
- Cochran, W. (1954). Some methods for strengthening the common  $X^2$  tests. *Biometrics* 10(4), 417-451. DOI: 10.2307/3001616
- Dyer, G.A. & López-Feldman, A. (2013). Inexplicable or Simply Unexplained? The Management of Maize Seed in Mexico. *PLoS ONE*, 8(6), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068320>
- Engels, J.M. (1983). A systematic description of cacao clones. 1. The discriminative value of quantitative characteristics. *Euphytica* 32, 377-385.
- Familias de Cotacachi. (2010). *Cantón Cotacachi, catálogo de agrobiodiversidad*. Quito, Ecuador. UNORCAC, INIAP, Bioversity International, USDA, PL480.
- FAO. (1994). Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal. Roma, Italia.
- Fienberg, S. (1977). *The analysis of cross-classified data*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Galluzzi, G., Eyzaguirre, P. & Negri, V. (2010). Home gardens: neglected hotspots of agro-biodiversity and cultural diversity. *Biodivers Conserv* 19, 3635-3654. DOI: 10.1007/s10531-010-9919-5
- Gil, M.A., López, P.A., Muñoz, A. & López, H. (2004). *Variedades criollas de maíz (Zea mays L.) en el Estado de Puebla, México: diversidad y utilización*. En: Chávez-Servia, J.L., Tuxill, J. y Jarvis, D.I. (Ed.). *Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales*. (pp: 18-25). Cali, Colombia. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Goodman, M.M. y Paterniani, E. (1969). The races of maize. III: Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ Bot*, 23(3), 265–273. DOI: 10.1007/BF02860459
- Gower, J. (1967). A comparison of some methods of cluster analysis. *Biometrics*, 23(4), 623-637. DOI: 10.2307/2528417

- Grobman, A., Salhauana, W. & Sevilla, R. (1961). *Races of maize in Peru: their origins, evolution and classification*. Publication 915. Washington, D.C. Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council.
- Herrera, B.E., Castillo, F., Sánchez, J.J., Hernández, J.M., Ortega, R.A. y Goodman, M.M. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38,191-206.
- Hortelano, S.R., Gil, A., Santacruz, A., Miranda, S. y Córdova, L. (2008). Diversidad morfológica de maíces nativos en el Valle de Puebla. *Agric Tec Mex*, 34(2), 189-200. Recuperado de <http://bit.ly/2o46naz>
- IBPGR. (1991). *Descriptors for Maize*. Rome, Italy. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources.
- INEC. (2012). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC-2012. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, Ecuador.
- Kendall, M. & Stuart, A. (1979). *The advanced theory of statistics*. New York, USA. Volumen 2: Macmillan Publishing Company, Inc.
- Le Coeur, D., Baundry, J., Burel, F. & Thenail, C. (2002). Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape. *Agr Ecosyst Environ*, 89, 23-40.
- Lia, V.V., Confalonieri, V.A., Ratto, N., Cámara-Hernández, J.A., Miente-Alzogaray, A.M., Poggio, L. & Brown, T.A. (2007). Microsatellite typing of ancient maize: insights into the history of agriculture in southern South America. *Proc R Soc B*, 274, 545–554. doi:10.1098/rspb.2006.3747
- MAGAP. (2015). *La Política Agropecuaria Ecuatoriana (2015-2025). Hacia el desarrollo territorial rural sostenible. I parte*. Quito, Ecuador: MAGAP.
- Mangelsdorf, P.C. (1974). *Corn, its origin, evolution and improvement*. Cambridge, MA, USA: Belknap Press, Harvard University Press.
- Marcos, J. 2005. Los pueblos navegantes del Ecuador pre-hispánico. Ediciones Abya Yala/ Espol, Quito, Ecuador, p. 206.
- Marshall, E.J.P. & Moonen, A.C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agr Ecosyst Environ* 89, 5-21.

- Milligan, G.W. & Cooper, M.C. (1985). An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, 50(2), 159-179.
- Paliwal, R., Granados G., Lafitte, H. & Volic, A. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Grupo de Cultivos Alimentarios Extensivos. Roma, Italia. Servicio de Cultivos y Pastos. Dirección de Producción y Protección Vegetal de la FAO.
- Pandey, S. y Gardner, C.O. (1992). Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Adv Agron*, 48, 1-87. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60935-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60935-9)
- Paoletti, M. (2001). *Biodiversity in agroecosystems and bioindicators of environmental health*. En: M. Shiyomi, Koizumi, H. (Ed.). *Structure and function in agroecosystems design and management advance in agroecology*. (pp: 11-44). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Ramírez, R.E., Timothy, D.H., Díaz, E., Grant, U.J., Nicholson, G.E., Anderson, E. & Brown, W.L. (1960). *Races of maize in Bolivia*. Washington, D.C. Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council, Publication 747.
- Rosegrant, M.W., Msangi, S., Ringler, C., Sulser, T.B., Zhu, T. & Cline, S.A. (2008). *International model for policy analysis of agricultural commodities and trade (IMPACT): Model Description*. Washington D.C: International Food Policy Research Institute. Recuperado de <http://bit.ly/2rDE9EF>
- Scheldeman, X. y van Zonneveld, M. (2010). *Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution*. Rome, Italy. Bioersivity International.
- Smith, M.E., Castillo, G. & Gómez, F. (2001). Participatory plant breeding with maize in México and Honduras. *Euphytica*, 122(3), 551–565. DOI: 10.1023/A:1017510529440
- Tapia, C. (2015). Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la Sierra de Ecuador. Tesis. Dr. E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 184 p.
- Tapia, C., Torres, E. & Parra-Quijano, M. (2015). Searching for Adaptation to Abiotic Stress: Ecogeographical Analysis of Highland Ecuadorian Maize. *Crop Science*, 55(1), 262-274. DOI:10.2135/cropsci2013.12.0813

- Tarter, J.A., Goodman, M.M. & Holland, J.B. (2004). Recovery of exotic alleles in semiexotic maize inbreds derived from crosses between Latin American accessions and a temperate line. *Theor Appl Genet*, 109, 609–617. DOI: 10.1007/s00122-004-1660-6
- Tilman, D. (2000). Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*, 405, 208-211. Recuperado de <http://go.nature.com/2rYXrAD>
- Timothy, D.H., Hatheway, W.H., Grant, U.J., Torregroza, M.A., Sarria, V.D. y Varela, A.J. (1966). *Razas de maíz en Ecuador*. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín Técnico - Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia). No. 12.
- Ward, Jr. J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301):236-244.
- Welhausen, E.J., Roberts, L.M. y Hernández, E. (1952). *Races of maize in Mexico*. Cambridge, MA. Bussey Institute, Harvard University.
- WorldClimate. (16 de 05 de 2016). WorldClimate. Obtenido de <http://www.worldclimate.com>