

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POST GRADO
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**



**“CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE UNA MUESTRA DE
ACCESIONES DE MAÍCES PERUANOS DEL BANCO DE
GERMOPLASMA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) DE LA UNALM”**

**Presentado por:
BELMAR CHAVARRY GÓMEZ**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**

Lima-Perú

2014

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I INTRODUCCION.....1

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL MAÍZ.....	4
2.2 DOMESTICACIÓN DEL MAÍZ.....	6
2.3 BIOLOGÍA DEL MAÍZ.....	7
2.4 DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DEL MAÍZ.....	8
2.5 TAXONOMÍA NUMÉRICA.....	13
2.6 SEMEJANZA TAXONÓMICA.....	15
2.6.1 COEFICIENTES DE ASOCIACIÓN.....	15
a. COEFICIENTE DE APAREAMIENTO SIMPLE.....	15
b. COEFICIENTE DE ASOCIACIÓN DE JACCARD.....	16
c. COEFICIENTE DE ROGERS Y TANIMOTO.....	16
d. COEFICIENTE DE SOKAL Y SNEATH.....	16
e. COEFICIENTE DE NEI Y LI.....	16
2.6.2 COEFICIENTES DE DISTANCIA.....	16
a. DIFERENCIA MEDIA DE CARACTERES.....	17
b. COEFICIENTE DE DIVERGENCIA.....	18
c. COEFICIENTE DE PARECIDO RACIAL.....	18
d. DISTANCIA GENERALIZADA DE MAHALANOBIS.....	19
2.6.3 COEFICIENTES ANGULARES.....	19

2.7 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO.....	19
2.7.1 MÉTODO DE LIGAMIENTO SIMPLE.....	20
2.7.2 MÉTODO DE LIGAMIENTO COMPLETO.....	20
2.7.3 MÉTODO DE LIGAMIENTO PROMEDIO.....	21
a WPGMA.....	21
b UPGMC.....	21
c WPGMC.....	21
2.7.4 MÉTODO FLEXIBLE DE LANCE Y WILLIAMS.....	22
2.8 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	22

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL	
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	25
3.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	25
3.1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	25
3.2 MATERIALES	
3.2.1 MATERIAL BIOLÓGICO.....	26
3.2.2 MATERIAL DE CAMPO.....	28
3.2.3 MATERIAL DE LABORATORIO.....	28
3.2.4 MATERIAL INFORMÁTICO.....	28
3.3 METODOLOGÍA	
3.3.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO.....	28
3.3.2 SIEMBRA.....	29
3.3.3 CONTROL DE MALEZAS.....	29
3.3.4 ABONAMIENTO.....	29
3.3.5 RIEGOS.....	30
3.3.6 APLICACIÓN DE INSECTICIDAS.....	30
3.3.7 COSECHA.....	30
3.4 PARCELA EXPERIMENTAL.....	31
3.5 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.....	31

3.5.1	DESCRIPTORES VEGETATIVOS	
a	ALTURA DE PLANTA.....	32
b	ALTURA DE MAZORCA.....	32
c	NÚMERO TOTAL DE HOJAS	33
d	NÚMERO DE HOJAS SUPERIOR.....	33
e	NUDO DE INSERCIÓN DE LA MAZORCA... ..	33
f	ÁREA FOLIAR.....	33
g	LONGITUD DE PANOJA.....	33
h	COLOR DE TALLO.....	33
i	FLORACIÓN FEMENINA.....	34
j	FLORACIÓN MASCULINA.....	34
3.5.2	DESCRIPTORES DE MAZORCA	
a	LONGITUD DE MAZORCA.....	34
b	DIÁMETRO INFERIOR DE LA MAZORCA.....	34
c	DIÁMETRO MEDIO DE LA MAZORCA.....	34
d	DIÁMETRO SUPERIOR DE LA MAZORCA.....	34
e	CONICIDAD DE LA MAZORCA.....	35
f	NÚMERO DE HILERAS DE LA MAZORCA.....	35
g	NÚMERO DE GRANOS POR HILERA.....	35
h	DISPOSICIÓN DE HILERAS DE GRANOS.....	35
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	
3.6.1	MATRIZ BÁSICA DE DATOS.....	36
3.6.2	ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	37
3.6.3	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN... ..	37
3.6.4	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	37
a	MATRIZ DE COEFICIENTES DE CONTRIBUCIÓN.....	38
b	MATRIZ DE VARIANZAS.....	38
c	VALORES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES.....	39

3.6.5 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO O CONGLOMERADOS

- a. MATRIZ DE COEFICIENTES DE DISTANCIA.....40
- b. CONSTRUCCION DEL FENOGRAMA..... 43

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

- 4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO..... 44
- 4.2 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN..... 46
- 4.3 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO CON VARIABLES ORIGINALES 49
- 4.4 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES 57
- 4.5 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO CON COMPONENTES PRINCIPALES 66

V. CONCLUSIONES.....75

VI. RECOMENDACIONES.....76

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....77

VIII. ANEXOS.....88

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Razas de maíz catalogadas en el Perú	10
Cuadro 2: Datos climatológicos del área experimental.....	26
Cuadro 3: Lista de accesiones de <i>Zea mays</i> evaluadas en el presente estudio.....	27
Cuadro 4: Descriptores utilizados para la caracterización morfológica de 118 accesiones de maíces nativos.....	32
Cuadro 5: Procedimiento a seguir para el cálculo de los valores de los componentes principales para cada accesión.....	40
Cuadro 6: Valores mínimos y máximos, media, desviaciones estándar y coeficientes de variabilidad de cada uno de los 16 descriptores morfológicos cuantitativos evaluados para 118 accesiones de maíces nativos.....	45
Cuadro 7: Matriz de correlación de Pearson con sus respectivos valores de probabilidad para los descriptores morfológicos cuantitativos evaluados para 118 accesiones de maíces nativos (<i>Zea mays</i> L.).....	48
Cuadro 8: Grupos de accesiones y las respectivas razas a las que pertenecen cuando el análisis se realiza con las 18 variables originales.....	53
Cuadro 9: Eigen-value, porcentaje de variación y porcentaje acumulado de variación para cada uno de los 18 componentes principales generados a partir de las 18 variables originales.....	58

Cuadro 10: Contribución relativa de los 18 descriptores morfológicos para los cuatro primeros componentes principales, usados en el estudio de las 118 accesiones de maíces nativos (*Zea mays* L.).....60

Cuadro 11: Grupos de accesiones y las respectivas razas a las que pertenecen cuando el análisis se realiza usando cuatro componentes principales..... 71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación en el espacio tridimensional de las unidades taxonómicas operativas A y B para las variables X_1 , X_2 y X_3 ; y el cálculo de su distancia.....	18
Figura 2: Representación en un plano de las accesiones ANC-006 y UCAY-035 para las variables altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) y el cálculo de su distancia.....	41
Figura 3: Representación en el espacio tridimensional de las accesiones ANC-006 y LIB-006 para las variables altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y nudo de inserción de mazorca y el cálculo de su distancia.....	42
Figura 4: Fenograma de 118 accesiones de maíz peruano y los 11 grupos formados al trazar una línea perpendicular en la distancia 1.15 usando variables originales	51
Figura 5: En esta figura se muestra la accesión LIM-080.....	55
Figura 6: En esta figura se muestra la accesión LIM-081.....	55
Figura 7: En esta figura se muestra la accesión ANC-006	56
Figura 8: En esta figura se muestra la accesión LIB-200	56
Figura 9: Gráfico de bastones representando en el eje horizontal a las 18 componentes principales y en el eje vertical a los eigen-value de cada uno de estos componentes	59
Figura 10: Gráfico bidimensional para los 18 descriptores morfológicos, usando como ejes los coeficientes de contribución del primer y segundo componente principal.....	61

Figura 11: Gráfico bidimensional para los 18 descriptores morfológicos, usando como ejes los coeficientes de contribución del primer y tercer componente principal.....	62
Figura 12: Gráfico tridimensional para los 18 descriptores morfológicos, usando como ejes los coeficientes de contribución del primer, segundo y tercer componente principal.....	63
Figura 13: Fenograma de 118 accesiones de maíces peruanos y los 11 grupos formados al trazar una línea perpendicular en la distancia 1.12 usando componentes principales.....	73
Figura 14: En esta figura se muestra la accesión CUZ-328	73
Figura 15: En esta figura se muestra la accesión LIM-086	73
Figura 16: En esta figura se muestra la accesión ANC-006	74
Figura 17: En esta figura se muestra la accesión LOR-021	74

INDICE DE ANEXOS

Figura 18: En esta figura se muestra la accesión TUM-016	88
Figura 19: En esta figura se muestra la accesión UCAY-020	88
Figura 20: En esta figura se muestra la accesión LIB-006	89
Figura 21: En esta figura se muestra la accesión AREQ-019	89
Figura 22: En esta figura se muestra la accesión LIM-048	90
Figura 23: En esta figura se muestra la accesión LIM-089	90
Figura 24: En esta figura se muestra la accesión LIM-077	91
Figura 25: Dispositivo usado para medir longitud y diámetro de mazorca.....	91
Figura 26: Medición del diámetro medio de mazorca.....	92
Figura 27: Medición de la longitud de mazorca.....	92
Cuadro 12: Contribuciones relativas y eigen-valor para los 18 componentes principales.....	93
Cuadro 13: Matriz básica de datos primera parte.....	94
Cuadro 14: Matriz básica de datos segunda parte... ..	95

Cuadro 15: Matriz básica de datos tercera parte.....	96
Cuadro 16: Matriz básica de datos cuarta parte.....	97
Cuadro 17: Matriz básica de datos quinta parte.....	98
Cuadro 18: Matriz básica de datos sexta parte.....	99
Cuadro 19: Matriz básica de datos séptima parte.....	100
Cuadro 20: Matriz básica de datos octava parte.....	101

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), situado en el valle del río Rímac a una altitud de 255 msnm. El material biológico consta de una muestra de 118 accesiones de maíces peruanos recolectados en diferentes departamentos del país y conservados en el Banco de Germoplasma del Programa de Investigación y Proyección Social en Maíz de la UNALM. La instalación del experimento se llevó a cabo el día 10 de junio del 2011, sembrándose cada accesión en una parcela de 40m² debidamente identificada y sin repetición con una población de 260 plantas por parcela experimental.

Los objetivos del presente trabajo de investigación son caracterizar una muestra de accesiones de maíces peruanos conservados en el banco de germoplasma de la UNALM, usando descriptores vegetativos y de mazorca, determinar las variables más eficientes para agrupar a las accesiones y determinar las raza de maíz a la que pertenece cada accesión de acuerdo a los datos recolectados por los descriptores morfológicos.

Para la caracterización morfológica de las plantas de maíz se seleccionaron 18 descriptores del manual de descriptores morfológicos de la FAO-IBPGR. Los descriptores morfológicos fueron; altura de planta y de mazorca superior, nudo de inserción de mazorca superior, número total de hojas, número de hojas sobre la mazorca, área foliar, longitud de panoja, color de tallo, longitud de mazorca, diámetro superior, medio e inferior de mazorca, porcentaje de conicidad de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, disposición de hileras, días a la floración masculina y femenina. El análisis estadístico incluye la formación de una matriz básica de datos de tamaño 18x118, el cálculo del coeficiente de variabilidad de cada descriptor, análisis de correlaciones y análisis multivariado tanto de componentes principales como de agrupamiento; ayudándonos para tal fin del programa estadístico NTSYSpc22N y de la hoja de cálculo Excel 2010. Cabe resaltar que los datos usados en la matriz son promedios de diez plantas para los descriptores cuantitativos y la moda en caso de los descriptores cualitativos.

Entre los resultados más importantes cabe resaltar, que la mayoría de los descriptores morfológicos evaluados se correlacionaban entre sí; luego el número de variables originales o descriptores fue reducido solamente a cuatro nuevas variables conocidas como componentes principales en donde el primer componente presenta un eigen-value de 8.82, el segundo componente un eigen-value de 2.68, el tercer y cuarto componente presentan un eigen-value de 1.44 y 1.07 respectivamente; acumulando entre los cuatro un 77.79% de la variación total de los datos. De acuerdo al análisis de componentes principales solamente los descriptores longitud de panoja, porcentaje de conicidad y disposición de hileras resultaron ser las variables menos eficientes para agrupar a las accesiones por presentar un bajo coeficiente de contribución en cada componente principal.

La caracterización morfológica de una muestra de accesiones del Banco de Germoplasma de Maíz de la UNALM; permitió discriminar las accesiones en grupos; sin embargo, los grupos formados no coinciden con la clasificación racial. La falta de coincidencia se debe a que la raza a la que pertenece cada accesión se determinó usando pocos datos de mazorca y grano; el resto de caracteres usados sirven para describir las razas pero no para clasificarlas. La caracterización morfológica puede servir para mejorar la clasificación racial original; pero debe basarse solo en los caracteres más eficientes para agrupar a las accesiones en razas.

La clasificación racial en el Perú además de criterios morfológicos, incluye criterios ecológicos y culturales; además de datos de mazorca y grano que fueron decisivos. Por lo tanto concluye que los análisis de conglomerados y la construcción de fenogramas no son decisivos para la clasificación racial, pero pueden ser parte de un método más holístico que considere otros criterios además de los morfológicos.

ABSTRACT

The present research was carried out in the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), located in the Rímac river valley at an altitude of 255 meters. The biological material consists of a sample of 118 peruvian maize accessions collected in different departments and maintained in the UNALM Germplasm Bank. The installation of the experiment was carried out on June 10, 2011; each accession was planted on a plot of 40m² without repetition with a population of 260 plants per plot

The objectives of this research are: to characterize a sample of Peruvian maize accessions conserved in the UNALM genebank using plant and ear descriptors; to determine the most efficient variables for cluster analysis and to determine the race of corn for each accession according to data collected by morphological descriptors.

The 18 descriptors for morphological characterization of the maize plants were selected from the morphological descriptors manual FAO-IBPGR. The morphological descriptors were plant and ear height, ear insertion knot, total number of leaves, number of leaves on the cob, leaf area, panicle length, color of stem, ear length, top, medium and bottom diameter of ear, ear taper rate, number of rows per ear, number of kernels per row, disposition of rows, days to male and female flowering. Statistical analysis includes the formation of a basic matrix of data, calculation of the variation coefficients for each descriptor, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis; using for that purpose the statistical program NTSYSpc22N of the microsoft Excel 2010. The data of basic matrix are averages of ten corn plants in case of quantitative descriptors and modas in case of qualitative descriptors.

Most of the evaluated morphological descriptors are correlated each other, then the number of original variables or descriptors was reduced from 18 to four variables or principal components where the first component has an eigen-value of 8.82, the second component has an eigen-value of 2.68, the third and fourth component have an eigen-value of 1.44 and 1.07 respectively; these first four principal components concentrate the 77.79% of the total data variation. According to principal component analysis only descriptors

panicle length, taper rate and row arrangement proved less efficient variables for grouping accessions to present a low coefficient of contribution in each major component.

Morphological characterization of a sample of accessions of Maize Germplasm Bank UNALM; allowed to discriminate accessions in groups, but the groups formed not match the racial classification. The mismatch is due to the race to which belongs each accession was determined using few data cob and corn used other characters are used to describe the races but not to classify. Morphological characterization can be used to improve the original racial classification, but must be based only on the most efficient characters to group accessions in races.

Racial classification in Peru as well as morphological criteria included ecological and cultural criteria, in addition to data cob and grain that were decisive. Therefore concluded that cluster analysis and the construction of phenograms are not decisive for racial classification, but may be part of a holistic approach that considers criteria other than morphological.

I. INTRODUCCION

El maíz es uno de los cultivos más importantes en el Perú y se siembra en todos los departamentos. El Perú cuenta con una amplia variedad de tipos de maíz, habiéndose utilizado en un principio los maíces amiláceos para la alimentación humana y los maíces amarillos duros como forraje, principalmente en la costa central. En la costa y selva los más importantes son los del tipo amarillo, duros y semiduros, que se destinan mayormente a la elaboración de alimentos balanceados para aves y porcinos; y la obtención de derivados. En la sierra, se cultivan maíces blandos amiláceos, destinados principalmente a la alimentación humana. El choclo o maíz tierno fresco se cultiva tanto en la costa como en la sierra del Perú, igualmente, para consumo humano (Salhuana, 2004).

Actualmente existe la necesidad de generar variedades mejoradas para enfrentarlas al cambio climático, pero hay muchas limitaciones. El mejoramiento genético todavía no puede generar las variedades mejoradas con las características adaptativas necesarias para superar esas limitaciones. Los caracteres adaptativos a estreses abióticos y la mayoría de caracteres de importancia económica son difíciles de estudiar porque las defensas de las plantas requieren cambios reguladores para la activación de genes múltiples de pequeños efectos individuales (Ortiz, 2008). Si más de la mitad de la variación de una característica es explicada por 3 a menos genes, entonces la selección asistida por marcadores moleculares tendrá utilidad; pero, si dicha variación se debe a más de 3 genes o si ellos explican menos de la mitad de la variación de una característica entonces es más recomendable realizar una selección fenotípica; razón por lo cual las herramientas moleculares no pueden resolver todos los problemas con la misma eficiencia (Bennett, 2001). Antes de que la genómica ayude al mejoramiento hay mucho que investigar (Lee, 2006).

La fenotipificación precisa es muy importante; pues la falta de técnicas para fenotipificar son la más importante limitación para hacer uso de la variación natural en el mejoramiento de los cultivos (Johal et al, 2008). Se necesita diseñar un esquema de mejoramiento basado en marcadores que considere tanto la disponibilidad de datos de los marcadores moleculares como la información sobre buenos fenotipos (Bernardo, 2008).

Los programas de genómica se encargan de la generación de marcadores moleculares eficientes y mapas de alta densidad, sin tomar en cuenta la diversidad fenotípica de las especies (Hamon et al, 2004). Los costos y el tiempo para poner los genes foráneos en variedades mejoradas son muy altos. Por lo tanto es preferible dedicarse a la fenotipificación de la diversidad de los cultivos mientras se crean métodos y técnicas más confiables y económicas (Goodman, 2004). El reto en el futuro es asociar análisis genotípicos con experimentos fenotípicos de alta precisión (Sorrells, 2006). Lo que se necesita es entender la naturaleza genética de los caracteres de tolerancia y evasión a estreses ambientales, la asociación entre los caracteres adaptativos y caracteres basados en el ADN genómico o marcadores moleculares, técnicas para una mejor fenotipificación y conocer mejor la diversidad de las especies y la variabilidad fenotípica de los caracteres adaptativos. Mientras tanto es necesario mejorar el fenotipo de los caracteres morfológicos hasta un punto tal que permita la diferenciación de la diversidad genética en grupos con menos diversidad intraespecífica que en su conjunto agrupe la diversidad total de las especies. La caracterización depende de los objetivos.

En la presente tesis la caracterización se hace con la finalidad de asociar el fenotipo con el genotipo. En las últimas décadas el avance en la caracterización molecular y en la genómica para secuenciar el ADN en muchas especies ha sido considerable, pero el fenotipo para asociar el fenotipo con el genotipo no se ha desarrollado paralelamente. Los caracteres más importantes son aquellos que están más asociados al ADN; la variación en el ADN es lo que hace que los individuos sean distintos. Los caracteres responsables de la similitud o desigualdad entre individuos deben estar asociados a la similitud y desigualdad en el ADN.

El conocimiento del origen y domesticación de las plantas cultivadas nos permite entender mejor el origen de la diversidad racial. Cuanto más antigua es una especie en una región mayor será la diversidad racial y eso se expresa en una mayor variación en el ADN. Pero como eso no es la única causa de la diversificación genética entre individuos y poblaciones, es necesario entender que la variación fenotípica está asociada a la genotípica.

El entendimiento del valor de los caracteres en el agrupamiento de la diversidad, o sea el valor taxonómico de las características es un paso previo para asociar el fenotipo con el genotipo. Los objetivos para esta investigación son:

- Caracterizar una muestra de accesiones de maíces peruanos conservados en el banco de germoplasma de la UNALM, usando descriptores vegetativos y de mazorca.
- Determinar las variables más eficientes para agrupar a las accesiones.
- Determinar la raza de maíz a la que pertenece cada accesión de acuerdo a los datos recolectados por los descriptores morfológicos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL MAÍZ

La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Habiéndose originado y evolucionado en la zona tropical como una planta de excelentes rendimientos, hoy día se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile (Kumar et al., 1991). La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero se cultiva también por debajo del nivel del mar en las planicies del Caspio y hasta los 3800 msnm en la Cordillera de los Andes. Más aún, el cultivo continúa expandiéndose a nuevas áreas y a nuevos ambientes (Dowswell et al, 1996).

El origen del maíz ha sido objeto de numerosos trabajos, con base en los cuales se han sugerido varios sitios de origen que van desde Paraguay en Sudamérica hasta Guatemala y México en Centroamérica. El lugar de origen que sugiere la evidencia científica como más razonable identifica a México como el lugar más probable de origen y a Guatemala como segunda opción (Wilkes, 1989; Galinat, 1995). Otras revisiones coinciden en afirmar que el maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron hacia otros sitios de América. Por otro lado, la evidencia más antigua sobre la domesticación del maíz proviene de sitios arqueológicos de México, donde pequeñas tuzas con edad estimada de 7000 años han sido excavadas. Este estimativo coincide con el dato generalmente aceptado para el origen de la agricultura, tanto en el viejo como en el nuevo mundo entre 8000 y 10000 años (Dowswell et al., 1996).

En la Arqueología peruana se ha considerado durante mucho tiempo que la aparición del maíz y su difusión estaban asociados al fenómeno Chavín, tan es así que para referirse al Precerámico hasta la década del 60 e inclusive después, el maíz fue utilizado como fósil director para señalar el cambio entre los tiempos sin cerámica y en los que ésta fue empleada; inclusive Towle (1961) para referirse a la Época Precerámica dice cultura pre-maíz. Las investigaciones arqueológicas que han demostrado la presencia de maíz precerámico en el Perú abarcan los siguientes sitios en la Costa: Cerro Julia y Cerro El Calvario en el valle

Casma, Tuquillo y Los Gavilanes en las cercanías del Valle Huarmey; además de los yacimientos Las Aldas, Culebras y Áspero. En la sierra la evidencia procede de Huaricoto y Cueva del Guitarrero en el Callejón de Huaylas; algunos sitios de Ayacucho como Pikimachay y Rosa Machay. El yacimiento Tambillo Boulder fue destrozado por los campesinos que además se llevaron los restos botánicos que se habían descubierto, perdiéndose de esta manera valiosa información (Bonavia, 1982).

Actualmente la hipótesis sobre el origen del maíz más ampliamente aceptada es aquella que propone que el maíz fue domesticado por selección humana a partir del teosinte; pero el principal problema que tuvo que afrontar esta hipótesis consistió en explicar la transformación del fruto del teosinte al del maíz, dada las grandes diferencias que existen en el fruto de ambas especies. Sin embargo el hallazgo de cinco genes mutantes que controlan caracteres claves que separan al maíz del teosinte, a través de estudios isoenzimáticos y moleculares hacen defendible esta hipótesis (Doedley, 1990); así mismo, hay un gen que controla el carácter de la inflorescencia tanto en maíz como en teosinte (Wang et al, 1999). El resto de hipótesis sobre el origen del maíz proponen un maíz silvestre como antecesor común, pero este aún no se ha descubierto; no hay evidencias sobre la existencia de dicho antecesor.

Según Mangelsdorf (1974) existen seis razas ancestrales que aún sobreviven y de los cuales se han originado las principales razas de maíz que hoy se conocen, estos son el Palomero Toluqueño, originario de México del cual derivan todas las razas de maíz reventón; Complejo Chapalote Nal-Tel o Pollo, del cual derivan las numerosas razas de México y América Central; Pira Naranja, originario de Colombia del cual derivan todos los maíces duros tropicales de endospermo naranja; Confite Morocho, posiblemente originario de Ayacucho y del cual derivan los maíces de ocho hileras de grano; Chullpi, posiblemente originario de la zona Apurímac-Ayacucho de la cual derivan los maíces dulces y con su mazorca en forma de granada de mano; y la Raza Kculli, originario de las alturas de la Sierra Central Peruana de la cual derivan todos los maíces con alta coloración de antocianinas en pericarpio y aleurona.

2.2 DOMESTICACIÓN DEL MAÍZ

Zea mays L. es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y es la única especie cultivada y de gran importancia económica del género *Zea*. El maíz es una planta completamente domesticada; el hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde tiempos remotos, razón por la que esta especie no crece en forma silvestre y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre.

Dentro de todas las plantas cultivadas, el maíz tiene el más elevado nivel de domesticación, logrado a través de la selección que resultó en una especie totalmente dependiente del hombre, pues la transformación eliminó por completo las características ancestrales de sobrevivencia en la naturaleza. Este proceso generó una gran variedad de maíces, más de 300 razas y miles de variedades adaptadas a los más diversos ambientes ecológicos y a las preferencias de sus cultivadores. Todo esto se debió a una selección conducida por miles de generaciones y sin interrupción por las antiguas poblaciones americanas (Paterniani, 2000).

El maíz es una de las pocas especies cultivadas originaria del Nuevo Mundo y era la principal planta alimenticia de los indígenas cuando Colón descubrió América. Las primeras variedades de maíz totalmente distintas de las cultivadas por los indios fueron desarrolladas por los pioneros americanos, usando selección masal simple, con lo que se inició el desarrollo de variedades de polinización abierta. En el siglo XX, la intensificación de la investigación en mejoramiento genético, condujo a un incremento espectacular del potencial de rendimiento con la creación de híbridos con alta productividad, que revolucionaron la producción de este cereal, primero en Norte América y más tarde en otros países del mundo (Dowswell et al., 1996).

2.3 BIOLOGÍA DEL MAÍZ

El maíz pertenece al orden Glumiflorales, Familia Poaceae (Gramineae), tribu Maydeae. Esta tribu incluye dos géneros de origen americano, los cuales son *Zea* y *Tripsacum*. Anteriormente se consideraba un tercer género que era el *Euchlaena* o Teosinte, pero este fue integrado dentro del género *Zea* a pesar de ser silvestre. Tanto el teosinte como el *Tripsacum* han sido considerados como parientes cercanos del maíz, siendo su único aprovechamiento como plantas forrajeras. El teosinte se encuentra en México y Guatemala y presenta forma anual y perenne. El *Tripsacum*, se encuentra en toda América Central y en Sudamérica, extendiéndose por el norte a algunas regiones de Estados Unidos y por el sur hasta Brasil.

El maíz es una especie monoica, que se caracteriza por tener la inflorescencia femenina (mazorca) y la masculina (panoja) separadas pero en la misma planta. El maíz es una especie de polinización abierta (alógama), debido principalmente a que la liberación del polen ocurre antes que la inflorescencia femenina complete su maduración. Cerca del 95 por ciento de los óvulos son fecundados con polen de otra planta y un 5 por ciento con el mismo polen (Pohl et al, 2007). La inflorescencia masculina o panoja normalmente se hace visible entre las últimas hojas de la planta, 7 a 10 días antes de que aparezcan los estilos de la inflorescencia femenina. Generalmente 2 a 3 días antes de comenzar la liberación del polen, se alargan los entrenudos de la parte alta del tallo impulsando a la panoja, la cual queda completamente desplegada; la planta en ese momento alcanza su altura máxima.

La panoja está compuesta por un eje central que corresponde a una prolongación del tallo de la planta; en dos tercios superiores de dicho eje se desarrolla una espiga, bajo la cual se originan varias ramas finas de aspecto plumoso que corresponden a espigas laterales. Tanto en la espiga central, como en las laterales, se originan espiguillas; éstas siempre se producen de a pares, siendo una pedicelada y la otra sésil. Cada espiguilla, a su vez, produce dos flores, las que presentan tres estambres largamente filamentados y un pistilo; este último normalmente degenera, permitiendo que las flores sean funcionalmente masculinas. Rodeando las dos flores contenidas en cada espiguilla se presentan dos glumas; al interior de ellas, cada flor se presenta encerrada entre dos estructuras: la lemma o glumela inferior y la

pálea o glumela superior. La estructura que comprende la lemma, pálea y la flor se denomina antecio, existiendo dos antecios en cada espiguilla (Benz, 2001).

La inflorescencia femenina corresponde a una espiga; su eje, que es grueso y de forma cilíndrica, se conoce con el nombre de marlo o coronta. La espiga, por su parte, se presenta cubierta por brácteas u hojas envolventes denominadas comúnmente panca. La coronta conjuntamente con la panca y los granos conforman la mazorca. La inflorescencia femenina está conformada por espiguillas, las cuales se ubican en forma individual en cada una de las cavidades de la coronta; cada espiguilla, a su vez, contiene dos flores, de las cuales sólo una logra emitir su estilo; la otra flor aborta, originándose, por lo tanto, sólo un grano por cavidad. Cada flor funcional tiene un ovario simple, el cual genera un estilo que se alarga y emerge a través de las brácteas en el extremo superior de la mazorca. Los estilos originados por cada flor femenina, conforman una característica cabellera en cada mazorca (Wilkes, 2004).

Las flores son potencialmente hermafroditas, es decir aunque la espiga tiene flores funcionales masculinas y la mazorca flores femeninas, las flores masculinas contienen vestigios de órganos femeninos como un pistilo rudimentario; y en las flores femeninas existen tres estambres rudimentarios. Por esta razón a veces ocurren flores perfectas en la espiga, que dan lugar a la formación de granos en la panoja y también mazorcas con anteras (Kiesselbach, 1949).

2.4 DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DEL MAÍZ

En los primeros ensayos para clasificación de maíz se utilizó la definición de raza como “un grupo de individuos emparentados, con suficientes características en común para permitir su reconocimiento como grupo” (Anderson y Cutler, 1942). Mayr (1942) define una raza como una población con rasgos morfológicos y fisiológicos comunes y, por lo consiguiente, genes comunes que determinan estas características. La diversidad genética del maíz se ha clasificado en razas. Las razas se diferencian por su morfología, fenología y adaptación. La selección artificial juega un papel muy importante en la adaptación de las razas a los ecosistemas y sistemas de producción, y en la especialización para múltiples usos

culturales. Las razas de maíz son componentes importantes de las culturas; como lo son el idioma, música, costumbres, preparación de alimentos y otras manifestaciones culturales (Sevilla, 1975).

Las razas difieren en adaptación; pero además se distinguen por sus caracteres morfológicos y fenológicos. Las escasas evidencias genéticas y citológicas indican que el maíz andino, en general, es menos diverso que el mesoamericano (Doedley, 1990). Sin embargo, la diversidad fenotípica, es decir la variación en tipos, forma y dimensiones del grano, color del grano y modificaciones morfológicas, es considerable, posiblemente mayor a la de cualquier otra región (Goodman y Brown, 1988).

La clasificación del maíz es cerrada en el sentido que toda la diversidad de la especie se clasifica en razas. La clasificación se hace por aproximaciones sucesivas. Por ejemplo, el primer país que clasificó sus razas de maíz fue México. Durante el proyecto LAMP (Latin American Maize Project) se clasificaron 40 razas en México durante el proceso de evaluación del germoplasma de ese país (Salhuana et al, 1997).

Según Kuleshov (1926) citado por Salhuana (2004) el grupo más subdividido y rico en rasgos morfológicos y biológicos era el amiláceo; más aún, estableció que la mayor diversidad y especialización de maíz del grupo amiláceo (endospermo blando) tenía lugar en el Perú. La extrema variedad de las condiciones ecológicas en las que el maíz crece en el Perú, conjuntamente a la mutación, la hibridación y una selección planificada, ha resultado en la producción de un número alto de razas indicando la gran diversidad genética existente.

En el cuadro 1 se muestran las 52 razas de maíz catalogadas en Perú (Grobman et al, 1961); la más antigua, Confite Morocho, se cultiva todavía en Ayacucho, en los mismos lugares donde se encontraron los restos de maíz con una antigüedad de casi 6000 años. Algunas razas son muy variables y están compuestas a su vez de muchas variedades, que se diferencian principalmente por el color de grano y la adaptación. De acuerdo al proceso evolutivo del maíz en el Perú se ha podido establecer seis grupos de razas. En este mismo cuadro cabe mencionar que las razas del 1 al 5 pertenecen al grupo de razas primitivas, las

razas del 6 al 24 pertenecen al grupo de razas derivadas de las primitivas, las razas del 25 al 33 pertenecen al grupo de razas de reciente derivación, las razas del 34 al 38 pertenecen al grupo de razas introducidas, las razas del 39 al 43 pertenecen al grupo de razas incipientes, y las razas del 44 al 52 pertenecen al grupo de razas imperfectamente definidas (Salhuana, 2004).

Cuadro 1: Razas de maíz catalogadas en el Perú.

Número	Raza	Número	Raza
1	Confite Morocho	27	Perla
2	Confite Puntigudo	28	Rienda
3	Kculli	29	San Gerónimo Huancavelicano
4	Confite Puneño	30	Cuzco gigante
5	Enano	31	Arequipeño
6	Rabo de Zorro	32	Chimlos
7	Chaparreño	33	Marañon
8	Chullpi	34	Pardo
9	Huayleño	35	Arizona
10	Paro	36	Alemán
11	Morocho	37	Cubano Dentado Amarillo
12	Huancavelicano	38	Chuncho
13	Ancashino	39	Jora
14	Shajatu	40	Coruca
15	Piscorunto	41	Morocho Cajabambino
16	Cuzco Cristalino Amarillo	42	Morado Canteño
17	Cuzco	43	Sarco
18	Granada	44	Ajaleado
19	Uchuquilla	45	San Gerónimo
20	Sabanero	46	Perlilla
21	Piricinco	47	Tumbesino
22	Mochero	48	Colorado
23	Pagaladroga	49	Chancayano amarillo
24	Alazán	50	Amarillo Huancabamba
25	Huachano	51	Huarmaca
26	Chancayano	52	Blanco Ayabaca

Fuente: PCIM (2004)

Según Sevilla (1994) las variedades nativas de la zona andina, se agrupan en los siguientes complejos: el Complejo Racial Cuzco, que incluye la raza Cuzco, Cuzco Gigante, Chancayano, Pardo, Huachano, Arequipeño, Coruca y Chimlos, los cuales se caracterizan por tamaño de grano grande y pocas hileras derechas; el Complejo Mazorca Flexible que incluye a las razas Rabo de Zorro y Rienda, posiblemente derivados del Confite Morocho y que se caracterizan por su panoja angosta y alargada; y el Complejo Racial Sabanero que incluye a las razas Sabanero, Pollo, Cabuya, Huandango, Cacao, Montaña, Capiro, Amagaceño y Morochón, que se caracterizan por sus granos redondeados relativamente grandes y base de la panoja alargadas, variando considerablemente en tamaño de panoja y textura de grano.

Muestras de semillas de todas las variedades nativas de maíz del Perú han sido recogidas de campo de agricultores y se guardan en condiciones controladas de humedad y temperatura en el Banco de Germoplasma del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (PCIM-UNALM); el cual no sólo tiene muestras de semillas viables de todas las variedades que están en peligro de extinción, sino que tiene una estrategia para devolver la semilla a los agricultores que la han perdido. La muestra de semilla recolectada en campo se llama colección; pero cuando dicha muestra es ingresada al banco de germoplasma recibe el nombre de accesión, que es la unidad de conservación. Cada accesión mantiene su individualidad durante el tiempo de almacenamiento y durante el proceso de regeneración, caracterización y evaluación. En 1998 se estimó que del total aproximado de 3000 accesiones de maíz mantenidas en el banco de germoplasma, sólo el 20% de ellas representan toda la diversidad del maíz en el Perú; es decir que la colección núcleo está formada por cerca de 600 accesiones (Tabla, 1995).

En la caracterización morfológica; los descriptores son usados de acuerdo a las variedades estudiadas. Así, en las variedades amiláceas para grano se recomiendan altura de planta y altura de mazorca, número de hojas sobre la mazorca, longitud del eje de la panoja, número de ramificaciones primarias y secundarias de la panoja, diámetro y longitud del grano. En las variedades chocleras se recomiendan altura de planta y de inserción de la mazorca, número total de hojas y número de hojas sobre la mazorca, diámetro del tallo,

ancho y longitud de la hoja, longitud del pedúnculo, parte ramificada y del eje de la panoja, número de ramificaciones primarias, secundarias, terciarias y totales de la panoja, número de hileras de la mazorca, ancho y longitud del grano (López, 1996).

Un trabajo de investigación orientado a mejorar la morfología, aspecto y sanidad de las mazorcas de la variedad de maíz PMS-636 de la Sierra Central; así como su rendimiento de grano, encontró diferencias altamente significativas al 1 por ciento de probabilidad en los caracteres: rendimiento de grano, altura de planta y altura de mazorca; en cambio, el índice de mazorca no mostró estas diferencias estadísticas. Mientras que, el análisis de variancia para las características número de hileras por mazorca, diámetros de la tusa (superior, centro y de la base) no mostraron diferencias significativas al 1 por ciento de probabilidad. Concluyéndose que el número de hileras por mazorca es el menos variable, cuyo promedio es de 12. Además, la selección poblacional aplicada ya no parece ser tan efectiva en el mejoramiento de las características de la mazorca, recomendándose por ello, utilizar métodos que usen endocría con la finalidad de ampliar la variabilidad fenotípica de las características morfológicas de la mazorca (Vega, 2003).

En un trabajo de investigación orientado a la clasificación racial de maíz en la Sierra del Perú se encontró que las características que resultan con mayor valor como descriptores son las características reproductivas (mazorca y grano), especialmente longitud y ancho del grano, sin embargo, también se recomienda altura de planta, altura de inserción de la mazorca, número de hojas, largo y ancho de hoja. En panoja se recomienda evaluar número de ramificaciones primarias y secundarias, y longitud de la parte ramificada; mientras que en mazorca se recomienda evaluar longitud y diámetro de mazorca, y número de hileras. Además, las características como depresión del grano, largo del pedúnculo e índice de prolificidad; si bien son importantes en la evolución no resultan muy eficaces para la discriminación entre las razas de maíz peruano. Se recomienda la inclusión de otras características de tipo cualitativo en la evaluación de razas de maíz como coloración del grano, aleurona y forma de mazorca, principalmente (Ortiz, 1985).

La panoja por su homología con la mazorca tiene valor en el estudio y clasificación racial de la variación en maíz (Anderson y Cutler, 1942). Cuando el número de hileras es de 6, 10, 14 y 18, la disposición de las hileras es torcida y asimétrica; pero cuando el número de hileras por mazorca es de 8, 12, 16 y 20, las hileras son derechas y simétricas; pero esto no se cumple en maíces peruanos ni bolivianos (Mangelsdorf y Smith, 1949).

Un análisis discriminante para la diferenciación de razas de maíz, encontró que los caracteres externos de mazorca son los más determinantes de la diferenciación de colecciones pero esos pueden ser influenciados por el medio ambiente al igual que los caracteres de panoja, no así los caracteres internos de mazorca por lo que pueden ser mucho más efectivos al hacer la clasificación racial (Vega, 1972). Un estudio de correlación entre características de panoja y de mazorca en razas de maíces peruanos, encontró para algunas razas, que el número de ramificaciones secundarias, la longitud de la parte no ramificada y la longitud de la ramificación inferior correlacionan con la mayoría de los caracteres externos de la mazorca; igualmente la longitud y el ancho de mazorca correlacionan con la mayoría de los caracteres de panoja. Menciona además la correlación común en algunos caracteres para las razas Confite Morocho y Paro (Cardenas, 1976).

2.5 TAXONOMÍA NUMÉRICA

Taxonomía Numérica se define como la aplicación de la estadística u otros métodos numéricos a la investigación sistemática. También se le conoce con el nombre de "taxonomía matemática" (Jardine y Sibson, 1971) y como "morfometría multivariante" (Blackith y Reyment, 1971). También se usan los términos "taxometría" (Mayr, 1966) y "taximetría" (Rogers, 1963). Sin embargo, el término más usado y aceptado es taxonomía numérica (Sneath y Sokal, 1973). En cualquier caso, la Taxonomía Numérica tiene, además de hacer más objetiva la asignación de individuos en grupos, la finalidad de evaluar cuantitativamente las semejanzas o diferencias entre grupos y presentar el ordenamiento de esos grupos en niveles jerárquicos.

El principio que guía toda clasificación es que los grupos no deben superponerse; o sea un individuo debe pertenecer a una clase solamente. Un carácter o grupo de caracteres debe distinguir a los individuos clasificados. La Taxonomía Numérica se basa en las semejanzas presentadas por una serie de caracteres observados en diferentes individuos. No solamente es empírica, sino también operativa ya que emplea métodos que se basan sobre exposiciones e hipótesis, formuladas de tal manera, que pueden ser confirmadas por la observación y experimentación (Heywood, 1968).

La Taxonomía experimenta un notable auge durante el siglo XIX con el descubrimiento y clasificación de multitud de nuevas especies animales y vegetales. Sin embargo, la metodología clásica basada en la descripción de caracteres morfológicos cualitativos que establecían grupos discretos o taxones, se encuentra con el problema, sobre todo a nivel intraespecífico (dentro de una especie), de la continuidad de los taxones, que no siempre aparecían como grupos discretos. Por ello surgió en los últimos 30 años la Taxonomía Numérica, la cual ha experimentado un gran desarrollo en áreas como la Biología y más concretamente en Zoología, Botánica y Ecología, así como en Medicina, Geología e incluso en el campo de las Humanidades (Clifford y Stephenson, 1975).

Las ventajas de la utilización de los métodos taxonómicos numéricos se resumen en la posibilidad de integración de datos morfológicos, fisiológicos, citogenéticos, bioquímicos etc. Por otra parte, los datos cuantitativos pueden elaborarse mediante sistemas de procesamiento informático actualmente existentes, lo que permite el manejo rápido de una enorme cantidad de información sobre las entidades taxonómicas (Felsenstein, 1983). Además los métodos por ser cuantitativos presentan una mayor capacidad de resolución en la separación de los taxones; y las aplicaciones de la Taxonomía Numérica a la clasificación de genotipos a nivel intraespecífico y relacionadas con la Mejora Vegetal han sido muy numerosas

2.6 SEMEJANZA TAXONÓMICA

Debido a la existencia de un gran número de métodos para calcular la semejanza taxonómica entre dos individuos, vamos a tratar de dar una visión general de los mismos, dividiéndolos en tres grupos convencionalmente aceptados que son: coeficientes de distancia, coeficientes de asociación y coeficientes angulares.

2.6.1 COEFICIENTES DE ASOCIACIÓN

Una forma de cuantificar la semejanza taxonómica es calculando los coeficientes de asociación. Estos usan solo dos estados para cada característica (caracteres bifásicos). Es más aplicable cuando los dos estados son, presencia (codificado con 1) o ausencia (codificado con 0) como por ejemplo en marcadores moleculares; pero valores cuantitativos o cualitativos pueden codificarse en dos estados. Por ejemplo, para caracteres cualitativos: 1 = presencia de flores rojas; 0 = ausencia de flores rojas, ósea flores de otros colores. Para caracteres cuantitativos: 1 = plantas altas; 0 = plantas no altas, o sea medias altas, medianas y pequeñas. Se han hecho varios estudios comparando las ventajas de cada uno de los coeficientes de asociación (Sokal y Sneath, 1963; Cheetham y Hazel, 1969).

Si se compara un carácter de doble estado de dos individuos, se presentan cuatro posibilidades: 1,1 si ambos individuos tiene carácter comparado; 0,0 si está ausente en los dos; 1,0 si está presente en el primero y ausente en el segundo; 0,1 si está ausente en el primero y presente en el segundo. El coeficiente varía de 0 a 1, siendo el valor 1 el que expresa la máxima semejanza entre dos individuos. A las combinaciones 1,1 se les denomina “a”; “b” a los 1,0; “c” a las 0,1 y “d” a las 0,0; para calcular los coeficientes de asociación se han propuestos varios métodos de los cuales se puede resaltar los más usados:

a COEFICIENTE DE APAREAMIENTO SIMPLE

Conocido en inglés como simple matching, su fórmula es la siguiente:

$$SM = \frac{a + d}{a + b + c + d}$$

b COEFICIENTE DE ASOCIACIÓN DE JACCARD

Este método no considera a “d”, o sea a 0,0 como elemento de similitud, su fórmula es la siguiente:

$$J = \frac{a}{a + b + c}$$

c COEFICIENTE DE ROGERS Y TANIMOTO

Este método da mayor importancia a las diferencias, su fórmula es la siguiente:

$$RT = \frac{a + d}{a + 2b + 2c + d}$$

d COEFICIENTE DE SOKAL Y SNEATH

Este método da mayor importancia a las coincidencias y ausencias, su fórmula es la siguiente:

$$SS = \frac{2(a + d)}{2(a + d) + b + c}$$

e COEFICIENTE DE NEI Y LI

Este método da mayor importancia a las coincidencias, su fórmula es la siguiente:

$$NL = \frac{2a}{2a + b + c}$$

2.6.2 COEFICIENTES DE DISTANCIA

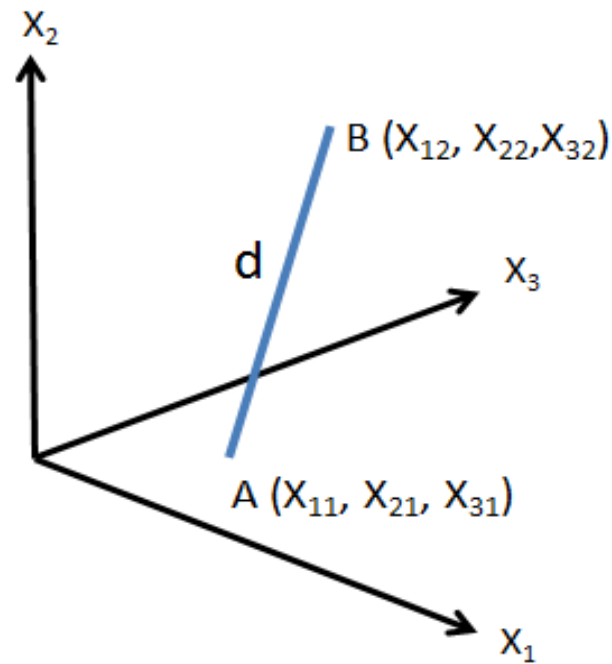
También se les conoce como distancia taxonómica y miden la distancia que existe entre los individuos llamados también unidades taxonómicas operativas (UTOs), definidas en un espacio determinado por unos ejes que representan a cada uno de los caracteres empleados; este espacio es también conocido como espacio fenético. Los coeficientes de distancia se usan para caracteres cualitativos y cuantitativos multifásicos como por ejemplo

color de tallo de maíz que puede ser 1 = verde, 2 = rojo claro, 3= rojo, 4 = morado y 5= negro; también se usa con caracteres cuantitativos con datos numéricos reales. El coeficiente de distancia de mayor uso y que se ha utilizado en este estudio es la distancia euclidiana; su explicación se encuentra en el apartado 3.6.5 de materiales y métodos. Existen otros coeficientes de distancia que se describen a continuación:

a DIFERENCIA MEDIA DE CARACTERES

Es una medida del parecido taxonómico y la distancia entre dos UTOs, y se calcula como la distancia media entre pares de observaciones, una de cada UTO. Es un índice simple y métrico pero presenta la desventaja de subestimar las distancias entre los individuos (Cain y Harrison, 1958). Este procedimiento se basa en que cada individuo o unidad taxonómica operativa (UTO) representa un punto en el espacio determinado por p coordenadas, siendo p el número de variables usadas en un experimento; la diferencia media es un método de cálculo de distancias genéticas que se basa en hallar el promedio de los valores absolutos de las diferencias de las observaciones de dos UTOs.

En la figura 1 se observa el cálculo de la diferencia de media de caracteres entre dos individuos (A y B) considerando tres variables, se observa que cada individuo representa un punto del espacio, donde la primera componente es el valor de la variable X_1 , la segunda componente es el valor de la variable X_2 y la tercera componente es el valor de la variable X_3 . En esta misma figura se muestra la fórmula general para el cálculo de la distancia cuando el número de variables “p” es mayor de tres.



$$d = \frac{|X_{12} - X_{11}| + |X_{22} - X_{21}| + |X_{32} - X_{31}|}{3}$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^p |X_{ij} - X_{ik}|}{p}$$

Figura 1: Representación en el espacio tridimensional de las unidades taxonómicas operativas A y B para las variables X_1 , X_2 y X_3 ; y el cálculo de su distancia.

b COEFICIENTE DE DIVERGENCIA

Ha sido utilizado en Antropología (Bielicki, 1962) y en Botánica, entre otras ciencias (Rhodes et al, 1969).

c COEFICIENTE DE PARECIDO RACIAL

Fue desarrollado por Pearson (1926). Para su cálculo hay que obtener primero las medias y varianzas de cada carácter en cada muestra, ya que se supone que existe variación intra UTO para los caracteres considerados.

d DISTANCIA GENERALIZADA DE MAHALANOBIS

Se calcula maximizando la diferencia entre pares de medias, para aquellas combinaciones de caracteres que tienen varianza máxima entre pares de grupos, con relación a la varianza conjunta dentro de grupos, para las mismas combinaciones lineales. Se puede definir como la distancia generalizada entre las medias de los grupos, basada en la matriz de dispersión dentro de grupos (Molina-Cano, 1977). La formulación fue desarrollada usando la inversa de la matriz de varianzas/covarianzas dentro de grupos y un vector de diferencias entre medias de muestras para todos los caracteres (Mahalanobis, 1936 y Rao, 1948). Varios autores han utilizado este coeficiente de distancia en estudios de diversidad genética en diferentes cultivos (Goodman, 1967 y Kuruvadi, 1988).

2.6.3 COEFICIENTES ANGULARES

Son fundamentalmente dos: el coseno del ángulo formado por los dos vectores que unen el origen de coordenadas con los puntos que representan a las UTOs, y el coeficiente de correlación de Pearson (r).

La utilización del coeficiente de correlación de Pearson como medida de semejanza en taxonomía numérica ha sido cuestionada (Eades, 1965), ya que su cálculo implica promediar los niveles de diferentes caracteres heterogéneos, con el objeto de obtener un nivel de carácter promedio, lo cual es absurdo. Sin embargo, otros estudios reportan datos que indican una buena aproximación a la realidad cuando se utiliza este coeficiente con caracteres heterogéneos (Sneath y Sokal, 1973).

2.7 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO

Una vez obtenida la matriz de semejanzas aplicando cualesquiera de los coeficientes existentes, es necesario la utilización de alguna técnica o algoritmo que ayude a interpretar la estructura fenética del grupo representado en la matriz. El análisis de grupos o análisis de "clusters" es un conjunto de métodos que tratan de dar una explicación de las relaciones fenéticas entre las UTOs empleadas en la clasificación. Un "clustering" equivale a una partición del conjunto inicial de UTOs y sus elementos se denominan clases o "clusters". En ella se verifica que dos clases de un mismo nivel son disjuntas y cada una resulta de la

reunión de las clases comparables del nivel inferior. La partición así descrita constituye una jerarquía (Cuadras, 1982).

Los métodos de análisis de grupos son muy numerosos. Pero los más utilizados en taxonomía vegetal son los métodos jerárquicos aglomerativos. Una clasificación es aglomerativa por que se parte de tantas clases como individuos tengamos que clasificar, estos se agrupan sucesivamente hasta llegar, finalmente, a un solo grupo que las contiene a todas. Una clasificación jerárquica se construye tras la aplicación de un algoritmo sobre la matriz de distancias, entre un conjunto de individuos o UTOs comparables y se representan gráficamente, mediante un dendograma o fenograma. En la escala se indica el nivel de magnitud del coeficiente de semejanza, pudiendo así saber a que nivel se unen las dos ramificaciones para formar un nuevo grupo de más alto rango. La escala empleada es arbitraria y la única condición que hay que tener en cuenta al elegirla, es que la separación entre las ramas contiguas sea suficiente para individualizarlas. (Dunn y Everitt, 1982). Los métodos de análisis de cluster requieren que se ligen las UTOs de dos en dos una vez ordenados, los métodos de ligamiento pueden ser:

2.7.1 MÉTODO DE LIGAMIENTO SIMPLE

Definido por Sneath (1957) y es conocido también como el método del mínimo. Es un método combinatorio y compatible, pero produce una contracción del espacio y una tendencia al encadenamiento en los dendogramas, al unir cada vez una UTO a un grupo ya formado lo que resta contenido informativo a los mismos (Molina-Cano, 1977).

2.7.2 MÉTODO DE LIGAMIENTO COMPLETO

Es exactamente la antítesis del anterior y conocido también como el método del máximo (Johnson, 1967). Análogamente, es combinatorio y compatible, pero produce dilatación del espacio y, por tanto, es frecuente la aparición de grupos muy compactos formados a un nivel alto de semejanza.

2.7.3 MÉTODO DE LIGAMIENTO PROMEDIO

Fueron desarrollados por Sokal y Michener (1958). Se calcula el promedio entre coeficientes de semejanza de dos grupos que tienen la posibilidad de unirse, evitando de esta forma las desventajas producidas por los dos métodos anteriores. Este grupo de métodos pueden ser ponderados si se da la misma importancia relativa a todas las ramificaciones del dendograma, independientemente del número de UTOs de que se componga cada grupo, o bien no ponderados, si se da el mismo peso a cada UTO, al calcular la desemejanza existente entre dos grupos ya formados. Dentro de los métodos de ligamiento promedio, el más utilizado es el UPGMA y su descripción se aprecia en el apartado 3.6.5 de materiales y métodos, los demás se mencionan a continuación:

a WPGMA

Se denomina "weighted pair group method using arithmetic averages" o método ponderado de grupo par usando promedios aritméticos.

b UPGMC

Denominado "unweighted pair group centroid method" o método no ponderado de grupo par usando centroides (Lance y Williams, 1967). No cumple la propiedad de la monotonía, por lo que en los dendrogramas se observa frecuentemente ramificaciones que se cortan. Esto sucede cuando una UTO o grupo se une a otro ya formado, pero lo hace a un nivel de semejanza mayor que aquél al que se formó dicho grupo. Es combinatorio si se utiliza la distancia euclídea o el método de varianzas-covarianzas, pero no lo es cuando se emplea el coeficiente de correlación.

c WPGMC

Se denomina "weighted pair group centroid method" o método ponderado de grupo par usando centroides. Fue desarrollado por Gower (1966) y renombrado como método de la mediana por Lance y Williams (1967). Análogamente al UPGMC no cumple la propiedad de monotonía, sin embargo es combinatorio para todas las medidas de semejanza.

2.7.4 MÉTODO FLEXIBLE DE LANCE Y WILLIAMS

Fue desarrollado por estos autores en 1967 y se caracteriza por ser compatible para la distancia euclídea pero no para el coeficiente de correlación como medida de semejanza. Produce distorsión en el espacio de tal forma que se puede llegar a obtener un dendograma totalmente en escalera.

Aunque la mayoría de los métodos utilizados en el análisis de grupos se desarrollaron con gran rapidez en un corto período de tiempo, siguen apareciendo nuevos métodos más recientes aplicados a casos concretos como el estudio de la clasificación de genotipos o ambientes basados en el estudio de su interacción (Lin, 1982; Ramey y Rosielle, 1983).

2.8 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Es una técnica perteneciente al grupo de métodos no jerárquicos, los cuales tienen por objeto estudiar la situación de los grupos de unidades taxonómicas, en un hiperespacio definido por el conjunto de los caracteres considerados en el análisis. Estos métodos hacen visible la distribución espacial de los grupos, refiriendo su situación a dos o tres ejes cartesianos (Judez, 1989). El análisis de componentes principales forma parte de los métodos de análisis multivariante, cuyo objetivo principal es el estudio de la diversidad genética de una colección de individuos. A esto se le añade la posibilidad de conocer los caracteres que más contribuyen a la variabilidad entre los diferentes genotipos estudiados (Fundora et al., 1988).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) fué iniciado por K. Pearson en 1901 y publicado en su libro en 1904. Es un método referente a una población, pero W. Krzanowski y Radley (1989) y Flury (1997) han investigado las componentes principales comunes a varias poblaciones, demostrando que el ACP tiene muchas aplicaciones; siendo una de sus aplicaciones clásicas el estudio sobre tamaño y forma de animales (como los caparazones de tortugas machos y hembras), en términos de la primera y segunda componentes principales. La primera componente permitió ordenar los animales de los más

pequeños a los más grandes y la segunda permitió estudiar su variabilidad en cuanto a la forma.

La idea básica consiste en describir la dispersión de "n" puntos en "p" dimensiones del espacio. Se introducen unas nuevas coordenadas lineales ortogonales, de manera que las varianzas de los puntos originales con respecto a las coordenadas derivadas, disminuya en orden de magnitud (Gnanadesikan, 1977). El análisis de componentes principales muestra los patrones de variación entre el conjunto de las poblaciones en estudio (Sneath y Sokal, 1973). El objetivo es sustituir una serie de variables por un número más reducido o funciones de las mismas no correlacionadas y mutuamente independientes. Por esta razón este tipo de análisis puede utilizarse previo a otros que exijan la no correlación de las variables originales (Dunn y Everitt, 1982).

El análisis de componentes principales es actualmente una técnica ampliamente utilizada en clasificaciones de diversos cultivos (Spagnoletti-Zeuli et al, 1984; Charmet et al, 1990; Esquivel et al, 1990; Molina-Cano et al, 1990; Brown, 1991; Illoh y Olorode, 1991). La idea fundamental del método es que unos pocos componentes contengan la mayor parte de la varianza total del conjunto de datos estudiados, con lo cual puede representarse en diagramas planos o tridimensionales la situación relativa de los grupos de unidades taxonómicas.

Una de las mayores utilidades de este análisis es que cada eje posee un significado, es decir, estudiando los componentes de los vectores propios -direcciones de cada eje- puede establecerse cuáles han sido los caracteres que más han contribuido en conseguir la separación mostrada por el eje en cuestión. Estos caracteres son aquéllos para los cuales la componente correspondiente es mayor en valor absoluto.

El cálculo de los componentes principales puede hacerse a partir de la matriz de correlaciones entre los caracteres, o la de varianzas/covarianzas. La utilización de uno u otro tipo de matriz depende de la heterogeneidad de las variables computadas (Morrison, 1976).

Una de las diferencias fundamentales con el Análisis Factorial es que el ACP explica variabilidad en lugar de correlaciones, aunque para obtener una reducción efectiva de la dimensión es necesario que las variables estén correlacionadas. En otras palabras, si las variables están altamente correlacionadas, tienen información común y la dimensión real de los datos es menor que el número de variables originales (Leujene y Calinski, 2000).

En muchas ocasiones es difícil encontrar el significado de las componentes, como variables compuestas, por lo que el uso principal de la técnica es la reducción de la dimensión como paso previo a la aplicación de otros análisis posteriores como por ejemplo, un análisis de agrupamiento con el objeto de encontrar “clusters” en los datos o con el objeto de contrastar similitudes o diferencias entre los individuos (Peña, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campo Experimental Chiquero de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), situado en el valle del río Rímac, cuya ubicación es la siguiente:

Altitud:	255 msnm
Pendiente:	1,5%
Latitud Sur:	12° 05' 06''
Latitud Oeste:	76° 57' 07''
Clima:	Templado, subtropical costeño
Distrito:	La Molina
Provincia:	Lima
Departamento:	Lima

3.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Los suelos de La Molina, fisiográficamente se encuentran en una terraza media de origen aluvial y pertenecen a la clase 1 y 2 según la capacidad de uso. Son suelos muy profundos, de buen drenaje, permeabilidad moderada, textura media, estructura granular media y moderada, y de consistencia friable en húmedo (Villagarcía y Aguirre, 1994).

3.1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

En el cuadro 2 se presentan los datos climatológicos correspondientes al área experimental durante el período vegetativo del cultivo (junio del 2011 a enero del 2012). Los datos fueron obtenidos del observatorio meteorológico “Alexander Von Humboldt” de la UNALM.

Cuadro 2: Datos climatológicos del área experimental

Meses	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación total (mm)	Horas de sol (hrs)	Velocidad del viento (m/s)
Junio	19.2	13.8	86	0.6	93.6	1.3
Julio	18.6	13.8	86	2.2	78.3	1.35
Agosto	19.5	13	86	0.3	134.6	1.4
Setiembre	18.2	13.1	89	2.1	67.2	1.1
Octubre	20.4	13.4	87	0.3	172.4	1.8
Noviembre	22.4	14.3	82	0.1	179.8	1.3
Diciembre	24.7	17.5	83	0.5	150.5	1.8
Enero	27.9	19.2	77	0.2	209.4	1.9

Fuente: Observatorio Alexander Von Humboldt

Se observa que durante la conducción del experimento la Temperatura varió de 13 a 27.9°C, siendo la mínima en Agosto y la máxima en Enero. La Humedad relativa varió de 77 a 89%, siendo la mínima en Enero y la máxima en setiembre. La precipitación varió de 0.1 a 2.2 mm, siendo la mínima en Noviembre y la máxima en Julio. Las horas de sol variaron de 67.2 a 209.4 horas, siendo la mínima en setiembre y la máxima en Enero. La velocidad del viento varió de 1.3 a 1.9 m/s, siendo la mínima en los meses de Junio y Noviembre; y la máxima en Enero.

3.2 MATERIALES

3.2.1 MATERIAL BIOLÓGICO

El material vegetal consta de una muestra de 118 accesiones de maíces peruanos conservados en el Banco de Germoplasma del Programa de Investigación y Proyección Social en Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

En el cuadro 3 se puede observar que la muestra está formada por 4 accesiones del departamento de Ancash, 3 accesiones del departamento de Arequipa, 4 accesiones del departamento de Cerro de Pasco, 2 accesiones del departamento de Cuzco, 1 accesión del departamento de Huánuco, 9 accesiones del departamento de Lambayeque, 32 accesiones del departamento de La Libertad, 26 accesiones del departamento de Lima, 7 accesiones del departamento de Loreto, 6 accesiones del departamento de Madre de Dios, 12 accesiones

del departamento de San Martín, 3 accesiones del departamento de Tumbes y 9 accesiones del departamento de Ucayali.

Cuadro 3: Lista de accesiones de *Zea mays* evaluadas en el presente estudio.

Accesión	Procedencia	Accesión	Procedencia	Accesión	Procedencia
ANC-006	Ancash	LIB-191	La Libertad	LOR-029	Loreto
ANC-019	Ancash	LIB-192	La Libertad	LOR-040	Loreto
ANC-026	Ancash	LIB-195	La Libertad	LOR-042	Loreto
ANC-030	Ancash	LIB-200	La Libertad	LOR-044	Loreto
AREQ-019	Arequipa	LIB-202	La Libertad	M.DI-003	Madre de Dios
AREQ-051	Arequipa	LIB-221	La Libertad	M.DI-010	Madre de Dios
AREQ-070	Arequipa	LIB-223	La Libertad	M-DI-015	Madre de Dios
CUZ-242	Cuzco	LIB-229	La Libertad	M.DI-022	Madre de Dios
CUZ-328	Cuzco	LIB-235	La Libertad	M.DI-024	Madre de Dios
HCO-198	Huánuco	LIB-238	La Libertad	M.DI-025	Madre de Dios
LBQU-049	Lambayeque	LIB-248	La Libertad	PAS-006	Cerro de Pasco
LBQU-071	Lambayeque	LIM-001	Lima	PAS-014	Cerro de Pasco
LBQU-073	Lambayeque	LIM-004	Lima	PAS-018	Cerro de Pasco
LBQU-078	Lambayeque	LIM-013	Lima	PAS-032	Cerro de Pasco
LBQU-101	Lambayeque	LIM-014	Lima	SMTI-031	San Martin
LBQU-102	Lambayeque	LIM-017	Lima	SMTI-057	San Martin
LBQU-106	Lambayeque	LIM-018	Lima	SMTI-058	San Martin
LBQU-108	Lambayeque	LIM-024	Lima	SMTI-059	San Martin
LBQU-122	Lambayeque	LIM-036	Lima	SMTI-074	San Martin
LIB-005	La Libertad	LIM-038	Lima	SMTI-083	San Martin
LIB-006	La Libertad	LIM-044	Lima	SMTI-123	San Martin
LIB-007	La Libertad	LIM-047	Lima	SMTI-124	San Martin
LIB-008	La Libertad	LIM-048	Lima	SMTI-126	San Martin
LIB-010	La Libertad	LIM-068	Lima	SMTI-127	San Martin
LIB-012	La Libertad	LIM-071	Lima	SMTI-129	San Martin
LIB-013	La Libertad	LIM-075	Lima	SMTI-135	San Martin
LIB-015	La Libertad	LIM-076	Lima	TUM-014	Tumbes
LIB-017	La Libertad	LIM-077	Lima	TUM-015	Tumbes
LIB-019	La Libertad	LIM-078	Lima	TUM-016	Tumbes
LIB-020	La Libertad	LIM-080	Lima	UCAY-005	Ucayali
LIB-026	La Libertad	LIM-081	Lima	UCAY-008	Ucayali
LIB-027	La Libertad	LIM-083	Lima	UCAY-009	Ucayali
LIB-029	La Libertad	LIM-084	Lima	UCAY-010	Ucayali
LIB-030	La Libertad	LIM-086	Lima	UCAY-011	Ucayali
LIB-033	La Libertad	LIM-088	Lima	UCAY-012	Ucayali
LIB-036	La Libertad	LIM-089	Lima	UCAY-019	Ucayali
LIB-037	La Libertad	LIM-090	Lima	UCAY-020	Ucayali
LIB-179	La Libertad	LOR-016	Loreto	UCAY-035	Ucayali
LIB-180	La Libertad	LOR-021	Loreto		
LIB-190	La Libertad	LOR-027	Loreto		

3.2.2 MATERIAL DE CAMPO

- Tractores y útiles de laboreo
- Abono, herbicidas e insecticidas
- Reglas graduadas para mediciones de alturas de planta y de mazorca
- Cinta métrica para mediciones de longitud de panoja y hoja
- Bolsas de papel
- Estacas y etiquetas

3.2.3 MATERIAL DE LABORATORIO

- Sobres y bolsas de varios tamaños
- Desgranadora manual de mazorca
- Balanza electrónica de precisión
- Estufa
- Regla graduada en mm para mediciones de mazorcas
- Calibrador “pie de rey” graduado en mm para mediciones de diámetro de mazorca.
- Cámara fría

3.2.4 MATERIAL INFORMÁTICO

- Laptop Sony VAIO
- Programa NTSYSpc22
- Hoja de cálculo Excel 2010

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

El suelo debe estar bien preparado, ya que es preciso que este bien mullido a fin de que tenga buena aereación y humedad, con el propósito de lograr una buena germinación de la semilla.

Se realizó un riego de machaco con el objetivo de ablandar el suelo para facilitar la penetración de las herramientas durante la labranza. Cuando el terreno estuvo a capacidad de campo, después del riego de machaco, se llevó a cabo el arado del suelo hasta una profundidad de 30 centímetros, y por último se ejecutaron dos pasadas de rastra para desterronar y emparejar el terreno.

3.3.2 SIEMBRA

La siembra se llevó a cabo el día 10 de junio del 2011, cada accesión se sembró en una parcela debidamente identificada y sin repetición. La labor de desahíje se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura aproximada de 15 cm, dejando las dos mejores plantas en cada golpe.

3.3.3 CONTROL DE MALEZAS

Para el control de malezas se realizó dos aplicaciones de herbicida selectivo a base de Atrazina (GESAPRIM 80) en dosis de un kilo por cilindro, para el control de malezas de hoja ancha; además se hizo un deshiero con lampa para eliminar malezas de hoja angosta. Las fechas fueron las siguientes:

Primera aplicación	18 de Julio del 2011
Segunda aplicación	5 de Setiembre del 2011
Deshierbo	4 de Agosto del 2011

3.3.4 ABONAMIENTO

La dosis utilizada fue de 180 kilos de N, 80 kilos de P₂O₅ y 40 kilos de K₂O por hectárea; cabe resaltar que para el primer abonamiento el fertilizante fue mezclado con estiércol de res para su incorporación en el campo. Las fechas de las aplicaciones fueron las siguientes:

Primer abonamiento	22 de Junio del 2011
Segundo abonamiento	8 de Agosto del 2011

Las fuentes de NPK usadas fueron las siguientes:

Urea	46% de N
Fosfato diamónico	18% de N y 46% de P ₂ O ₅
Cloruro de potasio	60% de K ₂ O

3.3.5 RIEGOS

La planta de maíz es muy exigente en agua, a lo largo de la conducción del experimento se realizaron 5 riegos:

Primer riego	23 de Junio del 2011
Segundo riego	15 de julio del 2011
Tercer riego	22 de agosto del 2011
Cuarto riego	15 de Octubre del 2011
Quinto riego	10 de Noviembre del 2011

3.3.6 APLICACIÓN DE INSECTICIDAS

Se aplicó dípterex G 2.5 que es un insecticida granulado que se coloca en el cogollo de cada planta para el control de cogollero, la dosis recomendada es de 10 kg por hectárea. Se realizó un total de 5 aplicaciones a lo largo en las siguientes fechas:

Primera aplicación	7 de Julio del 2011
Segunda aplicación	20 de Julio del 2011
Tercera aplicación	26 de Julio del 2011
Cuarta aplicación	22 de Agosto del 2011
Quinta aplicación	13 de Noviembre del 2011

3.3.7 COSECHA

Previo a la cosecha; dentro de cada parcela se seleccionaron e identificaron 10 plantas tomadas al azar y teniendo en cuenta solamente una planta por golpe. La cosecha se ejecutó en forma individual para cada planta seleccionada; usando bolsas de papel para cosechar la mazorca de cada planta, escribiendo el número de parcela y el número de planta a la que corresponde la mazorca; luego estas bolsas se llevan a laboratorio para continuar

con las evaluaciones. Se evaluaron las mazorcas superiores. La cosecha se llevó a cabo el 10 y 11 de enero del 2012.

3.4 PARCELA EXPERIMENTAL

Las especificaciones de la parcela se citan a continuación:

Número de parcelas	118
Largo de parcela	10 m
Ancho de parcela	4.m
Distanciamiento entre surcos	0.8 m
Distanciamiento entre planta	0.4 m
N° Surcos por parcela	5
N° Plantas por golpe	2
N° Plantas por surco	52
N° Golpes por surco	26
Área de parcela	40 m ²
Área total del experimento	5000 m ²

3.5 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Para la caracterización morfológica de las plantas se seleccionaron 18 descriptores del manual de descriptores de la FAO-IBPGR para el maíz, de los cuales 16 son cuantitativos y dos son cualitativos; esto con el fin de proponer clusters generados tanto usando componentes principales como con los datos originales. Los descriptores morfológicos se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4: Descriptores utilizados para la caracterización morfológica de 118 accesiones de maíces nativos.

Descriptor morfológico	Código
Altura planta (cm)	AP
Altura mazorca (cm)	AM
Nudo inserción de la mazorca	NIM
Número total de hojas	NTH
Número de hojas sobre la mazorca	NHSM
Área foliar (cm ²)	AF
Longitud de panoja (cm)	LP
Color de tallo	CT
Longitud de mazorca (cm)	LM
Diámetro superior de mazorca (cm)	DSM
Diámetro inferior de mazorca (cm)	DIM
Porcentaje de conicidad de mazorca	PCM
Diámetro medio de mazorca (cm)	DMM
Número de hileras por mazorca	NHM
Número de granos por hilera	NGH
Disposición de hileras	DH
Días a la floración masculina	DFM
Días a la floración femenina	DFF

3.5.1 DESCRIPTORES VEGETATIVOS

Para cada accesión se registró el promedio de 10 plantas tomadas al azar dentro de cada parcela.

a ALTURA DE PLANTA

Se define como la distancia en cm medida desde la base del tallo en el suelo y la base de la espiga de la inflorescencia masculina o panoja (último nudo del tallo).

b ALTURA DE MAZORCA

Distancia en cm medida desde la base del tallo en el suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

c NÚMERO TOTAL DE HOJAS

Definido como el número total de hojas que posee la planta, contadas desde la base de la misma hasta la última hoja en el tallo.

d NÚMERO DE HOJAS SUPERIOR

Definido como el número total de hojas ubicadas sobre la mazorca superior.

e NUDO DE INSERCIÓN DE LA MAZORCA

Se considera, en el tallo, el lugar que ocupa el nudo de inserción de la mazorca superior, contados desde la base del tallo.

f ÁREA FOLIAR

Se define como la superficie de la hoja, en cm^2 , situada en la base de la mazorca superior. El área de la hoja puede ser estimada a partir del producto de su longitud máxima por la anchura máxima y por un factor igual a 0,75. Este es un método rápido y preciso, el cual evita la utilización de aparatos electrónicos menos flexibles y que no cubren, en muchos casos, todo el rango de situaciones experimentales.

g LONGITUD DE PANOJA

Es la longitud en cm medida desde la base de la panoja (último nudo del tallo) hasta el ápice de la panoja o inflorescencia masculina.

h COLOR DE TALLO

Es un descriptor cualitativo que se observa en el internudo ubicado entre la mazorca superior e inferior, el color puede ser (1) verde, (2) rojo sol, (3) rojo, (4) morado y (5) café.

Para cada accesión se registró la moda ósea el valor del respectivo color que se repite con mayor frecuencia en las 10 plantas tomadas al azar dentro de cada parcela.

i FLORACIÓN FEMENINA

Se define como el número de días transcurridos entre la siembra y la aparición de pistilos receptivos en más del 50 por ciento del total de plantas de la parcela. Para cada accesión este es un valor único.

j FLORACIÓN MASCULINA

Se define como el número de días transcurridos entre la siembra y la liberación de polen por las anteras en más del 50 por ciento del total de plantas de la parcela. Para cada accesión este es un valor único. Cabe resaltar que tanto floración femenina y masculina también son llamados descriptores de ciclo.

3.5.2 DESCRIPTORES DE MAZORCA

Para cada accesión se registró el promedio de las 10 mazorcas de las mismas plantas tomadas al azar dentro de cada parcela.

a LONGITUD DE MAZORCA

Definida como la longitud en cm de la mazorca superior, medida desde la base hasta el ápice de la misma.

b DIÁMETRO INFERIOR DE LA MAZORCA

Corresponde al diámetro en cm, medido a un tercio de la base de la mazorca superior.

c DIÁMETRO MEDIO DE LA MAZORCA

Corresponde al diámetro en cm, medido en el centro de la mazorca superior.

d DIÁMETRO SUPERIOR DE LA MAZORCA

Corresponde al diámetro en cm, medido a un tercio del ápice de la mazorca superior.

e CONICIDAD DE LA MAZORCA

Se considera como tal la pendiente de la superficie externa de la mazorca superior, expresada en tanto por ciento, con el fin de tener una estimación continua de la conicidad, no recurriendo a estimaciones visuales subjetivas. El índice empleado se calcula de la siguiente forma:

$$\%Conicidad = \frac{(D_i - D_s)/2}{L/3} \times 100$$

Siendo D_i y D_s los diámetros inferior y superior, respectivamente, y L la longitud total de la mazorca.

f NÚMERO DE HILERAS DE LA MAZORCA

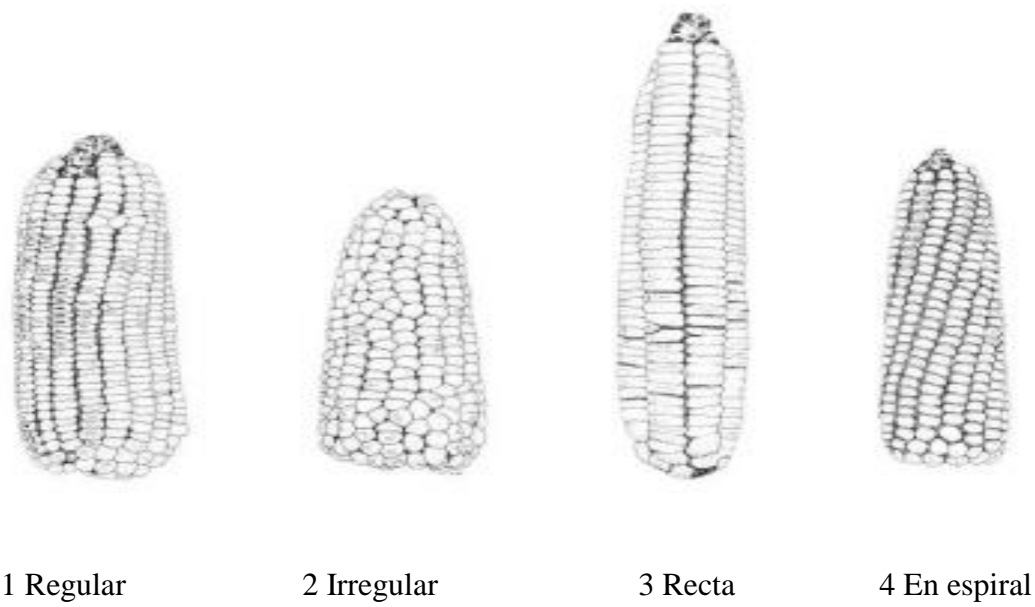
Se realiza el conteo de las hileras de granos en la parte central de la mazorca superior.

g NÚMERO DE GRANOS POR HILERA

Definido como el número total de granos contados desde la base hasta el ápice de la mazorca, en tres filas diferentes, tomadas al azar, y expresado como la media aritmética de los tres conteos.

h DISPOSICIÓN DE HILERAS DE GRANOS

Es un descriptor cualitativo que se observa en la mazorca superior o más alta, esta disposición puede ser (1) regular, (2) irregular, (3) recta y (4) espiral. Para cada accesión se registró la moda ósea el valor de la respectiva disposición que se repite con mayor frecuencia en las 10 mazorcas de las mismas plantas tomadas al azar dentro de cada parcela.



3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1 MATRIZ BÁSICA DE DATOS

El análisis estadístico se basa en un análisis multivariado tanto de componentes principales como de agrupamiento, ayudándonos para tal fin del programa estadístico NTSYSpc22N y de la hoja de cálculo Excel 2010. Es importante resaltar que uno de los principales problemas en procesos de clasificación son las unidades de medida de las variables, las cuales pueden afectar fuertemente a las medidas de distancia. Esta dificultad puede ser solucionada llevando a cabo la estandarización de las variables para eliminar el efecto de escala (Sneath, 1976).

Para llevar a cabo los análisis de componentes principales y de agrupamiento se ha procedido a agrupar los datos en una matriz básica tipo rectangular de tamaño 18x118 (18 variables x 118 accesiones), luego se realizó la estandarización de las variables (descriptores morfológicos) con el propósito de que cada fila tenga media igual a 0 y varianza igual a 1. Para esto fue necesario calcular la media y la desviación estándar para cada variable, luego el valor estandarizado se calculó restando cada observación menos la media y dividiéndolo entre la desviación estándar.

3.6.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Se determinaron las accesiones con valores máximo y mínimo; así como el cálculo de la media, desviación estándar y coeficientes de variabilidad para cada uno de los descriptores morfológicos cuantitativos usados en el presente trabajo de investigación. Para los descriptores cualitativos se determinó la característica más frecuente.

3.6.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Se realizó el análisis de correlación de Pearson para ver la relación de los descriptores entre sí. Los valores absolutos del coeficiente de correlación de Pearson, oscilan entre -1 y +1, en el primer caso la relación es perfecta negativa y en el segundo es perfecta positiva. Dos variables tienen una relación perfecta negativa cuando exactamente en la medida que aumenta el valor de una variable disminuye el valor de la otra; así mismo, dos variables tienen una relación perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta el valor de una de ellas también aumenta el valor de la otra.

3.6.4 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Si bien un análisis de agrupamiento se puede llevar a cabo sin realizar un análisis de componentes principales; es necesario aclarar que no todas las variables usadas contribuyen con la misma eficiencia a establecer semejanzas entre los individuos. El análisis de componentes principales soluciona este problema formando un nuevo grupo de variables a partir de las variables originalmente usadas, estas nuevas variables llamadas también componentes principales se caracterizan por que son totalmente independientes entre sí (coeficiente de correlación igual a 0) a diferencia de las variables originales que si se correlacionan entre ellas. El análisis de componentes principales abarca los siguientes cálculos:

a MATRIZ DE COEFICIENTES DE CONTRIBUCIÓN

En realidad son coeficientes de correlación de Pearson entre las variables originales y las nuevas variables creadas; pues todas las variables usadas en un ensayo contribuyen a generar cada una de las componentes principales pero no en la misma proporción; es decir algunas variables presentaran mayor coeficiente de contribución con el primer componente, otras con el segundo componente principal y así sucesivamente. Si bien estos coeficientes pueden tener signo positivo o negativo, para la interpretación se toma el valor absoluto; esta matriz se calculó con ayuda del programa NTSYSpc22N.

b MATRIZ DE VARIANZAS

El cuadrado del coeficiente de contribución de una variable para un componente principal representa la varianza de esa variable para dicho componente; la suma de las varianzas de todas las variables para un determinado componente principal representa la varianza total o valor propio de dicho componente. El primer componente siempre tiene el mayor valor propio, luego el segundo componente y así sucesivamente, el valor propio en ingles se conoce como eigen-value. Las varianzas totales también se expresan en porcentajes simples y acumulados para cada uno de los componentes principales.

Una vez obtenido los eigen-value para cada componente principal, se puede decidir cuáles de las nuevas variables se usaran en el análisis de agrupamiento; obviamente el número de componentes principales a usar será mucho menor que el número de variables originales. Existen muchos criterios para seleccionar el número de componentes principales a usar; para nuestro caso usaremos el método de Kaiser que sostiene que solamente los componentes que tengan una varianza total o valor propio mayor o igual a 1 explicarán la mayor variabilidad de los datos y por lo tanto serán seleccionados para realizar un análisis de agrupamiento, fundamentándose en el hecho de que al haber realizado la normalización de datos cada variable original tenía una varianza igual a 1; por lo tanto una componente principal con varianza inferior a 1 explica menos variabilidad que una variable original observable (Irigoien y Arenas, 2008).

c VALORES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES

Aquí se trata de calcular el valor que toma un determinado componente principal para cada una de las accesiones; obteniéndose de esta manera una nueva matriz de datos cuyo número de columnas se mantiene igual (en nuestro ensayo es 118), pero el número de filas es menor al original ya que depende del número de componentes principales seleccionados; el cual siempre es menor al total de variables estudiadas. Cabe resaltar que dichos valores son adimensionales y pueden ser de signo positivo o negativo; necesitándose además ser estandarizados igual que los datos originales para poder llevar a cabo el análisis de agrupamiento.

Para el cálculo necesitamos la matriz básica 18x118 estandarizada y la matriz de coeficientes de contribución 18x18; para obtener el valor del primer componente principal para la primera accesión (ANC-006); multiplicamos uno a uno los valores de la primera columna de la matriz de coeficientes y la primera columna de la matriz básica para luego hacer una suma de productos. Para obtener el valor del segundo componente principal para la misma accesión multiplicamos uno a uno los valores de la segunda columna de la matriz de coeficientes y la primera columna de la matriz básica para luego hacer una suma de productos; y así sucesivamente. El proceso se repite para cada una de las accesiones evaluadas en el presente estudio. En el cuadro 5 se observa una mejor explicación de este procedimiento.

Cuadro 5: Procedimiento a seguir para el cálculo de los valores de los componentes principales para cada accesión.

		ANC-006	ANC-019	...	UCAY-035	componentes principales					
		1	2	...	118	1	2	...	18		
AP	1	X_{11}	X_{21}	...	X_{1181}	AP	1	a_{11}	a_{21}	...	a_{181}
AM	2	X_{12}	X_{22}	...	X_{1182}	AM	2	a_{12}	a_{22}	...	a_{182}
.
.
.
DFE	18	X_{118}	X_{218}	...	X_{11818}	DFE	18	a_{118}	a_{218}	...	a_{1818}

componente	ANC-006	ANC-019
1	$a_{11}X_{11}+a_{12}X_{12}+\dots+a_{118}X_{118}$	$a_{11}X_{21}+a_{12}X_{22}+\dots+a_{118}X_{218}$
2	$a_{21}X_{11}+a_{22}X_{12}+\dots+a_{218}X_{118}$	$a_{21}X_{21}+a_{22}X_{22}+\dots+a_{218}X_{218}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
18	$a_{181}X_{11}+a_{182}X_{12}+\dots+a_{1818}X_{118}$	$a_{181}X_{21}+a_{182}X_{22}+\dots+a_{1818}X_{218}$

3.6.5 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO O CONGLOMERADOS

A manera de comparación, en el presente estudio se llevaron a cabo dos análisis de agrupamiento de la siguiente manera:

- Usando las 18 variables originales
- Usando las nuevas variables o componentes principales

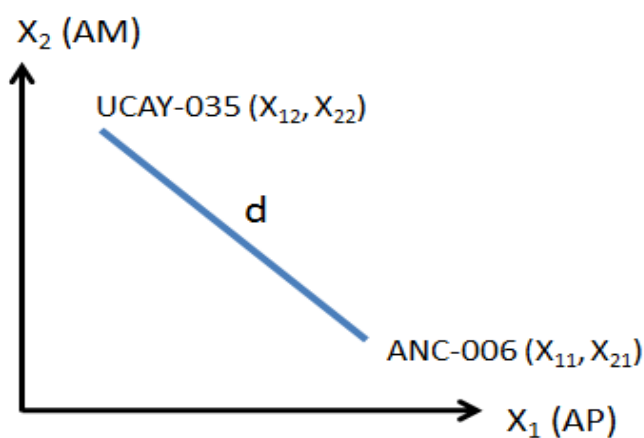
Además en base a la información recolectada por los descriptores morfológicos se determinó la posible raza a la que pertenece cada accesión. El análisis de conglomerados conocido también como clustering (en inglés) incluye los siguientes cálculos:

a MATRIZ DE COEFICIENTES DE DISTANCIA

Se calcula la distancia entre cada par de individuos, para nuestro ensayo como tenemos 118 accesiones entonces mediante un análisis combinatorio se calcula 6903

distancias ya sea usando las 18 variables originales o los componentes principales, cada una de estas distancias se calcula usando la distancia euclidiana. Este procedimiento se basa en que cada individuo o unidad taxonómica operativa (UTO) representa un punto en el espacio determinado por p coordenadas, siendo p el número de variables usadas en un experimento; la distancia euclidiana es un método de cálculo de distancias genéticas simple y directo; y de mayor uso, pues usa como base la fórmula del teorema de Pitágoras cuya complejidad es mayor conforme mayor sea el número de variables estudiadas (Casas et al, 1968 y Hanson, 1984).

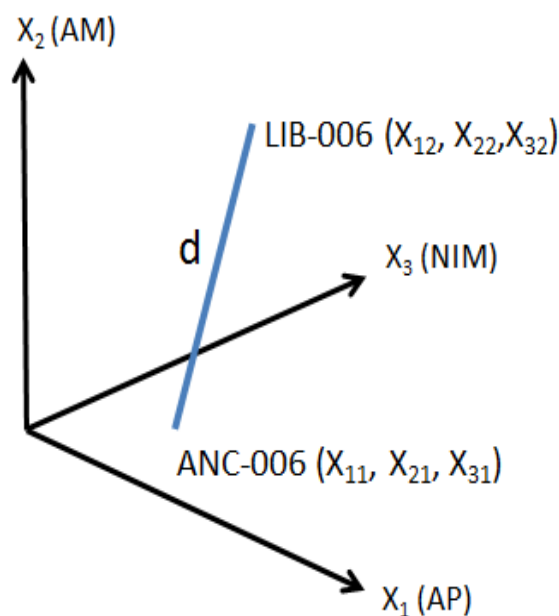
En la figura 2 se observa el caso más simple para calcular la distancia euclidiana entre dos accesiones (por ejemplo ANC-006 y UCAY-035) solamente considerando dos variables, se observa que cada individuo es un par ordenado, donde la primera componente es el valor estandarizado de altura de planta y la segunda componente es el valor estandarizado de altura de mazorca.



$$d^2 = \frac{(X_{12} - X_{11})^2 + (X_{22} - X_{21})^2}{2}$$

Figura 2: Representación en un plano de las accesiones ANC-006 y UCAY-035 para las variables altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) y el cálculo de su distancia.

En la figura 3 se observa el cálculo de la distancia euclidiana entre dos accesiones (por ejemplo ANC-006 y LIB-006) ahora considerando tres variables, se observa que cada individuo es un trio ordenado, donde la primera componente es el valor estandarizado de altura de planta, la segunda componente es el valor estandarizado de altura de mazorca y la tercera componente es el valor estandarizado de nudo de inserción de mazorca. En esta misma figura se muestra la fórmula general para el cálculo de la distancia cuando se usa más de tres variables.



$$d^2 = \frac{(X_{12} - X_{11})^2 + (X_{22} - X_{21})^2 + (X_{32} - X_{31})^2}{3}$$

$$d^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (X_{ij} - X_{ik})^2}{p}$$

Figura 3: Representación en el espacio tridimensional de las accesiones ANC-006 y LIB-006 para las variables altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y nudo de inserción de mazorca y el cálculo de su distancia.

En el caso de usar componentes principales, el procedimiento es el mismo con la diferencia que la fórmula será menos compleja pues el número de variables es menor al original. En dicho caso cada accesión será un punto determinado por los valores estandarizados del primer componente principal, del segundo componente principal, del tercer componente principal, etc.

b CONSTRUCCION DEL FENOGRAMA

El fenograma es la gráfica más utilizada para representar la relación o grado de semejanza entre varios individuos o unidades taxonómicas operativas, esta gráfica se caracteriza porque los individuos se ubican en forma transversal a la escala de los valores de distancia taxonómica. La escala se inicia en 0 no teniendo un límite, en el valor 0 si trazamos una línea perpendicular, se observa que la mayoría de accesiones permanecen independientes, excepto por algunos en los cuales se puede decir que no poseen distancia por lo tanto son iguales en sus características.

A medida que la escala se separa del eje de las accesiones, crece el valor de la distancia, las accesiones ubicadas más separadas entre sí en el fenograma presentan mayor distancia taxonómica, siendo por lo tanto más diferentes en sus características. El trabajo consiste en trazar una línea perpendicular a la escala de manera que al cortar al gráfico se formen un número manejable de grupos o clusters de manera que las accesiones de maíz incluidas en un mismo grupo guarden relación con la raza y tipo a la que pertenecen de acuerdo a sus características morfológicas.

Existe una gran diversidad de métodos válidos para llevar a cabo la construcción de un fenograma, llamados métodos de ligamiento. En el presente estudio se ha utilizado el “método no ponderado de grupo par usando promedios aritméticos” cuyas siglas en ingles son UPGMA. Se basa en el cálculo del promedio entre coeficientes de distancia de dos grupos que tiene la posibilidad de unirse; es un procedimiento ampliamente utilizado en Biología que se caracteriza por ser monótono, combinatorio, compatible y por no producir efectos de distorsión en el espacio (Sokal y Michener, 1958). Fue aplicado por primera vez por Rohlf (1969).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

El cuadro 6 presenta los mínimos, máximos, media, desviaciones estándar y coeficientes de variabilidad de los 16 descriptores morfológicos cuantitativos usados en el presente trabajo de tesis; estimados para 118 accesiones de maíces peruanos. Para las accesiones evaluadas la altura de planta varió entre 134.3 y 316.9 cm, la altura de mazorca varió entre 76 y 232.2 cm, el nudo de inserción varió entre 4.9 y 10.8, el número total de hojas varió entre 8.5 y 16.5, el número de hojas sobre la mazorca varió entre 3.7 y 6.4, el área foliar varió entre 482 y 988.5 cm², la longitud de panoja varió entre 37.61 y 52.91 cm, la longitud de mazorca varió entre 9.2 y 20.45 cm, el diámetro superior de mazorca varió entre 3.44 y 4.9 cm, el diámetro inferior de mazorca varió entre 3.98 y 5.52 cm, el porcentaje de conicidad de mazorca varió entre 3.53 y 10.35 %, el diámetro medio de mazorca varió entre 3.66 y 5.39 cm, el número de hileras por mazorca varió entre 9.18 y 17, el número de granos por hilera varió entre 14.94 y 37.5, los días a la floración masculina varió entre 87 y 126 días después de la siembra, mientras que los días a la floración femenina varió entre 87 y 139 días después de la siembra. En el mismo cuadro también se aprecia que accesión obtuvo el menor y mayor valor para cada uno de estos descriptores.

De acuerdo a la escala establecida para coeficientes de variabilidad (CV) aquellos descriptores cuyo coeficiente de variabilidad se encuentra entre 0 y 10%, presentan datos muy homogéneos; aquí tenemos a longitud de panoja, diámetro superior e inferior de mazorca, porcentaje de conicidad, número de granos por hilera y días a la floración femenina y masculina. Aquellos descriptores cuyo coeficiente de variabilidad se encuentra entre 10 y 15%, presentan datos regularmente homogéneos; aquí tenemos a número total de hojas y número de hojas sobre la mazorca, área foliar y longitud de mazorca.

Aquellos descriptores cuyo coeficiente de variabilidad se encuentra entre 15 y 20%, presentan datos regularmente variables; aquí tenemos a altura de planta y nudo de inserción de mazorca. Aquellos descriptores cuyo coeficiente de variabilidad se encuentra entre 20 y 25%, presentan datos variables; aquí tenemos a altura de mazorca. Por último aquellos descriptores cuyo coeficiente de variabilidad es mayor a 25%, presentan datos muy variables; aquí tenemos a diámetro medio de mazorca y número de hileras por mazorca. En cuanto a los descriptores morfológicos cualitativos se determinó la moda, siendo el rojo sol el color de tallo más frecuente y regular la disposición de hileras más frecuente.

Cuadro 6: Valores mínimos y máximos, media, desviaciones estándar y coeficientes de variabilidad de cada uno de los 16 descriptores morfológicos cuantitativos evaluados para 118 accesiones de maíces nativos.

Descriptores	n	Min	Accesión	Max	Accesión	Media	s	CV
Altura de planta (cm)	118	134.3	LBQU-108	316.9	LIB-020	236.9	40.53	17.11
Altura de mazorca (cm)	118	76	LBQU-108	232.2	LIB-020	148.3	31.05	20.94
Nudo de inserción de mazorca	118	4.9	LBQU-049	10.8	LIB-020	7.79	1.19	15.28
Número total de hojas	118	8.5	LBQU-049	16.5	SMTI-126	13.65	1.71	12.53
Número de hojas sobre la mazorca	118	3.7	LBQU-049	6.4	LIM-001	5.25	0.53	10.1
Área foliar (cm ²)	118	482	LIB-190	988.5	PAS-006	743.3	110.99	14.93
Longitud de panoja (cm)	118	37.61	LIM-068	52.91	LIB-026	45.61	3.6	7.89
Longitud de mazorca (cm)	118	9.2	LIM-068	20.45	LIM-089	15.12	2.11	13.96
Diámetro superior de mazorca (cm)	118	3.44	M.DI-025	4.9	LIM-078	4.14	0.29	7
Diámetro inferior de mazorca (cm)	118	3.98	M.DI-025	5.52	LIB-020	4.75	0.33	6.95
Porcentaje de conicidad de la mazorca	118	3.53	LIB-202	10.35	LBQU-071	6.18	0.33	5.34
Diámetro medio de mazorca (cm)	118	3.66	M.DI-025	5.39	SMTI-031	4.5	1.39	30.89
Número de hileras por mazorca	118	9.18	LIM-068	17	LIB-200	13.53	3.84	28.38
Número de granos por hilera	118	14.94	LIM-068	37.5	LIM-089	26.59	1.09	4.1
Días a la floración masculina	118	87	LIB-191	126	LIB-020	113.4	9.84	8.68
Días a la floración femenina	118	87	LIB-030	139	LIM-088	120.3	10.18	8.46

4.2 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

En el cuadro 7 se observa que los descriptores altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y nudo de inserción de mazorca (NIM) presenta correlación positiva con todos los demás descriptores excepto con porcentaje de conicidad de mazorca. El descriptor número total de hojas (NTH) presenta correlación positiva con todos los descriptores menos con longitud de panoja, diámetro superior de mazorca, porcentaje de conicidad de mazorca y diámetro medio de mazorca.

El descriptor número de hojas sobre la mazorca (NHSM) presenta correlación positiva con todos los descriptores excepto con longitud de panoja, diámetro inferior de mazorca, porcentaje de conicidad de mazorca y diámetro medio de mazorca. El descriptor área foliar (AF) presenta correlación positiva con todos los descriptores excepto con porcentaje de conicidad de mazorca y número de hileras por mazorca. El descriptor longitud de panoja (LP) presenta correlación positiva con todos los descriptores menos con porcentaje de conicidad de mazorca, número de hileras por mazorca, número total de hojas y número de hojas sobre la mazorca.

El descriptor longitud de mazorca (LM) solamente presenta correlación negativa con porcentaje de conicidad de mazorca y correlación positiva con el resto de descriptores excepto diámetro superior de mazorca, diámetro medio de mazorca y número de hileras por mazorca. El descriptor diámetro superior de mazorca (DSM) presenta correlación positiva con todos los descriptores excepto porcentaje de conicidad de mazorca, número de granos por hilera, número total de hojas y longitud de mazorca. El descriptor diámetro inferior de mazorca (DIM) presenta correlación positiva con todos los descriptores excepto porcentaje de conicidad de mazorca, número de granos por hilera y número de hojas sobre la mazorca.

El descriptor porcentaje de conicidad de mazorca (PCM) solamente presenta correlación negativa con longitud de mazorca y número de granos por hilera. El descriptor diámetro medio de mazorca (DMM) presenta correlación positiva con todos los descriptores excepto número de granos por hilera, número total de hojas, número de hojas sobre la mazorca, longitud de mazorca y porcentaje de conicidad de mazorca. El descriptor número de hileras por mazorca (NHM) presenta correlación positiva con todos los descriptores menos con número de granos por hilera, área foliar, longitud de mazorca y longitud de panoja.

El descriptor número de granos por hilera (NGH) presenta correlación negativa con porcentaje de conicidad de mazorca y correlación positiva con el resto de descriptores excepto diámetro superior de mazorca, diámetro inferior de mazorca, diámetro medio de mazorca y número de hileras por mazorca. Los descriptores días a la floración masculina (DFM) y días a la floración femenina (DFF) presentan correlación positiva con todos los descriptores menos con porcentaje de conicidad de mazorca.

La mayoría de los descriptores morfológicos usados en este ensayo están correlacionados entre sí porque tienen información en común; esto es un indicativo de que es necesario realizar un análisis de componentes principales.

Cuadro 7: Matriz de correlación de Pearson con sus respectivos valores de probabilidad para los descriptores morfológicos cuantitativos evaluados para 118 accesiones de maíces nativos (*Zea mays* L.).

	AP	AM	NIM	NTH	NHSM	LP	LM	DSM	DIM	PCM	DMM	NHM	NGH	DFM	DFF	
AP	1															
AM	0.98 **	1														
NIM	0.87 **	0.91 **	1													
NTH	0.84 **	0.83 **	0.93 **	1												
NHSM	0.76 **	0.7 **	0.73 **	0.87 **	1											
AF	0.81 **	0.8 **	0.72 **	0.66 **	0.59 **	1										
LP	0.51 **	0.49 **	0.36 *	0.26 ns	0.23 ns	0.61 **	1									
LM	0.7 **	0.66 **	0.58 **	0.56 **	0.67 **	0.67 **	0.53 **	1								
DSM	0.38 *	0.38 *	0.35 *	0.26 ns	0.37 *	0.37 *	0.49 **	0.21 ns	1							
DIM	0.44 **	0.44 **	0.4 **	0.31 *	0.26 ns	0.43 **	0.55 **	0.31 *	0.94 **	1						
PCM	-0.28 ns	-0.27 ns	-0.23 ns	-0.23 ns	-0.2 ns	-0.26 ns	-0.12 ns	-0.44 **	-0.07 ns	0.15 ns	1					
DMM	0.38 **	0.39 **	0.33 *	0.24 ns	0.19 ns	0.41 **	0.56 **	0.28 ns	0.94 **	0.92 **	-0.01 ns	1				
NHM	0.33 *	0.35 *	0.51 **	0.49 **	0.38 **	0.27 ns	0.12 ns	0.17 ns	0.35 *	0.37 **	-0.01 ns	0.37 **	1			
NGH	0.67 **	0.63 **	0.64 **	0.67 **	0.63 **	0.68 **	0.33 *	0.8 **	0.009 ns	0.18 ns	-0.36 *	0.11 ns	0.22 ns	1		
DFM	0.79 **	0.77 **	0.81 **	0.78 **	0.69 **	0.65 **	0.41 **	0.64 **	0.35 *	0.42 **	-0.21 ns	0.36 *	0.52 **	0.61 **	1	
DFF	0.69 **	0.66 **	0.66 **	0.67 **	0.63 **	0.57 **	0.38 *	0.57 **	0.31 *	0.37 *	0.21 ns	0.31 *	0.39 **	0.54 **	0.82 **	1

(ns) Probabilidad de significación mayor a 0.05

(*) Probabilidad de significación entre 0.05 y 0.01

(**) Probabilidad de significación menor a 0.01

4.3 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO CON VARIABLES ORIGINALES

En la figura 4 se observa que como resultado del análisis de agrupamiento con las 18 variables originales se ha obtenido un fenograma cuya escala de valores de distancia va desde cero hasta el valor máximo de 1.73 en la cual todas las accesiones forman un solo cluster; trazando una línea perpendicular a la escala en la distancia 1.15 se divide al fenograma en 11 grupos o clusters en los cuales se agrupan las 118 accesiones de maíz. El valor de la distancia en donde se ha trazado la línea ha sido escogido de manera que las accesiones agrupadas dentro de un mismo cluster guarden algunas características en común, como por ejemplo el tipo de grano.

De acuerdo a los resultados obtenidos en campo para cada uno de los descriptores morfológicos se puede determinar la posible raza a la que pertenece cada accesión, encontrándose que una accesión pertenece a la raza Alemán, 2 accesiones a la raza Arequipeño, 12 accesiones a la raza Arizona, 9 accesiones a la raza Chancayano, 2 accesiones a la raza Chuncho, 15 accesiones a la raza Colorado, 2 accesiones a la raza Coruca, 35 accesiones a la raza Cubano Dentado Amarillo, 4 accesiones a la raza Kculli, 13 accesiones a la raza Mochero, 3 accesiones a la raza Pardo, 12 accesiones a la raza Perla, 4 accesiones a la raza Piricincó y 4 accesiones a la raza Tusón.

El grupo A está formado por 27 accesiones de maíz de las cuales cuatro pertenecen a la raza Perla, 10 pertenecen a la raza Colorado, cinco pertenecen a la raza Cubano Dentado Amarillo, una pertenece a la raza Coruca, tres pertenecen a la raza Arizona, una pertenece a la raza Alemán, dos pertenecen a la raza Tusón y una pertenece a la raza Chancayano. El grupo B está formado por 44 accesiones de maíz de las cuales dos pertenecen a la raza Chuncho, 29 pertenecen a la raza Cubano Dentado Amarillo, siete pertenecen a la raza Perla, tres pertenecen a la raza Colorado, una pertenece a la raza Arizona, dos pertenecen a la raza Tusón y una pertenece a la raza Chancayano. El grupo C está formado por 16 accesiones de maíz de las cuales una pertenece a la raza Perla, una pertenecen a la raza Coruca, tres pertenecen a la raza Arizona, tres pertenecen a la raza

Pardo, seis pertenecen a la raza Chancayano, una pertenece a la raza Kculli y una pertenece a la raza Colorado.

El grupo D está formado solamente por la accesión LIM-089 que pertenece a la raza Chancayano. El grupo E está formado solamente por la accesión LIB-020 que pertenece a la raza Perla. El grupo F está formado por 17 accesiones de maíz de las cuales una pertenece a la raza Arequipeño, 13 pertenece a la raza Mochero, dos pertenecen a la raza Arizona y una pertenece a la raza Kculli. El grupo G está formado solamente por la accesión LIM-068 que pertenece a la raza Arequipeño. El grupo H está formado solamente por las accesiones LIM-084 y LIM-088 que pertenecen a la raza Kculli. El grupo I está formado solamente por la accesión LBQU-071 que pertenece a la raza Arizona. El grupo J está formado por cinco accesiones de las cuales una pertenece a la raza Colorado y cuatro pertenecen a la raza Piricinco, siendo estas MDI-025, MDI-003, MDI-015 y LOR-040. El grupo K está formado por tres accesiones, de las cuales las accesiones LIB-195 y LIB-200 pertenecen a la raza Arizona y la accesión UCAY-019 pertenece a la raza Cubano Dentado Amarillo. En el cuadro 8 para una mejor visualización y comprensión del fenograma se detalla cada cluster con las accesiones que la integran y la posible raza a la que pertenece cada accesión.

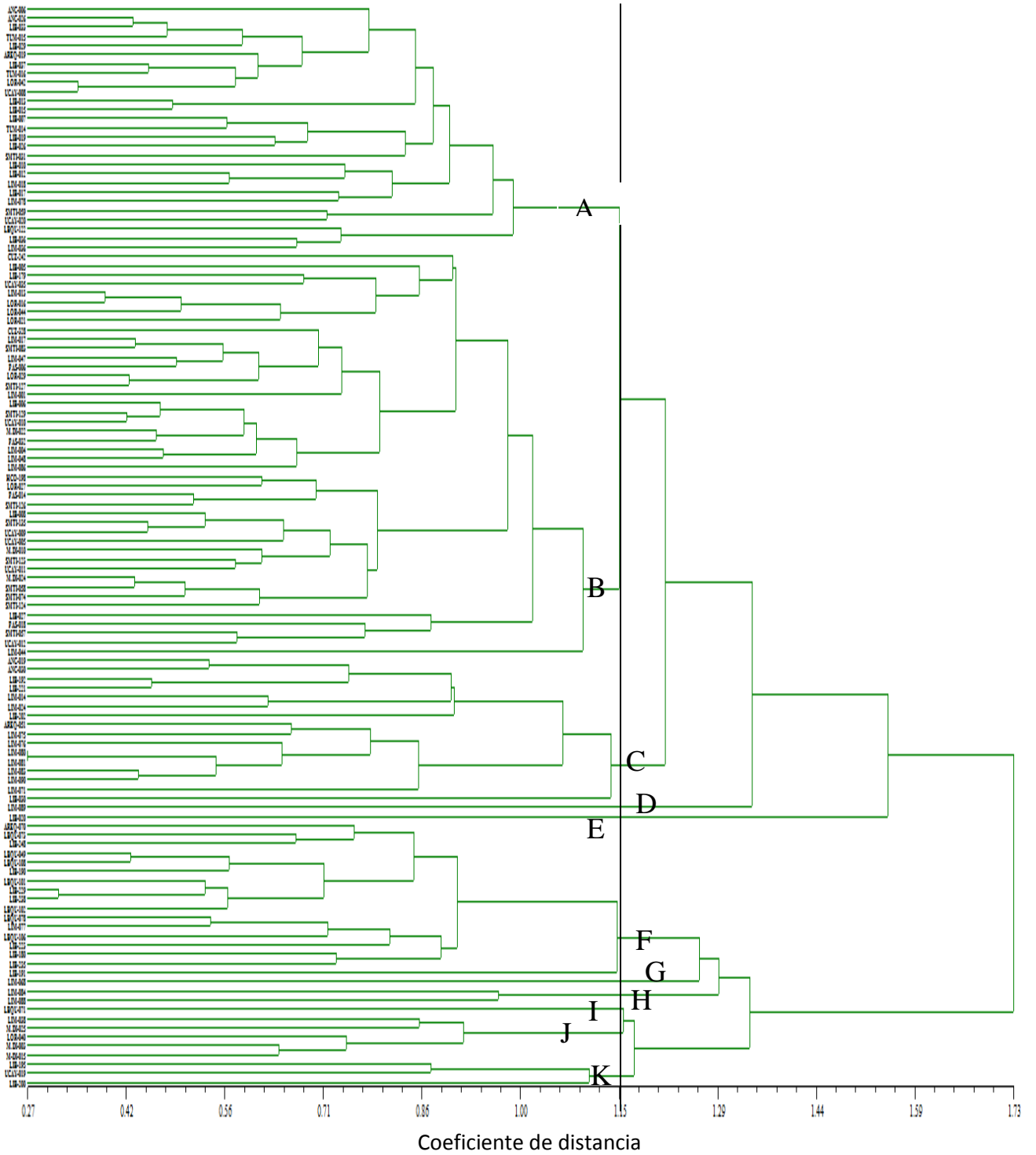


Figura 4: Fenograma de 118 accesiones de maíz peruano y los 11 grupos formados al trazar una línea perpendicular en la distancia 1.15 usando variables originales.

En un trabajo de investigación llevado a cabo por Oscanoa y Sevilla (2013) con 359 accesiones de maíz de la sierra central del Perú se obtuvo un fenograma cuya escala de valores de distancia va desde cero hasta el valor máximo de 7 en la cual todas las accesiones forman un solo grupo; en dicho fenograma se definieron 13 grupos al trazar una línea perpendicular en la distancia 3.3 de la escala. En el grupo A solamente se agruparon accesiones de la raza San Gerónimo; en el grupo B se agruparon accesiones aun sin clasificar; el grupo C estuvo formado por 10 accesiones pertenecientes a la raza Confite Morocho y cuatro accesiones pertenecientes a la raza Confite Puntigudo; el grupo D estuvo formado por accesiones recolectadas en la provincia de Concepción, Junín y que pertenecen a la raza Morocho.

El grupo E estuvo formado en su mayor parte por accesiones pertenecientes a la raza Cuzco y algunas accesiones pertenecientes a la raza Morocho, Kculli y Paro. El grupo F estuvo formado solamente por accesiones que pertenecen a la raza Chimlos; el grupo G estuvo formado por accesiones que resultaron del cruce entre las razas Chullpi y Chimlos; el grupo H estuvo formado solamente por accesiones que pertenecen a la raza Chullpi. El grupo I estuvo formado por un gran número de accesiones de los cuales, 54% de las accesiones pertenecen a la raza Paro, 38% pertenecen a la raza Morocho, 6% pertenecen a la raza Huancavelicano y 2% pertenecen a la raza Chullpi.

El grupo K también estuvo formado por un gran número de accesiones de los cuales, 65% de las accesiones pertenecen a la raza San Gerónimo, 13% pertenecen a la raza Pisccorunto, 10% pertenecen a la raza Paro, 9% pertenecen a la raza San Gerónimo Huancavelicano y 3% pertenecen a la raza Granada. El grupo L estuvo formado en su mayor parte por accesiones pertenecientes a la raza Cuzco y algunas accesiones de la raza San Gerónimo, San Gerónimo Huancavelicano y Pisccorunto; el grupo M estuvo formado por un gran número de accesiones de los cuales, 50% de las accesiones pertenecen a la raza Paro y el resto de accesiones pertenecen a la razas Morocho y Huancavelicano.

Cuadro 8: Grupos de accesiones y las respectivas razas a las que pertenecen cuando el análisis se realiza con las 18 variables originales.

Accesión	Raza	Accesión	Raza	Accesión	Raza
Grupo A		LIM-001	Perla	LIM-071	Pardo
ANC-006	Perla	LIB-006	Colorado	LIB-030	Colorado
ANC-026	Perla	SMTI-129	Cubano Amarillo	Grupo D	
LIB-033	Colorado	UCAY-010	Cubano Amarillo	LIM-089	Chancayano
TUM-015	Cubano Amarillo	MDI-022	Cubano Amarillo	Grupo E	
LIB-029	Colorado	PAS-032	Cubano Amarillo	LIB-020	Perla
AREQ-019	Coruca	LIM-004	Perla	Grupo F	
LIB-037	Arizona	LIM-048	Perla	AREQ-070	Arequipeño
TUM-016	Alemán	LIM-086	Perla	LBQU-073	Mochero
LOR-042	Tusón	HCO-198	Cubano Amarillo	LIB-248	Mochero
UCAY-008	Cubano Amarillo	LOR-027	Tusón	LBQU-049	Mochero
LIB-013	Arizona	PAS-014	Cubano Amarillo	LBQU-108	Mochero
LIB-015	Colorado	SMTI-126	Cubano Amarillo	LIB-190	Mochero
LIB-007	Arizona	LIB-008	Colorado	LBQU-101	Mochero
TUM-014	Cubano Amarillo	SMTI-135	Cubano Amarillo	LIB-229	Mochero
LIB-019	Colorado	UCAY-009	Cubano Amarillo	LIB-238	Arizona
LIB-026	Colorado	UCAY-005	Cubano Amarillo	LBQU-102	Mochero
SMTI-031	Cubano Amarillo	MDI-010	Cubano Amarillo	LBQU-078	Mochero
LIB-010	Colorado	SMTI-123	Cubano Amarillo	LIM-077	Kculli
LIB-012	Colorado	UCAY-011	Cubano Amarillo	LBQU-106	Mochero
LIM-018	Perla	MDI-024	Cubano Amarillo	LIB-223	Mochero
LIB-017	Colorado	SMTI-058	Cubano Amarillo	LIB-180	Mochero
LIM-078	Chancayano	SMTI-074	Cubano Amarillo	LIB-235	Mochero
SMTI-059	Tusón	SMTI-124	Cubano Amarillo	LIB-191	Arizona
UCAY-020	Cubano Amarillo	LIB-027	Colorado	Grupo G	
LBQU-122	Colorado	PAS-018	Cubano Amarillo	LIM-068	Arequipeño
LIB-036	Colorado	SMTI-057	Cubano Amarillo	Grupo H	
LIM-036	Perla	UCAY-012	Cubano Amarillo	LIM-084	Kculli
Grupo B		LIM-044	Chancayano	LIM-088	Kculli
CUZ-242	Chuncho	Grupo C		Grupo I	
LIB-005	Cubano Amarillo	ANC-019	Perla	LBQU-071	Arizona
LIB-179	Arizona	ANC-030	Coruca	Grupo J	
UCAY-035	Cubano Amarillo	LIB-192	Arizona	LIM-038	Colorado
LIM-013	Perla	LIB-221	Arizona	MDI-025	Piricincó
LOR-016	Cubano Amarillo	LIM-014	Pardo	LOR-040	Piricincó
LOR-044	Tusón	LIM-024	Chancayano	MDI-003	Piricincó
LOR-021	Cubano Amarillo	LIB-202	Arizona	MDI-015	Piricincó
CUZ-328	Chuncho	AREQ-051	Kculli	Grupo K	
LIM-017	Perla	LIM-075	Chancayano	LIB-195	Arizona
SMTI-083	Cubano Amarillo	LIM-076	Chancayano	UCAY-019	Cubano Amarillo
LIM-047	Cubano Amarillo	LIM-080	Pardo	LIB-200	Arizona
PAS-006	Cubano Amarillo	LIM-081	Chancayano		
LOR-029	Cubano Amarillo	LIM-083	Chancayano		
SMTI-127	Cubano Amarillo	LIM-090	Chancayano		

En un trabajo de investigación llevado a cabo por Blas et al (2000), se utilizaron 36 accesiones provenientes de las colecciones establecidas en el programa de maíz de la UNALM; estas accesiones son representativas de las razas de maíz peruano, definidos de acuerdo a la morfología y citogenética. Para analizar la diversidad genética de las razas peruanas, se usaron las técnicas moleculares AFLP y microsatélites (SSR). El dendograma resultante permitió visualizar una alta relación entre una raza de costa y sierra; como por ejemplo Chaparreño y Huayleño, Chancayano y Chullpi, Perla y Huanuqueño; esto indicaría una supuesta alta cercanía genética, lo que daría cierto sustento a la tesis de que la diversidad del maíz en la región andina es más fenotípica que genética, muchas razas son distintas en sus caracteres morfológicos, pero son genéticamente muy relacionadas; pero también esto podría ser por probables mezclas en las entradas.

Esto sugiere, en los próximos análisis, la utilización de muestras sin contaminación, o de reciente colección, para descartar la supuesta cercanía genética entre las razas de sierra, costa e introducidas. Con SSR los agrupamientos son mucho más definidos según las regiones para las razas. Existe estrecha relación genética entre las razas, particularmente de la sierra; por ejemplo las razas Cuzco Gigante, Shajatu y Paro; de la misma manera las razas Cuzco Cristalino y Confite Morocho y por ultimo las razas Arequipeño con Uchuquilla. Esto nos lleva a sugerir que la diversidad del maíz en la región andina es más fenotípica que genética. Por lo que se debería pensar en la introducción de material foráneo para los programas de mejoramiento genético.

En el análisis de agrupamiento con variables originales, las accesiones LIM-80 (raza Pardo) y LIM-81 (raza Chancayano) son las más semejantes en cuanto a sus características morfológicas pues se agrupan inclusive con un coeficiente de distancia de 0,27; mientras que las accesiones ANC-006 (raza Perla) y LIB-200 (raza Arizona) son las más diferentes morfológicamente ya que solo se incluyen en un mismo grupo con un coeficiente de distancia de 1.73.

En las figuras 5 y 6 se observan las accesiones LIM-080 y LIM-081 que son las dos accesiones que tiene la menor distancia taxonómica, siendo esta de 0.27.



Figura 5: En esta figura se muestra la accesión LIM-080 (raza Pardo).



Figura 6: En esta figura se muestra la accesión LIM-081 (raza Chancayano).

En las figuras 7 y 8 se observan las accesiones ANC-006 y LIB-200 que son las dos accesiones que tienen la mayor distancia taxonómica, siendo esta de 1.73.



Figura 7: En esta figura se muestra la accesión ANC-006 (raza Perla).



Figura 8: En esta figura se muestra la accesión LIB-200 (raza Arizona).

4.4 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales genera un número de componentes igual al número de descriptores usados en el ensayo; en nuestro caso como tenemos 18 descriptores morfológicos por lo tanto se generan 18 componentes principales, de los cuales el primero siempre tiene el mayor eigen-value y el último el menor eigen-value.

En el cuadro 9 se muestra en la primera columna el eigen-value o variancia total de cada uno de los componentes principales generados a partir de las variables originales; en la segunda columna se muestra el porcentaje de variación que viene a ser el eigen-value expresado en porcentaje y en la tercera columna se muestra el porcentaje acumulado de variación que alcanza el 100% en el décimo octavo componente principal.

Además se observa que el eigen-value del primer componente principal es 8.82, del segundo componente principal es 2.68, del tercer componente principal es 1.44, del cuarto componente principal es 1.07; a partir del quinto componente principal hacia adelante presentan eigen-value menores a 1; por esta razón seleccionamos solamente los cuatro primeros componentes principales para llevar a cabo el análisis de agrupamiento reduciendo considerablemente la dimensionalidad de los datos. Así mismo, el primer componente explica el 48.98% de la variación total de los datos, el segundo componente explica el 14.89%, el tercer componente explica el 7.98%, y el cuarto componente explica el 5.93% de la variación total; representándose en conjunto el 77.79% de la variación total de los datos solamente en los cuatro primeros componentes principales. Los 14 componentes principales restantes representan en conjunto solamente el 22.21% de la variación total de los datos; por lo tanto se puede prescindir de ellos.

Cuadro 9: Eigen-value, porcentaje de variación y porcentaje acumulado de variación para cada uno de los 18 componentes principales generados a partir de las 18 variables originales.

Componentes principales	Eigen-Value	Porcentaje de variación	Porcentaje acumulado de variación
1	8.82	48.98	48.98
2	2.68	14.89	63.88
3	1.44	7.98	71.86
4	1.07	5.93	77.79
5	0.89	4.94	82.73
6	0.67	3.72	86.45
7	0.50	2.76	89.21
8	0.49	2.70	91.91
9	0.43	2.39	94.30
10	0.30	1.66	95.96
11	0.24	1.31	97.27
12	0.15	0.84	98.11
13	0.14	0.75	98.86
14	0.10	0.56	99.43
15	0.06	0.35	99.78
16	0.03	0.16	99.94
17	0.01	0.04	99.99
18	0.00	0.01	100.00

En la figura 9 se muestra un gráfico de bastones que presenta en el eje de las abscisas a los 18 componentes principales y en el eje de las ordenadas el eigen-value de cada uno de estos componentes principales. Al trazarse una línea paralela (línea punteada) al eje horizontal desde el punto 1 del eje vertical podemos ver que los cuatro primeros bastones que representan a los cuatro primeros componentes principales sobrepasan la línea trazada; mientras que el resto de bastones que representan a los componentes principales del cinco al 18 quedan por debajo de la línea trazada. Este gráfico trata de brindar una mayor comprensión sobre el criterio usado para la elección del número de componentes principales a usar en un análisis de agrupamiento.

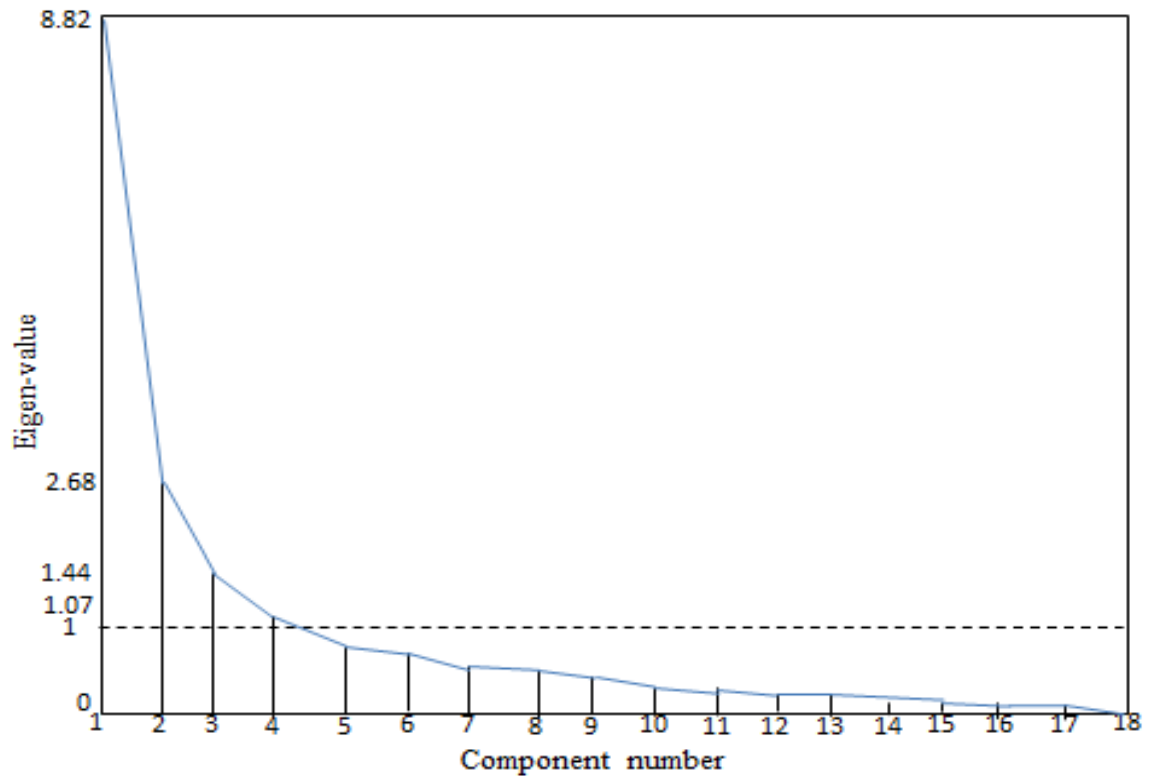


Figura 9: Gráfico de bastones representando en el eje horizontal a las 18 componentes principales y en el eje vertical a los eigen-value de cada uno de estos componentes

En el cuadro 10, se observan los coeficientes de contribución relativa de los descriptores morfológicos en los cuatro primeros componentes principales. Para cada descriptor se comparan los valores absolutos de sus coeficientes de contribución para los cuatro componentes principales seleccionados, el mayor valor absoluto indicará con que componente principal se asocia mejor dicho descriptor.

En base al criterio anterior los descriptores altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), nudo de inserción de la mazorca (NIM), número total de hojas (NTH), número de hojas sobre la mazorca (NHSM), área foliar (AF), longitud de panoja (LP), longitud de mazorca (LM), número de granos por hilera (NGH), días a la floración masculina (DFM) y días a la floración femenina (DFF) con valores absolutos de 0.93, 0.92, 0.9, 0.87, 0.78, 0.84, 0.58, 0.75, 0.73, 0.87 y 0.78 respectivamente han contribuido en mayor grado a dar origen al primer componente principal. Así mismo, los descriptores diámetro superior de mazorca (DSM), diámetro inferior de mazorca (DIM) y diámetro medio de mazorca

(DMM) con valores absolutos de 0.78, 0.77 y 0.8 respectivamente han contribuido en mayor grado a dar origen al segundo componente principal.

Los descriptores número de hileras por mazorca (NHM) con un valor absoluto de 0.65 y disposición de hileras (DH) con un valor absoluto de 0.46 han contribuido a generar en mayor grado al tercer componente principal. Por último los descriptores porcentaje de conicidad de la mazorca (PCM) con valor absoluto de 0.59 y color de tallo con valor absoluto de 0.66 han contribuido en mayor grado a generar al cuarto componente principal.

Cuadro 10: Contribución relativa de los 18 descriptores morfológicos para los cuatro primeros componentes principales, usados en el estudio de las 118 accesiones de maíces nativos (*Zea mays* L.).

Código	Descriptores	Componentes Principales			
		Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
AP	Altura de planta	0.93	0.11	0.09	0.11
AM	Altura de mazorca	0.92	0.10	0.05	0.11
NIM	Nudo de inserción de la mazorca	0.90	0.17	-0.20	0.07
NTH	Número total de hojas	0.87	0.29	-0.24	0.12
NHSM	Número de hojas sobre la mazorca	0.78	0.29	-0.17	0.16
AF	Área foliar	0.84	0.02	0.24	0.06
LP	Longitud de panoja	0.58	-0.39	0.42	-0.03
CT	Color de tallo	-0.43	-0.04	-0.12	-0.66
LM	Longitud de mazorca	0.75	0.17	0.41	-0.22
DSM	Diámetro superior de mazorca	0.52	-0.78	-0.07	-0.12
DIM	Diámetro inferior de mazorca	0.58	-0.77	-0.08	0.03
PCM	Porcentaje de conicidad de la mazorca	-0.29	-0.33	-0.38	0.59
DMM	Diámetro medio de mazorca	0.53	-0.80	-0.02	-0.13
NHM	Número de hileras por mazorca	0.48	-0.13	-0.65	-0.27
NGH	Número de granos por hilera	0.73	0.37	0.23	-0.08
DH	Disposición de hileras	0.09	0.39	-0.46	-0.21
DFM	Días a la floración masculina	0.87	0.11	-0.18	-0.08
DFF	Días a la floración femenina	0.78	0.11	-0.12	-0.09

En la figura 10 se muestra un gráfico bidimensional para los 18 descriptores morfológicos; en el eje de las abscisas se representan los coeficientes de contribución del primer componente principal y en el eje de las ordenadas se representan los coeficientes de contribución del segundo componente principal. Se puede observar que los descriptores morfológicos tienden a formar grupos y ubicarse en una determinada zona del plano, los descriptores que presentan mayor contribución relativa con el primer componente principal se ubican muy cercanos entre sí (círculo azul), igualmente sucede con los descriptores que presentan mayor contribución relativa con el segundo (círculo verde) y cuarto componente (círculo rojo).

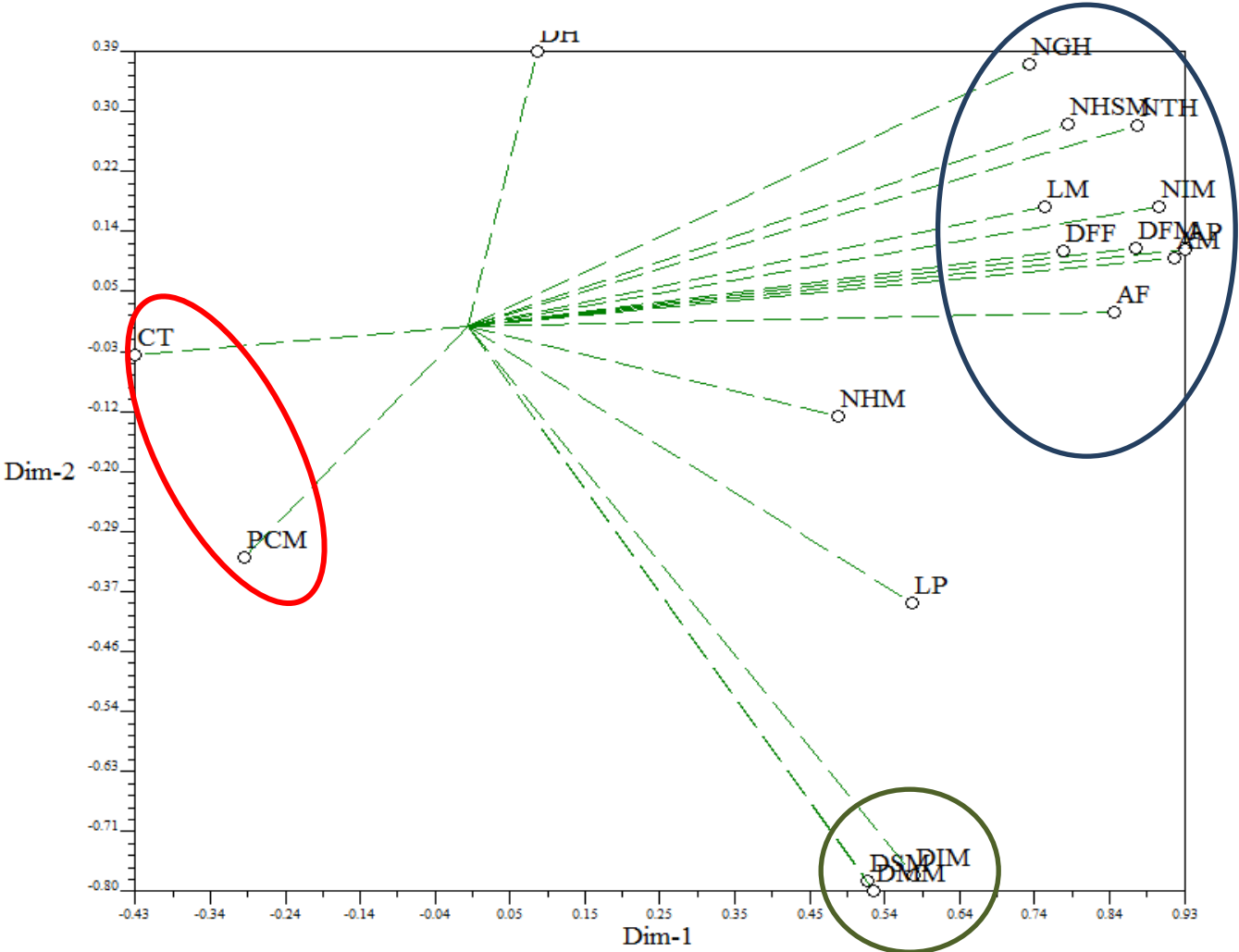


Figura 10: Gráfico bidimensional para los 18 descriptores morfológicos, usando como ejes los coeficiente de contribución del primer y segundo componente principal.

En la figura 11 se muestra el gráfico bidimensional para los 18 descriptores morfológicos, en el eje de las abscisas se representan los coeficientes de contribución del primer componente principal y en el eje de las ordenadas se representan los coeficientes de contribución del tercer componente principal. Se puede observar que los descriptores morfológicos tienden a formar grupos y ubicarse en una determinada zona del plano, pero en este caso los descriptores que presentan mayor contribución relativa con el primer componente principal (círculo verde) se ubican más dispersos entre sí; mientras que los descriptores que presentan mayor contribución relativa con el segundo, tercer y cuarto componente principal respectivamente permanecen más próximos entre sí.

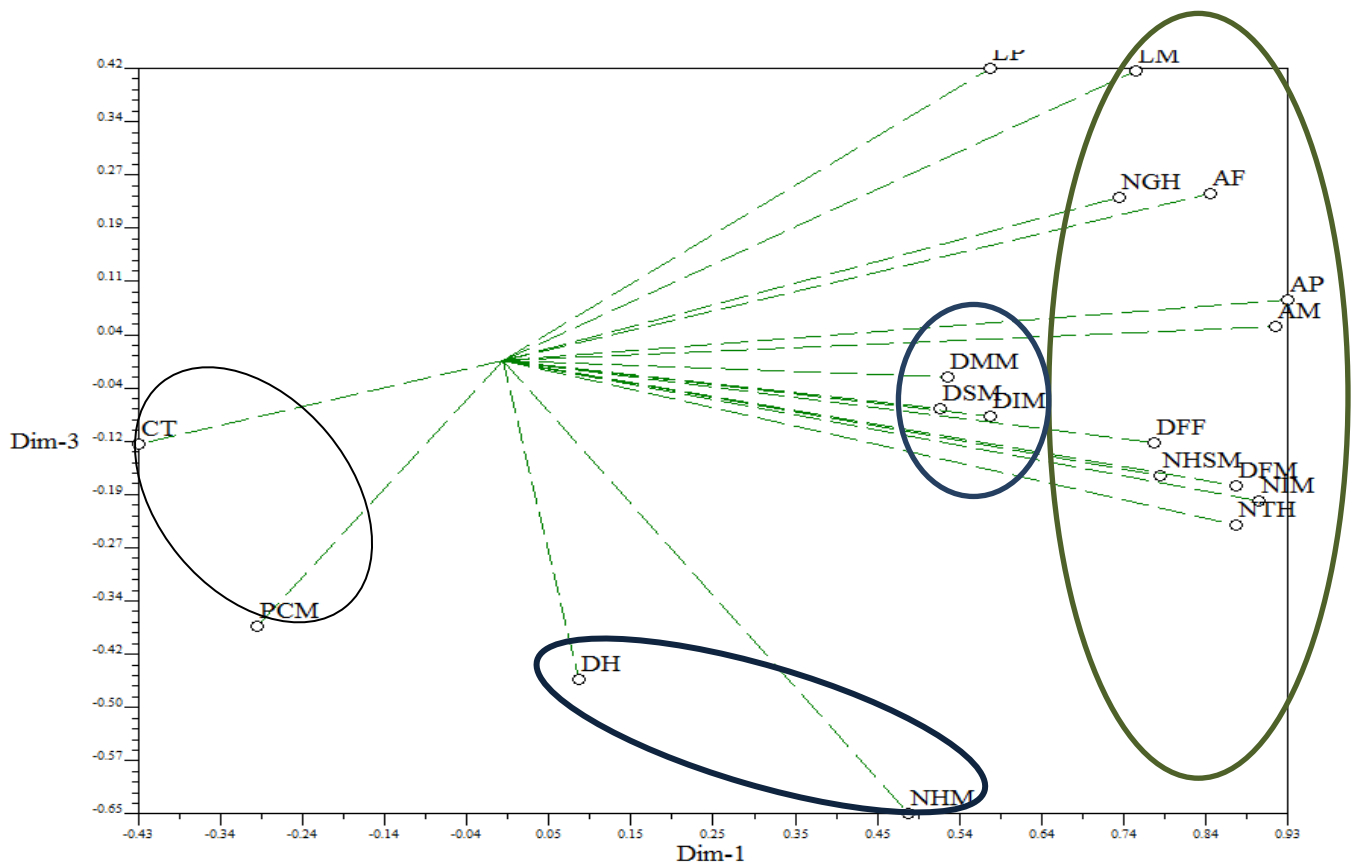


Figura 11: Gráfico bidimensional para los 18 descriptores morfológicos, usando como ejes los coeficiente de contribución del primer y tercer componente principal.

En la figura 12 se observa el gráfico tridimensional de los descriptores morfológicos para el primer, segundo y tercer componente principal. Se puede observar claramente como los descriptores morfológicos tienden a formar grupos y ubicarse en una determinada zona del espacio, los descriptores que presentan mayor contribución relativa con el primer componente principal (círculo azul) se ubican muy cercanos entre sí, igualmente sucede con los descriptores que presentan mayor contribución relativa con el segundo componente (círculo rojo), tercer componente (círculo verde) y cuarto componente principal (círculo naranja).

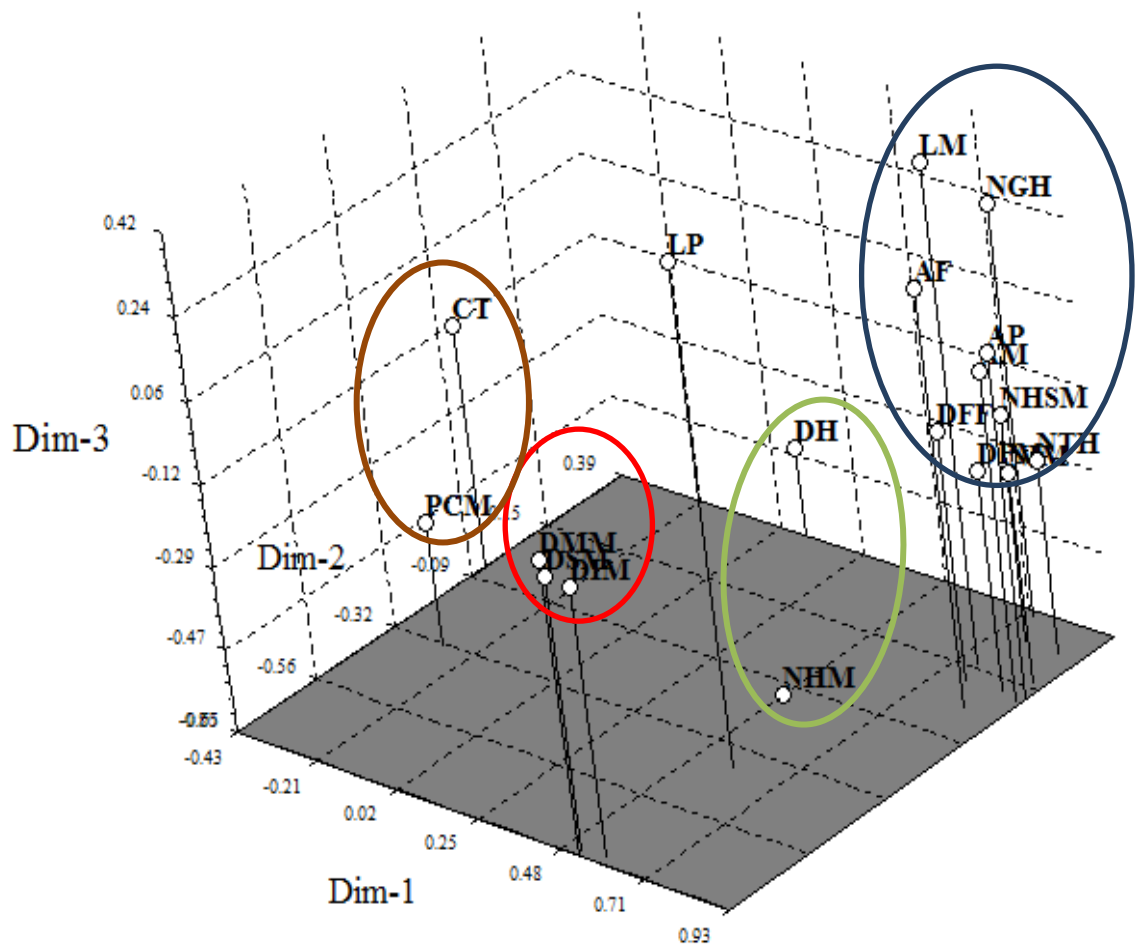


Figura 12: Gráfico tridimensional para los 18 descriptores morfológicos, usando como ejes los coeficiente de contribución del primer, segundo y tercer componente principal.

En general un análisis de componentes principales permite reducir la dimensionalidad de un estudio de diversidad genética; para nuestro estudio el espacio original donde se distribuyen las 118 accesiones de maíces nativos estaba determinado por 18 dimensiones; luego del análisis de componentes principales las 118 accesiones pasan a distribuirse en un espacio determinado solamente por cuatro dimensiones que representan la mayor variabilidad de los datos.

Lo ideal es que los estudios de diversidad genética se lleven a cabo en tres e incluso dos dimensiones; pero también es necesario que estos acumulen la mayor variabilidad de los datos posible; si en este estudio obviáramos el cuarto componente principal trabajaríamos con el 72% de la variabilidad total de los datos; y si obviáramos el tercer y cuarto componentes principal solamente trabajaríamos con el 64%; mientras que al trabajar con los cuatro componentes principales usamos el 78% de la variabilidad total de los datos.

El primer componente principal posee aproximadamente el 50% de la variabilidad total de los datos y se le puede interpretar como una variable de tamaño y ciclo vegetativo, ya que su formación se debe en gran parte a los descriptores altura de planta, altura de mazorca, nudo de inserción de mazorca, número total de hojas, número de hojas sobre la mazorca, área foliar, longitud de panoja, longitud de mazorca, número de granos por hilera, días a la floración femenina y días a la floración masculina.

El segundo componente principal posee aproximadamente el 15% de la variabilidad total de los datos y se le puede interpretar como una variable del grosor de mazorca, ya que su formación se debe en gran parte a los descriptores diámetro inferior, medio y superior de mazorca. El tercer componente principal posee aproximadamente el 8% de la variabilidad total de los datos y es una variable asociada exclusivamente a número y forma de las hileras de granos; así mismo el cuarto componente principal posee aproximadamente el 6% de la variabilidad total y es una variable asociada al color de tallo y a la pendiente de la superficie de la mazorca.

La mayor parte de los descriptores morfológicos presentan una contribución relativa con valor absoluto superior a 0.65 con alguno de los cuatro componentes principales seleccionados; el descriptor longitud de panoja presenta un valor de 0.58 con el primer componente principal, porcentaje de conicidad de mazorca presenta un valor de 0.59 con el cuarto componente principal y disposición de hileras presenta un valor de 0.46 con el tercer componente principal; por lo tanto, se puede decir que estos tres descriptores son los que menos discriminan a las accesiones estudiadas en esta tesis.

4.5 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO CON COMPONENTES PRINCIPALES

En la figura 13 se observa que como resultado del análisis de agrupamiento con los cuatro primeros componentes principales se ha obtenido un fenograma cuya escala de valores de distancia va desde cero hasta el valor máximo de 1.67 en la cual todas las accesiones forman un solo cluster; trazando una línea perpendicular a la escala en la distancia 1.12 se divide al fenograma en 11 grupos o clusters en los cuales se agrupan las 118 accesiones de maíces. El valor de la distancia en donde se ha trazado la línea ha sido escogido de manera que las accesiones agrupadas dentro de un mismo cluster guarden algunas características en común, como por ejemplo el tipo de grano.

El grupo A está formado por 20 accesiones de maíz de las cuales cuatro pertenecen a la raza Perla, nueve pertenecen a la raza Colorado, una pertenece a la raza Coruca, tres pertenecen a la raza Cubano Dentado Amarillo, una pertenece a la raza Chancayano y dos pertenecen a la raza Arizona. El grupo B está formado solamente por las accesiones LIB-019 y LIB-026 que pertenecen a la raza Colorado. El grupo C está formado por tres accesiones, de las cuales la accesión LIB-020 pertenece a la raza Perla, la accesión SMTI-059 pertenece a la raza Tusón y la accesión UCAY-020 pertenece a la raza Cubano Dentado Amarillo. El grupo D está formado por 37 accesiones de maíz de las cuales una pertenece a la raza Arizona, dos pertenecen a la raza Chuncho, 23 pertenecen a la raza Cubano Dentado Amarillo, dos pertenecen a la raza Colorado, una pertenece a la raza Chancayano, cuatro pertenecen a la raza Perla, tres pertenecen a la raza Tusón, una pertenece a la raza Alemán.

El grupo E está formado por 6 accesiones de maíz de las cuales dos pertenecen a la raza Arizona, dos pertenecen a la raza Piricinco y dos pertenecen a la raza Cubano Dentado Amarillo. El grupo F está formado por las accesiones ANC-019, ANC-030 y LIB-202 que pertenecen a las razas Perla, Coruca y Arizona respectivamente. El grupo G está formado por cinco accesiones de las cuales una pertenece a la raza Colorado y cuatro pertenecen a la raza Cubano Dentado Amarillo, siendo estas PAS-018, SMTI-058, MDI-024 y SMTI-074.

El grupo H está formado por 23 accesiones de maíz de las cuales una pertenece a la raza Arequipeño, 12 pertenecen a la raza Mochero, dos pertenecen a la raza Kculli, cinco pertenecen a la raza Arizona, una pertenece a la raza Colorado y dos pertenecen a la raza Piricincó. El grupo I está formado por las accesiones LIB-223 y LIM-068 que pertenecen a las razas Mochero y Arequipeño respectivamente. El grupo J está formado por 14 accesiones de maíz de las cuales una pertenece a la raza Perla, 7 pertenecen a la raza Chancayano, dos pertenecen a la raza Kculli, tres pertenecen a la raza Pardo y una pertenece a la raza Cubano Dentado Amarillo. El grupo K está formado por las accesiones LBQU-071, LIM-001 y LOR-021 que pertenecen a las razas Arizona, Perla y Cubano Dentado Amarillo respectivamente.

Comparando los dos fenogramas obtenidos en el presente trabajo de tesis se observa que las accesiones de la raza Colorado LIB-033, LIB-029, LIB-015, LIB-010, LIB-012, LIB-017, LIB-036 y LBQU-122 forman parte del primer grupo A en ambos fenogramas; las accesiones LIB-019 y LIB-026 que también forman parte del grupo A cuando se usan variables originales pasan a formar ambos el grupo B cuando el análisis de agrupamiento se realiza usando componentes principales; mientras que la accesión LIB-030 que se encontraba en el grupo C pasa al grupo A; y las accesiones LIB-008 y LIB-006 se vuelven más semejantes cuando se usa componentes principales. Respecto a las accesiones de la raza Chancayano, LIM-024, LIM-075, LIM-076, LIM-081, LIM-083 y LIM-090 se agrupan en un mismo cluster en ambos análisis de agrupamiento; la accesión LIM-089 que forma su grupo individual cuando se analiza usando variables originales pasa a agruparse con las accesiones mencionadas anteriormente cuando el análisis se hace usando componente principales.

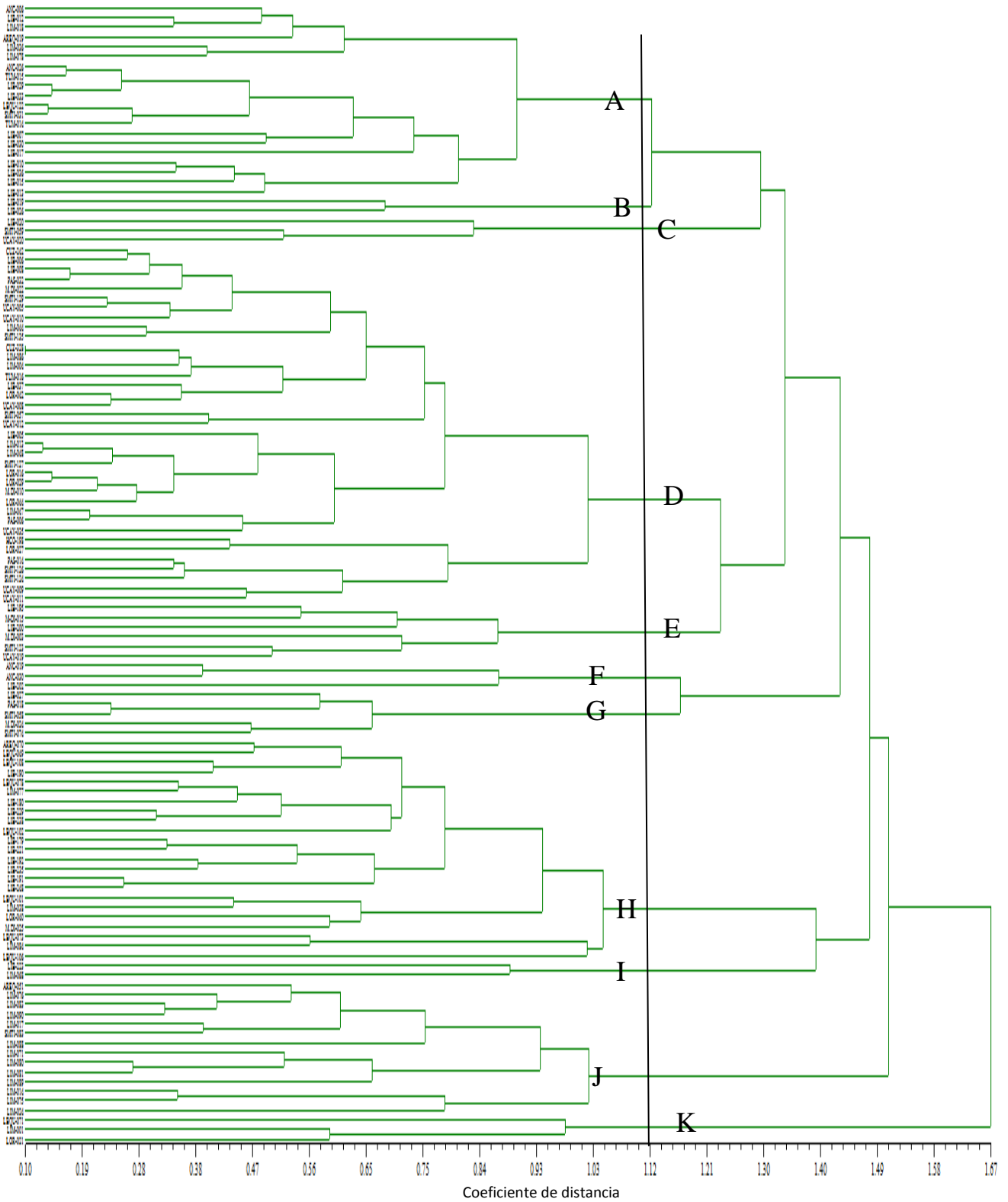


Figura 13: Fenograma de 118 accesiones de maíz peruano y los 11 grupos formados al trazar una línea perpendicular en la distancia 1.12 usando componentes principales.

Respecto a las accesiones de la raza Mochero LBQU-073, LIB-248, LBQU-049, LBQU-108, LIB-190, LBQU-101, LIB-229, LBQU-102, LBQU-078, LBQU-106, LIB-180 y LIB-235 coinciden en un mismo grupo en ambos análisis de agrupamiento; excepto por la accession LIB-223 que pasa a integrar otro grupo junto con LIM-068 que pertenece a la raza Arequipeño; cuando el análisis de agrupamiento se realiza usando componentes principales. Respecto a las accesiones de la raza Piricinco cuando el análisis se realiza usando variables originales todas aparecen en un mismo cluster; pero al analizar con componentes principales estas se separan en grupos diferentes, estando MDI-015 y MDI-003 en un grupo; y LOR-040 con MDI-025 en otro. Respecto a las accesiones de la raza Kculli mientras que LIM-084 y LIM-088 forman su propio grupo y LIM-077 con AREQ-051 se encuentran en diferentes grupos cuando se analiza con variables originales; LIM-077 y LIM-084 integran un mismo grupo y LIM-088 con AREQ-051 integran otro grupo cuando el análisis se lleva a cabo con componentes principales. Las accesiones de la raza Chuncho CUZ-242 y CUZ-328 en ambos análisis siempre se ubican dentro de un mismo grupo.

Respecto a las accesiones de la raza Cubano Amarillo Dentado HCO-198, LIB-005, LIM-047, LOR-016, LOR-029, MDI-010, MDI-022, PAS-014, PAS-032, PAS-006, SMTI-124, SMTI-126, SMTI-127, SMTI-129, SMTI-135, SMTI-057, UCAY-010, UCAY-011, UCAY-012, UCAY-035, UCAY-005 y UCAY-009 coinciden en un mismo grupo en ambos análisis de agrupamiento. Respecto a las accesiones de la raza Perla ANC-006, ANC-026, LIM-018 y LIM-036 coinciden en un mismo grupo en ambos analisis de agrupamiento; igualmente LIM-013, LIM-048, LIM-004 y LIM-086 tambien coinciden en un mismo grupo. Cabe resaltar que la accession LIB-020 que forma un grupo unitario cuando el análisis se hace con variables originales, se agrupa con SMTI-059 y UCAY-020 cuando el análisis se hace con componentes principales.

Las accesiones de la raza Pardo LIM-014, LIM-080 y LIM-071 se agrupan siempre en el mismo cluster en ambos análisis. Las accesiones de la raza Arequipeño AREQ-070 y LIM-068 siempre aparecen separados en ambos análisis de agrupamiento. En cuanto a las accesiones de la raza Tusón cuando el análisis se hace con variables originales LOR-042 y SMTI-059 se integran en un grupo; mientras LOR-044 y LOR-027 se integran en un grupo diferente; pero cuando el análisis se hace con componentes principales LOR-042, LOR-044 y LOR-027 se integran en un mismo grupo y solamente SMTI-059 se integra en otro grupo.

Las accesiones de la raza Arizona LIB-179, LIB-238, LIB-191, LIB-192, LIB-221 cuando el análisis se hace con variables originales aparecen en diferentes grupos; pero cuando el análisis se hace con componentes principales aparecen en un mismo grupo; así mismo, las accesiones LIB-195 y LIB-200 coinciden en un mismo grupo en ambos análisis; lo mismo sucede con las accesiones LIB-007 y LIB-013. En el cuadro 11, para una mejor visualización y comprensión del fenograma se detalla cada cluster con las accesiones que la integran y la posible raza a la que pertenece cada accesión.

En el análisis de agrupamiento ya sea usando variables originales o componentes principales, se observa que accesiones pertenecientes a una misma raza ocupan grupos distintos. Una explicación podría ser que hay razas que son parecidas fenotípicamente pero tienen origen distinto. El parecido se debe a que en el trópico la selección natural ha creado razas morfológicamente parecidas. Casi todas ellas son tardías, muy altas, con muchas hojas grandes. Además la selección humana ha hecho que desarrollen mazorcas largas, anchas y con muchos granos. Un ejemplo de esto se observa en las razas Perla y Cubano Dentado Amarillo que a pesar de ser morfológicamente parecidos son genéticamente distintos; de hay la desventaja del fenotipo para definir relaciones exactas entre las accesiones.

Cuadro 11: Grupos de accesiones y las respectivas razas a las que pertenecen cuando el análisis se realiza usando cuatro componentes principales.

Accesión	Raza	Accesión	Raza	Accesión	Raza
Grupo 1		LOR-042	Tusón	LBQU-078	Mochero
ANC-006	Perla	UCAY-008	Cubano Amarillo	LIM-077	Kculli
LIB-012	Colorado	SMTI-057	Cubano Amarillo	LIB-180	Mochero
LIM-018	Perla	UCAY-012	Cubano Amarillo	LIB-229	Mochero
AREQ-019	Coruca	LIB-005	Cubano Amarillo	LIB-238	Arizona
LIM-036	Perla	LIM-013	Perla	LBQU-102	Mochero
LIM-078	Chancayano	LIM-048	Perla	LIB-179	Arizona
ANC-026	Perla	SMTI-127	Cubano Amarillo	LIB-221	Arizona
TUM-015	Cubano Amarillo	LOR-016	Cubano Amarillo	LIB-192	Arizona
LIB-029	Colorado	LOR-029	Cubano Amarillo	LIB-235	Mochero
LIB-033	Colorado	MDI-010	Cubano Amarillo	LIB-191	Arizona
LBQU-122	Colorado	LOR-044	Tusón	LIB-248	Mochero
SMTI-031	Cubano Amarillo	LIM-047	Cubano Amarillo	LBQU-101	Mochero
TUM-014	Cubano Amarillo	PAS-006	Cubano Amarillo	LIM-038	Colorado
LIB-007	Arizona	UCAY-035	Cubano Amarillo	LOR-040	Piricinco
LIB-030	Colorado	HCO-198	Cubano Amarillo	MDI-025	Piricinco
LIB-017	Colorado	LOR-027	Tusón	LBQU-073	Mochero
LIB-010	Colorado	PAS-014	Cubano Amarillo	LIM-084	Kculli
LIB-036	Colorado	SMTI-126	Cubano Amarillo	LBQU-106	Mochero
LIB-015	Colorado	SMTI-124	Cubano Amarillo	Grupo 9	
LIB-013	Arizona	UCAY-009	Cubano Amarillo	LIB-223	Mochero
Grupo 2		UCAY-011	Cubano Amarillo	LIM-068	Arequipeño
LIB-019	Colorado	Grupo 5		Grupo 10	
LIB-026	Colorado	LIB-195	Arizona	AREQ-051	Kculli
Grupo 3		MDI-015	Piricinco	LIM-076	Chancayano
LIB-020	Perla	LIB-200	Arizona	LIM-083	Chancayano
SMTI-059	Tusón	MDI-003	Piricinco	LIM-090	Chancayano
UCAY-020	Cubano Amarillo	SMTI-123	Cubano Amarillo	LIM-017	Perla
Grupo 4		UCAY-019	Cubano Amarillo	SMTI-083	Cubano Amarillo
CUZ-242	Chuncho	Grupo 6		LIM-088	Kculli
LIB-006	Colorado	ANC-019	Perla	LIM-071	Pardo
LIB-008	Colorado	ANC-030	Coruca	LIM-080	Pardo
PAS-032	Cubano Amarillo	LIB-202	Arizona	LIM-081	Chancayano
MDI-022	Cubano Amarillo	Grupo 7		LIM-089	Chancayano
SMTI-129	Cubano Amarillo	LIB-027	Colorado	LIM-014	Pardo
UCAY-005	Cubano Amarillo	PAS-018	Cubano Amarillo	LIM-075	Chancayano
UCAY-010	Cubano Amarillo	SMTI-058	Cubano Amarillo	LIM-024	Chancayano
LIM-044	Chancayano	MDI-024	Cubano Amarillo	Grupo 11	
SMTI-135	Cubano Amarillo	SMTI-074	Cubano Amarillo	LBQU-071	Arizona
CUZ-328	Chuncho	Grupo 8		LIM-001	Perla
LIM-086	Perla	AREQ-070	Arequipeño	LOR-021	Cubano Amarillo
LIM-004	Perla	LBQU-049	Mochero		
TUM-016	Alemán	LBQU-108	Mochero		
LIB-037	Arizona	LIB-190	Mochero		

En el análisis de agrupamiento con componentes principales, las accesiones CUZ-328 (raza Chunchu) y LIM-086 (raza Perla) son las más semejantes en cuanto a sus características morfológicas pues se agrupan inclusive con un coeficiente de distancia de 0,1; mientras que las accesiones ANC-006 (raza Perla) y LOR-021 (raza cubano dentado amarillo) son las más diferentes morfológicamente ya que solo se incluyen en un mismo grupo con un coeficiente de distancia de 1.67.

Cabe resaltar que la clasificación racial en el Perú además de criterios morfológicos, incluyo criterios ecológicos y culturales; además de datos de mazorca y grano que fueron decisivos. Además, los análisis de conglomerados y la construcción de fenogramas no son decisivos para la clasificación racial, pero pueden ser parte de un método más holístico que considere otros criterios además de los morfológicos.

En las figuras 14 y 15 se observan las accesiones CUZ-328 y LIM-086 que son las dos accesiones que tiene la menor distancia taxonómica, siendo esta de 0.1.



Figura 14: En esta figura se muestra la accesión CUZ-328 (raza Chuncho).



Figura 15: En esta figura se muestra la accesión LIM-086 (raza Perla).

En las figuras 16 y 17 se observan las accesiones ANC-006 y LOR-021 que son las dos accesiones que tienen la mayor distancia taxonómica, siendo esta de 1.67.



Figura 16: En esta figura se muestra la accesión ANC-006 (raza Perla).



Figura 17: En esta figura se muestra la accesión LOR-021 (raza Cubano dentado amarillo).

V. CONCLUSIONES

- La caracterización morfológica de una muestra de accesiones de maíces peruanos conservados en el Banco de Germoplasma de Maíz de la UNALM; permitió discriminar las accesiones en grupos; sin embargo, los grupos formados no coinciden con la clasificación racial. La falta de coincidencia se debe a que la raza a la que pertenece cada accesión se determinó usando pocos caracteres altamente heredables.
- La caracterización morfológica puede servir para mejorar la clasificación racial original; pero debe basarse solo en los caracteres más eficientes para agrupar a las accesiones en razas. De acuerdo al análisis de componentes principales los descriptores más eficientes para agrupar a las accesiones por presentar un alto coeficiente de contribución en cada componente principal son altura planta, altura mazorca, nudo inserción de la mazorca, número total de hojas, número de hojas sobre la mazorca, área foliar, color de tallo, longitud de mazorca, diámetro superior de mazorca, diámetro inferior de mazorca, diámetro medio de mazorca y número de hileras por mazorca.
- El fenograma obtenido usando componentes principales permite un mejor agrupamiento debido a que todas las variables originales han contribuido por igual a la formación de cada uno de los componentes principales; mientras que al hacer un agrupamiento usando solamente las variables originales, también estoy usando aquellas variables que son poco discriminativas como lo son longitud de panoja, porcentaje de conicidad de mazorca y disposición de hileras.

VI. RECOMENDACIONES

- La caracterización o fenotipo de la diversidad de maíz en el Perú debe estar al día para disponer de esa información morfológica mientras se continúa con el desarrollo de la genotipificación en proyectos de genómica.
- Para facilitar la asignación de las accesiones a las razas se recomienda incluir caracteres de mazorca y grano como color de mazorca, tipo de grano, color de grano y otros caracteres altamente heredables.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Anderson, E. and Cutler, H. 1942.** Races of Zea mays I: their recognition and classification. Ann Missouri Bot Gard, 21: 69–88.
- **Bennett, J. 2001.** Status of Breeding for Tolerance of Abiotic Stresses and Prospects for use of Molecular Techniques. Annex 1. Applications of Molecular Biology and Genomics to Genetic Enhancement of Crop Tolerance to Abiotic Stress-A discussion Document. CGIAR interim Science Council-FAO. Rome, Italy.
- **Bernardo, R. 2008.** Molecular markers and selection for complex traits in plants: Learning from the last 20 years. Crop Sci 48: 1649-1664.
- **Benz, B.F. 2001.** Archaeological evidence of teosinte domestication from GuiláNaquitz, Oaxaca. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 98(4):2104-2106.
- **Bielicki, T. 1962.** Some possibility for estimating inter-population relationships on the basison continuos traits. Current Anthropol. 3:3-8.
- **Blackith, R.E. and Reyment, R.A. 1971.** Multivariate Morphometrics. Academic Press, London and New York. 412 pp.
- **Blas, R.; Ribaut, J.; Warburton, M.; Chura, J. y Sevilla, R. 2000.** Análisis molecular de razas de maíz peruano con marcadores AFLP y microsatélites (SSR). Cuarto Congreso Peruano de Genética. La Molina. Lima-Perú. Páginas 241-250.
- **Bonavia, D. 1982.** Los Gavilanes. Mar, desierto y oasis en la historia del hombre. Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE). Instituto Arqueológico Alema, Lima.

- **Brown, J.S. 1991.** Principal component and cluster analyses of cotton cultivar variability across the U.S. cotton belt. *Crop Sci.* 31:915-922.
- **Cain, A.J. and Harrison, G.A. 1958.** An analysis of the taxonomist's judgement of affinity. *Proc. Zool. Soc. Lond.* 131:85-98.
- **Cardenas, G.C. 1976.** Correlación entre características de panoja y de mazorca en razas de maíces peruanos. Tesis para optar el título de Ingeniero Estadístico UNA. La Molina. Lima-Perú
- **Casas, E.; Hanson, W.D. and Wellhausen, E.J. 1968.** Genetic relationships among collections representing three Mexican race composites of *Zea mays* L. *Genetics* 59:299-310.
- **Charmet, G.; Balfourier, F. and Bion, A. 1990.** Agronomic evaluation of a collection of French perennial ryegrass populations: multivariate classification using genotype x environment interactions. *Agronomie* 10:807-823.
- **Cheetham, A.H. and Hazel, J.E. 1969.** Binary (presence-absence) similarity coefficients. *J. Paleontol.* 43:1130-1136.
- **Cuadras, C.M. 1982.** Métodos de Análisis Multivariante. Ed. Universitaria de Barcelona.
- **Cuadras, C. M.; Valero, S.; Cuadras, D.; Salembier, P. and Chanussot, J. 2012.** Distance-based measures of association with applications in relating hyperspectral images. *Comm. Stat., Theor.-Meth.*, 41, 2342-2355.
- **Clifford; H.T. and Stephenson, W. 1975.** An introduction to numerical classification. Academic Press. New York, USA.

- **Doedley, J.F. 1990.** Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ Bot* 44 (3 supplement): 6-27.
- **Dowswell, C. R.; Paliwal, R. C. and Cantrell, R. P. 1996.** Maize in the third world. Westview Press. Colorado. 268 pp.
- **Dunn, G. and Everitt, B.S. 1982.** An introduction to mathematical taxonomy. Cambridge University Press. UK.
- **Eades, D.C. 1965.** The inappropriateness of the correlation coefficient as a measure of taxonomic resemblance. *Syst. Zool.* 14:98-100.
- **Esquivel, M.; Castiñeiras, L. and Hammer, K. 1990.** Origin, classification, variation and distribution of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in the light of Cuban material. *Euphytica* 49:89-97.
- **Flury, B. 1997.** A First Course in Multivariate Statistics. Springer, N.York.
- **Felsenstein, J. 1983.** Computers in systematics: one perspective. p. 600-619. En J.Felsenstein (ed.). *Numerical Taxonomy*. Springer-Verlag. New York, USA.
- **Fundora, Z.; Díaz, M.; Báez, M.R. y Soto, J.A. 1988.** Análisis de los componentes principales de la variación en siete cultivares de cebolla. *Ciencias de la Agricultura* 33:78-81.
- **Gale, M. 2002.** Applications of Molecular Biology and Genomics to Genetic Enhancement of Crop Tolerance to Abiotic Stress-A discussion Document. CGIAR Interim Science Council-FAO. Rome, Italy.
- **Galinat, W. C. 1995.** The origin of corn. *Economic Botany*, 49 (1): 3-12.

- **Gnanadesikan, R. 1977.** Methods for statistical data analysis of multivariate observations. John Wiley and Sons. New York, USA.
- **Goodman, M.M. 1967.** The races of maize: I. the use of mahalanobis generalized distance to measure morphological similarity. North Carolina State Univ. Raleigh 4:1- 22.
- **Goodman, M.M. and Brown, W.L. 1988.** Races of corn. In: Sprague G.F. and Dudley J.W. editors. Corn and Corn Improvement. Agronomy Monograph N°18 ASA. Madison, Wisconsin, WI, USA.
- **Goodman, M.M. 2004.** Plant Breeding Requirements for Applied Molecular Biology. Crop Sci 44: 1913-1919.
- **Gower, J.C. 1966.** Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. Biometrika 53:325-338.
- **Grobman, A.; Salhuana, W. and Sevilla, R. in collaboration with Mangelsdorf, P.C. 1961.** Races of Maize in Perú. Their origins, evolution and classification. Nat. Ac. of Sciences, Nat. Res. Council. Publication N° 915. Washington, D.C. USA.
- **Hamon, S.; Frison, E. and Navarro, L. 2004.** Connecting plant germoplasm collections and genomic centres: how to better link curators, Molecular biologists and geneticist? En: De Vicente M.C. 2004. The Evolving Role of Genebanks in the Fast-developing Field of Molecular Genetics. Ed. de Vicente. Issues in Genetic Resources N°XI, August 2004. International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy.
- **Hanson, W.D. 1984.** Intergradation among Latin American maize based on an analysis of chromosome knob frequencies. Theor. Appl. Genet. 68:347-354.

- **Heywood, V.H. 1968.** Plant taxonomy today. p. 3-12. En V.H. Heywood (ed.). Modern methods in plant taxonomy. Academic Press. London, UK.
- **Illoh, H.C. and Olorode, O. 1991.** Numerical taxonomic studies of mango (*Mangifera indica* L.) varieties in Nigeria. *Euphytica* 51:197-205.
- **Irgoien, I. and Arenas, C. 2008.** INCA: New statistic for estimating the number of clusters and identifying atypical units. *Statistics in Medicine*, 27, 2948-2973.
- **Jardine, N. and Sibson J. 1971.** Mathematical taxonomy. John Wiley and Sons. New York, USA.
- **Johal, G. S.; Balint-Kurti P. y Weil C.F. 2008.** Mining and Harnessing Natural Variation: A little MAGIC. *Crop Sci* 48: 2006-2073.
- **Johnson, S.C. 1967.** Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika* 32:241-254.
- **Judez, L. 1989.** Técnicas de análisis de datos multidimensionales. Ed. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- **Kiesselbach, T.A. 1949.** The structure and reproduction of corn. Univ. of Nebraska. Col. Of Ag. Exp. Station. Research Bulletin 161. Lincoln, Nebraska. USA.
- **Krzanowski, W. J. and Radley, D. 1989.** Nonparametric confidence and tolerance regions in canonical variate analysis. *Biometrics*, 45, 1163-1173.
- **Kuleshov, N.N. 1929.** The geographical distribution of the varietal diversity of Maize in the world. *Bull. Appl. Bot. Genet. Plant Breeding* 20:506-510.
- **Kumar, M. and Sachan, J.K.S. 1991.** Maize and its Asiatic relatives. In K.R. Sarkar, N.N. Singh & J.K.S. Sachan, eds. *Maize genetics perspectives*, p. 32-52. New Delhi, Indian Society of Genetics and Plant Breeding.

- **Kuruvadi, S. 1988.** Multivariate analysis of genetic divergence in wheat. *Turrialba*38:267-271.
- **Lance, G.N. and Williams, W.T. 1967.** A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. *Computer J.* 9:373-380.
- **Lee, M. 2006.** The Phenotypic and Genotypic Eras of Plant Breeding. En: *Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer Int. Symposium.* Ed: K. Lamkey y M. Lee. Cap 15: 213-218. Blackwell Pub. Ames, Iowa. USA.
- **Leujene, M. and T. Calinski. 2000.** Canonical analysis applied to multivariate analysis of variance. *J. of Multivariate Analysis*, 72, 100-119.
- **Lin, C.S. 1982.** Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype environment interaction mean square. *Theor. Appl. Genet.* 62:277-280.
- **López, M. 1996.** Caracterización de seis variedades de maíz para Sierra alta en diferentes niveles tecnológicos. Tesis para optar el título de ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima-Perú. 80 p.
- **Mahalanobis, P.C. 1936.** On the generalized distance in statistics. *Proc. Nat. Inst. Sci. India* 2:49-55.
- **Mangelsdorf, P.C. 1974.** Corn, its origin, evolution, and improvement. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.
- **Mangelsdorf, P.C. y Smith, C.E. 1949.** New archaeological, evidence and evolution in maize. *Bot, Mus, Leaflets Hav. Univ.*, 13: 213-247.
- **Mayr, E. 1942.** Systematics and the origin of species. Columbia University Press. New York. 1942.

- **Mayr, E. 1966.** The proper spelling of taxonomy. *Syst. Zool.* 15:88 pp.
- **Mink, S. D. and Dorosh, P. A. 1987.** An overview of corn production. In: *The corn economy of Indonesia.* Cornell University Press, London.
- **Molina-Cano, J.L. 1977.** Numerical taxonomy as an aid to barley germplasm collection. *Barley Genet. News.* 7:45-50.
- **Molina-Cano, J.L.; García Del Moral, L.F.; Ramos, J.M; García, Del Moral M.B.; Jiménez-Tejada, P.; Romagosa, I. and Roca De Togores E. 1990.** Quantitative phenotypical expression of three mutant genes in barley and the basis for defining an ideotype for Mediterranean environments. *Theor. Appl. Genet.* 80:762-768.
- **Morrison, D.F. 1976.** *Multivariate Statistical Methods.* International Student Edition. Ed. McGraw-Hill Book Co. New York, USA.
- **Ortiz, R. 2008.** Crop Genetic Engineering Under Global Climate Change. *Annals of Arid Zone.* 47 (3&4): 1-12.
- **Ortiz, R. 1985.** Efecto ambiental, interacción genotipo medio ambiente y heredabilidad de las características morfológicas usadas en la clasificación racial de maíz en la sierra del Perú. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. UNALM. Lima – Perú. 72 p.
- **Oscanoa, C.; Sevilla, R. 2013.** Mejoramiento Conservativo de maíz en la sierra del Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Estación Experimental Santa Ana. Huancayo. Junín, Perú.
- **Paterniani, E. 2000.** Evolución del maíz. In: Fontana, N, H.; González, N. C. (eds). 2000. *El maíz en Venezuela.* Fundación Polar. Caracas. 530 pp.

- **PCIM. 2004.** Cincuenta años del programa cooperativo de investigaciones en maíz (PCIM). 1953-2003. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 537 pp.
- **Pearson, K. 1926.** On the coefficient of racial likeness. *Biometrika* 18:105-117.
- **Peña, D. 2002.** Análisis de Datos Multivariantes. McGraw Hill Inter-americana, Madrid.
- **Pohl, M.E.D.; Piperno, D.R.; Pope, K.O. and Jones, J.G. 2007.** Microfossil evidence for pre-Columbian maize dispersals in the neotropics from San Andrés, Tabasco, Mexico. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 104(16):6870-68
- **Ramey, T.B.; Rosielle, A.A. 1983.** HASS cluster analysis: a new method of grouping genotypes or environments in plant breeding. *Theor. Appl. Gen.* 66:131-133.
- **Rao, C.R. 1948.** The utilization of multiple measurements in problems of biological classification. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. 10*:159-193.
- **Rogers, D.J. 1963.** Taximetrics, new name, old concept. *Brittonia* 15:285-290.
- **Rhodes, A.M.; Carmer, S.G. and Courter, J.W. 1969.** Measurement and classification of genetic variability in horseradish. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94:98-102.
- **Rohlf, F.J. 1969.** Grafpac, graphic output subroutines for the GE 635 computer. *Kansas Geol. Surv. Computer Contrib.* 36:50 pp.

- **Salhuana, W.R.; Sevilla, R. and Berhart, E. 1997.** LAMP (Latin American Maize Project) final report. Pioneer. Hi. Bred. International Spec. Pub. G12083. Johnston, IA. 146 pp.
- **Salhuana, W.R. 2004.** Diversidad y descripción de las razas de maíz en el Perú. Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM). La Molina. Lima-Perú. pp 204-251.
- **Sevilla, R. 1975.** Razas de maíz: Piricinco. Informativo del maíz N° 8. Julio-Agosto 1975. PCIM-UNA. La Molina. Lima-Perú.
- **Sevilla, R. 1994.** Variation in modern Andean maize and its implications for Prehistoric patterns. pp. 219-244. In: S. Johannessen, C.A. Hastorf (Eds.), Corn and culture in the Prehistoric New World. Westview Press.
- **Sneath, P.H.A. 1957.** The application of computers to taxonomy. J. Gen. Microbiol.17:201-226.
- **Sneath, P.H.A.; Sokal, R.R. 1973.** Numerical taxonomy. Freeman W.H. and Co. San Francisco, California, USA.
- **Sneath, P.H.A. 1976.** Some applications of numerical taxonomy to plant breeding. Z. Pflanzenzüchtung 76:19-46.
- **Sokal, R.R. and Michener C.D. 1958.** A statistical method for evaluating systematics relationships. Univ. Kansas Sci. Bull. 38:1409-1438.
- **Sokal, R.R. and Sneath, P.A. 1963.** Principles of numerical taxonomy. Freeman W.H. and Co. San Francisco, California, USA.

- **Sorrells, M. 2006.** Applications of Comparative Genomics to Crop Improvement. En: Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer Int. Symposium. Ed: K. Lamkey y M. Lee. Cap 12: 171-181. Blackwell Pub. Ames. Iowa. USA.
- **Spagnoletti-Zeuli, P.L.; Pace, C. and DePorceddu, E. 1984.** Variation in durum wheat populations from three geographical origins. I. Material and apike characteristics. *Euphytica* 33:563-574.
- **Spearman, Ch. 1904.** General intelligence objectively determined and measured. *American J. of Psychology*, 15, 201-293.
- **Taba, S. 1995.** Maize Germplasm: Its Spread, Use and Strategies for Conservation, en: S. Taba (ed.), *Maize Genetic Resources*, Maize Program Special Report, 7-58, Cimmyt, México.
- **Towle, M.A. 1961.** The Ethnobotany of Pre-Columbian Peru, Viking Fund Publications in Anthropology 30, Wenner Gren Foundation for Anthropological Research, New York.
- **Vega, J. 2003.** Caracterización de la mazorca y selección de la variedad de maíz PMS-636 en la sierra central del Perú. Tesis para optar el título de ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima-Perú. 65 p.
- **Vega, S.S. (1972).** Análisis discriminante para la diferenciación de razas de maíz. Tesis para optar el título de Ingeniero Estadístico UNA. La Molina. Lima-Perú.
- **Villagarcia, S.; y Aguirre, G. 1994.** Manual de uso de fertilizantes. Departamento de suelos y fertilizantes. UNALM. Lima-Perú.
- **Waller, N. G. 2011.** The geometry of enhancement in multiple regression. *Psychometrika*, 76, 634-649.

- **Wang, R. L., Stec, A.; Hey, J., Lukens L. y Doebley, J. 1999.** The limits of selection during maize domestication. *Nature* 398: 236-239.
- **Wilkes, G. 1989.** Maize: domestication, racial evolution and spread. In: Harris, D. R.; Hillman, C. (eds.). *Foraging and Farming*. Unwin Hyman. London. pp. 441-455.
- **Wilkes, H. G. 2004.** Corn, strange and marvelous: But is a definitive origin known? *In: Smith C.W., J. Betran and E.C.A. Reinge (eds.). Corn: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 3-63.

VIII. ANEXOS



Figura 18: En esta figura se muestra la accesión TUM-016 (raza Aleman).



Figura 19: En esta figura se muestra la accesión UCA Y-020 (raza Cubano dentado amarillo).



Figura 20: En esta figura se muestra la accesión LIB-006 (raza Colorado).



Figura 21: En esta figura se muestra la accesión AREQ-019 (raza Coruca).



Figura 22: En esta figura se muestra la accesión LIM-048 (raza Perla).



Figura 23: En esta figura se muestra la accesión LIM-089 (raza Chancayano).



Figura 24: En esta figura se muestra la accesión LIM-077 (raza Kculli).



Figura 25: Dispositivo usado para medir longitud y diámetro de mazorca.



Figura 26: Medición del diámetro medio de mazorca.



Figura 27: Medición de la longitud de mazorca.

Cuadro 12: Contribuciones relativas y eigen-valor para los 18 componentes principales.

DESCRIPTOR	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18
Altura de planta	0.93	0.11	0.09	0.11	0.07	0.06	0.15	0.13	0.10	0.04	0.05	0.09	0.07	0.14	0.00	0.04	0.06	0.00
Altura de la mazorca más alta	0.92	0.10	0.05	0.11	0.03	0.07	0.22	0.15	0.10	0.13	0.04	0.04	0.08	0.09	0.02	-0.01	-0.06	0.00
Nudo de inserción de la mazorca más alta	0.90	0.17	-0.20	0.07	0.00	0.08	0.20	0.04	0.06	0.13	0.07	-0.14	-0.01	-0.12	-0.01	-0.10	0.02	0.00
Número total de hojas	0.87	0.29	-0.24	0.12	0.03	0.14	0.06	-0.03	0.08	-0.08	0.08	-0.11	-0.01	-0.13	0.01	0.12	-0.01	0.00
Número de hojas sobre la mazorca más alta	0.78	0.29	-0.17	0.16	0.12	0.17	-0.13	-0.08	0.10	-0.41	0.01	0.10	-0.01	0.03	-0.01	-0.05	-0.01	0.00
Área de la hoja adyacente a la mazorca más alta	0.84	0.02	0.24	0.06	-0.02	-0.12	0.23	-0.07	-0.02	-0.01	-0.37	0.09	-0.05	-0.08	-0.03	0.01	0.00	0.00
Longitud de pendón	0.58	-0.39	0.42	-0.03	-0.06	-0.39	0.18	0.14	-0.22	-0.24	0.13	-0.11	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
Color de tallo	-0.43	-0.04	-0.12	-0.66	0.47	-0.14	0.17	0.05	0.30	-0.07	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
Longitud de mazorca	0.75	0.17	0.41	-0.22	0.06	-0.15	-0.14	-0.20	0.01	0.11	0.19	0.18	0.05	-0.11	-0.02	0.00	0.00	-0.01
Diámetro superior de mazorca	0.52	-0.78	-0.07	-0.12	-0.19	0.18	-0.07	-0.01	0.11	0.00	-0.03	-0.05	-0.01	0.03	-0.09	0.00	0.00	-0.03
Diámetro inferior de mazorca	0.58	-0.77	-0.08	0.03	-0.05	-0.02	-0.10	-0.10	0.13	0.04	0.03	0.00	0.01	0.00	-0.10	0.01	0.00	0.03
Porcentaje de conicidad de la mazorca	-0.29	-0.33	-0.38	0.59	0.31	-0.44	0.01	-0.12	0.12	0.04	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01
Diámetro medio de mazorca	0.53	-0.80	-0.02	-0.13	-0.10	0.07	-0.03	-0.05	0.06	-0.02	-0.02	0.04	0.00	-0.03	0.20	-0.01	0.00	0.00
Número de hileras por mazorca	0.48	-0.13	-0.65	-0.27	0.14	0.03	0.13	-0.20	-0.41	0.01	0.00	0.05	0.08	0.03	-0.02	0.00	0.00	0.00
Número de granos por hilera	0.73	0.37	0.23	-0.08	0.04	-0.11	-0.13	-0.41	0.06	0.05	-0.07	-0.19	0.01	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00
Disposición de hileras	0.09	0.39	-0.46	-0.21	-0.66	-0.35	0.03	0.00	0.16	-0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Días a la floración masculina	0.87	0.11	-0.18	-0.08	0.13	-0.11	-0.15	0.15	-0.08	0.11	0.04	0.04	-0.30	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00
Días a la floración femenina	0.78	0.11	-0.12	-0.09	0.14	-0.16	-0.39	0.33	-0.05	0.02	-0.14	-0.06	0.16	-0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Eigen-Valor	8.82	2.68	1.44	1.07	0.89	0.67	0.50	0.49	0.43	0.30	0.24	0.15	0.14	0.10	0.06	0.03	0.01	0.00
PORCENTAJE DE VARIACIÓN TOTAL	48.98	14.89	7.98	5.93	4.94	3.72	2.76	2.70	2.39	1.66	1.31	0.84	0.75	0.56	0.35	0.16	0.04	0.01
PORCENTAJE ACUMULADO	48.98	63.88	71.86	77.79	82.73	86.45	89.21	91.91	94.30	95.96	97.27	98.11	98.86	99.43	99.78	99.94	99.99	100.00

Cuadro 13: Matriz básica de datos primera parte

DESCRIPTOR	ANC-006	ANC-019	ANC-026	ANC-030	AREQ-019	AREQ-051	AREQ-070	CUZ-242	CUZ-328	HCO-198	LBQU-049	LBQU-071	LBQU-073	LBQU-078	LBQU-101
Altura de planta (cm)	256.1	216.8	267.8	225.6	249.8	250.6	196.1	282.7	282.5	277.7	142.2	214.2	150.5	148.4	169.7
Altura de mazorca (cm)	165.2	120.5	177.3	140.3	161.6	155.3	111	182.9	183.9	188.4	79	125.2	88.6	85.6	101.3
Nudo de inserción de mazorca	8.8	6.5	8.9	7.3	7.8	7.7	5.7	8.6	8.9	9.4	4.9	7.5	5.7	5.9	6
Número total de hojas	14	12.4	14.4	12.7	13.9	13.4	10.7	15.1	13.9	15.2	8.5	13.1	9.5	10.5	10.7
Número de hojas sobre la mazorca	4.9	5	5.2	4.8	5.3	5.1	4.9	6.3	5.3	5.7	3.7	5.3	4.3	4.8	4.4
Área foliar (cm ²)	753.05	787.19	734.15	666.07	720.39	653.06	527.08	714.95	749.45	882.41	533.40	681.24	617.85	616.30	662.96
Longitud de pendón (cm)	46.85	47.5	49.1	46.38	47.68	46.89	39.46	46.33	51.14	49.21	42.72	44.91	42.39	44.2	42.35
Color de tallo	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2
Longitud de mazorca (cm)	13.02	16.81	15.14	17.64	14.48	14.76	12.00	14.85	18.66	16.23	11.45	13.10	12.14	11.57	11.71
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.65	3.88	4.40	4.02	4.49	3.95	4.10	4.30	4.18	3.89	3.75	3.70	4.18	4.07	3.61
Diámetro inferior de mazorca (cm)	5.17	4.40	4.97	4.67	5.18	4.60	4.50	4.70	4.96	4.43	4.28	4.60	4.58	4.67	4.16
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.91	4.66	5.71	5.54	7.09	6.62	5.00	4.22	6.31	5.15	7.10	10.31	4.88	7.64	7.04
Diámetro medio de mazorca (cm)	5.03	4.19	4.73	4.42	4.89	4.34	4.40	4.60	4.52	4.05	4.03	4.00	4.40	4.48	3.91
Número de hileras por mazorca	14.17	12.67	14.29	12.22	13.50	11.00	10.00	15.50	14.80	13.50	12.67	12.00	13.00	13.00	13.14
Número de granos por hilera	19.72	26.44	25.29	26.33	26.63	22.29	21.33	28.67	29.20	30.71	21.28	26.33	20.73	19.56	23.38
Disposición de hileras	1	1	1	1	1	2	1	1	2	4	1	1	1	1	2
Días a la floración masculina	117	109	116	103	111	111	95	124	124	124	94	112	96	93	102
Días a la floración femenina	123	115	124	110	116	118	101	130	130	130	102	117	103	102	109

Cuadro 14: Matriz básica de datos segunda parte.

DESCRIPTOR	LBQU-102	LBQU-106	LBQU-108	LBQU-122	LIB-005	LIB-006	LIB-007	LIB-008	LIB-010	LIB-012	LIB-013	LIB-015	LIB-017	LIB-019	LIB-020
Altura de planta (cm)	148.7	143.8	134.3	245.7	258.7	258.2	234.1	246.1	283.4	276.2	226.1	239.3	251.1	256.4	316.9
Altura de mazorca (cm)	81.4	79.1	76	155.3	174.4	169	137.4	166.2	164.9	178.1	132.4	144.8	158.5	158.4	232.2
Nudo de inserción de mazorca	5.7	5.1	5.3	8.1	9.1	8.9	7	8.8	7.9	8.8	7.6	8.2	8.6	8.3	10.8
Número total de hojas	10.4	9.4	8.7	13.6	15.5	14.5	12.6	13.7	14	14.1	12.8	13.3	14.5	13.6	15.7
Número de hojas sobre la mazorca	4.5	4.5	3.7	5.2	5.8	5.2	5.3	4.9	6.3	5.2	5.2	4.9	5.3	5	5.5
Área foliar (cm ²)	521.83	600.62	521.52	828.23	755.32	861.37	768.47	706.43	883.53	766.47	758.08	698.00	736.54	884.14	888.46
Longitud de pendón (cm)	38.16	42.81	42.53	51.6	43.3	48.24	48.71	44.61	49.87	51.9	47.7	46.78	51.08	50.97	49.51
Color de tallo	2	3	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1
Longitud de mazorca (cm)	11.47	10.33	10.36	16.17	14.96	15.65	18.62	16.05	15.56	15.71	14.10	15.22	16.29	18.58	15.42
Diámetro superior de mazorca (cm)	3.70	4.12	3.84	4.46	4.29	4.02	4.47	4.10	4.59	4.60	4.53	4.72	4.83	4.58	4.73
Diámetro inferior de mazorca (cm)	4.28	4.65	4.24	5.10	4.84	4.77	5.28	4.70	5.30	5.31	5.33	5.42	5.41	5.13	5.52
Porcentaje de conicidad de la mazorca	7.67	7.78	5.89	5.92	5.72	7.42	6.58	5.70	7.02	7.18	8.24	6.93	5.38	4.50	7.65
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.08	4.43	4.12	4.93	4.56	4.40	4.90	4.48	5.04	5.09	5.13	5.06	5.19	4.97	5.18
Número de hileras por mazorca	12.67	13.00	13.20	14.86	12.71	14.00	13.83	13.83	16.14	14.43	14.00	14.80	15.00	14.50	15.89
Número de granos por hilera	20.56	17.28	18.93	29.24	24.76	26.61	27.78	26.94	27.52	26.24	22.89	25.73	25.14	26.17	24.48
Disposición de hileras	2	2	2	4	1	2	1	4	1	1	2	2	1	2	1
Días a la floración masculina	96	95	98	112	94	124	122	122	123	124	123	123	118	123	126
Días a la floración femenina	105	101	103	121	131	132	132	131	131	132	132	131	123	129	132

Cuadro 15: Matriz básica de datos tercera parte.

DESCRIPTOR	LIB-026	LIB-027	LIB-029	LIB-030	LIB-033	LIB-036	LIB-037	LIB-179	LIB-180	LIB-190	LIB-191	LIB-192	LIB-195	LIB-200	LIB-202
Altura de planta (cm)	237.5	261.6	228.2	239.3	239.7	235.1	243	237.8	165.9	149.7	185.1	191.2	185.7	221.4	218.7
Altura de mazorca (cm)	156.9	166.1	142.6	160	153.3	150.8	146	151.9	102.9	83.4	106.5	115.1	109.5	137.6	136.1
Nudo de inserción de mazorca	7.9	7.7	8	8.2	8.2	8.5	7.4	7.7	6.5	5.4	7.3	7.4	7.2	7.6	7.7
Número total de hojas	13	13.4	13.7	13.2	13.9	13.8	13.5	13.2	11	10.8	13.2	13.4	13.6	13.9	13.4
Número de hojas sobre la mazorca	4.9	5.5	5.4	5	5.1	4.9	5.1	4.7	4.5	4.2	5.1	4.7	5.1	5.1	5.1
Área foliar (cm ²)	866.64	843.25	688.86	709.86	757.07	753.70	685.13	743.31	748.34	482.02	649.70	660.82	592.76	702.49	677.51
Longitud de pendón (cm)	52.91	44.51	46.1	47.68	45.94	48.5	47.92	44.56	40.7	40.28	45.61	43.25	38.54	43.98	43.84
Color de tallo	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2
Longitud de mazorca (cm)	18.77	16.95	15.23	15.47	15.30	14.30	14.77	14.29	12.52	10.11	12.93	13.27	13.20	11.65	17.00
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.23	4.15	4.45	4.44	4.31	4.73	4.48	4.12	4.12	3.77	4.10	4.27	4.24	4.15	3.60
Diámetro inferior de mazorca (cm)	4.93	4.55	5.05	4.98	4.91	5.30	5.08	4.60	4.68	4.16	4.67	4.77	4.86	4.85	4.00
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.93	3.55	6.10	5.44	5.74	5.92	6.15	5.07	6.74	5.54	6.62	5.67	7.18	9.03	3.53
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.80	4.55	4.80	4.80	4.76	5.01	4.67	4.42	4.42	3.94	4.47	4.50	4.52	4.60	4.20
Número de hileras por mazorca	13.33	14.50	13.50	12.80	14.75	14.86	13.33	13.60	13.60	12.57	14.00	12.00	13.60	17.00	12.00
Número de granos por hilera	30.44	23.33	24.17	23.73	23.88	25.57	25.11	25.97	24.87	17.95	25.89	24.89	25.47	25.17	29.33
Disposición de hileras	1	1	1	1	1	4	2	2	2	1	4	2	2	2	2
Días a la floración masculina	122	118	124	112	112	121	122	108	98	96	87	108	110	110	109
Días a la floración femenina	133	128	133	87	118	125	130	116	103	105	92	116	118	116	115

Cuadro 16: Matriz básica de datos cuarta parte.

DESCRIPTOR	LIB-221	LIB-223	LIB-229	LIB-235	LIB-238	LIB-248	LIM-001	LIM-004	LIM-013	LIM-014	LIM-017	LIM-018	LIM-024	LIM-036	LIM-038
Altura de planta (cm)	213.1	177.6	176.8	173.7	170.3	187.2	296.1	271.8	259.8	201	296.5	266.9	205.7	258.7	181.2
Altura de mazorca (cm)	130.6	108.3	103	100.6	107.9	113.3	196.4	181.5	156.4	115.8	188	177.1	119.4	176.2	114
Nudo de inserción de mazorca	7	6.4	6.2	5.9	6.2	6.7	9.4	8.9	8.2	6.6	8.7	8.5	7	8.6	6.7
Número total de hojas	13	11.6	11.8	10.9	11.3	12.2	16.5	15.1	15.2	12.5	15.4	14.8	13.8	14.8	12.1
Número de hojas sobre la mazorca	4.8	4.3	4.5	4.3	4	4.5	6.4	5.2	6.1	5.2	5.7	5.8	5.5	5.4	4.7
Área foliar (cm ²)	701.00	664.25	596.88	622.15	541.29	580.97	865.07	828.15	781.45	731.63	904.43	862.97	733.18	938.15	689.79
Longitud de pendón (cm)	42.6	48.56	43.16	45.47	43.12	38.03	46.27	50.25	44.08	48.48	48.17	49.15	42.75	50.2	38.8
Color de tallo	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2
Longitud de mazorca (cm)	12.63	10.79	12.11	15.49	12.66	11.98	15.69	16.20	16.57	17.07	17.79	16.30	15.41	15.47	13.95
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.00	4.14	3.89	3.96	3.87	4.08	4.09	4.03	4.06	3.70	4.18	4.60	3.79	4.80	3.63
Diámetro inferior de mazorca (cm)	4.50	4.79	4.48	4.73	4.44	4.50	4.83	4.72	4.70	4.45	4.93	5.37	4.33	5.37	4.23
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.88	9.25	7.36	7.48	6.74	5.38	7.42	6.29	5.79	6.54	6.38	7.08	5.42	5.18	6.50
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.38	4.56	4.22	4.44	4.20	4.35	4.47	4.42	4.29	4.18	4.61	5.07	4.04	5.18	3.93
Número de hileras por mazorca	12.25	13.33	12.78	13.50	12.40	13.75	13.30	13.20	13.43	9.67	12.25	14.67	11.25	13.67	12.00
Número de granos por hilera	23.42	20.44	22.04	25.38	21.53	22.00	28.93	27.47	29.62	29.83	31.58	31.44	27.96	26.17	28.08
Disposición de hileras	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	4	2
Días a la floración masculina	109	97	96	98	96	97	122	117	121	110	118	123	110	112	97
Días a la floración femenina	116	105	105	104	103	103	129	123	124	116	123	129	117	121	105

Cuadro 17: Matriz básica de datos quinta parte.

DESCRIPTOR	LIM-044	LIM-047	LIM-048	LIM-068	LIM-071	LIM-075	LIM-076	LIM-077	LIM-078	LIM-080	LIM-081	LIM-083	LIM-084	LIM-086	LIM-088
Altura de planta (cm)	315.8	273.7	303.3	161.5	247.3	258.9	257.6	178.5	261.7	264.6	269.7	270.5	186.3	291.8	193.2
Altura de mazorca (cm)	214.4	175.3	197.7	96.9	153.4	160.5	153.1	91.8	165.8	169.8	176.3	171.9	99.8	194.1	113.8
Nudo de inserción de mazorca	9.5	8.7	8.8	5.2	7.2	7.1	7.1	5	7.7	7.3	7.8	7.8	5.1	8.8	5.5
Número total de hojas	14.9	14.9	15	9.8	12.6	12.2	13.4	10.5	14.2	13.5	13.5	13.5	10.6	15.2	11.2
Número de hojas sobre la mazorca	5.5	5.4	5.6	4.2	5	5.2	5.4	5.1	5.5	5.2	5.1	5.4	5	5.8	4.8
Área foliar (cm ²)	909.14	868.30	820.03	486.21	739.65	795.05	809.91	528.01	860.78	882.42	866.16	873.03	570.23	935.71	687.09
Longitud de pendón (cm)	38.8	47.55	46.64	37.61	52.26	50.79	52.49	42.33	45.43	49	49.02	50.33	46.08	48	46.05
Color de tallo	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1
Longitud de mazorca (cm)	17.43	18.65	16.50	9.20	19.10	15.65	14.29	13.23	16.06	16.41	16.96	15.19	14.85	14.65	13.80
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.17	3.88	3.88	4.00	4.35	3.93	4.16	4.10	4.90	4.36	4.49	4.20	4.03	4.25	4.06
Diámetro inferior de mazorca (cm)	4.78	4.67	4.70	4.58	5.10	4.47	4.78	4.77	5.50	4.99	5.06	4.80	4.60	4.85	4.61
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.32	6.35	7.51	9.90	5.72	5.02	6.79	7.50	5.61	5.62	4.94	5.83	6.09	5.95	6.08
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.47	4.30	4.34	4.37	4.88	4.32	4.54	4.43	5.31	4.74	4.86	4.53	4.31	4.70	4.44
Número de hileras por mazorca	13.00	14.00	13.00	9.17	11.00	10.00	12.33	11.33	14.50	12.00	12.33	11.14	11.10	13.50	10.89
Número de granos por hilera	32.72	32.50	27.08	14.94	31.83	25.22	22.89	22.11	28.17	29.57	27.89	26.14	24.97	28.92	24.41
Disposición de hileras	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Días a la floración masculina	123	117	118	91	109	109	109	97	112	112	112	112	97	124	103
Días a la floración femenina	130	122	125	96	116	116	116	105	118	117	117	117	135	129	139

Cuadro 18: Matriz básica de datos sexta parte.

DESCRIPTOR	LIM-089	LIM-090	LOR-016	LOR-021	LOR-027	LOR-029	LOR-040	LOR-042	LOR-044	M.DI-003	M.DI-010	M-DI-015	M.DI-022	M.DI-024	M.DI-025
Altura de planta (cm)	315	262.2	259.4	260.6	258.5	260.8	219.2	252.5	249.1	212.7	259.7	200.1	256.5	264.9	213.3
Altura de mazorca (cm)	197.8	169	161.6	158	160.1	169	134.2	158.4	158.8	136.2	163	123	154.5	168.9	128.4
Nudo de inserción de mazorca	8.5	7.7	8.8	8.4	9.2	9	7.7	8	8.5	7.7	8.4	7	7.8	8.4	6.2
Número total de hojas	13.8	12.8	16	15.2	15.9	15.4	13.7	14.1	14.7	13.8	14.4	13.1	14.2	14.6	11.9
Número de hojas sobre la mazorca	5.4	4.9	6.1	6	5.9	5.7	5.1	5.4	5.7	5.2	5.4	5	5.4	5.6	4.9
Área foliar (cm ²)	886.97	881.10	747.00	799.50	805.91	823.91	579.08	792.90	744.15	588.04	856.46	597.00	757.13	730.31	598.13
Longitud de pendón (cm)	50.45	46.75	41.2	44.5	42.2	47.5	43.1	44.6	45.5	39.3	46	38.5	47.5	47.7	39.1
Color de tallo	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2
Longitud de mazorca (cm)	20.45	15.77	15.79	12.00	16.78	15.49	15.99	16.10	15.33	13.53	15.19	13.88	15.20	15.81	14.38
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.45	4.13	4.08	3.95	3.72	3.91	3.69	4.27	3.99	3.67	3.89	3.86	3.93	4.16	3.44
Diámetro inferior de mazorca (cm)	5.15	4.80	4.66	4.50	4.30	4.59	4.40	5.00	4.59	4.35	4.53	4.59	4.61	4.56	3.98
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.21	6.46	5.69	7.13	5.17	6.79	6.81	6.72	5.95	7.72	6.67	8.10	6.81	3.93	5.63
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.90	4.55	4.37	4.35	4.06	4.26	4.00	4.70	4.28	3.96	4.29	4.34	4.21	4.47	3.66
Número de hileras por mazorca	12.00	12.40	13.44	14.00	13.20	14.00	14.86	15.29	14.75	13.80	12.71	14.88	14.29	15.00	14.00
Número de granos por hilera	37.50	25.47	29.30	24.50	32.87	30.03	26.81	28.19	26.38	24.20	25.33	23.04	29.67	27.76	20.67
Disposición de hileras	1	2	1	1	4	2	1	1	1	4	4	2	1	4	2
Días a la floración masculina	118	112	112	116	122	123	112	121	112	112	120	112	121	123	111
Días a la floración femenina	124	118	118	119	125	125	116	125	118	116	125	118	125	125	116

Cuadro 19: Matriz básica de datos séptima parte.

DESCRIPTOR	PAS-006	PAS-014	PAS-018	PAS-032	SMTI-031	SMTI-057	SMTI-058	SMTI-059	SMTI-074	SMTI-083	SMTI-123	SMTI-124	SMTI-126	SMTI-127	SMTI-129
Altura de planta (cm)	257.5	276.1	259.2	263.6	238.5	226.5	241.3	246.6	250.9	266.7	247.8	257.5	271.2	274.8	264.5
Altura de mazorca (cm)	171.7	172	158.8	169.5	151.9	139.4	145.7	148.1	156.9	168.6	152.5	164.3	182.3	183.7	173.8
Nudo de inserción de mazorca	9.1	8.7	8.5	8.7	7.9	8	7.9	8.3	8.5	9	8.3	8.3	10	9.1	9.4
Número total de hojas	15.4	15.4	14.7	14.9	13.8	14.3	14.3	15.5	14.9	15	15.5	15.6	16.5	15.7	15
Número de hojas sobre la mazorca	5.7	5.9	5.5	5.3	5.3	5.7	5.6	6.3	5.6	5.7	6.1	5.9	5.9	5.5	5.5
Área foliar (cm ²)	988.50	820.80	791.14	764.85	847.07	646.15	754.12	742.02	812.09	922.79	797.29	676.69	817.02	856.33	830.82
Longitud de pendón (cm)	48.4	42.7	40.9	42.7	50.41	41.95	46.4	43.75	47.15	49.02	43	42.9	42.2	47.79	47.32
Color de tallo	1	2	3	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2
Longitud de mazorca (cm)	17.11	15.86	17.09	16.16	16.49	15.49	17.57	15.78	16.09	16.62	15.10	14.20	16.79	16.14	14.56
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.08	3.81	4.07	4.05	4.11	4.04	4.06	4.50	4.20	4.27	4.10	3.95	3.96	4.07	4.28
Diámetro inferior de mazorca (cm)	4.71	4.49	4.54	4.76	4.71	4.57	4.50	5.38	4.80	4.98	4.74	4.41	4.50	4.67	4.89
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.72	6.34	4.28	6.55	5.58	5.23	3.77	8.28	5.52	6.30	6.48	4.75	4.78	5.62	6.43
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.39	4.18	4.31	4.36	5.39	4.32	4.27	4.95	4.47	4.55	4.40	4.25	4.28	4.37	4.53
Número de hileras por mazorca	13.78	14.75	13.56	14.50	16.50	13.78	14.29	16.88	14.00	14.00	14.25	13.75	14.20	13.86	14.67
Número de granos por hilera	35.41	31.88	33.41	30.96	27.71	31.48	30.05	27.42	28.96	32.72	28.00	29.08	30.20	26.95	28.26
Disposición de hileras	2	4	1	1	1	1	4	1	4	1	4	4	4	2	2
Días a la floración masculina	123	121	120	122	121	116	119	123	121	117	117	118	121	122	124
Días a la floración femenina	125	135	125	125	125	122	125	125	126	121	120	123	129	131	131

Cuadro 20: Matriz básica de datos octava parte.

DESCRIPTOR	SMTI-135	TUM-014	TUM-015	TUM-016	UCAY-005	UCAY-008	UCAY-009	UCAY-010	UCAY-011	UCAY-012	UCAY-019	UCAY-020	UCAY-035
Altura de planta (cm)	263.3	236.6	248.4	247.6	253.1	254.5	262.7	255.2	240.8	214.2	227.4	247.6	252.3
Altura de mazorca (cm)	166.6	145.1	156.7	157.4	162.3	162.2	170.5	162.4	142.7	126.7	151.5	152	152.1
Nudo de inserción de mazorca	8.6	8.2	7.9	8	9.2	8.7	8.8	8.9	7.7	7.6	8.6	8.6	7.8
Número total de hojas	15	14.7	14.4	14.3	15.6	15	14.6	15.4	14.9	13.9	15.4	15.7	14.2
Número de hojas sobre la mazorca	5.5	5.4	5.6	5.3	5.8	5.3	5.4	5.6	5.9	5.5	5.6	5.9	5.5
Área foliar (cm ²)	801.46	827.12	715.01	726.82	886.53	770.59	794.09	725.90	690.23	732.94	585.07	653.44	829.48
Longitud de pendón (cm)	47	45.25	48.35	47.4	45.63	44.47	43.7	46.87	42.85	46.95	39.72	45.19	48.02
Color de tallo	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1
Longitud de mazorca (cm)	17.93	17.31	17.40	14.86	16.40	16.24	16.47	14.02	16.88	17.25	12.72	13.39	14.79
Diámetro superior de mazorca (cm)	4.07	4.50	4.24	4.38	4.40	4.32	4.01	4.11	3.76	3.90	4.20	4.53	3.91
Diámetro inferior de mazorca (cm)	4.74	5.18	4.95	4.88	4.99	4.95	4.62	4.66	4.41	4.58	4.70	5.08	4.36
Porcentaje de conicidad de la mazorca	5.61	5.98	6.56	4.81	5.48	5.84	5.49	6.46	5.92	5.76	6.00	6.17	4.56
Diámetro medio de mazorca (cm)	4.43	4.89	4.65	4.65	4.73	4.72	4.39	4.51	4.18	4.30	4.43	4.84	4.21
Número de hileras por mazorca	14.14	14.75	14.75	13.88	14.80	14.10	15.10	14.44	13.89	13.00	13.89	15.38	14.38
Número de granos por hilera	33.14	30.04	25.54	27.17	30.87	27.63	28.80	25.07	25.96	28.79	25.59	26.29	29.54
Disposición de hileras	4	1	1	2	4	1	4	2	4	1	4	2	1
Días a la floración masculina	122	122	116	118	124	119	120	121	119	122	121	122	104
Días a la floración femenina	130	126	119	125	129	125	126	129	125	130	129	129	120