

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“DETERMINACIÓN DE UNA NUEVA RAZA DE MAÍZ (*Zea mays*
L.), MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE
MAZORCAS RECOLECTADAS EN LAMBAYEQUE”**

Presentado por:

ANA PAULA CHÁVEZ RODRÍGUEZ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima, Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“DETERMINACIÓN DE UNA NUEVA RAZA DE MAÍZ (*Zea mays* L.),
MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE MAZORCAS
RECOLECTADAS EN LAMBAYEQUE”**

Presentado por:

ANA PAULA CHÁVEZ RODRÍGUEZ

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ing. M. S. Andrés Casas Díaz

PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Elías Huanuqueño Coca

MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Ricardo Sevilla Panizo

ASESOR

Ing. Mg. Sc. Julián Chura Chuquija

MIEMBRO

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a todas las personas que estuvieron siempre a mi lado,
brindándome su apoyo incondicional, y a quienes debo todos mis logros.

Mis padres y mi hermana.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar a Dios, por permitirme culminar mis estudios en esta distinguida casa de estudios, alma máter de mis padres Arturo y Luzmila, y mi hermana Luciana, a los cuales les agradezco infinitamente por ser mi guía, fortaleza y brindarme su apoyo incondicional durante todo este tiempo.

Quiero agradecer a mi asesor de tesis Ricardo Sevilla Panizo, por su confianza puesta en mi persona, por sus consejos y por ser un gran maestro; y a mi profesor y jurado de tesis, Elías Huanuqueño, quien me brindó su confianza para llevar a cabo este trabajo y que sin él, esto no hubiera sido posible.

También quiero agradecer a los trabajadores del Programa de Maíz, al señor Filandro y al señor Iván, por apoyarme siempre que necesitaba ayuda, y a la señorita Maribel, secretaria del Programa, por apoyarme con los trámites de la tesis.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivo general de la investigación.....	9
1.1.1. Objetivos específicos	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1. El maíz.....	10
2.1.1. Origen del maíz.....	10
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	11
2.1.3. Morfología de la mazorca.....	11
2.1.4. Morfología del grano	12
2.1.5. Herencia de los principales caracteres cualitativos	13
2.1.6. Herencia de los principales caracteres cuantitativos	15
2.2. Clasificación de la diversidad genética del maíz.....	15
2.2.1. Diversidad genética del maíz en el Perú.....	17
2.2.2. Métodos de clasificación de la diversidad genética del maíz	19
2.2.3. Descripción de las razas evaluadas.....	20
2.2.4. Análisis multivariado.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Zona de muestreo.....	28
3.2. Muestras de semillas colectadas para caracterización	29
3.3. Descriptores evaluados en las mazorcas.....	30
3.3.1. Descriptores cuantitativos.....	30
3.3.2. Descriptores cualitativos.....	32
3.4. Análisis Estadístico.....	35
3.4.1. Matriz básica de datos	35
3.4.2. Estadísticas básicas	35
3.4.3. Análisis multivariado.....	36
IV. RESULTADOS	40
4.1. Descripción de las muestras de mazorca	40
4.2. Variabilidad morfológica de las muestras en estudio	47

4.2.1. Caracteres cuantitativos	48
4.2.2. Caracteres cualitativos	50
4.3. Análisis multivariado.....	56
4.3.1. Análisis de componentes principales.....	56
4.3.2. Análisis clúster o de conglomerados	68
IV. DISCUSIÓN.....	70
4.1. Descripción del análisis de correlaciones y componentes principales	70
4.2. Descripción del análisis de conglomerados	72
4.3. Herencia de los caracteres empleados en la caracterización	74
4.4. Análisis del método empleado para la caracterización.....	76
V. CONCLUSIONES.....	79
VI. RECOMENDACIONES	80
VII. BIBLIOGRAFÍA	81
VIII. ANEXOS	87
Anexo 1. Matriz básica de datos.	87
Anexo 2. Matriz de distancias de Gower.	89
Anexo 3. Dendrograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward con las 43 muestras de maíz caracterizadas, basado en el índice de similitud Simple Matching.....	91
Anexo 4. Dendrograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward con las 43 muestras de maíz caracterizadas, basado en la distancia Euclidiana.....	92
Anexo 5. Similitud de mazorcas Lambayeque con muestras de raza Umutu y Amarillo Huancabamba.	93
Anexo 5a. Mazorcas LBQU-171 – “Lambayeque”.	93
Anexo 5b. Mazorcas LBQU-199 – “Lambayeque”.	93
Anexo 5c. Mazorcas CAJ-657 – “Umutu”.....	94
Anexo 5d. Mazorcas PIU-262 – “Amarillo Huancabamba”.	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica del maíz.	11
Tabla 2	Primera clasificación del maíz.	16
Tabla 3	Muestras evaluadas para la caracterización.	29
Tabla 4	Matriz de correlaciones de los descriptores cuantitativos.	58
Tabla 5	Valores propios y proporción de la varianza explicada en el análisis de componentes principales.	59
Tabla 6	Correlaciones de los componentes principales con los descriptores cuantitativos.	61
Tabla 7	Proporción de la varianza explicada por cada variable cuantitativa sobre los tres componentes principales.	62
Tabla 8	Valores de p entre los grupos formados.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de las zonas de recolección de las muestras de semilla.	28
Figura 2	Diámetros medidos en la mazorca.	31
Figura 3	Forma de mazorca de maíz.	32
Figura 4	Color de marlo.	33
Figura 5	Textura de grano – Morocho o semi-harinoso.	33
Figura 6	Color de pericarpio.	34
Figura 7	Color de aleurona.	34
Figura 8	Depresión de grano.	35
Figura 9	Corte transversal de mazorca – Raza “Alazán”.	40
Figura 10	Corte transversal de mazorca – Raza “Amarillo Harinoso”.	41
Figura 11	Corte transversal de mazorca – Raza “Amarillo Huancabamba”.	42
Figura 12	Corte transversal de mazorca – Raza “Cubano Amarillo”.	43
Figura 13	Corte transversal de mazorca – Raza “Huarmaca”.	43
Figura 14	Corte transversal de mazorca – “Lambayeque”.	44
Figura 15	Corte transversal de mazorca – Raza “Marañón”.	45
Figura 16	Corte transversal de mazorca – Raza “Sabanero”.	46
Figura 17	Corte transversal de mazorca – Raza “Umutu”.	46

Figura 18	Corte transversal de mazorca – Mezcla “Amarillo Semidentado”.	47
Figura 19	Caracterización de la mazorca – Variables de conteo.	48
Figura 20	Caracterización de la mazorca – Variables de medida.	49
Figura 21	Caracterización del grano de maíz.	50
Figura 22	Frecuencia de forma de mazorca.	51
Figura 23	Frecuencia de color de marlo.	52
Figura 24	Frecuencia de color de pericarpio.	53
Figura 25	Frecuencia de color de aleurona.	54
Figura 26	Frecuencia de color de endospermo.	55
Figura 27	Frecuencia de textura de grano.	55
Figura 28	Depresión del grano.	56
Figura 29	Gráfico de sedimentación.	60
Figura 30	Biplot entre el primer y segundo componente principal.	65
Figura 31	Biplot entre el segundo y tercer componente principal.	66
Figura 32	Biplot entre el primer y tercer componente principal.	67
Figura 33	Dendrograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward con las 43 muestras de semilla caracterizadas, basado en el coeficiente de Gower.	69

RESUMEN

En el Perú existe una gran diversidad de razas de maíz, las cuales se cultivan a lo largo del territorio. Con la finalidad de estudiarlas para su posterior clasificación, se realizaron colectas de maíces nativos en distintas zonas de costa, sierra y selva, los cuales fueron agrupados en razas por diversos autores. Sin embargo, también se encontraron maíces de razas desconocidas, por lo que sus mazorcas fueron recolectadas y almacenadas en el Banco de Germoplasma del Programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su posterior caracterización y clasificación. Un grupo de dichos maíces fue encontrado en la sierra de Lambayeque, siendo el objetivo de este trabajo determinar si conforma o no una nueva raza. Se inició con la caracterización fenotípica de 13 muestras de este grupo (denominado “Lambayeque”), cada uno conformado por 10 mazorcas, y 30 muestras adicionales de razas pertenecientes al norte del Perú, con fines de comparación. Se emplearon 19 variables, tanto cualitativas como cuantitativas; la información recolectada en la caracterización fue analizada mediante el análisis multivariado, el cual inició con el análisis de componentes principales, que permitió determinar las correlaciones entre las variables, siendo las más importantes aquellas entre los diámetros de mazorca (apical, central y basal), además del número de granos por hilera con la longitud de mazorca. Adicionalmente, se determinaron aquellas variables con mayor grado de discriminación, entre las que destacaron el número de granos por hilera, diámetro central y basal de mazorca, longitud de mazorca y ancho de grano. Mediante el análisis de conglomerados se observó la semejanza morfológica de “Lambayeque” con mazorca de las razas Umutu y Amarillo Huancabamba, lo que indicaría la existencia de parentesco entre ellas. Pese a esto, no fue posible determinar si “Lambayeque” constituye una nueva raza, por lo que se recomienda emplear otros análisis.

Palabras clave: maíz, razas, descriptores cualitativos y cuantitativos, análisis multivariado, componentes principales, análisis clúster, conglomerados.

ABSTRACT

Peru is a very diverse country that is not only rich in fauna and flora but also in its different landraces of commercial crops such as maize. In order to study all these landraces for further classification, various samples of maize germplasm within the different regions of Peru were collected. Some unknown landraces were also collected and stored at the germplasm bank of the Agrarian University of Peru for further research. The unknown race cultivated in the region of Lambayeque, called "Lambayeque" was used in the present study with the aim of determining whether it belongs to a new maize race, or represents only a variant of any other existing maize race. The methodology followed was a multivariate analysis, including a principal component analysis and a cluster analysis. A phenotypic characterization of 13 Lambayeque landrace was performed, comparing them with 30 samples of already described maize races. For phenotypic characterization, 10 mature maize ears per collected sample were evaluated in terms of 19 quantitative and qualitative variables describing the morphology of the maize ears and the grains. Principal component analysis showed that variables number of grains per row, central and basal diameter of ear, length of ear and grain width were found to be the most significant differentiators in the grouping process, so their measurement should be prioritized for additional germplasm characterization. Results from cluster analysis showed that the samples called Lambayeque are very similar to Umutu and Amarillo Huancabamba races, indicating a possible relationship between them. Despite this, it was not possible to determine that Lambayeque belongs to a new maize race. Additional studies are needed to reinforce the results obtained in the present work.

Keywords: Maize, landrace, descriptors quantitative and qualitative, multivariate analysis, principal component analysis, cluster analysis

I. INTRODUCCIÓN

El Perú se caracteriza por ser un país megadiverso, lo que significa que posee una amplia variedad de especies tanto en flora como fauna; este concepto también aplica para cultivos de importancia como el maíz, cuya diversidad es clasificada en razas. Según Anderson y Cutler (1942), citados por Goodman y Brown (1988), una raza es un grupo de individuos relacionados debido a que poseen características en común, las cuales permiten reconocerlo como un grupo relativamente homogéneo. La clasificación de la diversidad genética del maíz es de suma importancia ya que permite su estudio, manejo, caracterización y utilización (Sevilla y Holle, 2004). Para lograr ese objetivo, se realizaron diversas colectas de mazorcas de maíz a lo largo del territorio peruano, para su posterior estudio y clasificación.

En la década de 1950, se recolectaron en todo el país muestras de mazorcas de variedades nativas, las cuales se agruparon en 49 razas diferentes (Grobman *et al*, 1961); después, se realizaron colectas en lugares nunca visitados antes de 1960. Como resultado de ello, se encontraron cinco variedades nativas provenientes de la sierra de Piura que Vega (1972) clasificó en dos razas nuevas. Recientemente, se realizó una nueva colecta en todo el territorio peruano (Aguirre, 2013; ASPROMAD, 2015), encontrándose nuevas variedades nativas, entre ellas un conjunto de 43 muestras de mazorcas provenientes de la sierra de Lambayeque, específicamente de los distritos de Cañaris e Incahuasi, las cuales evidencian la presencia de una nueva raza denominada “Lambayeque”; dichas muestras, luego de su recolección, fueron almacenadas en el Banco de Germoplasma del Programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su posterior análisis. El método de clasificación racial es intraespecífico y sirve para separar en grupos a individuos más o menos semejantes. En el caso del maíz, esta clasificación se basa en el parecido fenotípico, donde los individuos con mazorcas parecidas son asignados a un mismo grupo en un proceso empírico (Sevilla y Holle, 2004). Sin embargo, en este método se suele incurrir en errores causados por subjetividades; para evitar dichas distorsiones, los investigadores que clasificaron al maíz en Latinoamérica se pusieron de acuerdo con la metodología que por primera vez usaron Wellhausen y colaboradores, quienes publicaron la clasificación del maíz en México en 1952. Dicha metodología fue empleada posteriormente en todos los países

de Latinoamérica y el Caribe para la clasificación racial. Ésta también fue usada por Goodman y Brown (1988), describiendo así un total de 252 razas, de las cuales, 132 pertenecían a la región andina.

Para realizar una clasificación en base al parecido fenotípico de las mazorcas, primero se elabora una caracterización mediante el uso de caracteres o descriptores, tanto cualitativos como cuantitativos. Ortiz (1985) concluyó que las mejores características para clasificar las razas fueron las de mazorca y grano, principalmente, longitud, diámetro y número de hileras de la mazorca y longitud y ancho del grano. Dichas características fueron también incluidas en la metodología del presente trabajo; adicionalmente, se aplicaron métodos para la determinación de aquellos descriptores más importantes o con mayor grado de discriminación, como el análisis de componentes principales.

En el presente trabajo, se hipotetiza que las muestras recolectadas en el departamento de Lambayeque pertenecen a una nueva raza que será denominada con el mismo nombre del departamento. Solamente con el uso de descriptores cualitativos y cuantitativos es posible determinar si estas muestras pertenecen a una nueva raza; sin embargo, también se suelen utilizar otros métodos que implican el uso de caracteres citológicos, como cromosomas B y nudos cromosómicos (McClintock, 1978), los cuales han resultado muy importantes para diferenciar entre razas en el Perú (Moreno, 1960). Los marcadores moleculares es un método muy extendido, el cual fue empleado por Blas y colaboradores (2002) para la diferenciación de razas peruanas de maíz. Si bien estos métodos son más precisos, poseen elevados costos; una alternativa para el estudio y clasificación de accesiones es el análisis multivariado, método que ha sido aplicado en la clasificación de germoplasma de cultivos como quinua, maíz, entre otras especies. Con la determinación de esta nueva raza Lambayeque mediante el parecido fenotípico entre las mazorcas, se podrá determinar también los caracteres cuantitativos y cualitativos que describen a esta nueva raza y los caracteres más importantes a priorizar en posteriores clasificaciones de muestras de maíz. Finalmente se evaluará la efectividad del método utilizado, lo cual servirá de apoyo para futuras investigaciones de esta índole.

1.1.OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Determinar, mediante la caracterización fenotípica de mazorcas y granos, si las muestras de semilla denominadas “Lambayeque” constituyen o no una nueva raza de maíz.

1.1.1.Objetivos específicos

- Caracterización fenotípica de razas de maíz ya conocidas, con fines de comparación con las muestras objetivo del estudio.
- Determinar los descriptores más importantes o discriminantes en la caracterización.
- Determinar la influencia de los tipos de variables (cualitativas y cuantitativas) y su eficiencia en la formación de los conglomerados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. EL MAÍZ

2.1.1. Origen del maíz

De acuerdo a Wilkes y Goodman (1995), citados por Acosta (2009), el maíz surgió entre los años 8000 a 6000 a.C. en Mesoamérica (México y Guatemala), donde el ecosistema era de invierno seco estacional, alternando con lluvias en verano, además de ser una región montañosa. Existen 3 teorías acerca del origen del maíz, específicamente de su procedencia, los cuales se apoyaron en análisis bioquímicos, moleculares y taxonómicos: de una forma silvestre de maíz, de un teocintle silvestre o de un antepasado desconocido (ni maíz silvestre ni teocintle). Sin embargo, aún no hay evidencias contundentes a favor de alguna de ellas (Bonavia, 2008).

Bonavia y Grobman (1989), mencionan que el maíz en el Perú se cultiva desde tiempos prehispánicos muy remotos, constituyendo la base de la alimentación del hombre andino. De acuerdo con C. E. Smith, citado por Bonavia y Grobman (1989), se conocen restos arqueológicos del maíz desde el Pre – Cerámico V, desarrollado en los años 4200 – 2500 a.C.

Algo muy importante que se debe conocer, incluso más que el origen, es la antigüedad del maíz en una determinada región, puesto que ello determinaría un mayor tiempo de acumulación de riqueza alélica para caracteres adaptativos. Investigaciones recientes de Grobman *et al* (2012) y posteriores de Bonavia y Grobman (2017), indican que el maíz es muy antiguo en el Perú, existiendo muchas evidencias de maíz pre-cerámico en la costa peruana de aproximadamente 7000 años de antigüedad. En el Valle de Chicama se encontraron abundantes restos de macro-fósiles de maíz, como tusas completas, plantas y granos. En Gavilanes, Huarmey, se encontraron 47 silos cónicos de aproximadamente 4000 años de antigüedad, los cuales contenían mazorcas de maíz en abundancia; con ello, Grobman (1982) logró realizar un completo análisis y concluyó que ya en la

costa peruana se podían reconocer 3 razas: Proto Confite Morocho, Confite Chavinense y Proto Kculli. Dichas investigaciones son referencias importantes para el presente trabajo, puesto que la supuesta nueva raza “Lambayeque” se colectó dentro de la Región Costa Norte a la que también pertenece el Valle de Chicama.

2.1.2. Clasificación taxonómica

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Perteneció a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Posee además, otros parientes silvestres, conocidos como *teocintle* y maicillo o arrocillo (género *Tripsacum*). Son clasificadas como del Nuevo Mundo, ya que su centro de origen se encuentra en América (OECD, Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, 2003; citado por Acosta, 2009).

Tabla 1: Clasificación taxonómica del maíz.

<u>Reino</u>	Plantae
<u>División</u>	Magnoliophyta (Cronquist <i>et al</i> , 1966)
<u>Clase</u>	Liliopsida
<u>Orden</u>	Poales (Small, 1903)
<u>Familia</u>	Poaceae
<u>Género</u>	Zea (Linnaeus, 1753)

Fuente: Sánchez, 2014.

2.1.3. Morfología de la mazorca

La mazorca, o inflorescencia femenina o pistilada, está formada de un eje cilíndrico donde van insertadas las espiguillas o flores, en pares. A diferencia de las demás gramíneas, la espiga del maíz es compacta y se encuentra protegida por hojas transformadas, las cuales, en Perú, reciben el nombre de “pancas”. El eje de la inflorescencia se denomina “tusa o marlo”, que consiste en tres partes (León, 2000): externamente los granos que la cubren por completo, una zona de inserción

de los mismos denominada cúpula¹ y el cilindro central, con una masa de tejido suave llamado médula.

El eje de la mazorca se denomina raquis, formado por tejidos de esclerenquima que brindan soporte a la mazorca, además de nutrir a la semilla mediante los haces vasculares. En el centro del raquis se encuentra la médula, caracterizada por ser suave a diferencia de los demás tejidos que la rodean. El incremento del volumen del raquis en comparación con los maíces primitivos, permitió un mayor tamaño de granos (parte útil) o un mayor número de filas de granos (León, 2000).

2.1.4. Morfología del grano

El grano de maíz es la semilla, la cual se compone de tres partes importantes (León, 2000):

- Pericarpio: Formado por tejidos externos los cuales, a su vez, se encuentran conformados por varias capas de células, ya sean coloreadas (matices de amarillo, rojo o púrpura) o incoloras. Debajo del pericarpio, se encuentra la capa de aleurona, la cual es rica en proteínas.
- Endospermo: Ocupa el 85 por ciento del peso seco del grano; su constitución determina la estructura y el valor alimenticio de los diferentes maíces, clasificados de acuerdo al tipo de almidón que poseen y su distribución en el endospermo. Su color varía entre blanco y amarillo, siendo este último el más nutritivo. De acuerdo a Kent (1983), citado por Martínez (2001), en la semilla existen dos tipos de endospermo: uno duro, córneo o vítreo, compuesto por una matriz proteica amorfa que rodea fuertemente al almidón; y otro blando o harinoso, donde los gránulos de almidón se encuentran sueltos, presentando una interacción débil con la matriz proteica.
- Embrión: Parte viva de la semilla, la cual dará origen a una nueva planta.

¹ Órgano característico de las Gramíneas, con forma de copa, el cual contiene al grano.

Cabe mencionar que el grano de maíz, es a su vez, un fruto, el cual recibe el nombre de cariósido.

2.1.5. Herencia de los principales caracteres cualitativos

Los caracteres cualitativos son fácilmente distinguibles en el fenotipo, o rasgos visibles de un organismo, y no son afectados por el medio ambiente que los rodea. Su expresión es gobernada por pocos genes mayores. Como ejemplo de caracteres cuantitativos se tiene: color de planta, color de grano, textura de grano, herencia vertical a plagas y enfermedades (Sevilla, 1991). A continuación se explicará la herencia de los principales caracteres cualitativos evaluados en el presente trabajo:

- Herencia del color del grano: En el grano, el color se expresa en 3 partes distintas: pericarpio, aleurona y endospermo (Sevilla, 1991):
 - a. Color del pericarpio: Esta característica se encuentra gobernada por el gen P, ubicado en el locus 26 del cromosoma 1, el cual posee varios alelos que codifican tanto para el color del pericarpio como del marlo: con P^(ww), el marlo es blanco y el pericarpio, incoloro o transparente; con P^(wr), el marlo es rojo y el pericarpio, transparente; P^r codifica para que ambos, marlo y pericarpio, presenten coloración roja. Los alelos de color dominan al alelo P^{ww} (Neuffer *et al*, 1968). Cuando el pericarpio es coloreado, no se expresa el color de la aleurona ni del endospermo; cabe resaltar que el color del pericarpio no segrega en la mazorca, debido a que no hay efecto del polen que fertilizó el grano.
 - b. Color de la aleurona: Cuando el pericarpio es incoloro, se expresa el color de la aleurona. Se conocen más de 12 genes que afectan el color de la aleurona, cuyas combinaciones codifican para los siguientes colores: morado, rojo, bronce, moteado, amarillo pálido o incoloro. La aleurona toma una coloración rojiza debido al alelo Pr ubicado en el locus 46 del cromosoma 5 (Neuffer *et al*, 1968), mientras que el alelo Pr codifica para el color morado, al igual que la combinación de los

alelos Pr-pr-pr debido a la xenia² o efecto del polen de una planta Pr-Pr sobre el óvulo de una planta pr-pr.

- c. Color del endospermo: Si el pericarpio y la aleurona son incoloros, se expresa el color del endospermo, existiendo sólo dos opciones para este carácter: amarillo y blanco, siendo el primero producido por un gen dominante Y en el cromosoma 6. Existen varios genes que tienden a reducir o inhibir parcialmente la coloración amarilla del endospermo, dando como resultado otros colores como: amarillo pálido, amarillo oscuro o limón blanquecino.
- Herencia de la textura de grano: El endospermo se encuentra formado por gránulos del almidón, los cuales poseen distinta densidad. Por ejemplo, en el maíz duro y reventón, el almidón se encuentra compactado en la región superior del grano; en los maíces dentados, existe una mayor densidad alrededor del embrión; en los maíces harinosos, la densidad de los gránulos es mucho menor (Sevilla, 1991). La diferencia entre duro y harinoso en maíces de la zona andina se debe a la presencia del gen **Fl-1**, el cual tiene efecto de dosis, o sea que: Fl/fl/fl codifica para textura harinosa y Fl/Fl/fl, para textura dura.

En el caso de los maíces duros de la Zona Andina o Morocho, el almidón duro ocupa sólo una delgada capa en la parte superior del grano, siendo el resto harinoso. Ello ocurre debido a la presencia de genes modificadores que disminuyen la expresión del gen Fl-1 (Sevilla, 1991).

² Efecto del genotipo del polen en el desarrollo del tejido materno del fruto o semilla (King y Stanfield, 1990; citado por Avedaño, 2012).

2.1.6. Herencia de los principales caracteres cuantitativos

Los caracteres cuantitativos son aquellos que son medibles, como por ejemplo: diámetro de mazorca; o son contables, como el número de hileras en la mazorca, el cual está determinado por factores hereditarios. Son gobernados por varios genes menores distribuidos en todo el genoma y su expresión suele ser modificada por el ambiente que los rodea, a diferencia del carácter número de hileras.

La herencia de los caracteres se determina mediante la observación y comparación de parentales y diferentes generaciones de un cruzamiento entre líneas; de esa forma se puede obtener información sobre si el carácter en cuestión es o no cuantitativo. De acuerdo a agrónomos y mejoradores, los caracteres cuantitativos más importantes del maíz desde el punto de vista agronómico son: rendimiento, altura de planta y mazorca, precocidad, resistencia horizontal a plagas y enfermedades y tolerancia a factores adversos de clima y suelo (Sevilla, 1991).

2.2. CLASIFICACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ

La primera clasificación del maíz fue realizada por Sturtevant (León, 2000), y estuvo basada en la textura o estructura del endospermo, dando origen a 7 grupos de razas (ver tabla 2). Dicha clasificación ha sido usada durante los últimos 50 años; sin embargo, otros autores consideraron incluir otras características como las de las mazorcas, caracteres fisiológicos, genéticos, entre otros; y no solo la del endospermo, cuya expresión depende de un único locus sobre un cromosoma (Wellhausen *et al*, 1987; citado por Acosta, 2009).

Tabla 2: Primera clasificación del maíz.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	CARACTERÍSTICAS
Maíz tunicado	<i>Zea mays tunicata</i> St.	Tipo más primitivo de maíces cultivados, sin valor comercial.
Maíz reventón	<i>Zea mays everta</i> St.	Granos pequeños con endospermo cristalino. Explota cuando es sometido al calor.
Maíz cristalino	<i>Zea mays indurata</i> St.	Granos con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón córneo.
Maíz amiláceo	<i>Zea mays amylacea</i> St.	Granos con endospermo blando. A este grupo pertenece el maíz “Blanco Gigante del Cuzco” y otras razas de Perú.
Maíz dentado	<i>Zea mays indentata</i> St.	Granos presentan endospermo con almidón córneo cristalino, en su exterior e interior, y almidón blando en la zona superior que a la madurez origina una depresión, dándole al grano forma de diente.
Maíz dulce	<i>Zea mays saccharata</i> St.	Endospermo translúcido; grano completamente arrugado a la madurez.
Maíz ceroso	<i>Zea mays ceratina</i> Kul.	Aspecto ceroso en el endospermo; almidón constituido por 100por ciento de amilopectina, lo que le brinda un aspecto gomoso.

Fuente: León, 2000

2.2.1. Diversidad genética del maíz en el Perú

La diversidad genética del maíz se clasifica en razas, las cuales son poblaciones con genes comunes que determinan rasgos morfológicos y fisiológicos también comunes (Mayr, 1942; citado por Salhuana, 2004). De acuerdo al proceso evolutivo del maíz en el Perú, se han podido establecer 5 grupos de razas (Grobman *et al*, 1961; Salhuana, 2004):

- Razas primitivas: Conjunto de razas perfectamente definidas, poseedoras de “caracteres primitivos” tales como: precocidad, plantas y panojas pequeñas, mazorcas pequeñas, glumas largas, granos pequeños, corontas delgadas con estructura simple. Dentro de las razas que pertenecen a este grupo se encuentran: Confite Morocho, Confite Puntigudo, Kculli, Confite Puneño y Enano.
- Razas derivadas de las primitivas: Razas formadas en la época Precolombina, a partir de selecciones raciales o de poblaciones híbridas resultantes de cruzamientos entre maíces primitivos y sus derivados inmediatos. En este grupo se encuentran: Rabo de Zorro, Chaparreño, Chullpi, Huayleño, Paro, Morocho, Huancavelicano, Ancashino, Shajatu, Pisccorunto, Cuzco, Sabanero, Mochero, Granada, Alazán, Pagaladroga, Piricinco, Uchuquilla y Cuzco Cristalino Amarillo.
- Razas de reciente derivación: Razas que presentan similitud con las del grupo anterior, considerándolas como derivadas de ellas. Su tipificación se remonta a la época Incaica y Precolombina; se caracterizan por poseer un mayor grado de especialización, además de un mayor desarrollo vegetativo y rendimiento. A este grupo pertenecen: Huachano, Chancayano, Perla, San Gerónimo Huancavelicano, Cuzco Gigante, Arequipeño, Marañón, Rienda y Chimlos.
- Razas introducidas: Conjunto de razas importadas que, aunque hayan sufrido intercambio de genes con algunas razas nativas, aún conservan su morfología inicial tanto de planta como de mazorca, lo que facilita su

identificación como introducciones recientes. A este grupo pertenecen las siguientes razas: Pardo, Arizona, Alemán, Cubano Dentado Amarillo y Chuncho.

- Razas incipientes: Razas que parecieron emerger como nuevas, o que han sido caracterizadas recientemente. Poseen una distribución geográfica restringida, la cual comprende uno o varios valles o zonas aledañas, además de ser más evolucionadas. En este grupo se encuentran: Jora, Coruca, Morocho Cajabambino, Sarco y Morado Canteño.
- Razas imperfectamente definidas: Grupo de razas con una dispersión geográfica limitada. Algunas de ellas se encuentran en etapa incipiente de desarrollo; sin embargo, están caracterizadas lo suficiente como para poder distinguir las de las demás razas. Entre ellas destacan: Ajaleado, San Gerónimo, Perlilla, Tumbesino, Colorado, Chancayano Amarillo, Amarillo Huancabamba, Huarmaca y Blanco Ayabaca.

Otra clasificación de la diversidad del maíz en el Perú se muestra en el trabajo realizado por Sevilla (2005), la cual incluye:

- Razas nativas: En el país existen 51 razas, siendo 49 clasificadas y descritas por Grobman *et al*, (1961); las dos restantes, mediante el uso de la taxonomía numérica (Vega, 1972).
- Cultivares locales: También denominados variedades nativas o locales. Las más importantes son: Mochero, Alazán, Pardo, Perla, Umutu, Morocho, Cusco Blanco, Amarillo de Oro, Morado, entre otros; distribuidas a lo largo del país, principalmente en costa y sierra, cada uno con diversos usos (chicha, choclo, cancha, etc.). La unidad de diversidad son las razas y no las variedades, puesto que éstas representan a las primeras.
- Cultivares mejorados: Los cultivares mejorados se clasifican en dos grupos:

- a. Variedades mejoradas: Variedades generadas mediante el uso del mejoramiento genético convencional debidamente documentado. De acuerdo a Sevilla (2005), existen sólo dos fuentes de dichas variedades: Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (PCIM-UNALM) y el Programa de Investigación de Maíz del INIA (PIM-INIA).

- b. Híbridos: En el Perú, los híbridos son sólo de grano amarillo duro y cultivados en la costa y selva. Se encuentran los híbridos Perla x Cuba, los de origen caribeño, aquéllos formados con germoplasma del CIMMYT y aquéllos formados en Brasil y Argentina.

2.2.2. Métodos de clasificación de la diversidad genética del maíz

La clasificación realizada por Sturtevant fue utilizada en los últimos 50 años sin modificación; sin embargo, autores como Wellhausen *et al* (1987), concluyeron que una clasificación basada solamente en el endospermo es insuficiente, por lo que sugirieron incluir un mayor número de datos genéticos como características de mazorca, caracteres genéticos, fisiológicos, entre otros.

Adicionalmente, se propusieron nuevos criterios para la clasificación racial del maíz, por lo que se han incluido en los análisis caracteres como la calidad industrial (Aragón *et al*, 2006). En la actualidad, el uso de marcadores moleculares y microsatélites es el método más eficiente para la clasificación; Vigouroux *et al* (2008) lo emplearon en el análisis de aproximadamente 350 razas nativas de América, determinando la existencia de complejos raciales propias de las zonas altas de México, al norte de Estados Unidos, maíces tropicales y un complejo asociado a las razas andinas.

2.2.3. Descripción de las razas evaluadas

Para lograr los objetivos del presente trabajo, se caracterizaron 13 muestras de mazorcas colectadas en campos de agricultores, pertenecientes a la supuesta nueva raza, Lambayeque, junto con otro grupo de mazorcas colectadas pertenecientes a otras razas o mezcla de razas con características ya definidas, con el fin de determinar si la supuesta nueva raza comparte alguna característica con las demás, lo cual definirá si es nueva (no tiene características comunes), o es una variante de alguna de ellas.

La descripción presentada a continuación se centrará en la mazorca y en el grano que fueron el objeto de estudio. De acuerdo a Wellhausen *et al* (1952), los caracteres tanto de la mazorca como del grano tienden a ser los mejores indicadores de las diferencias raciales; por otro lado, Grobman *et al* (1961), sostienen que la mazorca del maíz presenta caracteres de diagnóstico más útiles que cualquier otra parte de la planta, por ser el órgano más especializado (Macuri, 2016). Cabe mencionar que dichas razas no son completamente puras, pues al ser el maíz alógamo, siempre tiende a contaminarse con polen provenientes de plantas pertenecientes a otras razas, por lo que algunas características de la raza pueden perder su frecuencia, pero aun así pueden ser utilizadas para el análisis respectivo.

- Razas evaluadas

- a. Alazán

Esta raza se cultiva principalmente en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad (Ministerio del Ambiente, 2014). Su antepasado, el Proto Alazán, fue cultivado por los antiguos mochicas; ésta se caracterizaba por poseer mazorcas de forma cilíndrica con 10 hileras. Las mazorcas de la raza Alazán, al igual que su ancestro, se caracterizan por ser cilíndricas o cilindro-cónicas, con 14 hileras, granos de tamaño mediano; su color varía entre rojo, marrón o blanco (Grobman *et al*, 1961).

b. Amarillo Harinoso

Cultivada en Ecuador, adaptada a altitudes entre los 2200 a 2900 m.s.n.m., con temperaturas entre 12 a 18°C. La mazorca se caracteriza por poseer una longitud de 12 cm, con un diámetro de casi 5 cm. Posee 10 hileras; el color de la tusa varía entre rojo, blanco y rosado. El grano posee un tamaño de 16 mm, y se caracteriza ser de color amarillo y por tener una textura harinosa. Se suele consumir en estado fresco (choclo) o para la elaboración de mote, chicha, humitas, etc. Esta raza posee algunas variedades, entre las que destaca INIAP-124 “Mishca Mejorado” (Caviedes *et al*, 2002). En el Perú, esta raza fue encontrada en una colección realizada en Lambayeque, aunque su origen se encuentra en Amazonas (ASPROMAD, 2015).

c. Amarillo Huancabamba

Esta raza pertenece al grupo de las razas imperfectamente definidas. Se encuentra limitada a la provincia de Huancabamba, en la sierra de Piura, entre 1800 a 2400 m.s.n.m. De acuerdo a Salhuana (2004), prosiblemente se encuentre relacionada la raza de maíz Sabanero. La mazorca se caracteriza por ser corta y de poco diámetro; los granos son anchos y de longitud mediana. El endospermo es de color amarillo, con textura harinosa o semidura; el pericarpio es rojizo y aleurona, de color púrpura.

d. Cubano Amarillo

Raza que, al igual que en muchos países tropicales, fue introducida al Perú a inicios del presente siglo (IICA, 1987). Suele ser cultivada en toda la selva, principalmente en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Ucayali, Loreto, San Martín, Huánuco, Madre de Dios, Pasco y Cusco (Ministerio del Ambiente, 2014). Se caracteriza por poseer mazorcas largas (ASPROMAD, 2015).

e. Huarmaca

Esta raza pertenece al grupo de razas imperfectamente definidas (Salhuana, 2004). Se desarrolla entre los 1100 y 2700 m.s.n.m., en los departamentos de Piura y Lambayeque (Ministerio del Ambiente, 2014). Los granos de la mazorca se caracterizan por ser cortos o pequeños, endospermo de color amarillo, pericarpo café; algunas veces la aleurona es coloreada (bronce).

f. Marañón

Pertenece al grupo de razas de reciente derivación (Salhuana, 2004). El área de dispersión de esta raza abarca el valle del Marañón y sus afluentes en el norte de Áncash, Huánuco y en la zona meridional de La Libertad (Ministerio del Ambiente, 2014); cultivada a una altitud promedio de 2700 m.s.n.m. Los granos se caracterizan por ser de tamaño mediano, acuminados; el endospermo posee una textura harinosa, aleurona de color bronce a marrón, pericarpio incoloro o coloreado (rojo, marrón o variegado). El marlo de la mazorca posee diversos colores, entre los que destacan el blanco, marrón, rojo o rojo variegado.

g. Sabanero

Perteneciente al grupo de razas derivadas de las primitivas; derivada de las razas de maíz Morocho, Cajabambino y Cuzco. Se cultiva a 2500 m.s.n.m., en el departamento de Cajamarca, además de extenderse a zonas como la parte sur de Amazonas (Grobman *et al*, 1961; Salhuana, 2004). Las mazorcas se caracterizan por ser medianas (14 cm de largo y 5 cm de diámetro), cilíndricas pero agudizadas en la punta; el marlo generalmente es blanco o de color rojo. El grano es redondo y pequeño, con endospermo blanco harinoso y pericarpio generalmente incoloro.

h. Umutu

Variedad nativa o cultivar local adaptado a la sierra de los departamentos de La Libertad y Cajamarca. Tradicionalmente se utiliza para la preparación de cancha (Sevilla, 2005).

• Mezcla o cruce de razas

A estas muestras de semilla colectadas no se las puede denominar razas propiamente dichas, ya que no están clasificadas como tal. Se puede decir que estas mazorcas provienen de cruces o mezclas que fueron realizadas por los mismos agricultores u ocurrieron de forma natural, debido a la característica alógama del maíz. La única muestra considerada como mezcla fue Amarillo Semidentado, encontrada en una colecta realizada en el departamento de Lambayeque (ASPROMAD, 2015), cuyos granos se caracterizan por poseer una textura semi-dentada.

2.2.4. Análisis multivariado

Análisis simultáneo de dos o más variables (Hair *et al*, 1999). De acuerdo a Franco e Hidalgo (2003), para el caso de caracterización de recursos fitogenéticos, el análisis multivariado permite la descripción de diferentes accesiones de germoplasma tomando en cuenta distintas características en forma simultánea, sin dejar de lado la relación existente entre éstas. Mohammadi y Prassana (2003) sostienen que el uso de algoritmos multivariados es una importante estrategia para la clasificación del germoplasma, ordenamiento de un amplio número de accesiones y además, para el análisis de la existencia de alguna relación genética entre materiales de reproducción. Los métodos mutivariados se clasifican en dos grupos (Hair *et al*, 1992; citado por Franco e Hidalgo, 2003):

- a. Métodos de dependencia, donde un conjunto de variables es dependiente de otro conjunto llamado independiente o predictor, por ejemplo: discriminante múltiple, correlación canónica, regresión múltiple, entre otros.
- b. Métodos de interdependencia, donde ninguna variable es independiente o dependiente, por lo que se requiere el análisis simultáneo de todas ellas, por

ejemplo: componentes principales, factorial, análisis de conglomerados, entre otros.

Según Bramardi (2002), citado por Franco e Hidalgo (2003), el problema del análisis de recursos fitogenéticos o germoplasma radica en representar geoméricamente, cuantificar la asociación entre los individuos y clasificarlos de acuerdo a un conjunto de variables, las que pueden ser cualitativas, cuantitativas o ambas. De acuerdo a ello, clasifica los métodos en dos grupos: de ordenación, para arreglar y representar el material en estudio a través de un número reducido de dimensiones; y los de clasificación, que permiten la búsqueda de grupos similares.

Antes de aplicar cualquier herramienta estadística, es necesario elaborar una matriz básica de datos, la cual consiste en un arreglo en forma de cuadrícula compuesto por filas para las accesiones o colecciones (n) y columnas para cada variable (p) (Franco e Hidalgo, 2003).

En el presente trabajo, se incluirán los siguientes análisis:

- a. Análisis de componentes principales: El análisis de componentes principales (ACP) es un método multivariado de ordenación, el cual se basa en la transformación lineal de un conjunto de variables cuantitativas originales en otro conjunto de variables independientes no correlacionadas llamadas componentes principales (Franco e Hidalgo, 2003). Cabe resaltar que las variables formadas son de menor número, en comparación con las variables originales. Este método de reducción de datos permite la visualización de las diferencias entre las muestras e identifica posibles grupos (Mohammadi y Prassana, 2003). Por otro lado, permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas, de este modo, pueden ser seleccionadas las más discriminatorias para limitar el número de mediciones en caracterizaciones posteriores (Franco e Hidalgo, 2003).

El primer paso para este análisis es calcular el valor propio, el cual define la proporción o porcentaje explicado de la varianza total, siendo el primer componente aquél que explica un mayor porcentaje, seguido del segundo, y así sucesivamente. Los componentes principales pueden obtenerse a partir de dos tipos de matrices de datos: matriz de varianza-covarianza y la matriz de correlaciones. Si la escala de las variables es igual, se utiliza la primera; si son distintos, la segunda es más recomendable, pues estandariza el conjunto original de datos (Mohammadi y Prassana, 2003).

b. Análisis de conglomerados o clúster: Método de clasificación cuyo objetivo principal es agrupar objetos, en este caso, muestras de semillas colectadas, en base a las características que poseen. Se caracteriza por la formación de conglomerados o grupos caracterizados por la alta homogeneidad de los objetos dentro de cada grupo y una elevada heterogeneidad entre ellos (Hair *et al*, 1999). De acuerdo a Núñez y Escobedo (2011), este análisis se compone de dos métodos importantes e interrelacionados: el cálculo del índice de similitud o disimilitud, el cual debe ser elegido de acuerdo a la naturaleza de los datos y al objetivo de la caracterización; y la aplicación del método de aglomeración, los cuales se clasifican de la siguiente manera (Franco e Hidalgo, 2003):

- Métodos jerárquicos, caracterizado por fusiones sucesivas para la formación de grupos. Los resultados de este proceso son presentados en un diagrama de árbol conocido como dendrograma. Para la formación de conglomerados existen diversas formas de enlace: ligamiento promedio aritmético no ponderado (UPGMA, por sus siglas en inglés), el método más usado; método del centroide, varianza mínima de Ward, entre otros (Dillon y Goldstein, 1984; Hair *et al*, 1999; Sevilla y Holle, 2004).
- Métodos no jerárquicos, o de partición. Se caracteriza por dividir el grupo de accesiones en un número preseleccionado de conglomerados sin estructura jerárquica. La variante más utilizada es el “K-means”.

Según Hair *et al* (1999), el análisis clúster puede verse afectado por la inclusión de variables inapropiadas o poco diferenciadas, por ello es importante hacer una adecuada selección de variables. Cabe mencionar que este análisis muestra ciertos inconvenientes, siendo el más importante su carencia de base estadística sobre las cuales deducir inferencias estadísticas, por lo que es más empleado como una técnica exploratoria. Por ello, se recomienda realizar una prueba de hipótesis o validación de los conglomerados; los paquetes estadísticos ofrecen una amplia gama de métodos para este fin, entre los que destacan: validación por siluetas, aplicación de métodos clúster alternativos a fin de comparar soluciones (Hair *et al*, 1999) o métodos de análisis de varianza permutacional multivariado o PerMANOVA, preferible para datos multivariados (Anderson, 2001).

- c. Permutational Analysis of Variance (PerMANOVA): Es una prueba estadística no paramétrica (no necesita cumplir supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianzas), la cual se basa en la aplicación de un ANOVA tradicional en el cual se fracciona la matriz de distancia, generando valores de p mediante permutaciones de las observaciones multivariadas o distancias con la finalidad de obtener una probabilidad asociada con la hipótesis nula de que no existen diferencias entre los grupos formados (Anderson, 2001). De acuerdo a Manly (1997), citado por Anderson (2001), la precisión del valor de p incrementará junto con el número de permutaciones realizadas. Para un nivel de significancia de 0.05, se requerirán de al menos 1000 permutaciones; un valor de p inferior a 0.05 indicará la existencia de diferencias significativas entre los grupos incluidos en el análisis. Este análisis puede ser usado para la validación de los dendogramas obtenidos en este trabajo por ser una técnica usada para determinar las similitudes entre grupos o asociaciones entre grupos especialmente en comunidades microbianas (Tang *et al*, 2016), florísticas, etc. Imai *et al* (2012) utilizó este análisis mediante la función “adonis”, incluido en el paquete “vegan” del *software* R, para determinar las similitudes entre 3 comunidades florísticas influenciadas bajo distintos regímenes de tala (reducida, convencional y combinación de ambos). De la

misma forma, Calviño-Cancela *et al* (2012) lo realizó aplicando 9999 permutaciones para determinar las diferencias en composición de especies entre distintos hábitats en su intento por determinar si las plantaciones de eucalipto influenciaban la biodiversidad de especies típica de bosques nativos. En un trabajo reciente, Vidal (2017) determinó estadísticamente las diferencias fenotípicas entre muestras de maíz moderno y mazorcas arqueológicas en la región de Tarapacá en el norte de Chile. En este caso, la distancia entre los dos grupos fue estadísticamente significativa, e incluso estas diferencias se extienden a algunos subgrupos dentro de estos grupos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE MUESTREO

Las muestras caracterizadas fueron recolectadas en la zona norte del Perú, específicamente en los departamentos de Cajamarca (provincias de Cajabamba y Hualgayoc), Lambayeque (provincia de Ferreñafe), Amazonas (provincia de Chachapoyas) y Piura (provincias de Ayabaca, Morropón y Huancabamba), tal y como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Ubicación de las zonas de recolección de las muestras de semilla.

* En rojo se muestran las áreas de recolección de muestras.

3.2. MUESTRAS DE SEMILLAS COLECTADAS PARA CARACTERIZACIÓN

Se evaluaron un total de 43 muestras de maíz (ver tabla 3), provenientes del Banco de Germoplasma del Programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cada una conformada por 10 mazorca. Algunas de ellas pertenecen a razas ya definidas, mientras que otras son cruza o mezclas realizadas por los agricultores u originadas de forma natural debido al carácter alógamo del maíz.

Tabla 3: Muestras evaluadas para la caracterización.

DEPARTAMENTO	CÓDIGO DE MUESTRA	RAZA
Amazonas	AMAZ – 064	Amarillo Harinoso
	AMAZ – 071	
Cajamarca	CAJ – 694	Sabanero
	CAJ – 698	
	CAJ – 700	
	CUZ – 400	
	CAJ – 651	Umutu
	CAJ – 656	
	CAJ – 657	
	CAJ – 664	
Piura	PIU – 260	Amarillo Huancabamba
	PIU – 262	
	PIU – 243	Huarmaca
	PIU – 244	
	PIU – 245	
	PIU – 247	
	PIU – 258	
	PIU – 264	
	PIU – 265	
	PIU – 268	
Lambayeque	LBQU – 162	Marañón
	LBQU – 163	
	LBQU – 187	
	LBQU – 189	
	LBQU – 176	Huarmaca
	LBQU – 177	
	LBQU – 192	

<<continuación>>

	LBQU – 208	Alazán
	LBQU – 211	Cubano Amarillo
	LBQU – 167	Lambayeque (*)
	LBQU – 170	
	LBQU – 171	
	LBQU – 190	
	LBQU – 191	
	LBQU – 195	
	LBQU – 199	
	LBQU – 200	
	LBQU – 205	
	LBQU – 206	
	LBQU – 207	
	LBQU – 209	
	LBQU – 210	
DEPARTAMENTO	CÓDIGO DE MUESTRA	MEZCLA
Lambayeque	LBQU – 204	Amarillo Semidentado

(*) Supuesta raza nueva

3.3. DESCRIPTORES EVALUADOS EN LAS MAZORCAS

3.3.1. Descriptores cuantitativos

Se caracterizaron 10 mazorcas por cada muestra colectada, de los cuales se extrajo un promedio por descriptor cuantitativo (IBPGR, 1991).

- a. Longitud de mazorca: Medida en milímetros, colocando cada mazorca en forma horizontal sobre una regla con soporte de madera.
- b. Diámetro de mazorca: Medida en milímetros, con ayuda de un vernier. Se midieron en total tres diámetros:
 - Diámetro central: Zona central de la mazorca.
 - Diámetro apical: Zona más angosta de la mazorca y alejada del tallo de la planta.
 - Diámetro basal: Zona más ancha de la mazorca y cercana al pedúnculo (punto de inserción de la mazorca en el tallo de la planta).

- c. Número de hileras: Esta cifra se obtuvo mediante el conteo de las hileras directamente en la misma mazorca.
- d. Número de granos por hilera: Esta cifra se obtuvo mediante el conteo de los granos en la hilera más completa de cada mazorca, con cuidado para evitar el desgrane³.
- e. Diámetro del marlo: Previo desgrane manual de la mazorca, se realizó un corte transversal por la zona central de cada mazorca para luego medir, en milímetros, el marlo con ayuda de un vernier (ver figura 2).
- f. Diámetro del raquis: Medida del diámetro, en milímetros, a partir del inicio de las glumas, con ayuda de un vernier (ver figura 2).
- g. Diámetro de la médula: Medido en milímetros, con ayuda de un vernier (ver figura 2).

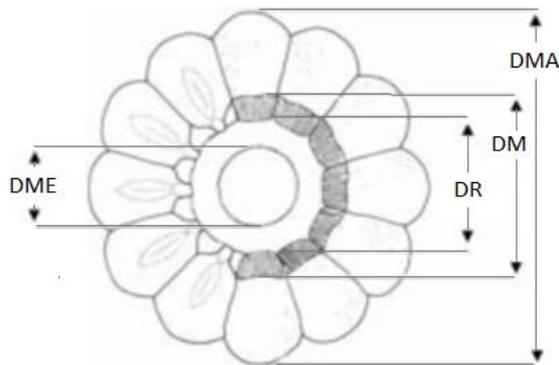


Figura 2. Diámetros medidos en la mazorca.

Fuente: IBPGR, 1991.

DME: Diámetro de médula; DR: Diámetro de raquis; DM: Diámetro de marlo; DMA: Diámetro de mazorca.

- h. Longitud de grano: Promedio en milímetros de 10 granos consecutivos colocados en forma horizontal, formando una hilera, junto a una regla de madera con soporte.
- i. Ancho de grano: Promedio de los mismos 10 granos, en milímetros, sólo que ahora colocados en forma vertical junto a una regla.

³ Pérdida o caída de granos de la mazorca.

- j. Espesor del grano: Promedio, en milímetros, de 10 granos medidos en la misma mazorca con ayuda de un vernier. Cuando las mazorcas sufrieron de desgane, se tomó el promedio de 5 granos multiplicado por 2, a fin de obtener el mismo resultado.

3.3.2. Descriptores cualitativos

Los descriptores cualitativos empleados para la caracterización de mazorcas fueron del tipo nominal o sin secuencia lógica (Núñez y Escobedo, 2011). Por esta razón, a los estados de cada uno de estos descriptores se les otorgó un número, en base a lo señalado por IBPGR (1991) y Alercia (2011).

- a. Forma de mazorca: Se registraron las formas más frecuentes:
- 1 = Cilíndrica: Base y punta de mazorca con mismo diámetro.
 - 2 = Cilindro-cónica: Combinación de ambas formas.
 - 3 = Cónica: Base con mayor diámetro que la punta.

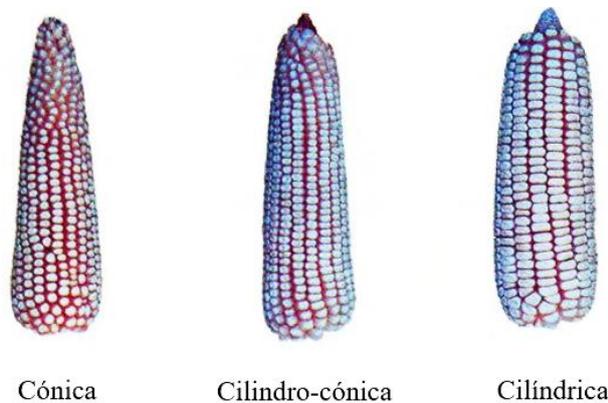


Figura 3. Forma de mazorca de maíz.

Fuente: Proyecto Global de Maíces Nativos, 2011.

- b. Color de marlo: Se registraron los colores más frecuentes: blanco (1), crema (2), mostaza (3), salmón (4), rojo claro (5), rojo (6), granada (7), marrón claro (8), marrón rojizo (9) y marrón o café (10).

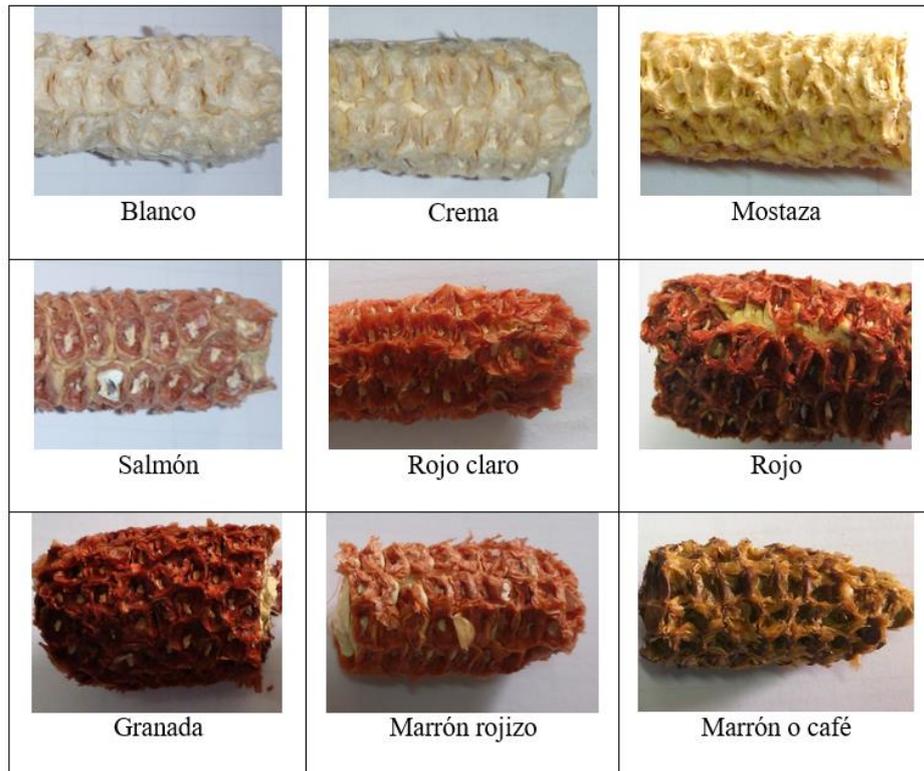


Figura 4. Color de marlo.

- c. Textura de grano: Se registraron los siguientes tipos de textura: harinoso (1), morocho o semi-harinoso⁴ (2), semi-dentado (3), semi-duro (4) y duro (5).

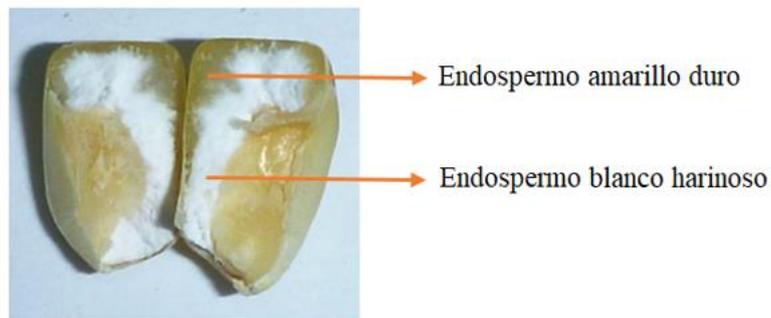


Figura 5. Textura de grano – Morocho o semi-harinoso.

*Textura harinosa: Endospermo blanco en todo el grano.

⁴ Posee una capa externa de endospermo duro sobre el endospermo harinoso (IBPGR, 1991).

- d. Color de pericarpio: Se registraron los colores más frecuentes: incoloro (1), crema (2), amarillo claro (3), amarillo (4), mostaza (5), marrón claro (6), granada (7), marrón rojizo (8), rojo (9) y rojo variegado (10).



Figura 6. Color de pericarpio.

- e. Color de aleurona: Se registraron los colores más frecuentes: incoloro (1), crema (2), amarillo claro (3), amarillo (4), púrpura (5) y moteado (7).



Figura 7. Color de aleurona.

- f. Color de endospermo: Se registraron los colores más frecuentes: blanco (1) y amarillo (2).

g. Depresión de grano: Presencia de una hendidura en la base del grano, cuya profundidad fue medida en la siguiente escala:

- 1 = Sin hendidura
- 2 = Hendidura de profundidad leve
- 3 = Hendidura de profundidad pronunciada



Figura 8. Depresión de grano.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.4.1. Matriz básica de datos

Se elaboró la matriz básica (ver anexo 1) a partir de los datos obtenidos en las evaluaciones descritas anteriormente. En las filas de la matriz fueron colocados los códigos de las 43 muestras caracterizadas, mientras que en las columnas, los promedios de las 10 mazorcas, para el caso de los descriptores cuantitativos y la moda o valor más frecuente, para los cualitativos.

3.4.2. Estadísticas básicas

Con la finalidad de estudiar la variabilidad morfológica de las 43 muestras de maíz, se realizó un análisis estadístico a través de gráficos de cajas o “Box Plot” por cada variable, carácter o descriptor cuantitativo, los cuales fueron obtenidos con ayuda del *software* libre R (versión 3.4.2 para Windows), a través de la

función “Boxplot⁵”. Para el caso de las variables cuantitativas, se realizaron gráficos de barras con la frecuencia de cada estado del descriptor, y con ayuda del programa Microsoft Excel 2013.

3.4.3. Análisis multivariado

Dado que se realizó un análisis simultáneo con más de dos variables o descriptores, se optó por un análisis multivariado (Hair *et al*, 1999). Este proceso se dividió en tres partes importantes: análisis de componentes principales, análisis de conglomerados o clúster y, finalmente, la validación del análisis clúster.

a. Análisis de componentes principales

A partir de la matriz básica y sólo con las variables cuantitativas, debido a la naturaleza de este análisis, se determinaron los componentes principales con ayuda del *software* libre R (versión 3.3.1 para Windows). Para este proceso, se empleó el paquete estadístico “FactoMineR⁶”, el cual ofrece la ventaja de estandarizar automáticamente los datos a fin de que la diferencia existente entre las unidades de las variables no altere el resultado final (Kassambara, 2017). Con la función “PCA”, se determinaron los valores propios de cada componente principal, así como los gráficos de sedimentación y biplots. Se seleccionaron aquellos componentes principales cuyo valor propio fuera igual o superior a 1 y explicaran el 70 por ciento o más de la varianza total (Kaiser, 1960; Cliff, 1987; citados por Franco e Hidalgo, 2003). La matriz de correlación de las variables cuantitativas en estudio fue determinada mediante la función “cor” del paquete estadístico “Stats”.

Adicionalmente, con los resultados obtenidos en la matriz de correlaciones y los componentes principales, se determinaron las variables de mayor importancia en base a la metodología establecida por Pla (1986), citada por Rojas (2003) la cual, mediante la suma al cuadrado de la correlación que

⁵ The R Language, s.f.

⁶ Husson *et al*, 2017

forma cada variable original con los componentes principales seleccionados, cuantifica la proporción de la varianza explicada por cada variable original.

b. Análisis de conglomerados o clúster

Para el estudio de las relaciones entre las muestras caracterizadas, se realizó el análisis de conglomerados, con ayuda del *software* libre Infostat⁷ (versión 2008), y utilizando todas las variables empleadas en la caracterización, a fin de obtener la mejor forma de agrupación con toda la información posible.

Para el cálculo de la matriz de distancia, base para en análisis clúster, se utilizó el coeficiente de Gower (Gower, 1971; citado por Franco e Hidalgo, 2003), debido al uso simultáneo de variables cualitativas y cuantitativas. Esta distancia se define como $d_{ij}^2 = 1 - \delta_{ij}$ (Gower, 1971; citado por Demey *et al*, 2011), donde:

$$\delta_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^{p_1} \left(1 - \frac{|x_{ih} - x_{jh}|}{G_h} + a + \alpha \right)}{p_1 + (p_2 - d) + p_3}$$

Es el coeficiente de distancia de Gower,

p_1 es el número de variables cuantitativas continuas,

p_2 es el número de variables binarias,

p_3 es el número de variables cualitativas (no binarias),

a es el número de coincidencias (1,1) en las variables binarias,

d es el número de coincidencias (0,0) en las variables binarias,

α es el número de coincidencias en las variables cualitativas (no binarias),

G_h es el rango (o recorrido) de la h-ésima variable cuantitativa.

Para la obtención de los conglomerados se utilizó el método jerárquico aglomerativo de Ward, también conocido como el método de varianza

⁷ Di Rienzo *et al*, 2008

mínima dado que busca minimizar la varianza uniendo elementos que permitan un menor incremento de la suma de cuadrados error (SCE), permitiendo que los conglomerados formados sean homogéneos y con tamaños aproximadamente similares (Ward, 1963; citado por Hair *et al*, 1999).

Los resultados obtenidos fueron presentados en un dendrograma o diagrama de árbol, para lo cual se estandarizaron los datos debido al uso de variables dimensionalmente heterogéneas; cabe mencionar que para la elección del punto de corte se utilizó el criterio establecido por Núñez y Escobedo (2011). Finalmente para la validación del dendrograma obtenido, se realizó la prueba de una sola vía PerMANOVA, con ayuda del *software* libre Past⁹ (Paleontological Statistics versión 3.20)

Adicionalmente se incluyeron dos dendrogramas, el primero, empleando las variables cualitativas y el segundo, con componentes principales obtenidos a partir de las variables cuantitativas, a fin de determinar la influencia de los tipos de variables y su eficiencia en la formación de los conglomerados, además de ser usados como método de corroboración del primer análisis realizado. En el primer caso fue realizado en base a la metodología empleada por Ligarreto (2003) que consiste en la agrupación de muestras o accesiones utilizando aquellos descriptores que poseen alta heredabilidad¹⁰, lo que les asegura una alta estabilidad bajo diferentes circunstancias o ambientes donde se encuentren.

⁹ Past 3.x, 2017

¹⁰ Característica importante para determinar qué proporción de la variabilidad observada en los fenotipos es atribuible a efectos genéticos y ambientales y así, diseñar procedimientos estadísticos para determinarlos (Basurto, 2015; comunicación personal).

Para el cálculo de la matriz de distancia se empleó el índice o coeficiente de similitud de “Encadenamiento Simple” o “Simple Matching” (Sokal y Sneath, 1963; citados por Núñez y Escobedo, 2011), cuya fórmula¹¹ permite analizar datos cualitativos multi-estado o sin secuencia lógica. Al igual que el caso anterior, se utilizó el método jerárquico aglomerativo de Ward, además de presentarse los datos mediante un dendrograma. Finalmente, para el tercer dendrograma, se siguió la misma metodología, con la diferencia del uso de la distancia Euclidiana para el cálculo de la matriz de distancia, específica para datos cuantitativos, cuya fórmula¹² se basa en el Teorema de Pitágoras (Núñez y Escobedo, 2011).

¹¹ $\frac{a}{a+2(b+c)}$; Donde: a, b, c y d son las frecuencias absolutas de los eventos (1,1); (1,0); (0,1) y (0,0); respectivamente (Sokal y Sneath, 1963; citados por Demey et al, 2011).

¹² $E_{ij} = \sqrt{\sum_k (X_{ki} - X_{kj})^2}$ (Núñez y Escobedo, 2011).

IV. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MAZORCA

Con ayuda de los promedios de las variables cuantitativas empleadas en la caracterización, entre ellas los diámetros de médula, de raquis, de marlo y el diámetro central de la mazorca, además del número de hileras, longitud y ancho de grano, se elaboraron 13 diagramas que representan el corte transversal de las muestras en estudio.

a. Alazán

La muestra perteneciente a esta raza presentó una longitud promedio de 145.8 mm, con un rango de 8 a 14 hileras, de 15 a 31 granos cada una. La figura 9 muestra el corte transversal, con un diámetro de médula de 6.3 mm, diámetro de raquis de 16.12 mm y un diámetro de central de mazorca de 45.17 mm. También presentó un diámetro apical y basal de mazorca de 40.13 mm y 45.86 mm, además de poseer una forma cilíndrica, lo cual concordó con lo encontrado por Grobman *et al* (1961) (ver revisión de literatura). La longitud, ancho y espesor de grano resultaron ser 12.5 mm, 10.2 mm y 5.0 mm, respectivamente. Esta muestra presentó una textura harinosa, pericarpio y marlo color marrón rojizo, aleurona incolora, endospermo blanco y grano sin depresiones.

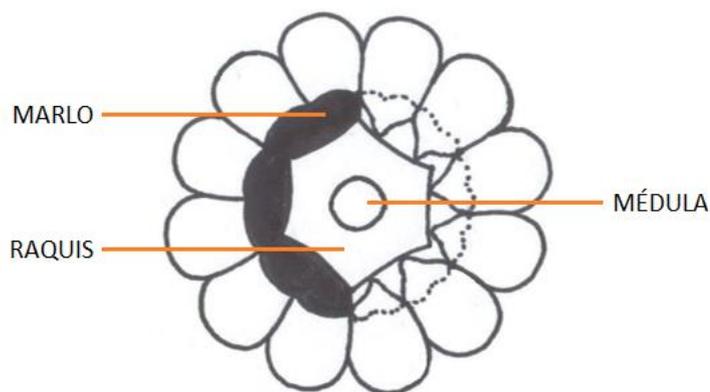


Figura 9. Corte transversal de mazorca – Raza “Alazán”.

Fuente: Elaboración propia

b. Amarillo Harinoso

En la figura 10 se observa el corte transversal de la mazorca, representando una médula de 6.23 mm de diámetro, un raquis de 13.15 mm de diámetro, un marlo de 19.16 mm de marlo y un diámetro central de mazorca de 42.03 mm, similar al “Mischa Mejorado” encontrado por Caviedes *et al* (2002). Entre otras características, la mazorca presentó una forma predominantemente cilindro-cónica, con diámetros apical y basal de 33.89 mm y 43.97 mm, respectivamente. Adicionalmente, la mazorca presentó un número de hileras entre 8 a 14 hileras, de 10 a 24 granos cada una. Los granos presentaron una longitud, ancho y espesor de 13.05 mm, 10.04 mm y 5.02 mm, respectivamente. Estas muestras se caracterizaron por presentar una longitud promedio de 79.6 mm, textura harinosa, pericarpio incoloro, endospermo blanco, aleurona amarilla, marlo de color rojo y granos con depresiones leves.

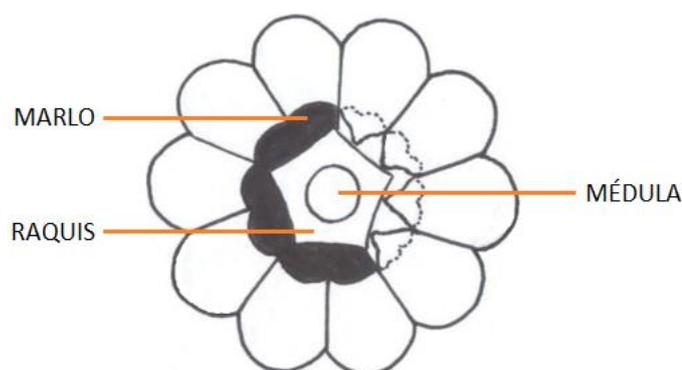


Figura 10. Corte transversal de mazorca – Raza “Amarillo Harinoso”.

Fuente: Elaboración propia

c. Amarillo Huancabamba

La figura 11 representa el corte transversal de las muestras pertenecientes a la raza Amarillo Huancabamba. El diámetro de médula, raquis y marlo presentaron un diámetro de 8.08 mm, 16.28 mm y 23.91 mm, respectivamente. La mazorca presentó una longitud promedio de 115 mm, de forma cilindro-cónica, de 8 a 14 hileras con un rango de 18 a 25 granos por hilera; un diámetro central, basal y central de 45.85 mm, 48.66 mm y 38.3 mm, respectivamente. Los granos presentaron una longitud promedio de 13.46 mm, un ancho de 10.61 mm y un espesor de 5.07 mm. Adicionalmente, las muestras presentaron una textura harinosa, pericarpio incoloro, endospermo blanco, aleurona amarilla y amarillo

claro, marlo color granada y granos con depresión leve. Estos resultados difieren un poco con lo encontrado por Salhuana (2004), principalmente en las variables como color de endospermo, pericarpio y aleurona, puesto que es una raza imperfectamente definida (ver revisión de literatura); sin embargo, se obtuvo el mismo resultado en cuanto a textura de grano (harinosa) y tamaño de grano.

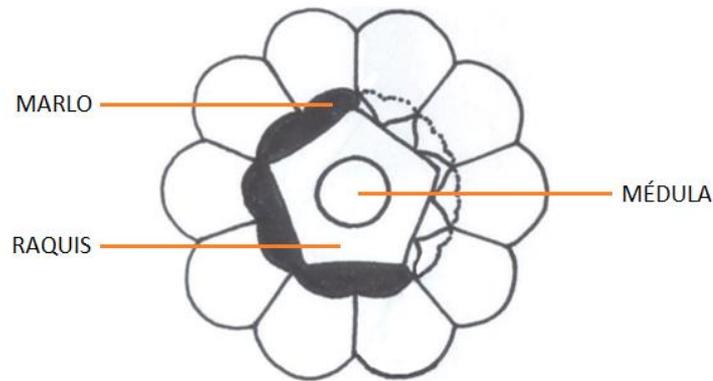


Figura 11. Corte transversal de mazorca – Raza “Amarillo Huancabamba”.

Fuente: Elaboración propia

d. Cubano Amarillo

En la figura 12 se muestra el corte transversal de la mazorca perteneciente a la raza Cubano Amarillo, representando un diámetro de médula, de raquis y marlo de 8.99 mm, 16.01 mm y 25.83 mm, respectivamente. La mazorca se caracterizó por presentar una longitud de 175.2 mm, una de las más largas registradas en el proceso de caracterización, lo cual concuerda con lo encontrado en la literatura; el rango del número de hileras se encontró entre 12 a 14, mientras que el de granos por hilera, entre 32 a 47. Adicionalmente, presentó un diámetro central, apical y basal de 43.96 mm, 37.94 mm y 45.87 mm, respectivamente, lo cual indica una forma cónica. La longitud del grano fue de 11.6 mm, con un ancho de 8.8 mm y un espesor de 4 mm, además de poseer textura dura, con endospermo de color blanco y amarillo, aleurona incolora, sin ninguna depresión en su superficie. El color del marlo fue blanco mientras que el del pericarpio, amarillo.

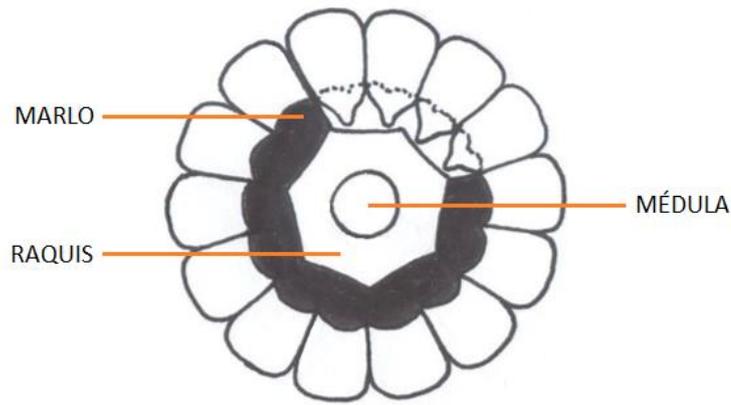


Figura 12. Corte transversal de mazorca – Raza “Cubano Amarillo”.

Fuente: Elaboración propia

e. Huarmaca

Las muestras pertenecientes a esa raza se caracterizaron por presentar un diámetro de médula, raquis y marlo de 5.5 mm, 12.66 mm y 18.75 mm, respectivamente (ver figura 13). La longitud promedio de mazorca fue de 140.5 mm, con un rango de 8 a 12 hileras de 20 a 30 granos, llegando incluso a 40 en algunas muestras. Los diámetros basal, apical y central de la mazorca resultaron en promedio 41.59 mm, 32.12 mm y 38.54 mm, respectivamente, lo que sugiere una forma de mazorca cilindro-cónica. El grano presentó una longitud promedio de 12.03 mm, un ancho de 10.47 mm y un espesor de 4.79 mm; además de poseer una textura harinosa en algunas muestras y morocha en otras. El pericarpio fue predominantemente amarillo, con aleurona amarilla e incolora, endospermo blanco y amarillo, marlo de color crema y granos sin depresión en su superficie, resultados que concuerdan con lo encontrado por Salhuana (2004).

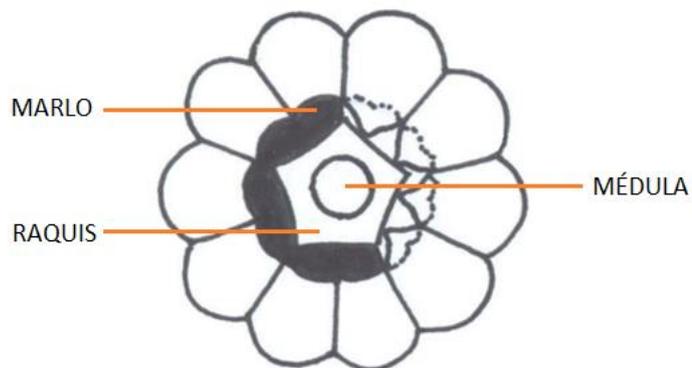


Figura 13. Corte transversal de mazorca – Raza “Huarmaca”.

Fuente: Elaboración propia

f. Lambayeque

Las muestras de este grupo denominado “Lambayeque” se caracterizaron por presentar un diámetro promedio de médula, raquis y marlo de 7.40 mm, 15.58 mm y 24.4 mm, respectivamente (ver figura 14). En promedio, la longitud de la mazorca resultó ser de 111.88 mm, con un diámetro central de 45.32 mm, un diámetro apical de 38.95 mm y uno basal de 47.94 mm, lo cual indicó una forma predominantemente cilindro-cónica. Las mazorcas presentaron de 8 a 14 hileras, con una mayor frecuencia de 10, cada una con 10 a no más de 30 granos. El grano presentó una longitud, ancho y espesor promedio de 13.24 mm, 10.20 mm y 5.40 mm, respectivamente, además de una textura harinosa, endospermo de color blanco y ninguna depresión en su superficie. El marlo presentó un color crema; por su parte, pericarpio no presentó ninguna coloración, mientras que la aleurona presentó colores como amarillo y púrpura

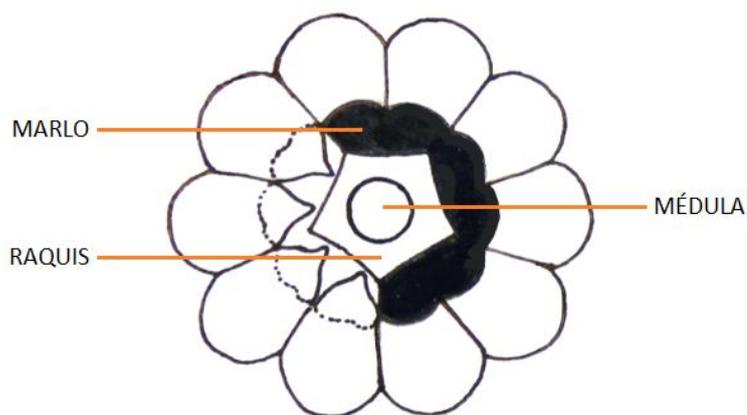


Figura 14. Corte transversal de mazorca – “Lambayeque”.

Fuente: Elaboración propia

g. Marañón

En la figura 15 se muestra el corte transversal de una mazorca de la raza Marañón, donde se representa la médula (diámetro = 6.56 mm), raquis (diámetro = 16.39 mm) y marlo (diámetro = 25.76 mm), además del diámetro central de la mazorca (47.08 mm), longitud (13.37 mm) y ancho de grano (10.56 mm). La longitud de la mazorca fue en promedio 125.93 mm, con diámetro apical de 41.30 mm, y basal de 49.95 mm, de forma cilíndrica, con un rango de número de hileras entre 8 a 14, de 17 a 26 granos cada una. El grano presentó un espesor de 5.18 mm, textura harinosa, endospermo blanco, aleurona incolora y pericarpio

de color rojo variegado, mientras que el marlo presentó un color predominantemente marrón rojizo, resultados que concuerdan con lo encontrado por Salhuana (2004).

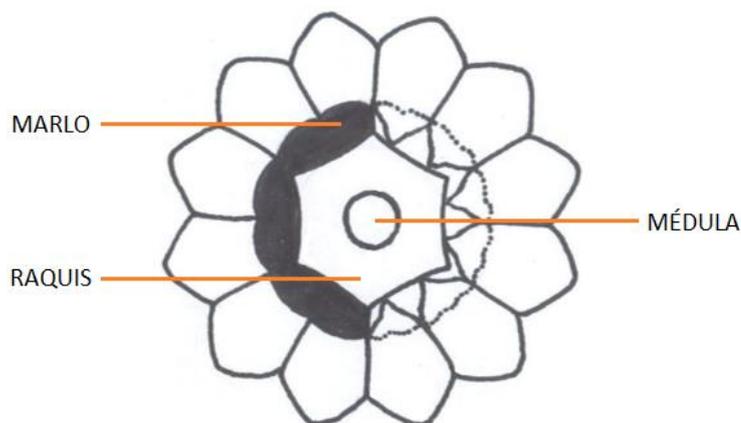


Figura 15. Corte transversal de mazorca – Raza “Marañón”.

Fuente: Elaboración propia

h. Sabanero

Las muestras pertenecientes a esta raza presentaron un diámetro promedio de médula, raquis y marlo de 8.39 mm, 17.62 mm y 24.76 mm, respectivamente (ver figura 16). Las mazorcas registraron una longitud promedio de 133.69 mm, con diámetros apical, basal y central de 38.64 mm, 49.58 mm y 46.64 mm, indicando una forma cilindro-cónica. El número de hileras estuvo en un rango de 8 a 12, siendo más frecuente observar mazorcas de 10 hileras, de 15 a 30 granos cada una. El grano se caracterizó por presentar una longitud de 13.58 mm, un ancho de 12.45 mm y un espesor de 5.85 mm, además de una textura morocha y sin hendiduras en su superficie. El color del marlo fue predominantemente rojo, pericarpio incoloro, aleurona amarilla e incolora, y endospermo blanco y amarillo, lo cual concordó con lo encontrado por Grobman *et al* (1961) y Salhuana (2004) en sus trabajos de caracterización de esta raza (ver revisión de literatura).

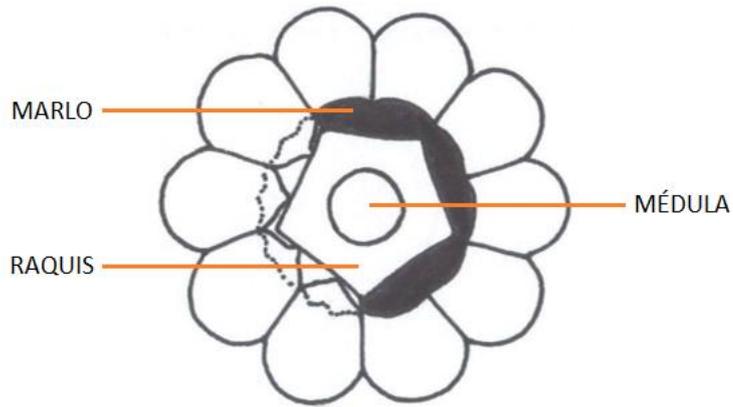


Figura 16. Corte transversal de mazorca – Raza “Sabanero”.

Fuente: Elaboración propia

i. Umutu

En la figura 17 se muestra el corte transversal de una mazorca perteneciente a la raza Umutu, donde se representa la médula, raquis y marlo, cuyos diámetros resultaron de 8.42 mm, 16.04 mm y 24.28 mm, en promedio, respectivamente. La mazorca presentó una longitud de 117.63 mm, además de un diámetro central, apical y basal de 46.56 mm, 36.68 mm y 48.81 mm; forma cilindro-cónica, además de un rango de 8 a 14 hileras, de 15 a 30 granos cada una. La longitud, ancho y espesor promedio del grano fueron de 13.48 mm, 11.10 mm y 5.48 mm, respectivamente; textura harinosa, pericarpio incoloro, aleurona entre amarillo y amarillo claro y endospermo blanco, sin presencia de hendiduras. Adicionalmente, el marlo presentó una coloración crema principalmente.

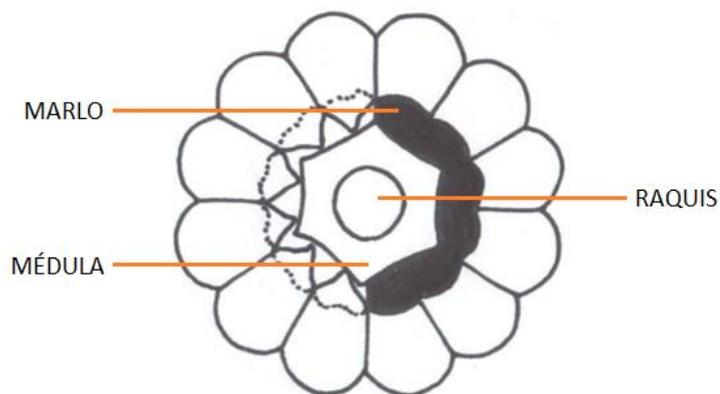


Figura 17. Corte transversal de mazorca – Raza “Umutu”.

Fuente: Elaboración propia

j. Amarillo Semidentado

Esta mezcla (dado que no está catalogada como una raza) presentó una longitud promedio de mazorca de 137.8 mm; un diámetro apical, central y basal de 38.62 mm, 43.8 mm y 45.68 mm, respectivamente (ver figura 18), indicando una mazorca de forma cilíndrica. El rango de número de hileras estuvo entre 12 a 14, con 20 a 34 granos cada una. El grano se caracterizó por presentar una longitud, ancho y espesor de 11.9 mm, 9.3 mm y 4.3 mm en promedio, respectivamente; además de una textura semi-dentada, pericarpio amarillo, aleurona incolora, endospermo blanco y sin depresiones o hendiduras. Por su parte, el marlo presentó una coloración marrón claro, principalmente.

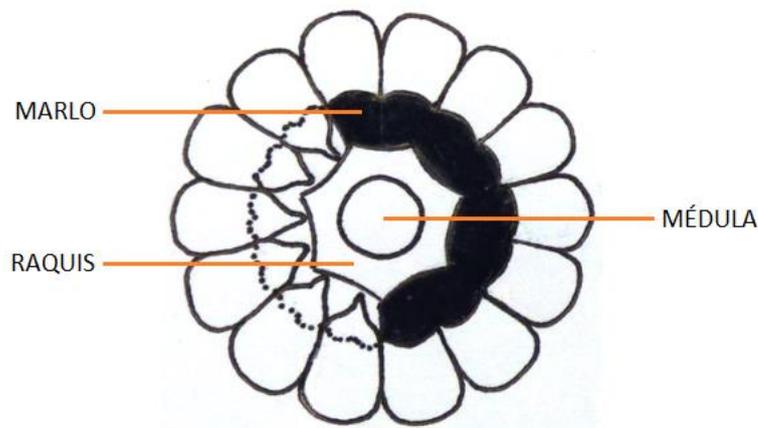


Figura 18. Corte transversal de mazorca – Mezcla “Amarillo Semidentado”.

Fuente: Elaboración propia

4.2.VARIABILIDAD MORFOLÓGICA DE LAS MUESTRAS EN ESTUDIO

Los caracteres o características morfológicas de las muestras de estudio, tanto para mazorca como para grano, fueron analizados a través de gráficos de cajas o “Box Plot”, para el caso de caracteres cuantitativos; y mediante gráficos de barras, para los caracteres cualitativos, con la finalidad de mostrar la variabilidad y la dispersión del material de estudio.

4.2.1. Caracteres cuantitativos

a. Número de hileras y de granos por hilera

En la figura 19 se muestra el gráfico de cajas de los caracteres cuantitativos de la mazorca obtenidos mediante conteo, número de hileras y número de granos por hilera. Como se puede observar, existe una mayor variabilidad para el segundo carácter, con un promedio de 22.49 granos, un valor mínimo de 14.2 granos, correspondiente a la muestra LBQU – 167 (Lambayeque), y un máximo de 33.6 granos, observado en la muestra PIU – 258 de la raza Huarmaca. Adicionalmente se presentó un valor atípico de 39.2 granos, proveniente de la muestra LBQU – 211, de la raza Cubano Amarillo. En cuanto al número de hileras en la mazorca, existe una menor variabilidad; dado que la mayoría de muestras presentó un promedio de 10 hileras, con mínimo de 8 y un máximo de 12; sin embargo, en las muestras LBQU – 211 antes mencionada y en LBQU – 204 (Amarillo Semidentado), se presentaron valores atípicos como 14 hileras.

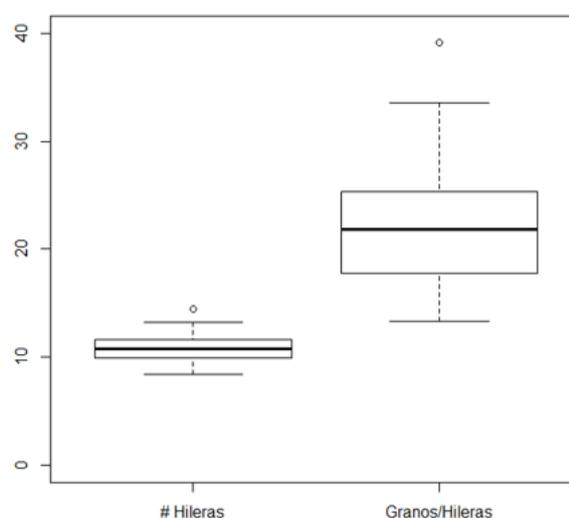


Figura 19. Caracterización de la mazorca – Variables de conteo.

b. Longitud y diámetros de la mazorca

En la figura 20 se muestra los gráficos de cajas de los caracteres cuantitativos obtenidos mediante mediciones, los cuales abarcan las longitudes y diámetros. La variable o carácter que presentó una mayor variabilidad fue la longitud de la mazorca; el material evaluado presentó un

promedio de 12.5 cm de longitud, con un valor mínimo de 7 cm, como fue el caso de la muestra AMAZ – 071 (Amarillo Harinoso), hasta un máximo de 18.5 cm, de la muestra PIU – 258, de la raza Huarmaca. Las demás variables evaluadas mostraron una menor variabilidad, siendo el diámetro de médula el que presentó la más baja, con un promedio de 0.71 cm, un valor máximo de 1.1 cm, correspondiente a la muestra CAJ – 700, de la raza Sabanero, y un mínimo de 0.4 cm, perteneciente a la muestra PIU – 244, de la raza Huarmaca. Cabe resaltar la presencia de un valor atípico en la variable diámetro de raquis, de 2.25 cm correspondiente a la muestra PIU – 243 de la raza Huarmaca.

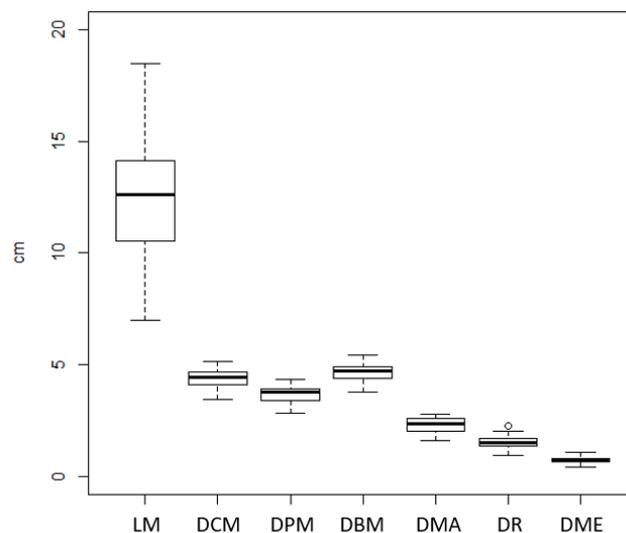


Figura 20. Caracterización de la mazorca – Variables de medida.

LM = Longitud de mazorca; DCM = Diámetro central de mazorca; DPM = Diámetro de punta de mazorca; DBM = Diámetro basal de mazorca; DMA = Diámetro del marlo; DR = Diámetro del raquis; DME = Diámetro de médula.

c. Longitud, ancho y espesor de grano

En la figura 21 se muestran los gráficos de cajas de los caracteres cuantitativos del grano de maíz: longitud, ancho y espesor de grano. La variable o carácter que presentó una mayor variabilidad fue la longitud de grano, con una media de 12.91 mm, un valor máximo de 14.92 mm, correspondiente a la muestra LBQU – 171, de la supuesta nueva raza Lambayeque, y un valor mínimo de 11.02, de la muestra LBQU – 210, también perteneciente a Lambayeque. Adicionalmente se detectan dos valores atípicos: 15.7 mm, de la muestra CAJ – 651, de la raza Umutu, y

16.73 mm, LBQU – 195, perteneciente a Lambayeque. El segundo carácter en cuanto a variabilidad fue el ancho de grano, con una media de 10.54 mm, un valor máximo de 12.4 mm, observado en la muestra CUZ – 400, de la raza Sabanero, un valor mínimo de 8.8 mm, presentado en la muestra LBQU – 211, de la raza Cubano Amarillo, y dos valores atípicos: 13.1 mm, correspondiente a la muestra CAJ 700, de la raza Sabanero, y 13.4 mm, perteneciente a la muestra CAJ – 651, de la raza Umutu. Finalmente, el tercer carácter fue el espesor de grano, con una media de 5.2 mm, un valor máximo de 6.2 mm, correspondiente a la muestra CAJ – 700 antes mencionada, y un mínimo de 4 mm, observado en la muestra LBQU – 211, de la raza Cubano Amarillo.

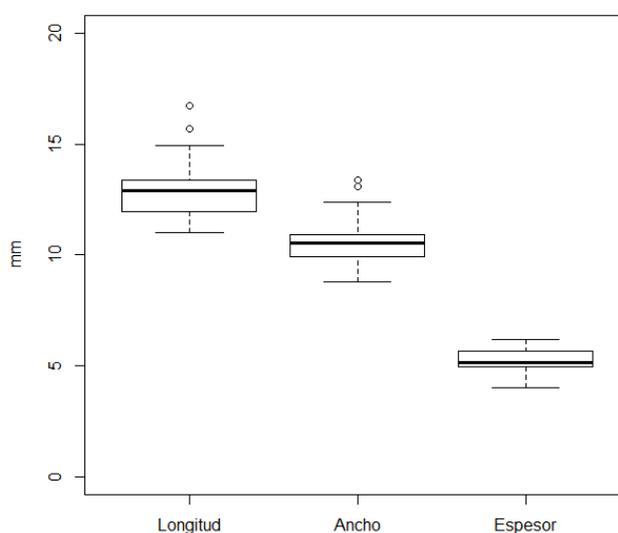


Figura 21. Caracterización del grano de maíz.

4.2.2. Caracteres cualitativos

a. Forma de mazorca

En la figura 22 se muestra el gráfico de frecuencias del carácter forma de mazorca. Como se puede observar, la forma de mazorca predominante en las muestras evaluadas fue el cilindro-cónico, forma intermedia del cónico y cilíndrico, con un total de 25 muestras, entre ellas las pertenecientes a la raza Amarillo Harinoso, Marañón, Alazán, Umutu, Amarillo Huancabamba, 7 muestras Lambayeque y 5 de la raza Huarmaca. Le sigue la forma cilíndrica, presente en 13 muestras, entre las que se encuentran todas las

pertenecientes a la raza Marañón, Alazán, Amarillo Semidentado, 4 muestras de la raza Huarmaca de y 3 muestras Lambayeque; y finalmente, en menor proporción, la forma cónica, presente sólo en 3 muestras: dos Lambayeque y 1, de la raza Cubano Amarillo. También se pudo observar la presencia tanto de la forma cilíndrica como de la cilindro-cónica en sólo 2 muestras: LBQU – 206 (Lambayeque) y PIU – 264 (Huarmaca).

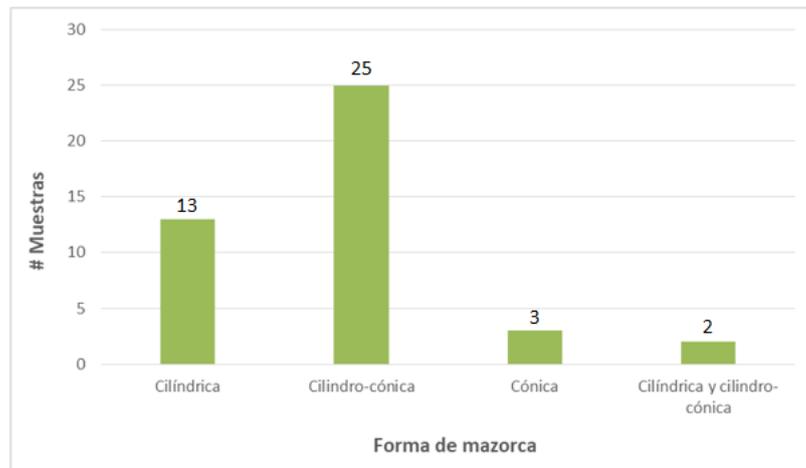


Figura 22. Frecuencia de forma de mazorca.

b. Color de marlo

En la figura 23 se muestra el gráfico de frecuencias del carácter color de marlo. De acuerdo a él, el color con mayor predominancia fue crema, con 23 muestras entre las que se encuentran la mayoría de muestras pertenecientes a la raza Umutu, 1 muestra de Sabanero (CAJ – 700), 8 muestras Lambayeque y todas las de la raza Huarmaca, tanto de Piura como de Lambayeque. El segundo color más predominante fue el rojo, observado en 6 muestras: AMAZ – 071 (Amarillo Harinoso), CAJ – 656 (Umutu), CUZ – 400 (Sabanero), LBQU – 204 (Amarillo Semidentado) y 2 muestras Lambayeque (LBQU – 195 y LBQU – 206). Cuatro muestras presentaron una coloración marrón rojiza, entre ellas aquéllas pertenecientes a la raza Alazán y la mayoría de mazorcas de la raza Marañón; mientras que los colores menos frecuentes fueron el blanco (2 muestras: CAJ – 694, Sabanero, y LBQU – 211, Cubano Amarillo), rojo claro (2 muestras, LBQU – 162 de la raza Marañón, y PIU – 262, de la raza Amarillo Huancabamba), granada (2 muestras, CAJ – 698, Sabanero, y PIU – 260, Amarillo

Huancabamba), marrón claro (1 muestra, LBQU – 171, Lambayeque), salmón (1 muestra, AMAZ – 064, Amarillo Harinoso) y café (2 muestras, LBQU – 190 y LBQU – 200, ambas Lambayeque).

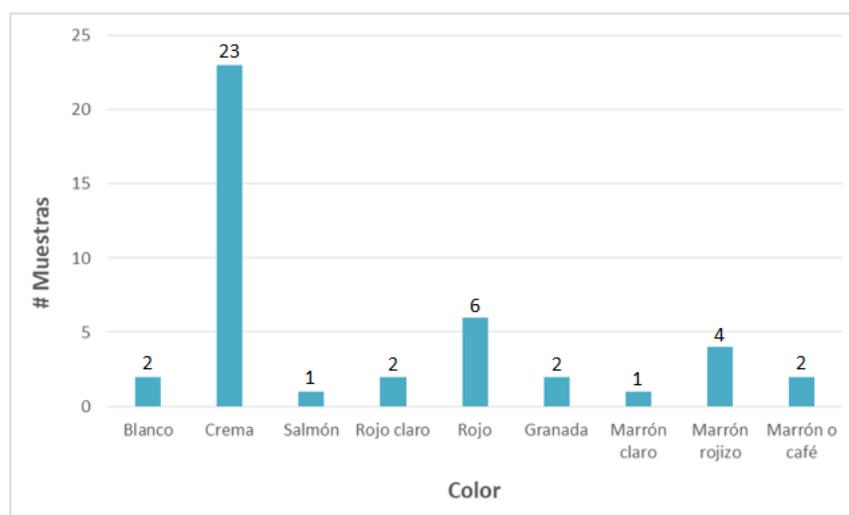


Figura 23. Frecuencia de color de marlo.

c. Color de pericarpio

En la figura 24 se presenta el gráfico de frecuencias para el carácter color de pericarpio del grano. De las 43 muestras caracterizadas, 24 presentaron un pericarpio inoloro, entre las que destacan todas aquellas pertenecientes a las razas Amarillo Huancabamba, Umutu y Sabanero (excepto CAJ – 698, que presentó un pericarpio de color granada); 1 muestra de la raza Marañón (LBQU – 163), 2 muestras de la raza Huarmaca (PIU – 264 y PIU – 265) y 10 muestras Lambayeque. El segundo color más frecuente fue el amarillo, con un total de 9 muestras: Cubano Amarillo, Amarillo Semidentado y 7 muestras de la raza Huarmaca; seguido del color marrón claro, el cual se presentó en tres muestras: LBQU – 171 (Lambayeque), LBQU – 162 (Marañón) y PIU – 268 (Huarmaca). Por otro lado, aquellos colores que se observaron en sólo 2 muestras fueron el rojo (LBQU – 187, de la raza Marañón, y LBQU – 206, Lambayeque) y marrón rojizo (LBQU – 200, Lambayeque, y LBQU – 208, de la raza Alazán). Finalmente, los colores registrados en una sola muestra, además de granada antes mencionado, fueron: amarillo claro (LBQU – 177, Huarmaca) y rojo variegado (LBQU – 189, Marañón).

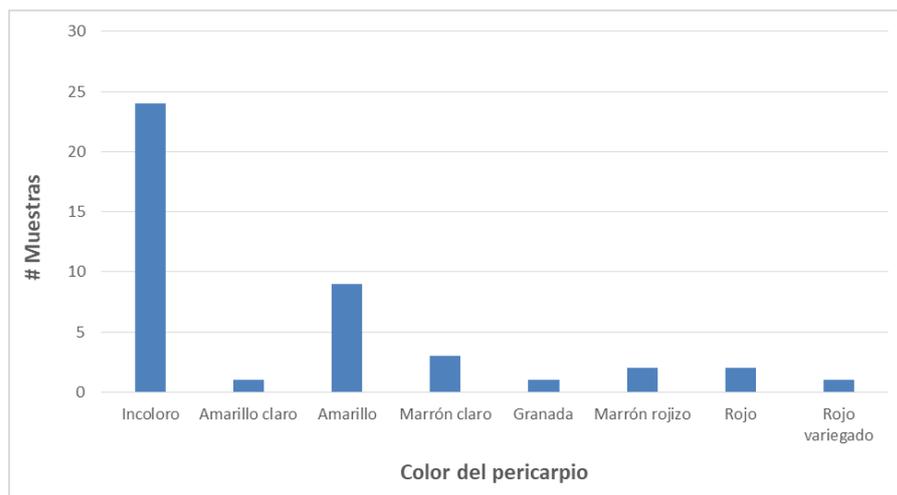


Figura 24. Frecuencia de color de pericarpio.

d. Color de aleurona

En la figura 25 se muestra el gráfico de frecuencia para el carácter color de aleurona del grano de maíz. La aleurona en su mayoría fue incolora, observado en 14 muestras, entre ellas las de la raza Alazán, Cubano Amarillo, Amarillo Semidentado, Marañón, Sabanero (CAJ – 694 y CAJ – 698), Huarmaca (PIU – 244, PIU – 247, PIU – 258 y LBQU – 177) y una muestra Lambayeque (LBQU – 190). Otro color predominante fue crema, presente en 6 muestras: CAJ – 651 (Umutu), LBQU – 176 y LBQU 192 (ambas Huarmaca) y LBQU 167, LBQU – 170 y LBQU – 200, muestras Lambayeque. El amarillo se presentó en 4 muestras: todas aquellas pertenecientes a la raza Amarillo Harinoso, Lambayeque (LBQU – 195) y Huarmaca (PIU – 264); mientras que varios colores se presentaron en una sola muestra, respectivamente: amarillo claro (PIU – 243, Huarmaca), moteado (CAJ – 664, Umutu) y púrpura (LBQU – 191, Lambayeque). Adicionalmente, se puede observar que varias muestras segregaron para diversos colores en una misma mazorca, siendo las combinaciones más frecuentes: incoloro, amarillo y púrpura (5 muestras: 1 de la raza Umutu y 4 Lambayeque), amarillo y amarillo claro (4 muestras: 1 Umutu, 1 Huarmaca y todas las pertenecientes a la raza Amarillo Huancabamba), amarillo e incoloro (3 muestras: CAJ – 700 y CUZ – 400, Sabanero y PIU – 245, Huarmaca), crema y púrpura (2 muestras: PIU – 268, Huarmaca y LBQU – 171, Lambayeque), amarillo y púrpura (1 muestra: LBQU – 199,

Lambayeque) y, finalmente, incoloro y púrpura (1 muestra: LBQU – 206, Lambayeque).

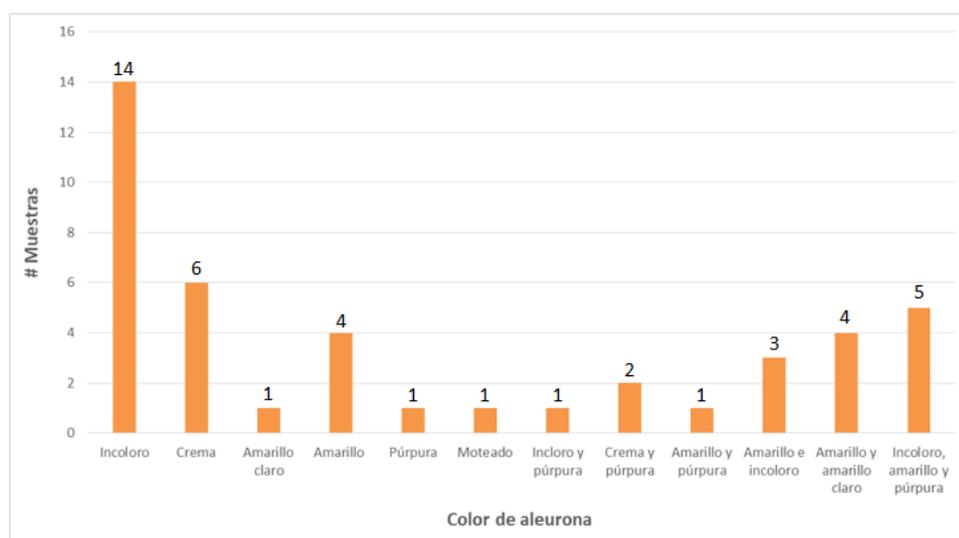


Figura 25. Frecuencia de color de aleurona.

e. Color de endospermo

En la figura 26 se muestra el gráfico de frecuencias para el carácter color de endospermo. En este caso, sólo se presentaron dos casos: endospermo blanco y una combinación de blanco con amarillo; el más predominante fue el color blanco, el cual se presentó en 30 muestras pertenecientes a las razas: Alazán, Amarillo Huancabamba, Marañón, Lambayeque, Umutu, Amarillo Harinoso (AMAZ – 064), Sabanero (CAJ – 700) y Huarmaca (PIU – 264, PIU – 265, PIU 268, LBQU – 176 y LBQU – 192); mientras que el segundo caso se presentó en las 13 restantes: Cubano Amarillo, Amarillo Semidentado, Amarillo Harinoso (AMAZ – 071), Sabanero (CAJ – 694, CAJ – 698 y CUZ – 400) y Huarmaca (PIU – 243, PIU – 244, PIU – 245, PIU – 247, PIU – 258, PIU – 265 y LBQU – 177).

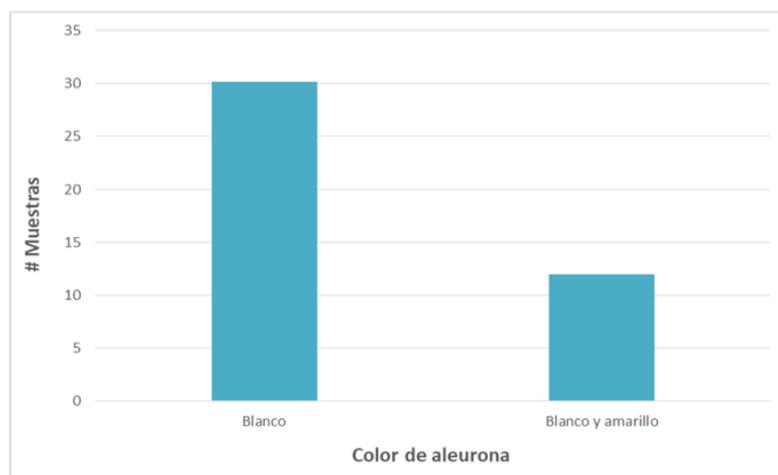


Figura 26. Frecuencia de color de endospermo.

f. Color de aleurona

En la figura 27 se muestra el gráfico de frecuencias para el carácter textura de grano. El más frecuente fue la textura harinosa, con un total de 30 muestras, que son las mismas que presentaron un endospermo de color blanco. El segundo más frecuente fue la segregación en la misma mazorca tanto para textura harinosa como para morocha, observado en 7 muestras: AMAZ – 071 (Amarillo Harinoso) y 6 muestras Huarmaca. La textura morocha se presentó en 4 muestras: Sabanero (CAJ – 694, CAJ – 698 y CUZ – 400) y Huarmaca (LBQU – 177), mientras que LBQU – 204 (Amarillo Semidentado) y LBQU – 211 (Cubano Amarillo) presentaron textura semi-dentada y dura, respectivamente.

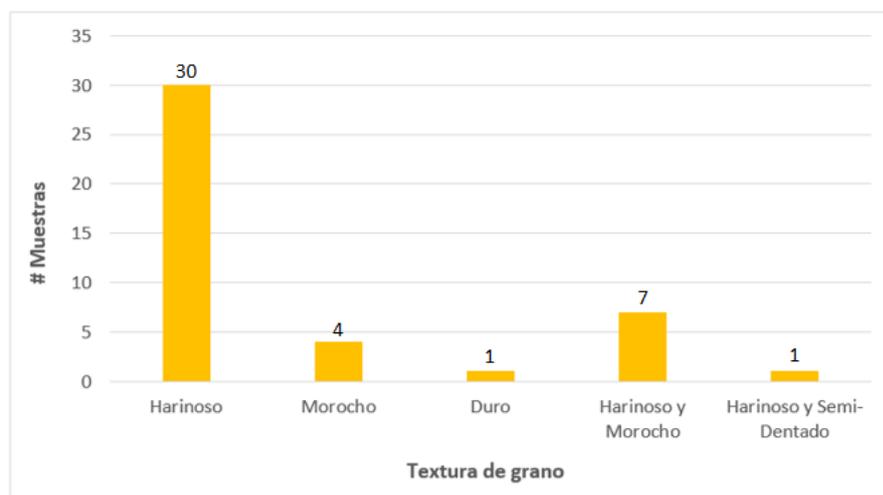


Figura 27. Frecuencia de textura de grano.

g. Depresión de grano

En la figura 28 se muestra el gráfico de frecuencias para el carácter depresión del grano de maíz. Como se puede observar, la mayoría de las muestras evaluadas (38) no presentó ninguna hendidura o depresión en su superficie; mientras que las 5 muestras restantes presentaron una hendidura de profundidad leve, entre las que se encuentran: ambas muestras de la raza Amarillo Harinoso, CAJ – 651 (Umutu), LBQU – 177 (Huarmaca) y PIU – 262 (Amarillo Huancabamba). Cabe mencionar que no se registraron muestras con una profundidad de grano pronunciada, ya que esta característica no es propia de las razas caracterizadas.

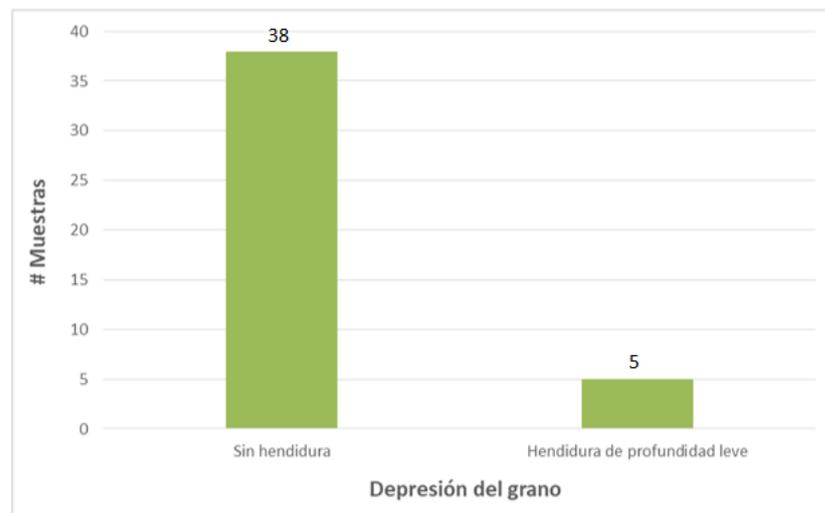


Figura 28. Depresión del grano.

4.3. ANÁLISIS MULTIVARIADO

4.3.1. Análisis de componentes principales

El principal objetivo del análisis de componentes principales es resumir la mayoría de la información original (varianza) en una cantidad mínima de factores (Hair *et al.*, 1999). Sin embargo, este análisis también fue empleado para determinar el grado de correlación entre las variables cuantitativas (único tipo de variables admitidas, debido a la naturaleza del análisis) a través del Coeficiente de Pearson; además de la identificación de las variables discriminantes, es decir,

aquellas que permiten diferenciar de forma más eficiente las muestras caracterizadas.

a. Análisis de correlaciones entre las variables cuantitativas

La matriz de correlaciones, basada en el Coeficiente de Pearson, de cada par de variables, caracteres o descriptores cuantitativos tanto de mazorca como de grano de maíz, se muestra en la tabla 4. Se consideró una alta correlación cuando el coeficiente posea un valor igual o superior a 0.7; de acuerdo a ello, las correlaciones más importantes se dieron entre los caracteres relacionados a la mazorca, en comparación con los relacionados a la morfología del grano.

Las correlaciones más altas se dieron entre los tres diámetros de mazorca (apical, central y basal), los cuales también se correlacionaron con el diámetro de marlo, mientras que este último lo hizo con el diámetro de raquis y médula. Adicionalmente, la longitud de mazorca y el número de granos por hilera presentaron una alta correlación, al igual que la longitud de grano con el diámetro central y basal de la mazorca.

Tabla 4: Matriz de correlaciones de los descriptores cuantitativos.

	LM	DCM	DPM	DBM	NH	NGH	DM	DR	DME	LG	AG	EG
LM	1.00											
DCM	-0.25	1.00										
DPM	-0.15	0.86	1.00									
DBM	-0.16	0.98	0.83	1.00								
NH	0.005	0.33	0.31	0.27	1.00							
NGH	0.87	-0.53	-0.44	-0.43	-0.05	1.00						
DM	-0.02	0.78	0.82	0.77	0.35	-0.39	1.00					
DR	-0.08	0.66	0.63	0.66	0.13	-0.36	0.70	1.00				
DME	-0.06	0.72	0.60	0.74	0.21	-0.37	0.80	0.65	1.00			
LG	-0.28	0.76	0.54	0.74	0.10	-0.36	0.23	0.30	0.29	1.00		
AG	0.19	0.41	0.23	0.46	-0.39	-0.02	0.22	0.41	0.36	0.47	1.00	
EG	-0.39	0.62	0.52	0.56	-0.01	-0.69	0.55	0.44	0.59	0.45	0.38	1.00

LM = Longitud de mazorca (cm); DCM = Diámetro central de mazorca (mm);
 DPM = Diámetro apical de mazorca (mm); DBM = Diámetro basal de mazorca
 (mm); NH = Número de hileras; NGH = Número de granos por hilera;
 DM = Diámetro de marlo (mm); DR = Diámetro de raquis (mm);
 DME = Diámetro de médula (mm); LG = Longitud de grano (mm);
 AG = Ancho de grano (mm); EG = Espesor de grano (mm);

* En negrita se muestra aquellas variables con un grado elevado de correlación
 (mayor o igual a 0.7 de coeficiente de Pearson)

b. Análisis de componentes principales de las variables cuantitativas

Los componentes principales, determinados en base a las variables cuantitativas, se muestran en la tabla 5. Además del valor propio, el cual representa la varianza asociada con los componentes principales, también se incluyó el porcentaje de la varianza explicada por cada componente, así como el porcentaje de la varianza acumulada.

Tabla 5: Valores propios y proporción de la varianza explicada en el análisis de componentes principales.

Componentes Principales	Valores Propios	Porcentaje de la varianza total explicada	
		Absoluta	Acumulada
Comp. 1	6,19	51,59	51,59
Comp. 2	1,84	15,32	66,91
Comp. 3	1,55	12,90	79,81
Comp. 4	0,99	8,27	88,08
Comp. 5	0,47	3,89	91,97
Comp. 6	0,38	3,15	95,12
Comp. 7	0,28	2,34	97,46
Comp. 8	0,16	1,29	98,75

De acuerdo a la tabla 5, los componentes seleccionados fueron los tres primeros debido a su elevado valor propio (mayor a 1); esta tabla se complementa con la gráfica de sedimentación¹³ (ver figura 29), la cual indica claramente que los 3 primeros componentes juntos explican más del 70 por ciento de la varianza total¹⁴. El corte en la tendencia descendente de la línea sirve también de regla para la determinación del número de componentes óptimos (De La Fuente, 2011).

¹³ Representación gráfica de la magnitud de los autovalores (De La Fuente, 2011).

¹⁴ Suma de varianzas de cada variable en estudio (Grajales, 2000).

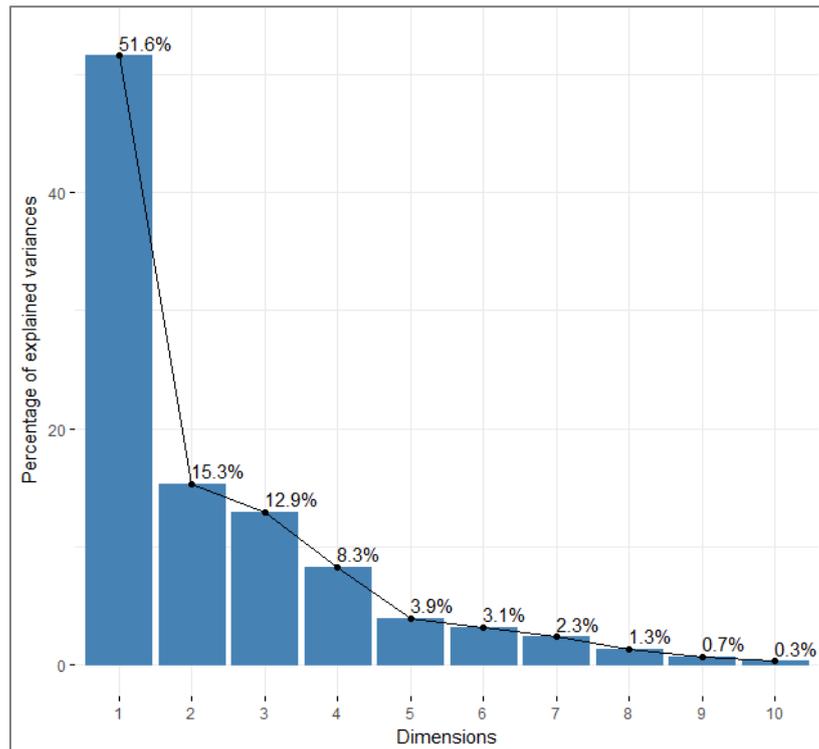


Figura 29. Gráfico de sedimentación.

* Las barras azules indican el porcentaje de varianza explicado por cada uno de los componentes principales. El componente principal 1 explica alrededor del 51.6 por ciento de la varianza; el componente 2, el 15.3 por ciento y el tercer componente, el 12.9 por ciento, sumando entre las 3 más del 70 por ciento. La línea de color negro sirve de conector entre las distintas barras, facilitando la interpretación.

En el análisis de componentes principales también se incluyó la correlación entre los componentes seleccionados y las variables o descriptores originales; dichos resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Correlaciones de los componentes principales con los descriptores cuantitativos.

Descriptores Cuantitativos	Componentes Principales		
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
Longitud de mazorca	-0,31	0,92	0,02
Diámetro central de mazorca	0,97	0,05	0,04
Diámetro de punta de mazorca	0,88	0,10	0,19
Diámetro basal de mazorca	0,94	0,16	-0,008
Número de hileras	0,26	0,07	0,84
Número de granos por hilera	-0,62	0,75	0,02
Diámetro de marlo	0,84	0,24	0,29
Diámetro de raquis	0,75	0,22	-0,007
Diámetro de médula	0,80	0,22	0,08
Longitud de grano	0,66	-0,09	-0,31
Ancho de grano	0,44	0,38	-0,75
Espesor de grano	0,74	-0,29	-0,23

De acuerdo a la tabla 6, las variables que más contribuyeron en el primer componente fueron el diámetro central, diámetro de punta y diámetro basal de la mazorca, además del diámetro de marlo, raquis y médula. En cuanto al segundo componente, las variables fueron la longitud de mazorca y el número de granos por hilera, mientras que para el caso del tercer y último componente seleccionado, el número de hileras y el ancho de grano.

c. Determinación de las variables más importantes en la caracterización

En base a la tabla 6, que muestra las correlaciones de cada variable cuantitativa con los 3 componentes principales, se determinó la proporción de la varianza explicada por cada variable con la finalidad de establecer su grado de importancia o de discriminación (Rojas, 2003). De acuerdo a Pla (1986), citado por Rojas (2003), esta operación resulta factible debido a que los tres componentes principales hallados no se encuentran correlacionados entre sí. Los resultados obtenidos y ordenados en forma descendente son mostrados en la tabla 7, donde se puede observar que el número de granos por hilera, diámetro central de mazorca, longitud de mazorca, diámetro basal

de mazorca y ancho de grano fueron las variables de mayor importancia debido a que explican una mayor proporción de varianza (superior a 0.9).

Tabla 7: Proporción de la varianza explicada por cada variable cuantitativa sobre los tres componentes principales.

Descriptor Cuantitativo	Relación con cada componente principal, al cuadrado			Proporción de la varianza explicada
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	
Número de granos por hilera	0.3844	0.5625	0.0004	0.947*
Diámetro central de mazorca	0.9409	0.0025	0.0016	0.945
Longitud de mazorca	0.0961	0.8464	0.0004	0.943
Diámetro basal de mazorca	0.8836	0.0256	0.000064	0.909
Ancho de grano	0.1936	0.1444	0.5625	0.901
Diámetro de marlo	0.7056	0.0576	0.0841	0.847
Diámetro apical de mazorca	0.7744	0.01	0.0361	0.821
Número de hileras	0.0676	0.0049	0.7056	0.778
Diámetro de médula	0.64	0.0484	0.0064	0.695
Espesor de grano	0.5476	0.0841	0.0529	0.685
Diámetro de raquis	0.5625	0.0484	0.000049	0.611
Longitud de grano	0.4356	0.0081	0.0961	0.540

* Proceso de obtención de la proporción de la varianza explicada (entre paréntesis, valores obtenidos de la tabla 6):

$$(-0.62)^2 + (0.75)^2 + (0.02)^2$$

$$0.3844 + 0.5625 + 0.0004 = 0.947$$

d. Análisis de gráficos Biplot

Como resultado del análisis de componentes principales se obtienen los gráficos Biplot, en los cuales se muestra la dispersión de todas las muestras de maíz caracterizadas en relación a los componentes principales seleccionados y además a los descriptores o variables cuantitativas utilizadas en la caracterización.

En la figura 30 se muestra la dispersión en base al primer y segundo componente principal. En el primer cuadrante las muestras que se agruparon

fueron: LBQU – 162, LBQU – 187 y LBQU – 189, pertenecientes a la raza Marañón, dado que presentaron similitud en el diámetro de marlo (26.45 ± 1.01 mm), raquis (16.83 ± 0.58 mm) y médula (6.60 ± 0.68 mm). Adicionalmente se agruparon las muestras CAJ – 694 y CAJ – 698, ambas de la raza Sabanero, debido a su semejanza en el ancho de grano (12.2 ± 0.024 mm). En el segundo cuadrante, se observan dos pequeños grupos cercanos al carácter número de granos por hilera; el primero se encuentra conformado por las muestras PIU – 217 y PIU – 258, ambas de la raza Huarmaca, con 32.3 ± 1.35 granos por hilera, mientras que el segundo grupo, PIU – 243, PIU – 265 y PIU – 268, también de la raza Huarmaca, con 26.37 ± 1.10 . Por último, en el cuarto cuadrante, las muestras que se agruparon debido a su similitud en la longitud (13.3 ± 0.63 mm) y espesor de grano (10.5 ± 0.32 mm) fueron CAJ – 656, CAJ 657 (ambas de la raza Umutu), LBQU – 163 (raza Marañón), LBQU – 200 (Lambayeque) y PIU – 262 (raza Amarillo Huancabamba). Cabe mencionar que en el tercer cuadrante se agruparon algunas muestras, pero no se aprecia bajo qué criterio. Cabe mencionar que en este gráfico se observa la superposición de variables como diámetro de raquis, marlo y médula, lo cual reafirma su alta correlación.

En la figura 31 se muestra la dispersión de las muestras caracterizadas en base al segundo y tercer componente principal. En este gráfico no se puede apreciar claramente la agrupación de las muestras como en el gráfico anterior debido a que ambos componentes explican una baja proporción de la varianza total. Sin embargo, es posible determinar algunos grupos, tales como el formado en el primer cuadrante, con las muestras LBQU – 163, LBQU – 187 (ambas pertenecientes a la raza Marañón), LBQU – 207 (Lambayeque) y LBQU – 208 (raza Alazán), debido a su similitud en el diámetro de marlo (26.23 ± 1.04 mm). También se puede observar la agrupación de las muestras LBQU – 192 y PIU – 268 (ambos de la raza Huarmaca) y LBQU – 187 (raza Marañón), ello debido a su semejanza en el diámetro de médula (6.25 ± 0.65 mm). En el tercer cuadrante se observa la agrupación de las muestras CAJ 656 (raza Umutu), LBQU – 170 y LBQU – 171 (ambas Lambayeque), debido a que presentaron semejanza en el

espesor del grano (5.8 ± 0.14 mm). El último grupo formado se ubica en el cuarto cuadrante, el cual se encuentra conformado por las muestras CAJ – 651 (raza Umutu), CAJ – 700 (raza Sabanero), PIU – 260 (Raza Amarillo Huancabamba), PIU – 243 (raza Huarmaca) y LBQU – 209 (Lambayeque), puesto que presentaron similitud en el ancho de grano; sin embargo, se aprecia la formación de sub – grupos, el primero formado por las muestras de Cajamarca, con un ancho promedio de 13.3 ± 0.14 mm, mientras que el segundo, por las tres muestras restantes, las que presentaron un ancho promedio de 10.9 ± 0.18 mm. En este gráfico, al igual que en el caso anterior, se puede apreciar la superposición de las variables longitud de mazorca y número de granos por hilera, debido a su alta correlación.

Finalmente, la figura 32 muestra la dispersión de las muestras en base al primer y tercer componente principal. En el primer cuadrante se observa la formación de dos pequeños grupos de muestras en base a su semejanza en el número de hileras: en el primero se encuentran LBQU – 167 y LBQU – 191, ambas muestras Lambayeque, las cuales presentaron 10 hileras, mientras que el segundo grupo se encuentran LBQU – 206, LBQU – 207 (ambas Lambayeque) y LBQU – 208 (raza Alazán), de 12 hileras. Por último, en el cuarto cuadrante, las muestras LBQU – 171 (Lambayeque), AMAZ – 064 (Amarillo Harinoso), CAJ – 694, CAJ – 698 (ambos Sabanero) y PIU – 262 (Amarillo Huancabamba), presentaron similitudes tanto en la longitud de grano (13.5 ± 0.72 mm), como en el espesor del mismo (5.4 ± 0.4 mm).

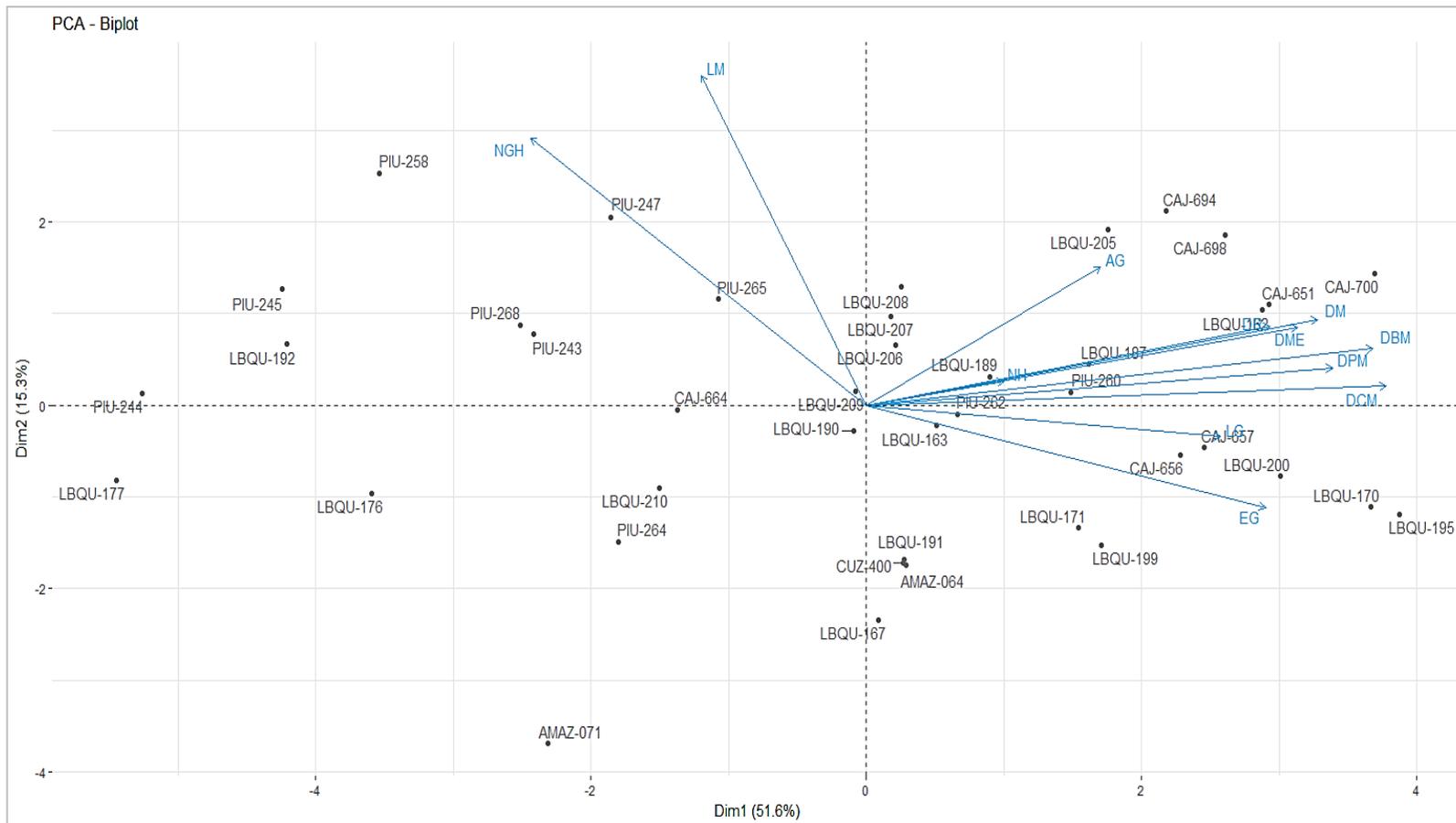


Figura 30. Biplot entre el primer y segundo componente principal.

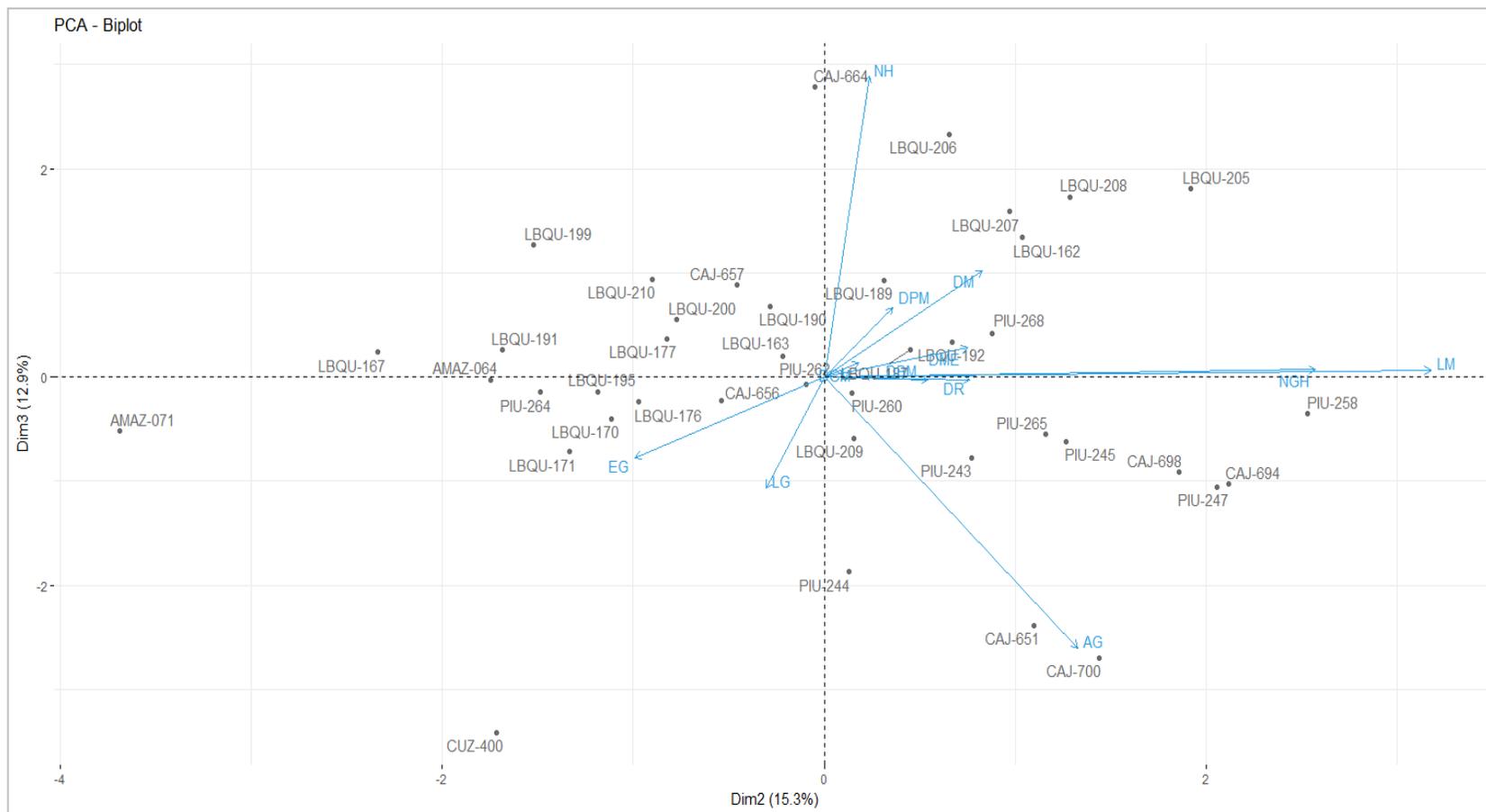


Figura 31. Biplot entre el segundo y tercer componente principal.

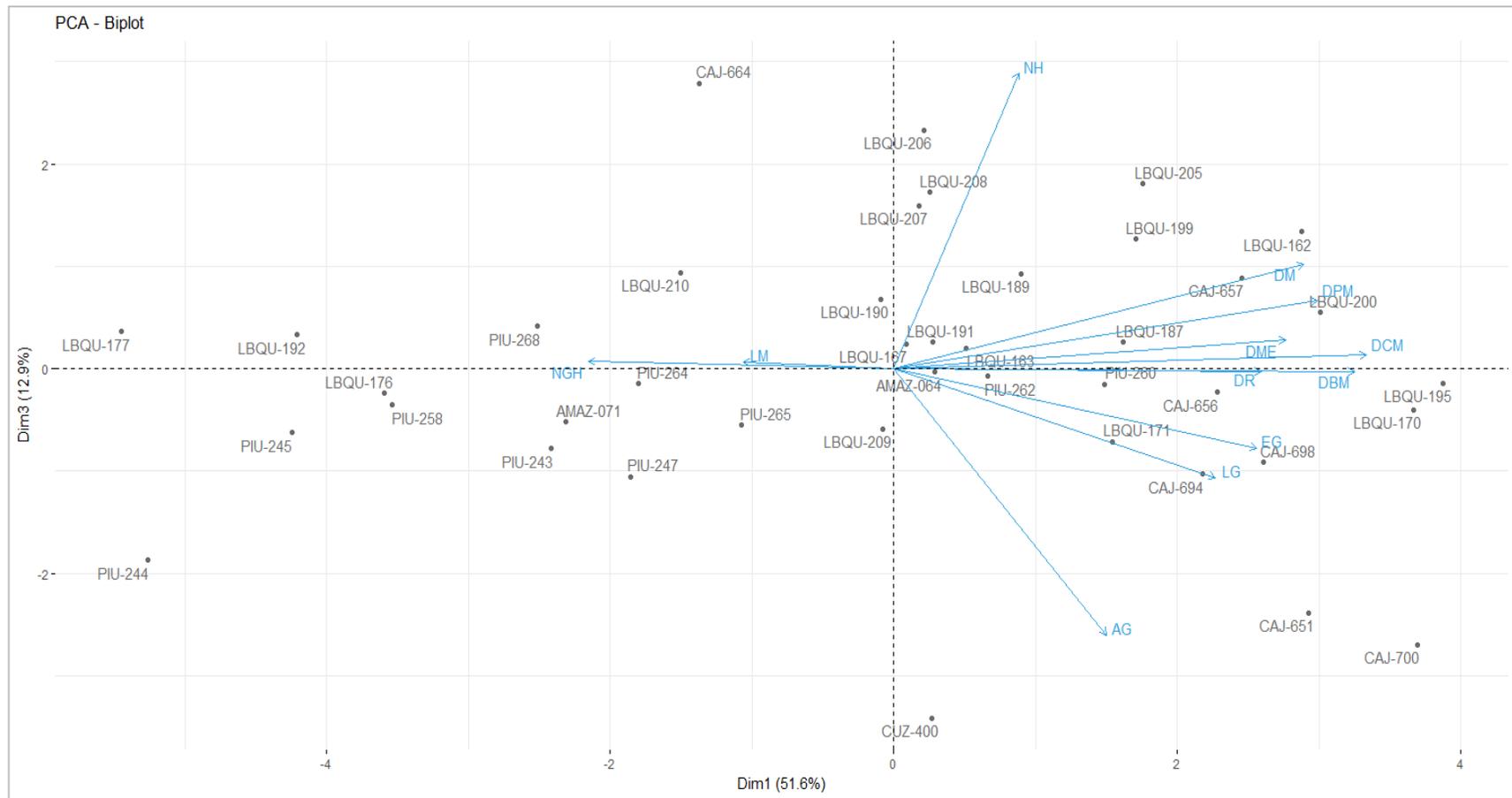


Figura 32. Biplot entre el primer y tercer componente principal.

4.3.2. Análisis clúster o de conglomerados

En la figura 33 se muestra el dendrograma realizado con todas las variables estandarizadas, tanto cualitativas como cuantitativas, en base a la matriz de distancias de Gower (ver anexo 2). En él se puede observar que de acuerdo al punto de corte empleado (1.30), se forman 3 grupos, algunos más homogéneos que otros:

- Grupo A.- Formado por muestras de la raza Huarmaca, tanto de Piura (PIU – 265, PIU – 244, PIU – 258, PIU – 247, PIU – 245 y PIU – 243) como de Lambayeque (LBQU – 177), además de una muestra de la raza Amarillo Harinoso (AMAZ – 071).
- Grupo B.- Formado por muestras Lambayeque (LBQU – 191, LBQU – 167, LBQU – 210 y LBQU – 209), Huarmaca (LBQU – 192, LBQU – 176, PIU – 264 y PIU – 268) y de la raza Umutu (CAJ – 664).
- Grupo C.- En este grupo se encuentran todas las muestras de la raza Marañón, Alazán, Amarillo Huancabamba, Sabanero y las muestras restantes de las razas Amarillo Harinoso (AMAZ – 064), Umutu (CAJ – 657, CAJ – 656 y CAJ – 651) y Lambayeque (LBQU – 207, LBQU – 205, LBQU – 199, LBQU – 200, LBQU – 171, LBQU – 195 y LBQU – 170).

La validación del dendrograma fue realizada, mediante la prueba de una sola vía PerMANOVA (Anderson, 2001), la cual indica la existencia de diferencias significativas entre los grupos formados cuando el valor de p es menor a 0.05, y cuyos resultados se muestran en la tabla 8. En él se puede observar que los tres grupos formados de acuerdo al punto de corte seleccionado, presentan diferencias significativas.

Tabla 8: Valores de p entre los grupos formados.

	A	B	C
A		0.0001	0.0001
B	0.0001		0.0001
C	0.0001	0.0001	

*Los valores sombreados indican la existencia de diferencias significativas entre los conglomerados ($p < 0.05$).

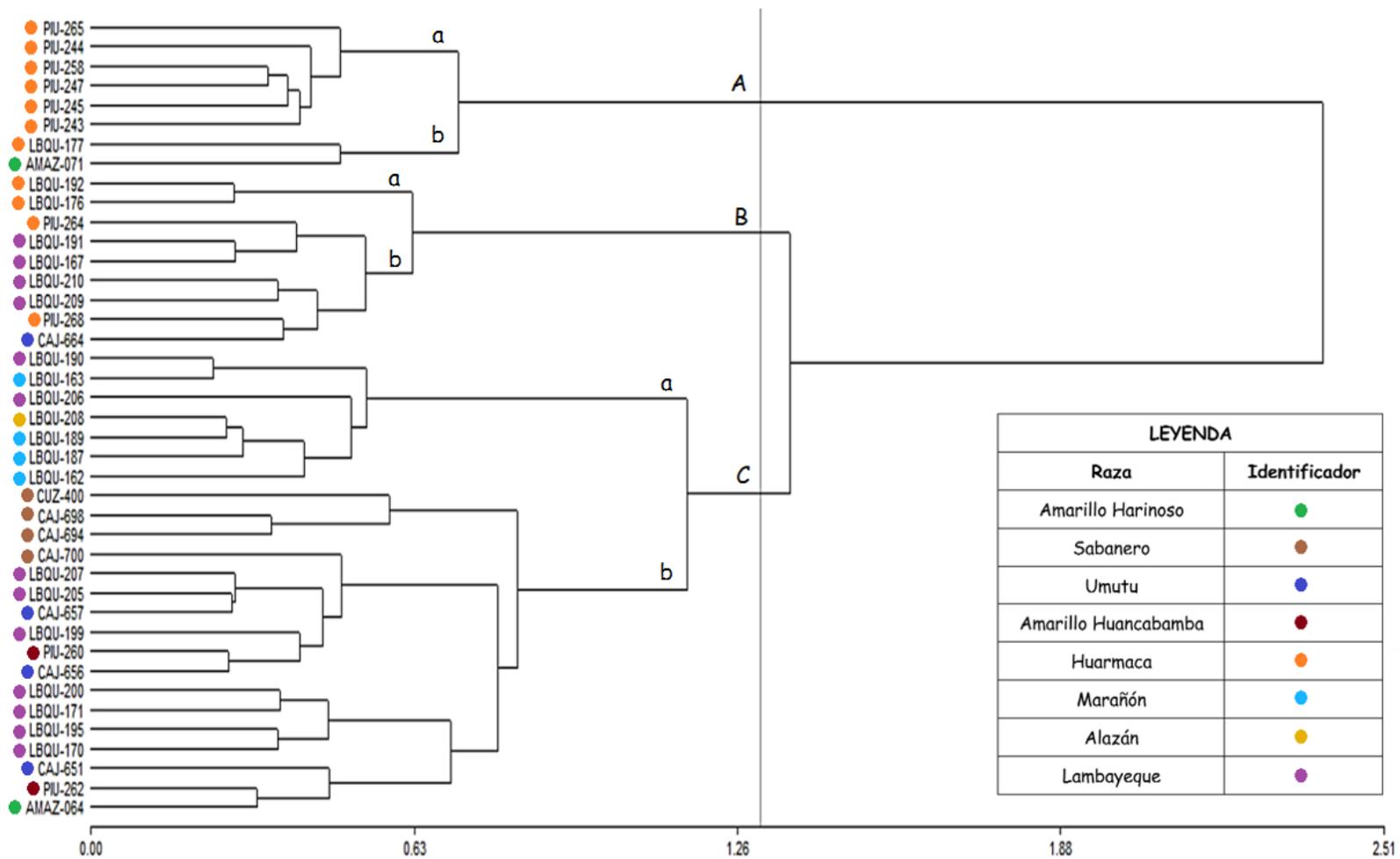


Figura 33. Dendrograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward con las 43 muestras de semilla caracterizadas, basado en el coeficiente de Gower.

IV. DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE CORRELACIONES Y COMPONENTES PRINCIPALES

De acuerdo a los resultados del análisis de correlaciones (ver tabla 4), se puede observar que los tres diámetros de la mazorca (apical, central y basal) se encuentran muy correlacionadas, lo que indica que el incremento de su diámetro ocurre en forma proporcional. Estos mismos caracteres se relacionan altamente con el diámetro de marlo, y este a su vez, con el diámetro de raquis y médula, debido a que estos tres elementos conforman el eje de la inflorescencia femenina (León, 2000). También se observa que el número de granos por hilera presenta una alta correlación positiva con la longitud de mazorca, lo cual indica que a mayor longitud de mazorca, mayor número de granos por hilera. Otra correlación importante se presenta entre la longitud del grano y el diámetro central y basal de la mazorca; al ser el grano más largo, el diámetro de la mazorca tiende a incrementarse, ello se pudo observar al realizar el corte transversal de las mazorcas durante el proceso de caracterización. Por otro lado, se puede apreciar una correlación alta negativa entre el espesor del grano y el número de granos por hilera, lo que indica que a mayor espesor del grano, la cantidad de granos que contienen las hileras será menor.

Mediante el análisis de componentes principales, el conjunto de variables cuantitativas se redujo a tres componentes principales seleccionados de acuerdo a su valor propio. El primer componente principal, el cual contribuyó con el 51.6 por ciento de la varianza total explicada, permitió distinguir aquellas muestras de mazorcas que presentaron elevados diámetros, pero un menor número de granos por hilera y longitud. Ello se pudo apreciar en las muestras AMAZ – 064 y AMAZ - 071, ambas de la raza Amarillo Harinoso, las cuales registraron las longitudes más bajas (entre 70 a 90 mm) y como consecuencia, un bajo número de granos por hilera (entre 13 a 16). A pesar de ello, su diámetro central, apical y basal estuvieron por encima del promedio general, especialmente en AMAZ – 064, lo cual incidió en la forma de la mazorca (cilindro-cónica). El segundo componente, que contribuyó con un 15.3 por ciento, distinguió aquellas muestras con mayor longitud de mazorca y número de granos por

hilera, pero con menor espesor de grano. Tal fue el caso de la muestra PIU – 258, de la raza Huarmaca, cuya mazorca presentó el valor más elevado de longitud (185 mm) y de número de granos por hilera (33.6 granos en promedio); sin embargo, presentó uno de los valores más bajos en cuanto a espesor de grano (4.92 mm). Finalmente, el tercer y último componente principal seleccionado, que contribuyó con un 12.9 por ciento del total de la varianza de la data recolectada, permitió distinguir aquellas muestras con un mayor número de hileras, pero un menor ancho de grano, tal y como sucedió con la muestra CAJ – 664, de la raza Umutu, la cual presentó el número más elevado de hileras (14) y a su vez, un bajo valor en cuando a ancho de grano (9.2 mm).

Adicionalmente, este análisis ayudó a determinar aquellos factores o variables más discriminantes e importantes para la caracterización, es decir, aquellas que explican una mayor proporción de la varianza total (Rojas, 2003). En la tabla 7 de los resultados se muestra la proporción de la varianza explicada por cada descriptor o variable cuantitativa en relación a cada componente principal. De acuerdo a ello, se pudo observar que la variable más discriminante fue el número de granos por hilera, seguida de diámetro central de la mazorca, longitud de mazorca, diámetro basal de mazorca y el ancho de grano, por ser las variables cuya proporción fue superior a 0.9. Ello concuerda con lo obtenido por Rocandio-Rodríguez *et al* (2014), los cuales concluyeron que el ancho de grano y longitud de mazorca, además del número de hileras, fueron las variables más apropiadas para la caracterización racial de mazorcas provenientes de Valles Altos de México. Sin embargo, los mismos autores concluyeron que la longitud de grano es también una variable importante, lo cual difiere con lo obtenido en este trabajo, ya que ésta ocupó el último lugar en importancia. A pesar de ello, la proporción de la varianza que explica esta variable es moderada (0.54), por lo que debería ser considerada en los procesos de caracterización. Cabe mencionar que, bajo la metodología propuesta en este trabajo, no se puede determinar aquellas variables cualitativas más discriminantes, aún sabiendo la importancia de éstas en la conformación de los grupos en el análisis clúster, por lo que se debería plantear el uso de métodos, sean multivariados o no, para dicho fin.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

En la figura 33 se muestra el dendrograma obtenido luego de realizar el análisis de conglomerados en base a todos los descriptores empleados en la caracterización morfológica. Este análisis fue elaborado con la finalidad de determinar si el conjunto de muestras Lambayeque conforman una nueva raza o no. Un grupo de muestras conformarían una nueva raza si éstas poseyeran características propias y diferenciadas, por lo que se agruparían en un conglomerado aislado del resto de muestras; sin embargo, esto no sucedió con las muestras Lambayeque, puesto que se encontraron muy dispersas en el dendrograma, siendo el grupo C el que contuvo la mayor cantidad de ellas (9 de 13).

Este grupo (C) se caracteriza porque las muestras que la conforman presentan textura harinosa y endospermo blanco, a excepción de aquellas pertenecientes a la raza Sabanero (CAJ – 694, CAJ – 698 y CUZ – 400), cuya textura es morocha con endospermo de color blanco y amarillo. Como se observa en el dendrograma, en este grupo se puede observar la formación de dos sub-grupos: el primero (a), conformado por las muestras de la raza Marañón, Alazán y dos de Lambayeque (LBQU – 190 y LBQU – 206), se diferencia del segundo (b) principalmente por la forma de la mazorca, cilíndrica, mientras que en el segundo¹⁵, la forma predominante es cilindro-cónica. Adicionalmente en el primer sub-grupo, las muestras presentan un marlo de color marrón rojizo y aleurona incolora, mientras que en el segundo, tanto el marlo como la aleurona son predominantemente crema, aunque esta última también segrega para los colores amarillo y púrpura. A pesar de estas diferencias, las muestras comparten varias similitudes en el diámetro central (46.72 ± 2.17 mm), basal (49.34 ± 2.38 mm) y apical (39.4 ± 1.97 mm) de la mazorca; número de hileras (en su mayoría 10), número de granos por hilera (20.26 ± 2.72 mm), diámetro de marlo (24.87 ± 2.12 mm), raquis (16.5 ± 1.44 mm) y médula (7.70 ± 1.28 mm), además de la longitud (13.57 ± 1.10 mm), ancho (10.84 ± 1.03 mm) y espesor del grano (5.45 ± 0.41 mm).

¹⁵ Segundo sub-grupo: conformado por muestras de las razas Amarillo Huancabamba, Sabanero, Amarillo Harinoso (AMAZ – 064), Umutu (CAJ – 657, CAJ – 656 y CAJ – 651) y Lambayeque (LBQU – 207, LBQU – 205, LBQU – 199, LBQU – 200, LBQU – 171, LBQU – 195 y LBQU – 170).

Además del grupo C, se formaron dos grupos más: el grupo A y el B. En el primer grupo (A) se puede observar dos sub-grupos bien definidos, el primero (a) formado por las muestras Huarmaca de Piura y el segundo (b), por las muestras LBQU – 177, también Huarmaca pero del departamento de Lambayeque, y AMAZ – 071, de la raza Amarillo Harinoso (Amazonas), las que presentaron mazorcas morfológicamente semejantes (distancia = 0.48). Dentro de las características que comparten ambas muestras destacan el diámetro de marlo (16.2 ± 0.21 mm), de raquis (10.7 ± 0.79 mm) y de médula (5.1 ± 0.1 mm), mientras que en el sub-grupo “a”, estos valores son ligeramente más elevados (diámetro de marlo = 18.9 ± 2.26 mm; diámetro de raquis = 13.6 ± 4.27 mm; diámetro de médula = 5.50 ± 1.16 mm). Sin embargo, la característica más importante que diferencia a ambos sub-grupos es la forma de mazorca, la cual es predominantemente cilíndrica en el sub-grupo “a”, mientras que en el “b” es cilindrocónica. A pesar de ello, la unión de ambos sub-grupos se debe a que comparten también semejanzas tales como diámetro central (38.6 ± 2.4 mm), apical (31.6 ± 2.1 mm) y basal de la mazorca (41.4 ± 2.5 mm), además del número de hileras (10), color de marlo (crema) y textura de grano, que consiste en la segregación dentro de la misma mazorca de la textura harinosa y morocha.

En el segundo grupo (B) se observa que las muestras LBQU – 176 y LBQU – 192, ambas de la raza Huarmaca, forman un sub-grupo (a) aparte del resto de muestras debido a sus semejanzas en las variables diámetro de punta (32.28 ± 0.68 mm) y basal de mazorca (40.75 ± 0.01 mm), además del diámetro de marlo (17.8 ± 0.78 mm), raquis (10.8 ± 0.79 mm) y médula (4.79 ± 0.54 mm). El segundo sub-grupo (b), las muestras se caracterizan por sus semejanzas en las variables diámetro central (41.26 ± 1.32 mm), apical (35.77 ± 2.57 mm) y basal de mazorca (43.96 ± 1.86 mm), así como en el diámetro de marlo (22.37 ± 1.83 mm), de raquis (13.7 ± 1.0 mm) y de médula (6.78 ± 0.24 mm). En este sub-grupo destaca la semejanza entre las muestras LBQU – 191 y LBQU – 167, ambas muestras Lambayeque (distancia = 0.28), las cuales a su vez presentaron mayor similitud con PIU – 264, de la raza Huarmaca (distancia = 0.37); LBQU – 210 y LBQU – 209, también muestras Lambayeque (distancia = 0.36) y finalmente, PIU – 268 de la raza Huarmaca y CAJ – 664, de la raza Umutu (distancia = 0.37). La característica más saltante que diferencia ambos sub-grupos es el color del pericarpio, el cual es amarillo para el primero, y predominantemente incoloro para el

segundo. A pesar ello y de las demás diferencias entre ambos, comparten algunas semejanzas tales como número de hileras (10); longitud (11.92 ± 0.67 mm), ancho (9.95 ± 0.5 mm) y espesor del grano (5.19 ± 0.49 mm); color de marlo (crema), forma de mazorca (cilindro-cónica en su mayoría), textura de grano (harinoso), color de endospermo (blanco) y depresión de grano (ninguna).

Según el análisis PerMANOVA, los tres grupos formados presentaron diferencias significativas; sin embargo, las distancias entre cada una de las muestras caracterizadas son menores a 1 (ver anexo 2); Sevilla y Holle (2004) mencionan que dos accesiones presentan mayor semejanza cuando la distancia que las separa es cercana a 0, por lo que dichas distancias indicarían que todas las muestras derivan de algún ancestro común y/o poseen un alto grado de parentesco, hecho influenciado por la cercanía de las zonas de recolección (zona norte del país, ver figura 9), lo que favoreció la polinización cruzada. Este hecho reforzaría la idea de que Lambayeque no conformaría una nueva raza, por lo que se rechazaría la hipótesis planteada; sin embargo, mediante los análisis realizados, se pudo observar que este grupo presentó semejanzas morfológicas con muestras pertenecientes a las razas Umutu y Amarillo Huancabamba debido a la corta distancia taxonómica entre ellas (valores entre 0.2 y 0.4). Es importante resaltar que de entre todas las muestras caracterizadas, aquellas pertenecientes a la raza Huarmaca siempre formaron un grupo aparte del resto (grupo A), lo que demostraría que a pesar de su cercanía morfológica con las demás, es una raza más consolidada, con características propias que se logran mantener a pesar del paso del tiempo.

4.3. HERENCIA DE LOS CARACTERES EMPLEADOS EN LA CARACTERIZACIÓN

La expresión de los caracteres cualitativos empleados para la caracterización, tales como forma de mazorca, color de marlo, textura de grano, color de pericarpio, color de aleurona y color endospermo, se encuentra gobernada por pocos genes mayores, por lo que no son afectados por el medio ambiente que los rodea (Sevilla, 1991). De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización, se pudo observar que el color predominante en el marlo fue crema, y la forma más frecuente de mazorca, cilindro-cónica. En cuanto al color del pericarpio, éste fue principalmente incoloro, aunque también se presentaron coloraciones marrón rojizas o marrones. De acuerdo a Sevilla

(1991), esta característica no segrega en la mazorca, lo que significa que todos los granos presentes tendrán el mismo color debido a que no hay efecto del polen que fertilizó el grano, además de ser un carácter de herencia materna, por lo que ya se encuentra definido por el genotipo de la planta madre antes de que ocurra la fertilización (Chávez y Sevilla, 2006). En las muestras donde el pericarpio resultó incoloro, se pudo expresar el color de la aleurona; esta característica, a diferencia del color del pericarpio, segrega en la mazorca debido al efecto de los genes del grano de polen o xenia (Avedaño, 2012). Por esta razón, en una misma mazorca se presentaron distintos colores de aleurona tales como morado, moteado, amarillo en distintas tonalidades e incluso incoloro; este último caso representa una característica propicia para la expresión del color del endospermo, el cual resultó ser blanco en su mayoría, aunque en muchas mazorcas se observó combinaciones del color blanco y amarillo, principalmente en granos de textura morocha. En el caso de la expresión de los caracteres cuantitativos como longitud de grano y mazorca, diámetros de mazorca, ancho y espesor de granos, entre otros, ésta tiende a ser gobernada por varios genes menores y suelen ser afectados por el medio ambiente (Sevilla, 1991), por lo que su herencia suele ser determinada a través de otros estudios como los realizados mediante marcadores moleculares (ver revisión de literatura).

Como se mencionó anteriormente, los descriptores poseen una característica denominada heredabilidad, la cual permite determinar la proporción de la variabilidad observada en los fenotipos atribuible a efectos genéticos o ambientales (Basurto, 2015; comunicación personal). De acuerdo a ello, los descriptores cualitativos, dado que no son afectados por el medio ambiente, poseen una alta heredabilidad (igual a 1), lo que les asegura una alta estabilidad en distintos ambientes (Egúsquiza, 2016; comunicación personal). La determinación de esta característica es más compleja en los descriptores cuantitativos, puesto que se deben realizar estudios más detallados de los genes (si hay aditividad, dominancia, epistasis, etc.), además del efecto del ambiente y la interacción del genotipo y el medio ambiente, ello para poder determinar si la expresión de un carácter se debe a efectos genéticos o ambientales. En este trabajo sólo se estudió al fenotipo de la mazorca, por lo que el estudio de la heredabilidad no se pudo llevar a cabo.

4.4. ANÁLISIS DEL MÉTODO EMPLEADO PARA LA CARACTERIZACIÓN

Como se mencionó en la metodología, el uso de todas las variables, tanto cualitativas como cuantitativas en el análisis clúster, brindó la ventaja de obtener un dendrograma que refleje lo que ocurre naturalmente, debido al uso de toda la información posible para la obtención de los conglomerados. Adicionalmente a éste, se elaboraron dos dendrogramas, a fin de observar la agrupación de las muestras bajo estas nuevas condiciones de eliminación de variables y como método de corroboración; el primero utilizando los descriptores cualitativos (ver anexo 3), basado en la metodología aplicada por Ligarreto (2003) y el segundo, solamente con los descriptores cuantitativos obtenidos a partir del análisis de componentes principales (ver anexo 4). De forma general, ambos resultaron ser muy similares al dendrograma general (utilizando ambos tipos de variables), dado que las muestras se agruparon de forma muy semejante, siendo un claro ejemplo de ello la agrupación de las muestras Huarmaca de Piura en ambos casos. Sin embargo, las distancias del eje X difieren completamente; en el caso del dendrograma en base a variables cuantitativas, este valor es de 15.83, con un punto de corte seleccionado de 8.50 a fin de tener grupos similares a los demás casos, lo cual indicaría bajo este análisis, las muestras son más heterogéneas entre ellas. Ello demuestra que la información brindada por este tipo de variables es insuficiente, puesto que sólo se emplean mediciones y ningún otro valor significativo que permita diferenciar las muestras, tales como textura de grano o forma de mazorca, por lo que el resultado se aleja de la realidad. Además, al elegir sólo aquellos factores que explican mayor varianza, es decir, los componentes principales, se eliminan otros factores que permitirían determinar mayores diferencias entre las muestras caracterizadas (Dillon, Mullani y Frederick, 1989; citados por Hair *et al*, 1999).

En el caso del análisis con variables cualitativas, estas distancias son menores (4.58 y un punto de corte de 2.50), un resultado más semejante al dendrograma en base a todas las variables y por ende, más cercano a la realidad. Ello también refleja la importancia del uso de variables cualitativas en el proceso de caracterización, pues dado que éstas son más estables en el medio ambiente que las cuantitativas, permiten obtener un mejor resultado. A pesar de ello, esta metodología presenta el inconveniente de catalogar a muchas muestras como “idénticas” (distancia = 0, máxima similitud), algo que no

refleja la realidad, por lo que un análisis empleando todas las variables sigue siendo una mejor opción.

La metodología del análisis clúster o de conglomerados ha sido usada por otros autores, los cuales realizaron estudios para el análisis del germoplasma de diversos cultivos como frijol (Ligarreto, 2003), quinua (Rojas, 2003), entre otros, partiendo de la caracterización fenotípica. Para este tipo de análisis, normalmente se suele utilizar toda la planta para la caracterización, sin embargo, en este trabajo en particular, sólo se usó la mazorca, ya que este órgano es el mejor indicador de diferencias raciales (Wellhausen *et al*, 1952). A pesar de ello, solamente las características de la mazorca resultaron insuficientes, por lo que se deberían usar otros caracteres de la planta como tamaño de planta, floración masculina y femenina, madurez, entre otros, como lo realizó Carrillo *et al* (2012) en su trabajo de estudio de la variabilidad en poblaciones de maíz nativo en México.

Si bien este método resulta efectivo para analizar la variabilidad en el germoplasma y las relaciones entre cada una de las accesiones, presenta algunos inconvenientes, uno de ellos es la elección del punto de corte. Núñez y Escobedo (2011) sostienen que no existe un criterio definido para establecer dicho punto, por lo que éste debe ser seleccionado en base a los objetivos de la investigación y conocimientos previos del investigador, es por esta razón que en muchos casos éste es elegido arbitrariamente, lo cual genera variación en los resultados, debido a la alteración del número de grupos formados (Mohammadi y Prassana, 2003). En el caso específico de este trabajo, el punto de corte seleccionado tuvo un valor superior a 1 en los tres dendrogramas realizados, puesto que un valor menor generaría la formación de muchos grupos e indicaría que las muestras son altamente heterogéneas, y lo que se busca es encontrar semejanzas o similitudes entre las muestras dentro de cada grupo y diferencias entre los mismos. Debido a lo mencionado anteriormente, este punto sigue siendo tema de discusión entre los investigadores a nivel mundial.

Otro problema que genera variaciones en el análisis de conglomerados son los valores atípicos. Hair *et al* (1999) indica que el resultado del análisis clúster puede verse afectado si se incluyen en él muestras o valores atípicos. Con fines de comparación, en este trabajo se caracterizaron muestras pertenecientes a la gama de maíces duros,

entre ellos las muestras LBQU – 204 (Amarillo Semidentado) y LBQU – 211 (raza Cubano Amarillo). De acuerdo al análisis de los gráficos de barras y biplot, representaron valores atípicos, principalmente LBQU – 211 (ver figuras 17, 18, 19 y 25), lo cual era de esperarse puesto que la mayoría de muestras caracterizadas, incluyendo el grupo objetivo Lambayeque, son maíces amiláceos. Por esta razón, ambas muestras fueron excluidas tanto del análisis de componentes principales, como del análisis de conglomerados.

Algo muy importante en la caracterización es la inclusión de muestras de mazorcas típicas de la raza a la que pertenecen, a fin de evitar errores durante este proceso. En este trabajo, las mazorcas empleadas para la comparación con la supuesta nueva raza (Lambayeque) pertenecían a razas ya definidas, algo muy importante para la formación de los conglomerados, aunque en algunas muestras se pudo observar cierto grado de contaminación, como la presencia de granos de textura dulce (granos arrugados), principalmente en mazorcas de textura morocha. Esto se pudo deber a que los agricultores de los cuales se obtuvieron las muestras siembran el maíz en forma extensiva sin ningún tipo de barreras, por lo que la contaminación con polen extraño por acción de insectos o del viento es muy común, aún así, las mazorcas mantuvieron en buena parte características típicas de la raza a la que pertenecen, lo cual permitirá reducir el error en los resultados obtenidos. Cabe mencionar que en la caracterización cualitativa, se suele caer en subjetividades, por lo que se debe tener cuidado al trabajar con dichos caracteres a fin de evitar errores que puedan afectar el resultado final de la investigación.

Con la finalidad de incrementar la precisión en la determinación de los conglomerados, es necesario realizar estudios del ADN mediante marcadores moleculares, tal y como lo realizaron Smith y Smith (1992) para el análisis de la diversidad genética entre híbridos de maíz; de esta manera, se corroboraría de mejor manera si en verdad Lambayeque posee algún parentesco con las demás razas, especialmente con Umutu y Amarillo Huancabamba, debido a que conformaron un mismo grupo en el dendrograma (grupo C).

V. CONCLUSIONES

1. En base a la información recolectada en la caracterización y en los análisis realizados, no se puede afirmar que el grupo de mazorcas denominadas “Lambayeque” conforme una nueva raza; sin embargo, presentó similitud con las muestras pertenecientes a las razas Umutu y Amarillo Huancabamba, lo cual podría indicar la presencia de algún parentesco entre ellas o ser una variante de alguna de ellas.
2. A partir del análisis de componentes principales, se pudo determinar que las variables de mayor importancia o grado de discriminación fueron el número de granos por hilera, diámetro central y basal de mazorca, longitud de mazorca y el ancho de grano, debido a que explicaron una mayor proporción de la varianza. Por ello, todas ellas deberían ser priorizadas en trabajos de caracterización de mazorcas en posteriores investigaciones.
3. Luego del análisis clúster, se pudo concluir que el uso de ambos tipos de variables, cualitativas y cuantitativas, brinda un mejor resultado en cuanto a la formación de los grupos o conglomerados, siendo las variables cualitativas las de mayor influencia y eficiencia en comparación con las cuantitativas.

VI. RECOMENDACIONES

Es necesario incluir en próximos análisis, información relevante como aspectos morfológicos de la planta, ciclos vegetativos de las razas caracterizadas, variables de valor comercial como rendimiento, datos climáticos para determinar si poseen alguna influencia en el desarrollo del cultivo. Estudios de ADN mediante marcadores moleculares son también necesarios para corroborar el resultado obtenido en esta investigación.

Pese a estas limitaciones, este estudio permitirá direccionar futuras investigaciones, enfocadas en determinar si Lambayeque posee relación con aquellas razas morfológicamente semejante en cuanto a mazorca. Así mismo, este trabajo distingue aquellas variables que deben ser priorizadas en futuras investigaciones (número de granos por hilera, diámetro central y basal de mazorca, longitud de mazorca y el ancho de grano), lo cual puede ser generalizado en protocolos de caracterización de nuevas razas de maíz.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación - El maíz en Cuba. En: *Cultivos Tropicales*, 30 (2), 113-120 p.
- Aguilar-Castillo, J., Carballo-Carballo, A., Castillo-González, F., Santacruz-Várela, A., Mejía-Contreras, J., Crossa-Hiriartte, J., y Baca-Castillo, G. (2006). Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. En: *Agricultura técnica en México*, 32, 57-66 p.
- Aguirre C. (2013). Informe de Consultoría: Prospección y Colección de la diversidad del maíz en la Costa Norte: MINAM.
- Alercia, A. (2011). *Key Characterization and Evaluation Descriptors: Methodologies for the Assessment of 22 Crops*. Rome, Italy: Bioversity International.
- Álvarez, R. (1995). *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Anderson, J. M. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology, a journal of ecology in the Southern Hemisphere*, 26, 32–46 p.
- Aragón, F., Taba, S., Hernández, J., Figueroa, J., Serrano, V., & Castro, F. (2006). *Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca*. INIFAP-SAGARPA: Libro Técnico N°. 6, 344 p.
- ASPROMAD. (2015). *Servicio de prospección, colección, elaboración de mapas de distribución y estudio socioeconómico de conocimientos tradicionales asociados al cultivo de las razas de maíz*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- Avedaño, M. (2012). *Relación entre poliembriónía, apomixis y xenia en maíces poliembriónicos*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Bejarano, A., y Segovia, M. (2000). Origen y evolución de la especie. Sección 1: Origen del maíz. En: *El maíz en Venezuela*, 11-14 p.
- Blas R., J. Ribaut, M. Warburton, J. Chura y R. Sevilla. (2002). Análisis molecular de razas de maíz peruano con marcadores AFLP y micro satélites. *GENÉTICA-PERÚ N° 3: El Mejoramiento Genético de las Plantas en el Perú*, 241–250 p. Sociedad Peruana de Genética. UNALM.

- Bonavia, D. y A. Grobman. (1989). Andean maize: its origins and domestication. En: Foraging and farming: the evolution of plant exploitation, D. R. Harris y G. C. Hillman (Eds), ch. 29. London: Unwin Hyman.
- Bonavia, D., y Grobman, A. (2017). Maize Analysis. En: T. D. Dillehay (ed.), Where the land meets the sea: Fourteen millennia of human history at Huaca Prieta, Peru (págs. 656-664). Austin, Texas, U.S.A.: University of Texas Press.
- Bonavia, D. (2008). El maíz: Su origen, su domesticación y el rol que ha cumplido en el desarrollo de la cultura. Lima, Perú: Universidad de San Martín de Porres, Fondo Editorial.
- Calviño-Cancela, M., Rubido-Bará, M., y Van Etten, E. (2012). Do eucalypt plantations provide habitat for native forest biodiversity? *Forest Ecology and Management*, 270, 153-162.
- Carrillo, J., Diego, P., Chávez, J., y Castillo, F. (2012). Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. En: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 44 (1), 157-171 p.
- Caviedes, M., Yáñez, C., Silva, E., Dobronsky, J., Zambrano, L., Caicedo, M., y Heredia, J. (2002). Nueva variedad de maíz amarillo harinoso INIA-124 "Mishca Mejorado". Boletín Divulgativo N°. 292 - Estación Experimental Santa Catalina.
- Chávez, L. (2017). Calibration and Validation of the XN-GECROS Model with Soybean (*Glycine max*) and Durum (*Triticum durum*) Data from Southwest Germany. Thesis Magister Scientiae. University of Hohenheim. Stuttgart, Germany.
- Chávez, J. L., y Sevilla, R. (2006). Seminario: Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali; 16 de Enero del 2003; Pucallpa, Perú. Cali, Colombia: Bioversity Internacional.
- De la Fuente, S. (2011). Análisis de componentes principales. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Demey, J., Pla, L., Vicente-Villardón, J., Di Rienzo, J., & Casanoves, F. (2011). Medidas de distancia y de similitud. ResearchGate.net, 47-59.
- Dillon, W. R. y Goldstein, M. (1984). Multivariate Analysis—Methods and Applications. Wiley, New York.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, E., & Robledo, C. (2008). InfoStat, versión 2008 - Manual del Usuario. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.

- Franco, T., e Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico N° 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Goodman M. y W. Brown. (1988). Races of Corn. En: Corn and Corn Improvement. Agronomy Monograph N° 18. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. USA.
- Grobman, A., Salhuana, W., Sevilla, R., y Mangelsdorf, P. C. (1961). Races of Maize in Peru: their origins, evolution and classification. National Academy of Sciences - National Research Council. Washington D.C.
- Grobman, A. (1982). Maíz (*Zea mays*). En: D. Bonavia, Precerámico peruano. Los Gavilanes: mar, desierto y oasis en la historia del hombre (págs. 157-179). Corporación Financiera de Desarrollo - COFIDE. Lima, Perú: Instituto Arqueológico Alemán.
- Grobman, A., Bonavia, D., Dillehay, T. D., Piperno, D. R., Iriarte, J., y Holst, I. (2012). Preceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109(5), 1755–1759.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., y Black, W. (1999). Análisis Multivariante. Madrid: Prentice Hall.
- Hernández, M., López, A., Rodríguez, S., Borrego, F., Ramírez, M., y López, S. (2011). Análisis conglomerado de 15 cruzas de chile para variables fenológicas y de rendimiento. En: Agronomía Mesoamericana.
- IBPGR. (1991). Descriptores para maíz. Roma: CIMMYT-IBPGR.
- IICA. (1987). Diálogo XVIII. Reunión sobre Banco de Germoplasma de Maíz . (C. J. Molestina Escudero, Ed.) Montevideo, Uruguay: Convenio IICA/BID/PROCISUR.
- Imai, N., Seino, T., Aiba, S.-i., Takyu, M., Titin, J., y Kitayama, K. (2012). Effects of selective logging on tree species diversity and composition of Bornean tropical rain forests at different spatial scales. *Plant Ecology*, 213, 1413–1424.
- Kassambara, A. (2017). Practical Guide to Principal Component Methods in R. STHDA.
- León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica: Editorial Agroamérica - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Ligarreto, G. (2003). Análisis de la variabilidad genética en frijol. En: T. Franco, y R. Hidalgo, Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos

- fitogenéticos - Boletín técnico N°8, 40-49 p. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).
- Macuri-Núñez, E. R. (2016). Estudio de la diversidad fenotípica del maíz (*Zea mays* L.) en la sierra baja y media del Perú. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Martínez, T. (2001). Incremento de la disponibilidad intestinal de proteína y almidón mediante la manipulación de su degradabilidad en el rumen. Almería: Universidad de Almería.
- Mayr, E. (1970). *Populations, Species and Evolution*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- McClintock B. (1978). Significance of chromosome constitutions in tracing the origin and migration of races of maize in the Americas. En: *Maize Breeding and Genetics*. Ed: D.B. Walden. Wiley Interscience.
- Ministerio del Ambiente. (21 de Febrero de 2014). MINAM. Razas de maíz del Perú.
- Mohammadi, S. A., & Prassana, B. M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants - salient statistical tools and considerations. En: *Crop Science*, 1235-1248 p.
- Moreno U. (1960). Estudio del número de cromosomas tipo B y de la frecuencia y posición de nudos cromosómicos en razas de Maíz del Perú. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.
- Neuffer, M. G., Jones, L., & Zuber, M. S. (1968). *The Mutants of Maize*. Madison, Wisconsin, USA: Crop Science Society of America.
- Núñez-Colín, C. A., y Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. En: *Agronomía Mesoamericana*, 22 (2), 415-427 p.
- Ortiz R. (1985). Efecto ambiental, interacción genotipo-medio ambiente y heredabilidad de las características morfológicas usadas en la clasificación racial del Maíz en el Perú. Tesis Magister Scientiae. UNALM. Lima, Perú.
- Proyecto Global de Maíces Nativos. (2011). Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. SEMARNAT, CIBIOGEM Y SAGARPA.
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González, F., Lobato-Ortiz, R., Ortega-Paczka, R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los valles altos de México. En: *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37 (4), 351 - 361 p.

- Roberts, L., Grant, U., Ramírez, R., Hatheway, W., Smith, D., y Mangelsdorf, P. (1957). Razas de maíz en Colombia. Bogotá: Ministerio de Agricultura de Colombia - Oficina de Investigaciones Especiales.
- Ruiz de Galarreta, J. I. (1999). Agrupación de poblaciones locales de maíz (*Zea mays* L.) mediante caracteres morfológicos y parámetros ambientales. Salamanca: Universitat de Lleida.
- Rojas, W. (2003). Análisis de la variabilidad genética en quinua. En: T. Franco, y R. Hidalgo, Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos - Boletín técnico N°8 (21-39 p). Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).
- Salhuana, W. (2004). Diversidad y descripción de las razas de maíz en el Perú. Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM), 204-251 p. 204-251. UNALM. Lima, Perú.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). Reduca (Biología). Serie Botánica, 151-171.
- Sánchez J., M. Goodman, R. MckBird y C. Stuber. (2006). Isozyme and morphological variation in maize of five Andean countries. *Maydica* 51: 25-42 p.
- Sevilla, R. (1991). Genética del maíz. En IICA-BID-PROCIANDINO, XIII Curso Corto: Mejoramiento Genético del Maíz (pág. 180). Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación Agrícola para la Subregión Andina - PROCIANDINO.
- Sevilla R. (1993). Variation in modern Andean Maize and its implications for prehistoric. Patterns. En: *Corn and Culture in the Prehistoric New World*. Eds.: S. Johannessen and C. Hastorf. Westview Press. Boulder Colorado. USA.
- Sevilla, R., y Holle, M. (2004). Recursos genéticos vegetales. Lima, Perú: Luis León Asociados S.R.L.
- Sevilla, R. (2005). Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Caso: Maíz. En: A. Basurto, F. Camarena, R. Gómez, A. Grobman, W. Roca, A. Salas, R. Sevilla, Ó. Hidalgo, W. Roca, y E. Fernández-Northcote (Edits.), Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Casos: algodón, leguminosas de grano, maíz y papa (111 p). Lima, Perú: Consejo Nacional del Ambiente - CONAM.

- Smith, O., y Smith, J. (1992). Measurement of genetic diversity among maize hybrids; a comparison of isozymic, RFLP, pedigree and heterosis data. En: *Maydica*, 53-60 p.
- The R Language. (s.f.). *Statistical Data Analysis R. Box Plots y Bar Plots*: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/graphics/html/boxplot.html>
- Tang, Z.-Z., Chen, G., y Alekseyenko, A. (2016). PERMANOVA-S: association test for microbial community composition that accommodates confounders and multiple distances. *Bioinformatics*, 32, 2618–2625.
- Vega A. (1972). *Análisis discriminantes para la diferenciación de razas de maíz*. Tesis Ing. Estadístico. UNALM. Lima, Perú.
- Vidal, A. (2017). *Evaluación de la diversidad genética y fenotípica de un conjunto de maíces (Zea Mays) actuales y arqueológicos de la región de Tarapacá, norte de Chile*. Chile: Universidad De Chile.
- Vigouroux, Y., Glaubitz, J. C., Matsuoka, Y., Goodman, M. M., Sánchez, G. J. y Doebley, J. Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *American Journal of Botany*, 2008, vol. 95. 1240 – 1253 p.
- Wellhausen E., Roberts, L., E. Hernández X. (1952). *Races of Maize in Mexico*. Bussey Inst. Harvard University. Cambridge. Mass. USA.
- Wellhausen, E., Roberts, L., Hernández, E., y Mangelsdorf, P. (1987). *Razas de Maíz en México: su origen, características y distribución*. Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Wilkes, H., & Goodman, M. (1995). *Mystery and Missing Links: The origin of Maize*. Maize Genetics Resources.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Matriz básica de datos.

Código de muestra	MAZORCA											GRANO							
	Longitud (mm)	Diámetro Centro (mm)	Diámetro Punta (mm)	Diámetro Base (mm)	# Hileras	# Granos/Hilera	Diámetro Marlo (mm)	Color Marlo	Forma de Mazorca	Raquis (mm)	Médula (mm)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Textura	Color Pericarpio	Color Aleurona	Color Endosp.	Depresión
AMAZ-064	89.1	44.39	36.32	47.15	10	16.2	21.87	4	2	14.84	7.23	13.0	10.2	5.1	1	1	4	1	2
AMAZ-071	70.1	39.7	31.5	40.8	10	13.3	16.5	6	2	11.5	5.2	13.1	9.9	5.0	6	1	4	3	2
CAJ-651	124.2	49.63	38.69	53.01	10	21.5	23.95	2	2	16.24	7.99	15.7	13.4	5.4	1	1	2	1	2
CAJ-656	105.6	47.26	36.76	49.16	10	16.6	26.21	6	2	17.84	9.26	12.8	10.9	5.7	1	1	12	1	1
CAJ-657	117.2	46.11	38.95	48.3	12	18.9	25.84	2	2	17.48	9.03	12.62	10.34	5.62	1	1	13	1	1
CAJ-664	135.1	42.1	34.5	43.9	14	23.6	20.4	2	2	12.2	7.2	12.6	9.2	5.1	1	1	7	1	1
CAJ-694	159.4	47.4	39.2	51.1	10	23.5	26.0	1	2	17.4	8.4	13.5	12.1	5.7	2	1	1	3	1
CAJ-698	148.7	46.40	39.71	48.99	10	22.22	26.94	7	2	18.82	9.76	12.9	12.2	5.9	2	7	1	3	1
CAJ-700	131.8	47.5	40.4	50.6	8	20.3	27.2	2	2	20.2	10.6	13.2	13.1	6.2	1	1	11	1	1
CUZ-400	94.9	45.33	35.17	47.63	8	16.60	18.86	6	2	14.06	4.82	14.7	12.4	5.6	2	1	11	3	1
LBQU-162	128.7	50.8	43.6	54.2	12	21.4	27.72	5	1	16.3	7.33	13.89	10.77	5.03	1	6	1	1	1
LBQU-163	126.3	45.7	38.6	48.7	10	20.3	23.7	9	1	15.1	6.4	13.48	9.96	5.23	1	1	1	1	1
LBQU-167	89.5	41.64	34.4	44.31	10	14.2	25.76	2	2	14.54	6.66	11.83	9.92	5.9	1	1	2	1	1
LBQU-170	96.7	50.241	42.87	52.96	10	16	25.46	2	3	16.97	8.12	14.75	10.65	5.96	1	1	2	1	1
LBQU-171	100.1	46.0	38.7	49.2	10	17.7	21.4	8	2	15.4	7.4	14.92	10.51	5.62	1	6	9	1	1
LBQU-176	122.6	38.69	33.05	40.74	10	24.8	17.01	2	2	10.01	4.25	12.65	9.83	4.96	1	4	2	1	1
LBQU-177	117.3	35.33	28.3	37.9	10	26.7	16.02	2	2	9.88	5.04	11.27	9.39	4.18	2	3	1	3	2
LBQU-187	128.5	46.6	42.6	48.8	10	20.4	26.38	9	1	17.63	6.78	13.16	10.53	5.26	1	9	1	1	1
LBQU-189	120.2	45.2	40.4	48.1	12	21.8	25.25	9	1	16.55	5.7	12.94	10.99	5.18	1	10	1	1	1
LBQU-190	121	42.9	41.0	45.1	10	22.0	23.9	10	1	15.6	6.3	13.02	9.56	5.13	1	1	1	1	1
LBQU-191	93.8	42.42	41.35	43.79	10	16.7	22.63	2	2	15.37	6.75	11.8	10.2	5.6	1	1	5	1	1
LBQU-192	141.3	36.84	31.7	40.75	10	31.3	18.57	2	2	11.58	5.33	11.56	9.62	4.68	1	4	2	1	1
LBQU-195	100.1	51.64	41.67	53.36	12	17.4	23.62	6	2	14.99	7.38	16.7	10.92	6.2	1	1	4	1	1

<<continuación>>

LBQU-199	95	47.19	37.79	48.57	12	17.5	23.58	2	1	16.01	7.66	13.62	9.67	5.78	1	1	10	1	1
LBQU-200	102.6	48.94	39.32	50.84	12	17.8	24.98	10	2	17.36	8.06	14.42	10.72	5.98	1	8	2	1	1
LBQU-204	137.8	43.8	38.62	45.68	14	28.6	25.06	6	1	15.21	9.43	11.9	9.3	4.3	7	4	1	3	1
LBQU-205	142.4	47.0	38.4	51.7	12	25.3	27.7	2	2	18.5	9.1	12.46	10.27	5.02	1	1	13	1	1
LBQU-206	134	44.53	39.4	46.99	12	22.4	26.53	6	4	15.04	7.53	11.99	9.504	4.84	1	9	8	1	1
LBQU-207	141	43.63	38.94	46.41	12	24	25.27	2	2	15.03	7.4	12.46	10.17	5.16	1	1	13	1	1
LBQU-208	145.8	45.17	40.13	45.86	12	24.6	26.67	9	1	16.12	6.26	12.5	10.2	5.0	1	8	1	1	1
LBQU-209	126.5	42.84	36.76	47.25	10	22.1	22.78	2	3	13.64	7.06	13.1	11.1	5.3	1	1	13	1	1
LBQU-210	111.7	40.23	35.69	42.75	10	19.9	23.67	2	1	14.1	6.72	11.02	9.5	5.0	1	1	13	1	1
LBQU-211	175.2	43.96	37.94	45.87	14	39.2	25.83	1	3	16.01	8.99	11.6	8.8	4.0	5	4	1	3	1
PIU-243	132.3	38.58	31.76	41.33	10	25.8	17.57	2	2	22.47	4.62	12.27	11.02	4.52	6	4	3	3	1
PIU-244	148.9	34.4	29.0	38.1	8	28.0	16.9	2	1	9.5	4.01	11.29	10.75	5.06	6	4	1	3	1
PIU-245	152.8	38.51	31.25	41.67	10	32.2	16.34	2	1	10.62	4.86	13.05	10.57	4.34	6	4	11	3	1
PIU-247	150.7	41.9	35.4	45.3	10	30.9	20.2	2	2	12.4	6.4	13.29	11.89	4.5	6	4	1	3	1
PIU-258	185	39.03	32.89	41.41	10	33.6	19.33	2	1	11.97	5.63	12.25	10.61	4.92	6	4	1	3	1
PIU-260	118.4	46.1	38.26	48.74	10	20.6	25.12	7	2	16.77	8.35	13.6	10.7	5.3	1	1	12	1	1
PIU-262	111.6	45.59	38.34	48.57	10	21.1	22.7	5	2	15.78	7.8	13.3	10.6	4.9	1	1	12	1	2
PIU-264	112.2	38.74	33.44	40.69	10	19	21.05	2	4	12.65	6.44	11.03	10.26	5.86	1	1	4	1	1
PIU-265	146.8	40.98	33.09	44.58	10	25.4	22.98	2	1	14.76	7.49	11.97	11.22	5.34	6	1	12	3	1
PIU-268	135.7	40.89	33.45	45.01	10	27.9	20.32	2	2	13.39	6.63	11.74	10	4.38	1	6	9	1	1

Anexo 2. Matriz de distancias de Gower.

	AMAZ-064	AMAZ-071	CAJ-651	CAJ-656	CAJ-657	CAJ-664	CAJ-694	CAJ-698	CAJ-700	CUZ-400	LBQU-162	LBQU-163	LBQU-167	LBQU-170	LBQU-171	LBQU-176	LBQU-177
AMAZ-064	0.00																
AMAZ-071	0.50	0.00															
CAJ-651	0.43	0.66	0.00														
CAJ-656	0.45	0.65	0.51	0.00													
CAJ-657	0.47	0.68	0.50	0.30	0.00												
CAJ-664	0.46	0.60	0.56	0.51	0.44	0.00											
CAJ-694	0.56	0.66	0.47	0.48	0.47	0.56	0.00										
CAJ-698	0.60	0.67	0.56	0.48	0.53	0.62	0.35	0.00									
CAJ-700	0.57	0.75	0.49	0.39	0.40	0.56	0.47	0.50	0.00								
CUZ-400	0.53	0.55	0.59	0.48	0.54	0.57	0.51	0.54	0.54	0.00							
LBQU-162	0.53	0.72	0.50	0.50	0.49	0.54	0.51	0.50	0.54	0.63	0.00						
LBQU-163	0.43	0.62	0.48	0.44	0.45	0.48	0.49	0.51	0.53	0.54	0.42	0.00					
LBQU-167	0.40	0.57	0.52	0.43	0.43	0.42	0.51	0.56	0.52	0.54	0.54	0.43	0.00				
LBQU-170	0.48	0.69	0.43	0.42	0.43	0.55	0.46	0.54	0.47	0.57	0.44	0.46	0.41	0.00			
LBQU-171	0.45	0.64	0.51	0.38	0.42	0.51	0.54	0.50	0.51	0.47	0.47	0.40	0.47	0.45	0.00		
LBQU-176	0.50	0.54	0.59	0.57	0.55	0.41	0.59	0.62	0.63	0.58	0.57	0.49	0.44	0.58	0.54	0.00	
LBQU-177	0.58	0.48	0.66	0.72	0.70	0.59	0.64	0.68	0.77	0.64	0.72	0.66	0.61	0.72	0.70	0.47	0.00
LBQU-187	0.52	0.69	0.54	0.46	0.49	0.56	0.52	0.45	0.54	0.61	0.36	0.32	0.50	0.48	0.42	0.55	0.71
LBQU-189	0.53	0.69	0.56	0.50	0.49	0.54	0.55	0.48	0.58	0.60	0.37	0.35	0.52	0.53	0.45	0.54	0.70
LBQU-190	0.45	0.62	0.52	0.48	0.49	0.46	0.53	0.53	0.56	0.57	0.44	0.24	0.43	0.50	0.46	0.48	0.64
LBQU-191	0.37	0.59	0.50	0.42	0.39	0.40	0.51	0.57	0.50	0.52	0.52	0.41	0.28	0.41	0.41	0.46	0.62
LBQU-192	0.54	0.58	0.61	0.60	0.58	0.43	0.61	0.64	0.65	0.62	0.59	0.52	0.46	0.60	0.57	0.28	0.46
LBQU-195	0.48	0.67	0.46	0.43	0.46	0.54	0.53	0.56	0.51	0.54	0.43	0.45	0.48	0.36	0.41	0.60	0.75
LBQU-199	0.44	0.66	0.50	0.37	0.32	0.44	0.51	0.58	0.46	0.51	0.47	0.40	0.41	0.42	0.40	0.55	0.70
LBQU-200	0.53	0.70	0.51	0.44	0.45	0.57	0.52	0.47	0.53	0.59	0.41	0.43	0.49	0.40	0.37	0.59	0.74
LBQU-205	0.51	0.71	0.51	0.37	0.27	0.44	0.47	0.53	0.41	0.60	0.46	0.49	0.50	0.48	0.50	0.55	0.70
LBQU-206	0.53	0.70	0.60	0.49	0.47	0.47	0.59	0.54	0.57	0.62	0.47	0.49	0.52	0.55	0.46	0.55	0.70
LBQU-207	0.45	0.66	0.52	0.41	0.28	0.36	0.49	0.56	0.46	0.55	0.48	0.43	0.43	0.49	0.46	0.49	0.66
LBQU-208	0.53	0.69	0.58	0.52	0.49	0.50	0.54	0.48	0.59	0.63	0.38	0.36	0.51	0.55	0.47	0.52	0.68
LBQU-209	0.44	0.64	0.50	0.39	0.37	0.40	0.51	0.57	0.46	0.50	0.53	0.43	0.43	0.46	0.44	0.48	0.65
LBQU-210	0.46	0.61	0.57	0.45	0.42	0.40	0.59	0.64	0.54	0.55	0.55	0.44	0.39	0.54	0.50	0.46	0.60
PIU-243	0.63	0.50	0.68	0.65	0.64	0.57	0.57	0.59	0.68	0.58	0.66	0.63	0.59	0.67	0.64	0.46	0.50
PIU-244	0.69	0.55	0.74	0.73	0.72	0.62	0.63	0.66	0.74	0.62	0.69	0.65	0.64	0.73	0.71	0.48	0.46
PIU-245	0.67	0.52	0.73	0.67	0.66	0.58	0.63	0.66	0.71	0.58	0.69	0.65	0.65	0.73	0.65	0.49	0.52
PIU-247	0.59	0.54	0.62	0.64	0.63	0.53	0.49	0.53	0.66	0.55	0.62	0.57	0.56	0.64	0.61	0.51	0.54
PIU-258	0.64	0.52	0.70	0.69	0.67	0.56	0.57	0.61	0.72	0.61	0.64	0.60	0.59	0.69	0.66	0.48	0.53
PIU-260	0.44	0.64	0.47	0.27	0.31	0.47	0.47	0.49	0.42	0.49	0.46	0.35	0.46	0.43	0.35	0.54	0.70
PIU-262	0.32	0.58	0.42	0.39	0.41	0.49	0.55	0.58	0.50	0.53	0.52	0.43	0.51	0.51	0.42	0.55	0.62
PIU-264	0.47	0.59	0.58	0.51	0.49	0.43	0.58	0.63	0.58	0.57	0.60	0.50	0.37	0.49	0.51	0.42	0.58
PIU-265	0.58	0.56	0.63	0.55	0.53	0.51	0.50	0.57	0.59	0.52	0.63	0.56	0.53	0.63	0.59	0.57	0.61
PIU-268	0.49	0.62	0.59	0.52	0.50	0.37	0.59	0.60	0.58	0.57	0.55	0.50	0.44	0.58	0.46	0.39	0.55

<<continuación>>

LBQU-187 LBQU-189 LBQU-190 LBQU-191 LBQU-192 LBQU-195 LBQU-199 LBQU-200 LBQU-205 LBQU-206 LBQU-207 LBQU-208 LBQU-209 LBQU-210 PIU-243

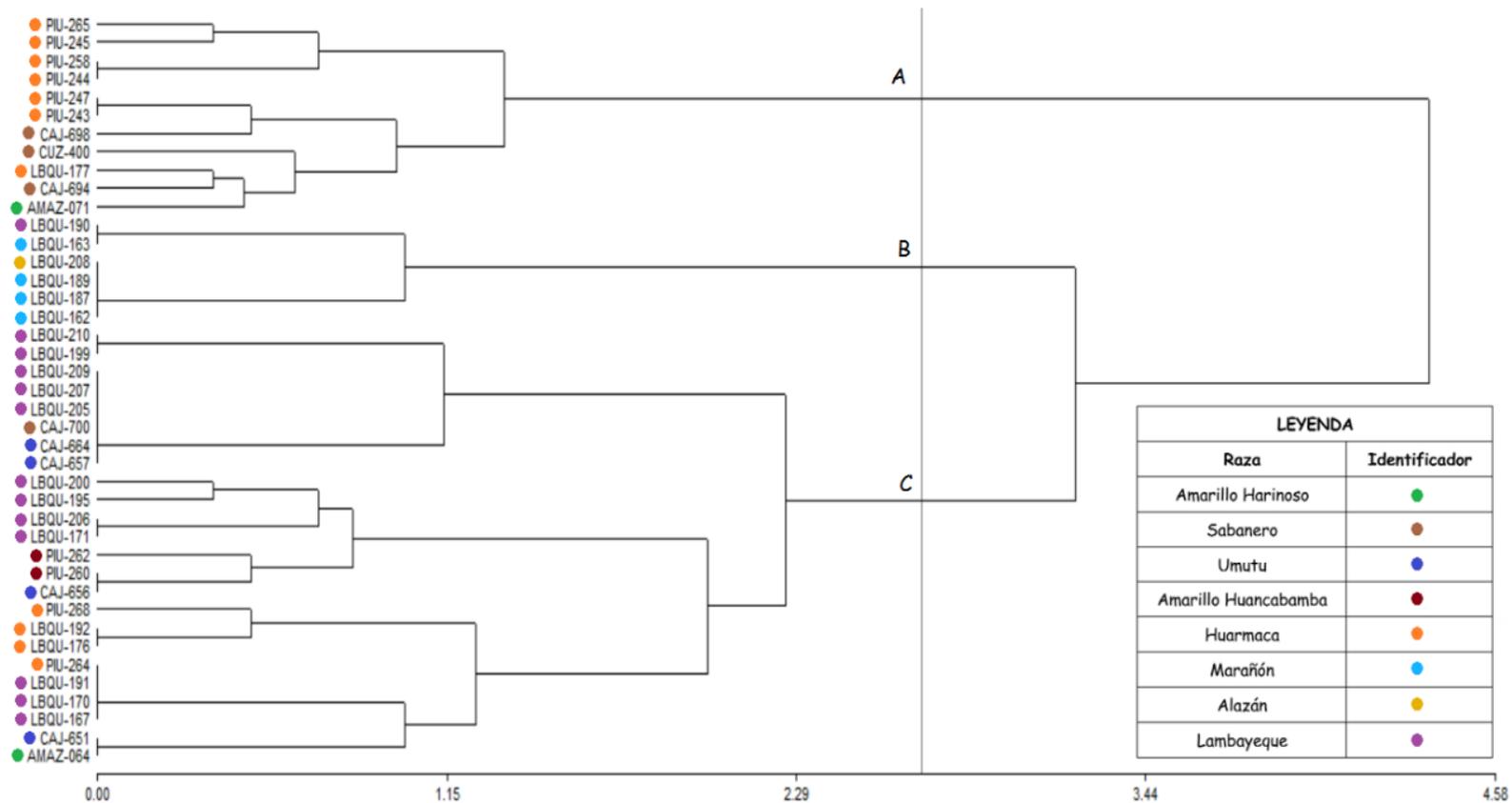
0.00															
0.27	0.00														
0.36	0.36	0.00													
0.48	0.50	0.39	0.00												
0.58	0.57	0.51	0.48	0.00											
0.51	0.50	0.49	0.44	0.63	0.00										
0.49	0.49	0.45	0.38	0.57	0.42	0.00									
0.38	0.38	0.47	0.50	0.62	0.39	0.45	0.00								
0.51	0.52	0.51	0.47	0.56	0.51	0.40	0.51	0.00							
0.45	0.43	0.49	0.50	0.55	0.54	0.49	0.48	0.46	0.00						
0.50	0.48	0.44	0.39	0.50	0.49	0.37	0.51	0.28	0.41	0.00					
0.30	0.26	0.35	0.49	0.53	0.53	0.50	0.41	0.47	0.40	0.44	0.00				
0.51	0.51	0.45	0.39	0.51	0.51	0.41	0.55	0.41	0.46	0.32	0.53	0.00			
0.53	0.54	0.42	0.38	0.46	0.56	0.39	0.59	0.45	0.50	0.37	0.52	0.36	0.00		
0.64	0.64	0.62	0.58	0.47	0.70	0.66	0.68	0.63	0.65	0.60	0.63	0.59	0.59	0.00	
0.68	0.67	0.64	0.64	0.48	0.75	0.70	0.74	0.70	0.72	0.66	0.65	0.66	0.62	0.42	
0.68	0.68	0.64	0.63	0.48	0.74	0.64	0.74	0.64	0.68	0.60	0.65	0.59	0.56	0.39	
0.61	0.61	0.57	0.56	0.48	0.66	0.63	0.65	0.62	0.63	0.57	0.58	0.55	0.59	0.39	
0.63	0.62	0.59	0.60	0.45	0.71	0.65	0.70	0.65	0.67	0.61	0.59	0.61	0.57	0.39	
0.42	0.45	0.41	0.42	0.57	0.44	0.37	0.43	0.36	0.46	0.35	0.47	0.35	0.42	0.64	
0.51	0.53	0.47	0.45	0.58	0.50	0.43	0.53	0.44	0.50	0.41	0.54	0.39	0.44	0.65	
0.58	0.58	0.50	0.37	0.43	0.54	0.49	0.58	0.56	0.52	0.49	0.58	0.42	0.41	0.57	
0.62	0.62	0.56	0.52	0.57	0.64	0.53	0.67	0.53	0.61	0.47	0.60	0.46	0.46	0.46	
0.53	0.54	0.50	0.43	0.35	0.60	0.50	0.58	0.48	0.46	0.42	0.49	0.42	0.40	0.51	

<<continuación>>

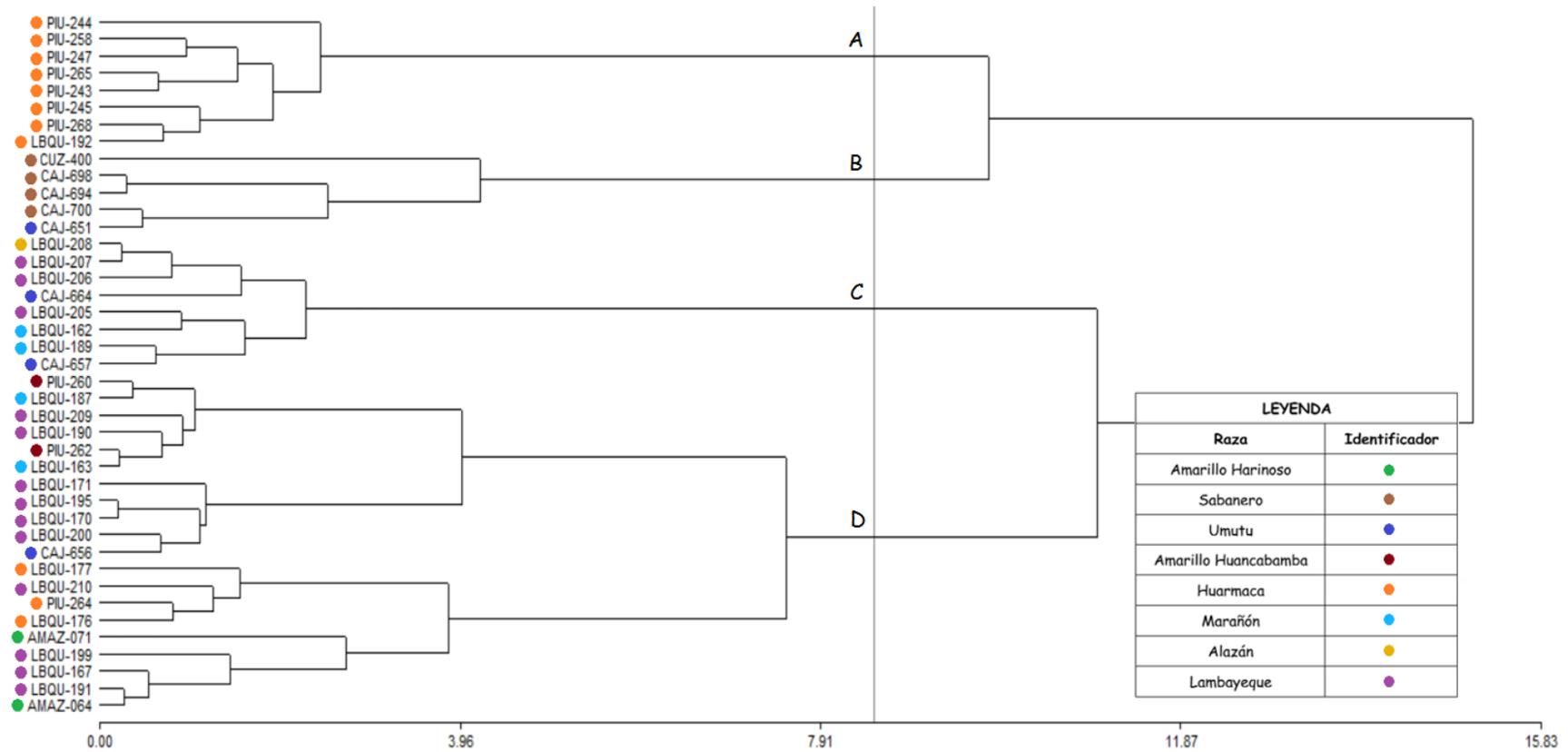
PIU-244 PIU-245 PIU-247 PIU-258 PIU-260 PIU-262 PIU-264 PIU-265 PIU-268

0.00															
0.40	0.00														
0.45	0.40	0.00													
0.37	0.34	0.34	0.00												
0.71	0.64	0.61	0.66	0.00											
0.72	0.65	0.62	0.67	0.32	0.00										
0.60	0.61	0.58	0.57	0.52	0.54	0.00									
0.49	0.42	0.43	0.43	0.52	0.55	0.55	0.00								
0.58	0.50	0.47	0.52	0.49	0.50	0.44	0.50	0.00							

Anexo 3. Dendrograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward con las 43 muestras de maíz caracterizadas, basado en el índice de similitud Simple Matching.



Anexo 4. Dendrograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward con las 43 muestras de maíz caracterizadas, basado en la distancia Euclidiana.



**Anexo 5. Similitud de mazorcas Lambayeque con muestras de raza Umutu y
Amarillo Huancabamba.**

Anexo 5a. Mazorcas LBQU-171 – “Lambayeque”.



Anexo 5b. Mazorcas LBQU-199 – “Lambayeque”.



Anexo 5c. Mazorcas CAJ-657 – “Umutu”.



Anexo 5d. Mazorcas PIU-262 – “Amarillo Huancabamba”.

