

**Agrupación de poblaciones locales de maíz (Zea mays L.)
mediante caracteres morfológicos y parámetros
ambientales**

José Ignacio Ruiz De Galarreta Gómez

I S B N: 84-89727-64-3

Depósito Legal: S. 54-98

Servei de Publicacions
Universitat de Lleida

TESITEX, S.L.
c/. Melchor Cano, 15
Télf. 923 - 25 51 15
Fax 923 - 25 87 03
37007 SALAMANCA

ÍNDICE GENERAL

I. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS

1.1. TAXONOMÍA Y EVOLUCIÓN DEL MAÍZ

1.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL MAÍZ

1.3. DIVERSIDAD RACIAL DEL MAÍZ

1.4. UTILIZACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS

1.5. POTENCIAL GENÉTICO DE LAS POBLACIONES LOCALES

1.6. UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA CARACTERIZACIÓN VARIETAL Y EN LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS GEOGRÁFICAS DE EVALUACIÓN

1.7. APLICACIONES DE LA TAXONOMÍA NUMÉRICA A CLASIFICACIONES INFRAESPECÍFICAS

1.7.1. Coeficientes de semejanza

1.7.1.1. Coeficientes de distancia

1.7.1.2. Coeficientes de asociación

1.7.1.3. Coeficientes angulares

1.7.2. Análisis de grupos

1.7.2.1. Método de ligamiento simple

1.7.2.2. Método de ligamiento completo

1.7.2.3. Métodos de ligamiento promedio

1.7.2.4. Método flexible de Lance y Williams

1.7.3. Análisis de componentes principales

1.7.4. Análisis discriminante

II. OBJETIVOS

III. MATERIAL

3.1. MATERIAL VEGETAL

3.2. MATERIAL DE CAMPO

3.3. MATERIAL DE LABORATORIO

3.4. MATERIAL INFORMÁTICO

IV. MÉTODOS

4.1. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LAS POBLACIONES

4.2. EVALUACIÓN DE LAS POBLACIONES

4.2.1. Localización

4.2.2. Climatología

4.2.3. Manejo de los ensayos

4.2.4. Diseño experimental

4.2.5. Caracteres y parámetros evaluados

4.2.5.1. Caracteres morfológicos

4.2.5.1.1. Caracteres de planta

4.2.5.1.2. Caracteres de mazorca y grano

4.2.5.1.3. Caracteres de ciclo

4.2.5.2. Parámetros ambientales

4.2.5.2.1. Parámetros climáticos y topográficos

4.2.5.2.2. Parámetros edáficos

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.3.1. Determinación de la existencia de variabilidad morfológica y ambiental

4.3.1.1. Descriptiva de las poblaciones

- [4.3.1.2. Estimación de las varianzas genéticas](#)
 - [4.3.1.3. Parámetros genéticos](#)
 - [4.3.2. Análisis de la relación entre poblaciones](#)
 - [4.3.2.1. Análisis de componentes principales](#)
 - [4.3.2.2. Análisis de grupos](#)
 - [4.3.2.3. Análisis discriminante](#)

V. RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LAS POBLACIONES

5.2. EVALUACIÓN DE LAS POBLACIONES

5.2.1. Descriptiva de las poblaciones en base a los caracteres morfológicos

- [5.2.1.1. Caracteres de planta](#)
- [5.2.1.2. Caracteres de mazorca](#)
- [5.2.1.3. Caracteres de grano](#)
- [5.2.1.4. Caracteres de ciclo](#)

5.2.2. Descriptiva de las poblaciones en base a los parámetros ambientales de los lugares de recolección

- [5.2.2.1. Parámetros climáticos y topográficos](#)
- [5.2.2.2. Parámetros edáficos](#)

5.2.3. Análisis de la variabilidad morfológica

- [5.2.3.1. Análisis de varianza individuales](#)
- [5.2.3.2. Análisis de varianza combinado](#)
- [5.2.3.3. Heredabilidad](#)
- [5.2.3.4. Constancia](#)

5.3. ELECCIÓN DE VARIABLES PARA LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS POBLACIONES

5.4. RELACIÓN ENTRE CARACTERES MORFOLÓGICOS Y PARÁMETROS AMBIENTALES

5.5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

- [5.5.1. Caracteres morfológicos](#)
- [5.5.2. Parámetros ambientales](#)
- [5.5.3. Caracteres morfológicos y parámetros ambientales](#)

5.6. ANÁLISIS DE GRUPOS

- [5.6.1. Agrupación taxonómica basada en los caracteres morfológicos](#)
- [5.6.2. Agrupación taxonómica basada en los parámetros ambientales](#)
- [5.6.3. Agrupación taxonómica basada en el conjunto de caracteres morfológicos y parámetros ambientales](#)

5.7. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA

- [5.7.1. Clasificación agroclimática](#)
- [5.7.2. Clasificación según el tipo de suelo](#)

5.8. ANÁLISIS DISCRIMINANTE

- [5.8.1. Análisis discriminante basado en los caracteres morfológicos](#)
- [5.8.2. Análisis discriminante basado en los parámetros ambientales](#)
- [5.8.3. Análisis discriminante basado en caracteres morfológicos y parámetros ambientales](#)

VI. DISCUSIÓN

6.1. IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE LAS POBLACIONES

6.2. EVALUACIÓN DE LAS POBLACIONES

- [6.2.1. Diseño experimental](#)

6.2.2. Descriptiva de caracteres morfológicos y parámetros ambientales

6.2.3. Análisis de varianza

6.2.4. Heredabilidad y constancia de los caracteres morfológicos

6.3. ELECCIÓN DE LAS VARIABLES APTAS PARA LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS POBLACIONES

6.4. RELACIÓN ENTRE CARACTERES MORFOLÓGICOS Y PARÁMETROS AMBIENTALES

6.5. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS POBLACIONES

6.6. ANÁLISIS DISCRIMINANTE

VII. CONCLUSIONES

VIII. BIBLIOGRAFÍA

IX. ANEJOS

BIBLIOTECA VIRTUAL



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento en primer lugar al Dr. Ángel Álvarez por su labor de dirección del presente trabajo, así como por la ayuda personal e interés demostrado durante la realización del mismo.

Asimismo agradezco la Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco la financiación recibida para poder desarrollar este trabajo.

Al Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Lleida por la aceptación del presente trabajo.

Manifiesto mi gratitud a la Estación Experimental de Aula Dei del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y al Centro de Investigación y Mejora Agraria del Gobierno Vasco por haberme proporcionado los medios necesarios para llevar a buen fin este trabajo.

Al Dr. Ignacio Romagosa por su asesoramiento como tutor de la presente Tesis Doctoral.

Al Dr. José Manuel Lasa y al Dr. Amando Ordás por la orientación y consejos recibidos.

A todo el personal del Departamento de Genética de la Estación Experimental de Aula Dei por su ayuda material y apoyo recibido durante la realización del trabajo.

Además expreso también mi gratitud a la Diputación Foral de Guipúzcoa y al personal de la Finca Experimental de Zubieta por el apoyo prestado en la realización de los ensayos agronómicos.

A Juan Giménez, a Gotzone Garay y José Manuel Elicegui por su inestimable ayuda e interés demostrado en el desarrollo y elaboración de los ensayos de campo.

Y por último a mis familiares por su constante apoyo y en definitiva, a todos los que de una forma u otra han contribuido al buen término del presente trabajo.

I. Estado actual de conocimientos

1.1. Taxonomía y evolución del maíz

El maíz cultivado pertenece a la tribu Maydeae, subfamilia Andropogoneae, familia Gramineae y género Zea (Bianchi et al., 1989). Dicho género incluye formas cultivadas, todas ellas conocidas como maíz, y formas silvestres denominadas teosintes. Las primeras fueron desconocidas en Europa hasta su introducción por Colón, siendo descubiertas probablemente en la isla de Cuba. El conocimiento del teosinte llega a Europa mucho más tarde y es Schrader (1832) quien describe una forma anual del mismo, denominándola Euchlaena perennis Hitchcock. Gradualmente y a través de una serie de trabajos realizados por numerosos botánicos (Ascherson, 1875; Collins, 1921, Beadle, 1939) se establecieron nexos de unión entre el maíz y el teosinte. Von Post y Kuntze (1904) y Reeves y Mangelsdorf (1942) obtienen ya una relación formal entre estas especies, incluyéndolas en el género Zea como Z. mexicana (Schrader) Kuntze y Z. perennis (Hitchcock) Reeves y Mangelsdorf.

Durante el presente siglo se ha continuado con el estudio de las características botánicas de estos grupos, habiéndose descubierto recientemente una nueva especie de teosinte perenne, denominada Z. diploperennis Iltis, Doebley y Guzmán (Guzmán, 1978; Iltis et al., 1979).

El Cuadro 1 (tabla 1-1) muestra la taxonomía del género Zea propuesta por Wilkes (1967) y según la modificación realizada por Doebley (1990) a partir de una clasificación anterior (Iltis y Doebley (1980)).

La familia Maydeae comprende además del género Zea los géneros Euchlaena y Tripsacum, todos ellos de origen americano, y cinco géneros provenientes de Asia y Australia, Coix, Chionachne, Polytoxa, Scherachne y Triobachne (Rusell y Hallauer, 1980)

Wilkes (1967)	Iltis y Doebley (1980) modificado
Sección <u>Euchlaena</u> (Schrader) Kuntze	Sección Luxuriantes Doebley y Guzmán <u>Z. diploperennis</u> Iltis, Doebley y Guzmán
<u>Z. perennis</u> (Hitchc.) Reeves y Mangelsdorf	<u>Z. perennis</u> (Hitchc.) Reeves y Mangelsdorf
<u>Z. mexicana</u> (Schrader) Kuntze	<u>Z. luxurians</u> (Durieu y Ascherson) Bird
Raza Guatemala	Sección <u>Zea</u> <u>Z. mays</u> L.
Raza Chalco	ssp. <u>mexicana</u> (Schrader) Iltis
Raza Central Plateau	Raza Chalco
Raza Nobogame	Raza Central Plateau
Raza Balsas	Raza Nobogame
Raza Huehuetenango	ssp. <u>parviglumis</u> Iltis y Doebley
	ssp. <u>huehuetenangensis</u> (Iltis y Doebley) Doebley
Sección <u>Zea</u>	
<u>Z. mays</u> L.	ssp. <u>mays</u>

Cuadro 1. Taxonomía del género Zea.

Los estudios arqueológicos sobre el maíz sitúan su origen en Tehuacán (Méjico), alrededor de 5000 años a.C. Este hecho, junto con la proximidad de teosintes silvestres, avalan a Méjico como el área geográfica en la que tuvo lugar su domesticación (MacNeish, 1985). Restos encontrados en el valle Mautaro situado en las tierras altas de Perú (3000-4000 m) y datados entre 450 y 1500 años a.C., ponen de manifiesto un segundo centro de diversificación del cultivo (Johannenssen y Hastorf, 1989). La expansión del mismo no se produce hasta el primer milenio a.C., cuando aparecen maíces más vigorosos procedentes, probablemente, de hibridaciones con formas teosintoides. Los nuevos cultivares irían desplazando al hasta entonces mayoritario (Francis, 1990).

Johannenssen y Parker (1989) proponen la posibilidad de que el maíz cruzara el océano antes de que lo hiciera con Colón. Estos autores se basan en la aparición de unas figuras de mazorcas esculpidas en roca y halladas en el templo Hoysala, al sur de la India. Dichos restos están datados hacia el siglo XII y XIII d.C., y de ser confirmados dichos hallazgos, habría que aceptar la presencia del maíz en el Viejo Mundo en tiempos precolombinos y por lo tanto reconsiderar la historia del maíz en este continente.

El desarrollo de los centros de variabilidad en el Nuevo Mundo es paralelo, en muchos sentidos, con el desarrollo de las civilizaciones indias en América y el inicio de la agricultura intensiva. Los maíces cultivados mejicanos y los de tipo dentado de América Central parecen estar asociados con la civilización maya, mientras que los cónicos de las zonas más elevadas de Méjico Central, con los aztecas y predecesores. La variabilidad de maíz en los Andes se correlaciona con la agricultura extensiva desarrollada por los incas, correspondiendo las formas alargadas de Guatemala y las lisas de la zona norte andina con la cultura chibcha (Goodman, 1976).

A la llegada de Colón a la isla de Cuba en 1492, el cultivo del maíz se extendía desde Canadá hasta Chile, ocupando un gran área geográfica, entre el nivel del mar y los 3000 m de altura de las laderas andinas. Esta diversificación parece que se alcanza tras una influencia de la selección natural y humana en centenares de años, resultando así ecotipos adaptados a diferentes ambientes y usos por parte de sus cultivadores. Su reproducción alógama, el acúmulo de numerosas mutaciones y las hibridaciones entre materiales de distinta procedencia, habría contribuído notablemente al aumento de su variabilidad genética.

Goodman (1976) considera que la introgresión de germoplasma del teosinte hacia el maíz y la simple divergencia evolutiva, han sido dos factores determinantes en la diversificación experimentada por esta especie.

1.2. Importancia económica del maíz

El maíz es el tercer cereal en importancia a nivel mundial, después del trigo y el arroz, en cuanto a superficie cultivada, 129 millones de ha, y a producción, 478 millones de t (F.A.O., 1991). Los principales países productores son EE.UU y China (Cuadro 2 de la tabla 1-2).

En cuanto a los rendimientos medios obtenidos varían mucho de un país a otro, teniendo EE.UU y la C.E.E los más altos con 6,9 y 6,8 t/ha, frente a Brasil y la India dónde sólo alcanzan 1,8 y 1,4 t/ha respectivamente.

País	Superficie mill.ha	Rendimiento t/ha	Producción mill.t
EE.UU	27,8	6,9	189,8
China	20,4	4,5	93,3
Brasil	11,8	1,8	22,6
Méjico	7,0	1,9	13,5
India	5,7	1,4	8,2
	4,0	2,1	8,5
U. R. S. S.			
C. E. E.	3,9	6,8	26,5

Cuadro 2. Superficie, rendimiento y producción de maíz grano en diferentes países del mundo (FAO, 1991).

A nivel europeo (Cuadro 3 de la tabla 1-3), los países con mayor superficie cultivada son los del Este, con la antigua U.R.S.S. al frente, seguida de Rumanía, aunque poseen menores rendimientos medios respecto al resto de países europeos. Francia e Italia poseen los más altos rendimientos con 7,2 t/ha.

En España la superficie de suelo ocupada con cultivo de cereales fue de casi 8 millones de ha en 1990.

País	Superficie mill.ha	Rendimiento t/ha	Producción mill.t
U. R. S. S.	3,9	2,1	8,5
Rumanía	2,5	4,0	10,4
Yugoslavia	2,3	3,8	8,8
Francia	1,7	7,2	12,7
Hungría	1,1	6,5	7,5
Italia	0,8	7,2	6,2
Bulgaria	0,5	4,8	2,6
España	0,4	6,6	3,0

Cuadro 3. Superficie, rendimiento y producción de maíz grano en los principales productores europeos (FAO, 1991)

El maíz grano ocupó, en dicho año, el tercer lugar después de la cebada y el trigo, con una superficie cultivada de 473 mil ha y una producción de 3,0 millones de t (Cuadro 4 de la tabla 1-4). A lo largo del presente siglo este cultivo ha tenido una cierta estabilidad en cuanto a superficie, oscilando entre las 450 mil y 500 mil ha. (M.A.P.A., 1990).

Comunidad Autónoma	Superficie		Producción	
	miles ha	%	miles t.	%
Galicia	129,2	27,2	347,2	11,4
Cast.-Mancha	78,8	16,6	719,1	23,6
Extremadura	63,3	13,3	436,5	14,3
Aragón	56,2	11,8	427,3	14,0
Andalucía	37,3	7,8	321,2	10,5
Cataluña	34,8	7,3	251,1	8,2
Cast.- León	30,6	6,4	256,4	8,4
Madrid	9,5	2,0	76,0	2,5
Asturias	2,5	0,5	8,3	0,2
Resto	31,2	6,6	198,7	6,5
ESPAÑA	473,4	100,0	3041,8	100,0

Cuadro 4. Superficie y producción de maíz grano (secano y regadío) en España (M.A.P.A., 1990).

El maíz forrajero ocupó en el mismo año 112 mil ha con una producción en verde de alrededor de 4,6 millones de t (Cuadro 5 de la tabla 1-5). En la evolución de la superficie dedicada a este cultivo se ha producido un incremento continuo desde 1945 hasta 1973, en que se ha estabilizado en algo más de 100 mil ha.

Comunidad Autónoma	Superficie		Producción	
	miles ha	%	miles t.	%
Galicia	50,0	44,4	1750,5	38,1
Cataluña	17,5	15,5	847,9	18,4
Asturias	8,4	7,4	463,1	10,0
Andalucía	8,2	7,2	281,7	6,1
Cast.- León	7,2	6,4	427,3	9,3
Cantabria	5,4	4,8	274,9	5,9
Cast.- Mancha	4,0	3,5	152,6	3,1
Extremadura	3,5	3,1	129,6	2,8
País Vasco	1,8	1,6	81,2	1,7
Resto	6,5	5,7	180,9	3,9
ESPAÑA	112,5	100,0	4589,7	100,0

Cuadro 5. Superficie, rendimiento y producción de maíz forrajero en España (M.A.P.A., 1990).

Desde la introducción y expansión del maíz en España, durante el siglo XVI, hasta mediados del presente siglo, se han venido cultivando variedades locales adaptadas a las condiciones ambientales de diferentes zonas. Sin embargo, durante el período de 1951-1955 se introdujeron y expansionaron los híbridos de maíz norteamericanos en las zonas de regadío españolas, reduciéndose de forma continua la superficie sembrada con variedades locales, en general más adaptadas pero menos productivas (Figura 1-1). Ya en 1953, del total de la superficie cultivada en el área mediterránea, el 12,3% lo era con variedades híbridas (Jugenheimer, 1959). En 1990 se cultivaron en España unas 75 mil ha con variedades de maíz grano de polinización libre de un total de 473 mil ha.

[Figura 1-1](#)

El Cuadro 6 (tabla 1-6) muestra la relación de superficies y producciones con estas variedades, en las principales zonas maiceras españolas.

Comunidad Autónoma	Superficie mil ha	Producción mil t
Galicia	71,4	180,7
Canarias	1,1	3,1
País Vasco	1,0	2,7
Asturias	0,8	2,2
ESPAÑA	75,2	190,7

Cuadro 6. Superficie y producción de variedades locales de maíz en España (M.A.P.A., 1990).

1.3. Diversidad racial del maíz

La clasificación de las plantas cultivadas no ha progresado tan rápidamente como la de las especies vegetales espontáneas, siendo la principal razón de esta diferencia, la existente a su vez, en el tipo de variación que se encuentra en las dos categorías de plantas. En la naturaleza la variación es generalmente discontinua, mientras que en las especies cultivadas este tipo de variación es excepcional y no suelen existir líneas definidas de demarcación entre las variedades que componen una especie cultivada.

Existen dos conceptos diferentes en la clasificación de las plantas cultivadas: clasificación botánica que determina el rango básico de especies y clasificación agrícola, basada en los caracteres agronómicos de los cultivares (Brandenburg, 1986).

Stace (1986) sugiere unas premisas que debería de cumplir un sistema de clasificación infraespecífica:

- debe ser capaz de expresar la variación taxonómica existente.
- el sistema no tiene que ser demasiado complicado en su aplicación.
- debe de ser revisado a nivel internacional antes de hacer una propuesta formal del mismo.
- se debe formular separadamente de cualquier propuesta de cambio del Código Internacional de Nomenclatura para las Plantas Cultivadas.

El problema de la clasificación se agudiza en las especies alógamas como el maíz, en las que normalmente, se producen con cierta frecuencia cruzamientos intervarietales.

No es fácil precisar en términos generales lo que es una raza de maíz. Sánchez-Monge (1962) la define como un grupo de poblaciones o variedades que tienen un suficiente número de caracteres distintivos, de genes en común, los cuales se mantienen en las poblaciones, a través de una reproducción panmíctica dentro de la propia zona geográfica de adaptación.

El desarrollo de las culturas de los diferentes pueblos americanos, sus migraciones, el descubrimiento de América y el subsiguiente movimiento de europeos, fueron factores decisivos en la creación de la diversidad del germoplasma de maíz. Los cruzamientos, acompañados por continuos intercambios de genes entre las poblaciones, así como la posterior selección natural y humana, amplió la variabilidad genética de esta especie. La extensa colección de germoplasma existente era ya conocida por los primeros botánicos y mejoradores, pero fue en la década de los años 40 cuando se acometió el problema de su clasificación.

Sturtevant (1899) clasifica, por primera vez, el maíz en 6 grupos principales, 5 de los cuales se distinguen por la composición del endospermo del grano, denominándolos de la siguiente forma:

- maíz pop (ssp. everta)
- maíz dentado (ssp. indentata)
- maíz liso (ssp. indurata)
- maíz harinoso (ssp. amylacea)

- maíz dulce (ssp. saccharata)

El sexto grupo lo llama maíz tunicado o pod (ssp. tunicata) en el que incluye formas primitivas, caracterizadas por poseer una cubierta blanda rodeando a los granos.

Kuleshov (1933) elabora otra clasificación de maíz, basándose en el tipo de endospermo y obtiene 8 grupos que denomina: liso, harinoso, dentado, palomero, dulce, amiláceo- azucarado, céreo y tunicado.

Estas clasificaciones tienen una validez desde el punto de vista de su utilización, pero son insatisfactorias debido a que se trata de una división artificial, en la que no queda reflejada sus relaciones de tipo filogenético.

Anderson y Cutler (1942) proponen realizar un estudio de la diversidad racial del maíz y efectuar una clasificación natural de la misma. Para ello introducen el concepto de raza como un conjunto de individuos con un número suficiente de caracteres en común que permita su reconocimiento como grupo. Siguiendo este criterio se iniciaron trabajos de recolección y clasificación racial, basándose en un gran número de caracteres morfológicos y de procedencia geográfica. Dichas recolecciones fueron promovidas por la Fundación Rockefeller, el National Research Council de EE.UU y las Agencias Nacionales de Agricultura de los diferentes países de Latinoamérica que participaron en las mismas.

Este gran esfuerzo se tradujo en más de 12000 colecciones agrupadas en unas 250 razas de maíz. Todas ellas están descritas en una serie denominada "Races of Maize Booklets" que comprende once monografías (Wellhausen et al., 1952, 1957; Hatheway, 1957; Roberts et al., 1957; Brieger et al., 1958; Brown, 1960; Ramírez et al., 1960; Grobman et al., 1961; Timothy et al., 1961, 1963; Grant et al., 1963). Eliminando las duplicaciones, se puede estimar en unas 150 razas diferentes las descritas en este conjunto de publicaciones (Brown, 1985).

La mayor parte de ellas tienen un interés local y son siete grupos raciales los que han tenido una gran trascendencia mundial:

- Lisos Norteños: localizados en el norte de EE.UU, Canadá y Europa Central.
- Dentados Corn Belt: grupo del que derivan la mayor parte de las variedades mejoradas y cultivadas en amplias zonas del planeta.
- Catetos Lisos: importantes en América del Sur y regiones meridionales de Europa.
- Dentados Mejicanos.
- Cubanos Lisos.
- Caribeños Lisos.
- Tusón: importante origen del germoplasma tropical.

Estos cuatro últimos grupos se distribuyen en las regiones tropicales y subtropicales.

Mangelsdorf (1974) distingue unos grandes grupos o linajes que sirven como punto de arranque de las actuales razas de maíz:

- Palomero Toluqueño: variedades pop-corn sudamericanas.
- Chapalote-Nal-Tel: grupo originario de México.
- Pira Naranja: maíz colombiano de endospermo liso anaranjado.
- Confite Morocho: variedad peruana de ocho filas apta para cocinar.
- Chullpi: de origen peruano y precursor del maíz dulce.
- Kculli: variedad peruana relacionada con las razas coloreadas del mundo.
- Razas de EE.UU: Northern Flints, Southern Dents y Derived Southern Dents.

De este conjunto de razas hay que resaltar las denominadas Northern Flints y Southern Dents, las cuales han contribuido virtualmente a la mayoría del germoplasma de maíz que se cultiva en el Medio Oeste de EE.UU y alrededor del 50% de la producción mundial de este cultivo (Doebley et al., 1986).

El desarrollo de las variedades que hoy se conocen como Corn Belt o Midwestern Dents se originó hace unos 200 años a partir del cruzamiento accidental de estas dos razas en los Estados del Medio Atlántico de EE.UU (Wallace y Brown, 1956). Durante el siglo XIX y parte del siglo XX se desarrollaron variedades híbridas de polinización libre, originadas y seleccionadas por los agricultores americanos. En los últimos 60 años, los mejoradores de maíz han continuado seleccionando y recombinando este material, produciendo híbridos modernos del Corn Belt. Actualmente, la mayor parte de estos híbridos tienen como parentesco líneas derivadas, en parte, de la variedad Lancaster Sure Crop y otras originadas a partir de la variedad Reid Yellow Dent. Lancaster y Reid son, presumiblemente, vestigios que representan a las razas históricas Northern Flints y Southern Dents (Doebley et al., 1988).

Varios autores han aplicado técnicas de análisis multivariante al conjunto de las razas latinoamericanas anteriormente descritas (Goodman, 1972; Bird y Goodman, 1977; Goodman y Bird, 1977) así como técnicas moleculares para buscar relaciones existentes entre las mismas (Goodman y Stuber, 1983; Doebley et al., 1988).

En los últimos años se ha continuado la caracterización y clasificación de germoplasma originario de Latinoamérica. León et al., (1981) realiza una evaluación de 859 variedades nativas de maíz y las agrupa en 10 grupos raciales. Nivio y Magoja (1988) caracterizan 21 razas procedentes de Argentina. También hay referencias de descripción de razas en países asiáticos como Japón (Japan Division of Genetics, 1979).

Hacia finales del siglo XIX la raza Corn Belt Dents se introdujo en Europa, produciéndose diversas hibridaciones con el germoplasma existente y dando lugar a una compleja formación de fondos genéticos adaptados a unas condiciones ambientales muy

amplias. A partir de una reunión celebrada en 1958 y organizada por la F.A.O. en Madrid, se pone de manifiesto la preocupación por coleccionar, clasificar y conservar las variedades autóctonas de maíz, desplazadas progresivamente por la introducción de híbridos comerciales. Con este fin y aplicando la metodología propuesta por Anderson y Cutler (1942), se inician trabajos de recolección y descripción de razas en diversos países europeos. Basándose en un estudio preliminar, Leng et al., (1962) y Edwards y Leng (1965) describen, al menos, 11 razas que ocupan el Sureste de Europa. Brandolini (1970) realiza una caracterización de 38 razas y subrazas pertenecientes a la cuenca mediterránea. Otros autores (Sánchez-Monge, 1962; Pavlicic y Trifunovic, 1967; Brandolini y Mariani, 1968; Costa-Rodrigues, 1969; Radovic y Vidakovic, 1979) han clasificado germoplasma de maíz de países como España, Rumanía, Italia, Yugoslavia y Portugal. Dentro de las colecciones europeas, las italianas han sido las más estudiadas en diversos aspectos, como morfológicos y agronómicos (Bonciarelli, 1961; Brandolini, 1970), citogenéticos (Bianchi et al., 1963), frecuencia de mutantes (Salamini, 1968), taxonómicos (Camussi, 1979; Camussi et al., 1983).

En España, Sánchez-Monge (1962) caracteriza 17 razas de maíz grano, 3 de maíces palomeros e identifica 32 formas intermedias originadas, posiblemente, por hibridación entre las razas principales. Ron (1987) utiliza métodos de taxonomía numérica en el estudio de poblaciones de Galicia y las agrupa en 5 taxones fundamentales, algunos de los cuales coinciden con los descritos por Sánchez-Monge (1962). Alvarez (1988) utilizando 18 variables morfológicas, describe 229 poblaciones de la Cornisa Cantábrica, obteniendo 15 grupos o entidades taxonómicas.

1.4. Utilización de recursos fitogenéticos

La aparición de la agricultura hace unos 10 mil años en varias partes del planeta, provocó la ruptura de numerosos equilibrios ecológicos aunque, afortunadamente, la lentitud de los procesos de domesticación de las plantas permitió alcanzar otros equilibrios estables. A lo largo de este milenar proceso evolutivo en el que se calcula que el hombre ha utilizado más de 100 mil especies vegetales comestibles, se ha producido una coadaptación entre aquél y sus plantas cultivadas y entre éstas y su ambiente. Todo esto ha contribuido, decisivamente, a que la diversidad genética se mantuviese, e incluso se incrementase durante este largo período de tiempo (Esquinas, 1987).

En la Edad Moderna los equilibrios ecológicos se han roto de nuevo, y la velocidad con que se producen los cambios, unido a la reciente explosión demográfica, no da a la Naturaleza el tiempo biológico necesario para restablecerlos. El número de especies cultivadas actualmente no supera las 150, utilizando la inmensa mayoría de la Humanidad tan sólo 12. Esta reducción de la diversidad no se limita solamente al nivel específico sino también al intraespecífico.

Fischbeck (1981) llega a la conclusión de que el progreso fitogenético está ligado necesariamente a la disminución de la antigua diversidad fenotípica. Tal progreso conlleva, igualmente, la pérdida de ciertos genes que pueden quedar simplemente eliminados. Se trata ante todo de un fenómeno de erosión genotípica, no sabiendo si se ha perdido ya el último ejemplar de un determinado alelo, o bien, si tales alelos raros se encuentran aún, en la infinita variedad de las posibles combinaciones entre los diversos elementos hereditarios.

Las necesidades de la agricultura moderna exigen variedades con características cada vez más uniformes y por ello los mejoradores se han orientado hacia la obtención de variedades genéticamente más homogéneas. De esta forma, mientras que en las variedades tradicionales la diversidad genética se conservaba en las poblaciones o en formas locales, en las actuales variedades hay que buscar esta diversidad entre ellas mismas, y la pérdida de variabilidad genética de la agricultura moderna, debería ser compensada con el cultivo de un mayor número de variedades de distinto origen genético.

Esto, lamentablemente no es así, y la gama varietal utilizada por los agricultores de una región o comarca, es muy corta, siendo además los antecedentes genéticos muy próximos entre unas variedades y otras.

Todo ello ha traído como consecuencia una pérdida de variabilidad que se ha denominado erosión genética sobre la que actúa la selección natural, aumentando la vulnerabilidad de los cultivos frente a inesperados cambios ambientales o a la aparición de nuevas plagas y enfermedades (Esquinas, 1982).

Existen varios ejemplos de los peligros asociados a la uniformidad genética, como el ocurrido en la década de 1840-1850, cuando unos 2 millones de irlandeses morían de hambre como consecuencia de un ataque masivo de Phytophthora infestans que destruyó los cultivos de patata (Hawkes, 1979). En 1970 se extendió en EE.UU una enfermedad en el maíz producida por Helminthosporium maydis, destruyendo hasta el 50% del cultivo en los Estados del Sur, con unas pérdidas próximas a los mil millones de dólares (Walsh, 1981). Los híbridos habían sido producidos mediante androesterilidad citoplásmica, introduciendo en todos ellos el citoplasma Texas, con genes ligados a los de susceptibilidad para esta enfermedad. Se trató de un caso extremo que provocó una gran conmoción en el ámbito científico de los EE.UU. La Academia Nacional de Ciencias designó un comité de expertos con la misión de analizar la vulnerabilidad genética de los principales cultivos. El informe emitido fue publicado en 1972 (National Academy of Science, 1972), y en base al mismo ha sido posteriormente definida la política nacional en esta materia.

Dada la importancia de la agricultura norteamericana en la economía mundial, el ataque de Helminthosporium maydis en 1970 sirvió para concienciar a los poderes públicos de numerosos países, sobre la importancia de la erosión genética y de la conservación de la mayor cantidad posible de recursos fitogenéticos.

Existen, además de éstos, otros muchos ejemplos (Harlan, 1975; Chang, 1979; Bouattoura, 1988) de los peligros y efectos producidos como consecuencia de la vulnerabilidad genética de los cultivos.

En 1961 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (F.A.O.), convocó una reunión técnica que condujo a la creación en 1965 de un cuadro de expertos en prospección e introducción de plantas. Este grupo coordinó las actividades de la F.A.O. en materia de germoplasma durante varios años, y dio lugar a la aparición en 1974 del Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR), organización perteneciente al Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR). A partir de éste, se creó una red internacional de instituciones nacionales dedicadas a la conservación de recursos genéticos de interés agrícola, así como de promover la utilización de los mismos en

la obtención de nuevas variedades.

Esquinas (1982) clasifica a los recursos fitogenéticos en dos categorías:

- especies cultivadas: variedades comerciales, variedades locales tradicionales, líneas de mejora y mutantes génicos, cromosómicos y genómicos.
- especies silvestres: de uso directo, indirecto y potencial.

Singh (1989) hace otra clasificación de los mismos, en los siguientes grupos.

- recursos genéticos básicos: especies silvestres relacionadas con las cultivadas, variedades locales y cultivares primitivos.
- recursos genéticos derivados: variedades obsoletas, líneas de mejora, materiales de premejora, cultivares avanzados, parentales de variedades híbridas, stock citogenéticos y mutantes.
- recursos genéticos a nivel molecular: "librerías" de DNA "in vitro".

La utilización efectiva de los recursos genéticos exige su recolección, conservación, multiplicación y evaluación (Sandhu, 1992). Esta última se inicia con la adopción de una serie de descriptores. Los datos a tomar para cada nueva entrada se pueden dividir en tres secciones (Chapman, 1989): - datos de pasaporte: los cuales incluyen una información básica sobre la procedencia y el tipo de accesión.

- caracterización preliminar: basada en una descripción básica de caracteres, fundamentalmente morfológicos.
- evaluación: estudiando otros caracteres de interés para los mejoradores, como tolerancia a determinados estrés, resistencias a plagas y enfermedades o parámetros de calidad.

La conservación de los recursos fitogenéticos persigue dos objetivos principales: proporcionar a los mejoradores (contemporáneos o futuros) un conjunto de genotipos para sus programas de selección y almacenar la mayor cantidad posible de variabilidad de cada cultivo, con el fin de reducir los peligros de vulnerabilidad genética.

El origen de la protección de la diversidad genética no data de nuestro siglo o de la civilización actual (Palmberg y Esquinas, 1990). La conservación de recursos forestales y animales "in situ" fueron ya decretados en China y en la India 700 años a.C. (Swaminathan, 1983). La introducción de plantas y conservación "ex situ" se inicia con los egipcios 1000 años a.C. Sin embargo, el concepto actual de la exploración sistemática, conservación y utilización de los recursos fitogenéticos para la agricultura es mucho más reciente, siendo pioneros, científicos como Candolle en 1800 y Vavilov y Meyer hacia 1900.

El primer banco mundial de germoplasma vegetal surgió en la antigua U.R.S.S. como resultado de los estudios de Vavilov en 1920, sobre los centros de diversidad genética de los cultivos. Actualmente existen grandes bancos de germoplasma repartidos por todo el mundo,

destacando por su importancia, las colecciones soviéticas y americanas. En Europa Occidental la Asociación Europea para la Investigación de la Mejora Vegetal (EUCARPIA), ha impulsado la creación de bancos de genes en ciudades como Bari (Italia) y Braunschweig (Alemania) (Hawkes y Lamberts, 1977).

1.5. Potencial genético de las poblaciones locales

Las variedades locales han evolucionado durante largos períodos de tiempo sometidas a selección natural, bajo medios ambientales y culturales diversos. En general, su evolución se produjo bajo condiciones de producción con un reducido número de prácticas culturales, fertilización y protección sanitaria, lo que les ha conferido una gran estabilidad productiva. Su valor potencial reside no sólo en genes para resistencia a enfermedades y plagas, calidad nutritiva y adaptación a condiciones ambientales adversas, sino también por sus caracteres que, aunque no sean reconocidos actualmente, pueden un día ser considerados como indispensables. Con la pérdida de una variedad local se elimina de modo irreversible la diversidad genética en ella contenida (Esquinas, 1982). A la variación intervarietal, se añade la gran diversidad genética intravarietal que es la causa de la conocida heterogeneidad morfológica de las variedades locales.

La utilización directa de las variedades locales queda actualmente restringida a áreas poco desarrolladas técnicamente, o zonas con agricultura de pequeñas extensiones y a regiones en las cuales no se han adaptado totalmente las nuevas variedades obtenidas mediante mejora genética. Obviamente, una variedad altamente productiva y de buenas características agronómicas elimina rápidamente a sus predecesoras, ésto es lo que hace tan urgente la recolección de este material, que de otro modo desaparecería.

El valor potencial de las variedades locales tradicionales, incluso para alto rendimiento, queda demostrado, ya que los cultivares superproductivos han surgido de aquéllas. Los mejoradores que las obtuvieron no trataron sólo de maximizar el rendimiento sino, fundamentalmente, la regularidad del mismo.

Antes del descubrimiento del Hemisferio Oeste el maíz era cultivado por los nativos americanos. Los exploradores europeos explotaron los cultivares primitivos utilizados por aquéllos, para alimentar no sólo a los animales, sino también para su supervivencia. En el Norte de América dos importantes razas de maíz eran cultivadas: Northern Flints, caracterizada por su precocidad, corta talla y mazorcas de 8 a 10 filas, y Southern Dents de talla mayor, más tardía y con 20 o más filas de granos en su mazorca (Brown y Anderson, 1948). El origen de la primera raza es aún debatido, mientras que Southern Dents parece haber derivado de uno de los grupos descritos en el apartado 1.3. denominado Tuxpeño. Del cruzamiento accidental de las dos razas se originó la superproductiva Corn Belt Dents.

Durante los siglos XVIII y XIX la selección practicada por los agricultores, y basada principalmente en el fenotipo de planta y mazorca, dio lugar a un gran número de cultivares adaptados a áreas específicas. La reproducción alógama del maíz contribuyó a aumentar la heterocigosidad dentro de estos cultivares, no pudiendo realizar un control sobre el parental masculino (Hallauer, 1990).

Actualmente, la mayor parte del maíz cultivado en EE.UU son híbridos derivados de

la raza Corn Belt Dents, utilizando sólo una pequeña parte de la variación contenida en esta raza (Sprague, 1984). La mayor parte de los híbridos simples más productivos, incluyen un parental derivado del tipo Reid y otro del tipo Lancaster. Tres líneas puras (B73, Mo17 y A632) han sido utilizadas como parentales en el 39% del maíz híbrido cultivado hasta 1979 en EE.UU (Zuber y Darrah, 1980). Posteriormente, ha habido una reducción del empleo de estas líneas aunque, junto con Oh43, siguen siendo las que más contribuyen en el conjunto de germoplasma de maíz que se cultiva en este país y en amplias zonas del mundo con clima templado (Smith, 1988).

En Europa la situación es similar. Las variedades locales tradicionales han sido sustituidas progresivamente por germo-plasma del Corn Belt, cruzado con líneas lisas europeas (Kaan y Derieux, 1986). No obstante, la adaptación de estos híbridos no es excesivamente buena en todas las zonas, debido a que las condiciones ambientales europeas y americanas difieren notablemente. Los cruzamientos derivados de las variedades locales de estas áreas con líneas dentadas americanas, parecen ser unos buenos patrones heteróticos (Ordás, 1991) para los híbridos europeos que se cultivan actualmente.

Por todo ésto, es fundamental continuar con la recolección, evaluación y conservación de las poblaciones locales que aún se cultivan en determinadas zonas del mundo. Además de las primeras colecciones realizadas en América durante la década de los años 50, las cuales se conservan en el banco de germoplasma del CIMMYT en Méjico (Taba, 1990), se ha proseguido durante estos últimos años con las recolecciones de germoplasma de maíz, tanto en América (IBPGR, 1986; Frolich, 1988; Aung et al., 1991) como en Asia (Choe, 1986; Lei y Li, 1989), Africa (Abdalla et al., 1987; Aromose y Alake, 1987; Nigatu, 1987) y Europa (Cristea et al., 1979; Radovic y Zivkovic, 1983; Basukov y Matveeva, 1986; Marín, 1988).

La preocupación por ampliar la base genética del maíz y de otros cultivos es hoy latente, por lo que se continúa caracterizando y evaluando variedades locales y cultivares primitivos (Gardner et al., 1990; Liu et al., 1990; Feil, 1992) conservados en los bancos de germoplasma de un gran número de centros de investigación y mejora genética distribuidos por todo el mundo.

1.6. Utilización de parámetros ambientales en la caracterización varietal y en la determinación de áreas geográficas de evaluación

La utilización eficiente de germoplasma requiere una caracterización y posterior evaluación del mismo. Esto suele desarrollarse en dos pasos consecutivos: evaluación preliminar, en la cual se reduce el estudio a un número limitado de caracteres, seguida de una evaluación más específica del material vegetal más prometedor. Por lo general, el gran número de entradas inicial limita el número de ensayos multilocales a realizar. La información obtenida de un solo lugar de evaluación no puede utilizarse para predecir características como rendimiento en otros ambientes diferentes, debido a la existencia de la interacción genotipo-ambiente (Ceccarelli et al., 1987). Como consecuencia de ésto, la evaluación específica puede no incluir en muchos casos, genotipos de la evaluación preliminar. Según Elings y Nachit (1991) parte de este problema es debido al uso restringido de los parámetros ambientales que caracterizan los lugares de recolección del germoplasma que se evalúa.

Las características agronómicas y ecológicas han influenciado la constitución genotípica de las variedades locales durante su domesticación (Harlan et al., 1973), existiendo una cierta relación entre la agroecología del área geográfica de recolección y la morfología de la planta.

Las condiciones que debe cumplir un estudio agroecológico son las siguientes (Elings y Nachit, 1991):

- distribución regular de los lugares muestreados bajo unas áreas concretas de recolección.
- disponibilidad de información sobre las variables agroecológicas de los lugares de recolección del germoplasma.
- el material vegetal del estudio debe de representar a zonas agroecológicas bien diferenciadas.
- las muestras recolectadas deben ser representativas del conjunto de la variabilidad existente en las poblaciones originales.

La elección de las variables ambientales, que se utilizarán posteriormente en el estudio, es un punto muy importante para realizar una buena caracterización de los lugares de recolección del germoplasma. Se pueden agrupar, fundamentalmente, en tres clases: variables climáticas, geográficas y edáficas. Las variables del primer tipo, juegan "a priori" un papel muy importante en la adaptación de los cultivos a un medio concreto. El "tiempo", definido como la acción de las variables meteorológicas día tras día y, el clima, entendido como el historial del tiempo para un conjunto de años, influyen respectivamente, en los diferentes cultivos y en el resultado final de los mismos, o lo que es lo mismo, en sus cosechas. Como no es posible hacer una buena predicción del tiempo desde el momento de la siembra al de la recolección, la agricultura debe, obligatoriamente, adaptarse al clima determinado de la zona en que se desarrolla. La importancia de este factor es muy elevada y su consideración resulta imprescindible en los estudios del medio físico que comprendan zonas con diferentes climas. Además este elemento determina, en alto grado, el tipo de suelo y vegetación e influye, por lo tanto, en la utilización de la tierra (Seamann, 1979).

El estudio de parámetros geográficos y edáficos se fundamenta en la necesidad del conocimiento de la orografía y el suelo donde se vienen cultivando las variedades locales a lo largo de los años. El suelo se ha definido según la Soil Survey Staff (1951), como el conjunto de unidades naturales que ocupan superficie terrestre que soporta el material vegetal y cuyas propiedades se deben a los efectos combinados del clima y de la materia viva sobre la roca madre, en un período de tiempo y en un relieve determinado.

Una de las aplicaciones de la utilización de parámetros ambientales es la identificación de regiones geográficas apropiadas para la evaluación de germoplasma (Pollak y Pham, 1989). Estos autores utilizan características del suelo, altitud y variables climáticas para encontrar regiones similares en el Sub-Sahara que sirvan para la caracterización de variedades de maíz. Ford y Nielsen (1982), utilizando 16 variables ecológicas, describen un sistema gráfico por ordenador para la elección de áreas análogas de experimentación de cultivos en diferentes ambientes. Trabajos similares han sido realizados por Rudeforth (1975)

en cultivos como cebada y patata. Russell y Moore (1970) y Russell (1982) aplicaron análisis numérico sobre datos agroclimáticos para identificar homoclimas en diferentes partes del mundo. Ortiz-Valdez (1985) mediante un análisis de grupos basado en parámetros ambientales, obtiene localidades de similares características agroclimáticas. Los estudios de estratificación de ambientes surgen en la década de los años 1950-60 a partir de trabajos como los de Horner y Frey (1957) y McCain y Shultz (1959). Posteriormente, se han sucedido estudios similares en diversos cultivos basados, principalmente, en la producción de los mismos (Byth et al., 1976; Ghaderi et al., 1980; Fox et al., 1985; Lin y Binns, 1991).

Otra utilización de los parámetros ambientales es el estudio de la diversidad genética de especies vegetales. Varios autores han buscado la relación existente entre dichos parámetros y caracteres morfológicos o de tipo bioquímico. Nevo et al. (1979) realiza estudios de correlación en cebada, empleando variables que denomina ecológicas como la temperatura y la humedad relativa, con caracteres morfológicos. El mismo autor (Nevo et al., 1983) relaciona diferentes clases de suelo (terra rossa y basáltica) con la frecuencia de hordeínas del endospermo en *Hordeum spontaneum*. Erskine et al., (1989), a partir de un estudio de más de 4000 poblaciones de *Lens culinaris* Med., concluye que el "ambiente ecológico" ha sido la fuerza que más ha contribuido en la evolución de este cultivo.

La búsqueda de relaciones entre parámetros climáticos y producción ha sido estudiada por diversos autores y en diferentes cultivos. Según Shaw (1988) no es común encontrar una relación clara entre el rendimiento y una característica climática como la pluviometría anual, debido a la existencia de correlaciones positivas y negativas durante todo el período estacional. Otros investigadores, sin embargo, han encontrado cierta relación entre estas dos variables (Carreker et al., 1972) aunque, en algunos casos (Garlipp, 1976) sólo se describe con la pluviometría acumulada durante el período de crecimiento del cultivo.

En maíz, Dirks y Bolton (1981) describen relaciones entre factores climáticos, como cantidad de agua disponible, unidades térmicas acumuladas y déficit hídrico, con la producción. Muchow et al., (1990) indica que bajas temperaturas y alta radiación solar contribuyen a la variación del rendimiento potencial de este cultivo. También, se han encontrado recientemente, algún tipo de asociación entre la producción y características físicas de suelo como la concentración de nitratos (Binford et al., 1992).

1.7. Aplicaciones de la taxonomía numérica a clasificaciones infraespecíficas

El término de Taxonomía Numérica se puede definir como la aplicación de la Estadística u otros métodos numéricos a la investigación sistemática (Sneath y Sokal, 1973). Jardine y Sibson (1971) sugieren el nombre de "taxonomía matemática" y Blackith y Reyment (1971) emplean el término "morfometría multivariante". Este concepto se ha denominado con otros sinónimos como "taxometría" (Mayr, 1966) o "taximetría" (Rogers, 1963). Sin embargo, el término que hemos empleado al comienzo parece ser universalmente aceptado. En cualquier caso, la Taxonomía Numérica tiene como principal objetivo la agrupación de los organismos en taxones, mediante el uso de métodos numéricos, y tomando como datos de partida los niveles de los caracteres utilizados. Con la aplicación de este conjunto de métodos pretendemos medir la semejanza o desemejanza entre individuos, basándonos en un gran número de atributos, los cuales no se ponderan "a priori". Todos ellos tienen el mismo valor relativo, y este valor solamente variará una vez que la clasificación se

haya realizado, estudiando cuáles han sido los caracteres que han tenido un mayor valor discriminatorio.

La Taxonomía Numérica se basa en la evidencia fenética, es decir, en las semejanzas presentadas por una serie de caracteres observados en diferentes individuos y no sobre probabilidades filogenéticas. No solamente es empírica, sino también operativa ya que emplea métodos que se basan sobre exposiciones e hipótesis, formuladas de tal manera, que pueden ser confirmadas por la observación y experimentación (Heywood, 1968).

La clasificación de los seres vivos fue iniciada por Linné en 1737. En su obra "Genera Plantarum" incluye 935 géneros de vegetales, ampliados a 1336 en una posterior edición de la misma (Raven et al., 1971). Linné utiliza la nomenclatura binomial, que asignaba a cada ser vivo el nombre latino con el género y la especie, cumpliendo la función de etiqueta científica que permitiera situarlo y relacionarlo con las demás especies.

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

Las ventajas de la utilización de los métodos taxonómicos numéricos se resumen en la posibilidad de integración de datos morfológicos, fisiológicos, citogenéticos, bioquímicos etc. Por otra parte, los datos cuantitativos pueden elaborarse mediante sistemas de procesamiento informático actualmente existentes, lo que permite el manejo rápido de una enorme cantidad de información sobre las entidades taxonómicas (Felsenstein, 1983). Los métodos por ser cuantitativos presentan una mayor capacidad de resolución en la separación de los taxones.

Las aplicaciones de la Taxonomía Numérica a la clasificación de genotipos a nivel infraespecífico y relacionadas con la Mejora Vegetal han sido muy numerosas. Witehouse (1969) estudia la relación entre el análisis de un dialelo en cebada y judías, con el análisis canónico; Molina-Cano (1977) clasifica cultivares de cebada usando análisis de componentes principales; Goodman (1967) clasifica razas de maíz; Morishima (1969) agrupa cultivares de arroz; Baum y Lefkovitch (1973) de avena y Fundora et al. (1987) de cebolla. Por otro lado, la utilidad de los métodos taxonómicos numéricos ha sido puesta de manifiesto por varios autores (Molina-Cano, 1976; Hanelt, 1988) en el estudio de recursos fitogenéticos.

1.7.1. Coeficientes de semejanza

La utilización de métodos numéricos se basa fundamentalmente en el estudio y cálculo de la distancia genética entre las entidades taxonómicas. Con tal fin se utilizan distintos coeficientes de similitud o disimilitud, en función del carácter considerado y del grado de correspondencia entre el fenotipo y el genotipo. Los métodos numéricos son procedimientos matemáticos que permiten cuantificar el parecido entre unidades

taxonómicas, tomando como base los niveles de los caracteres observados.

Debido a la existencia de un gran número de métodos, vamos a tratar de dar una visión general de los mismos, dividiéndolos en tres grupos convencionalmente aceptados: coeficientes de distancia, coeficientes de asociación y coeficientes angulares. Para una amplia revisión de los mismos puede consultarse los trabajos de Sneath y Sokal (1973), Goodman (1973) y Asins y Carbonell (1987).

En las fórmulas que se van a dar a continuación se ha utilizado la notación siguiente:

n = número de caracteres observados

x_{ij} = valor de la observación j efectuada sobre el individuo i

\bar{x}_i = media de las observaciones efectuadas sobre el individuo i

\bar{x}_j = media de las observaciones del carácter j en todos los individuos

1.7.1.1. Coeficientes de distancia

Son realmente coeficientes de semejanza ya que miden la distancia que existe entre unidades taxonómicas operativas (UTO), definidas en un espacio determinado por unos ejes que representan a los caracteres empleados. Los coeficientes de distancia más importantes son los siguientes:

Diferencia media de caracteres (MCD)

Propuesto por Cain y Harrison (1958) como una medida del parecido taxonómico. Es un índice simple y métrico pero presenta la desventaja de subestimar las distancias entre individuos. Su fórmula general es: n

$$MCD_{ik} = 1/n \sum_{i=1}^n |x_{ij} - x_{ik}|$$

Distancia euclídea

Cada población o UTO está representada por un punto determinado por n coordenadas, equivalentes a los n valores medidos de las n variables. Es un método de cálculo de las distancias genéticas simple y directo, el cual ha sido empleado en este trabajo, y cuyo uso ha sido muy extendido (Casas et al., 1968; Hanson, 1984).

La distancia euclídea entre los puntos "i" y "k" es considerada como una medida de la distancia entre las poblaciones "i" y "k" que representan. La fórmula general es:

$$\Delta_{ik} = [\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2]^{1/2}$$

La ecuación que normalmente se utiliza es un promedio de la anterior, teniendo en

cuenta el número de caracteres estudiados (Rohlf y Sokal, 1965):

$$d_{jk} = \sqrt{\Delta^2_{jk}/n}$$

La distancia euclídea tiene el inconveniente de que depende de las unidades de medida empleadas para cada variable y de las escalas de medida. Una manera de solucionar este problema es mediante la normalización de los datos (Yau, 1991).

Coefficiente de divergencia

Ha sido utilizado en Antropología (Bielicki, 1962) y Botánica entre otras ciencias (Rhodes et al., 1969) y se formula de la siguiente forma:

$$CD_{jk} = [1/n \sum_{i=1}^n [(x_{ij} - x_{ik})/(x_{ij} + x_{ik})]^2]^{1/2}$$

Coefficiente de parecido racial

Fue desarrollado por Pearson (1926). Para su cálculo hay que obtener primero las medias y varianzas de cada carácter en cada muestra, ya que se supone que existe variación intra UTO para los caracteres considerados. Designando las UTOs como j y k y t al tamaño de muestra, tendremos:

$$CRL = [1/n \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2 / (s^2_{ij}/t_j + s^2_{ik}/t_k)]^{1/2} - 2/n$$

Distancia generalizada de Mahalanobis

Se calcula maximizando la diferencia entre pares de medias, para aquellas combinaciones de caracteres que tienen varianza máxima entre pares de grupos, con relación a la varianza conjunta dentro de grupos, para las mismas combinaciones lineales. Se puede definir como la distancia generalizada entre las medias de los grupos, basada en la matriz de dispersión dentro de grupos (Molina-Cano, 1977). La formulación fue desarrollada por Mahalanobis (1936) y Rao (1948) y es la siguiente:

$$D^2_{jk} = \delta^{\rightarrow} W^{-1} d_{jk}$$

siendo W^{-1} la inversa de la matriz de varianzas/covarianzas dentro de grupos, y δ_{jk} un vector de diferencias entre medias de muestras j y k para todos los caracteres. Varios autores han utilizado este coeficiente de distancia, en estudios de diversidad genética en diferentes cultivos (Goodman, 1967; Kuruvadi, 1988).

1.7.1.2. Coeficientes de asociación

Son funciones que miden la concordancia entre parejas de UTOs basándose en un conjunto de caracteres bifásicos y multifásicos, para lo cual se comparan la frecuencia de niveles de los caracteres en las que dicha concordancia existe, con el número total de los mismos. Se han hecho varios estudios (Sokal y Sneath, 1963; Cheetham y Hazel, 1969) comparando las ventajas de cada uno de los coeficientes de asociación. En este apartado sólo citaremos los más utilizados en trabajos de Taxonomía Numérica aplicada a la clasificación de especies vegetales.

Coeficientes de semejanza general de Gower

Gower (1971) describe un coeficiente de similaridad que es aplicable a tres tipos de caracteres: bifásicos, multiestados y cuantitativos. Es particularmente útil debido a su posibilidad de ser procesado informáticamente ya que utiliza cualquier tipo de dato.

Dos UTOs, i y j , pueden compararse en relación con un carácter k , y asignarse a esta comparación un valor S_{ijk} , que será cero cuando $i=j$, y una fracción positiva o la unidad, cuando exista entre ellas un cierto grado de semejanza o completa igualdad. La posibilidad de establecer comparaciones entre dichas UTOs puede representarse por una cantidad δ_{ijk} , que será igual a 1 cuando el carácter k sirva para compararlas, y 0 en caso contrario. El coeficiente se define como:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n s_{ijk}}{\sum_{k=1}^n \delta_{ijk}}$$

Existe una relación entre el coeficiente general de Gower y otros coeficientes de asociación que se puede resumir de la siguiente manera:

- si todos los caracteres utilizados son bifásicos el coeficiente de Gower es idéntico al de Jaccard (Sneath, 1957).
- cuando todos los caracteres son cualitativos con dos niveles, se convierte en el coeficiente de apareamiento simple (Sokal y Michener, 1958).
- cuando todos los caracteres son cuantitativos se asemeja a la media de caracteres explicada entre los coeficientes de distancia.

1.7.1.3. Coeficientes angulares

Son fundamentalmente dos: el coseno del ángulo θ ($\cos \theta$), formado por los dos vectores que unen el origen de coordenadas con los puntos que representan a las UTOs, y el coeficiente de correlación de Pearson (r). Sus formulaciones respectivas son las siguientes:

$$\cos \theta_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} x_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ik}^2}}$$

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j) (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}}$$

El coeficiente de correlación estima un parámetro de la distribución normal bivalente. Contrariamente, en Taxonomía Numérica esto no es posible, debido a la heterogeneidad de los vectores columna. Para evitar esto y conseguir una buena aproximación, sobre todo cuando los n caracteres usados son cualitativos, se recurre a la normalización de los mismos. De esta forma se consigue hacer cero la media de los vectores columna, de tal forma que cuando los vectores de posición de las UTO tienen modelo unidad, los coeficientes de correlación basados en ellos se aproximan a los cosenos de los ángulos que forman.

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

1.7.2. Análisis de grupos

Una vez obtenida la matriz de semejanzas aplicando cualesquiera de los coeficientes existentes, es necesario la utilización de alguna técnica que ayude a interpretar la estructura fenética del grupo representada en la matriz.

El análisis de grupos o análisis de "clusters" es un conjunto de métodos que tratan de dar una explicación a las relaciones fenéticas entre las unidades taxonómicas empleadas en la clasificación. Un "clustering" equivale a una partición del conjunto inicial de poblaciones o UTOs y sus elementos se denominan clases o "clusters". En ella se verifica que dos clases de un mismo nivel son disjuntas y cada una resulta de la reunión de las clases comparables del nivel inferior. La partición así descrita constituye una jerarquía (Cuadras, 1982).

Este análisis agrupa una serie de métodos jerárquicos y no jerárquicos denominando a estos últimos, métodos de ordenación, los cuales describiremos en el siguiente apartado de este capítulo. Como en el caso de los coeficientes de semejanza, los métodos de análisis de grupos son muy numerosos. Sólo citaremos los más utilizados en taxonomía vegetal, los cuales se caracterizan por ser:

- aglomerativos: a partir de un conjunto de t entidades separadas (UTOs), se agrupan sucesivamente en $t' < t$ subconjuntos hasta llegar, finalmente, a un sólo grupo que las contiene a todas.
- jerárquicos: consisten en una secuencia de $w+1$ operaciones de agrupación $C_0, C_1 \dots C_w$; siendo C_0 la partición disjunta de las t UTOs, y C_w la conjunta. El número de partes k_i en la

operación de agrupación C_i debe cumplir la restricción $k_i \geq k_{i+1}$, siendo k_{i+1} el número de partes en C_{i+1} .

- solapados: los taxones a cualquier nivel son mutuamente excluyentes, es decir, una UTO contenida en un taxón no puede, a la vez, ser miembro de otro taxón diferente del mismo rango.

- secuenciales: se aplica una secuencia de operaciones recurrentes al conjunto de UTOs que se considera la partición disjunta.

Una clasificación jerárquica se construye tras la aplicación de un algoritmo sobre la matriz de medidas de disimilitud, entre un conjunto de poblaciones o UTOs comparables y se representan gráficamente, mediante un dendrograma o fenograma. En ordenadas se indica el nivel de magnitud del coeficiente de semejanza, pudiendo así saber a que nivel se unen las dos ramificaciones para formar un nuevo grupo a más alto rango. La escala empleada en abscisas es arbitraria y la única condición que hay que tener en cuenta al elegirla, es que la separación entre las ramas contiguas sea suficiente para individualizarlas. El algoritmo fundamental de la clasificación conduce a una jerarquía indexada si la medida de disimilitud verifica las propiedades de una distancia ultramétrica (Dunn y Everitt, 1982).

En la mayor parte de los problemas relacionados con la clasificación de organismos vivos este supuesto no se cumple. Por esta razón y de forma previa, es necesaria una transformación de la disimilitud inicial en una ultramétrica, para seguidamente construir la jerarquía indexada.

Los distintos algoritmos de clasificación difieren en la forma de definir esta transformación y se irán descubriendo a lo largo de la enumeración de los métodos de análisis de grupos.

1.7.2.1. Método de ligamiento simple

Definido por Sneath (1957) como la similitud/disimilitud entre dos grupos de UTOs, de forma que cualquier UTO candidato a formar parte de un grupo ya constituido, tiene una semejanza con el mismo, igual a la que tiene con la UTO de este grupo a la que se le parece más. La desemejanza entre dos grupos cualesquiera J y K viene dada por:

$$U_{JK} = \min_{jk} U_{jk}$$

Es un método combinatorio y compatible, pero produce una contracción del espacio y una tendencia al encadenamiento en los dendrogramas -forma de escalera-, al unir cada vez una UTO a un grupo ya formado lo que resta contenido informativo a los mismos (Molina-Cano, 1977).

1.7.2.2. Método de ligamiento completo

Es exactamente la antítesis del anterior y conocido también como el método del máximo (Johnson, 1967) en el que la distancia entre dos grupos ya formados se considera igual a la existente entre el par de UTOs, de tal forma que:

$$U_{JK} = \max_{jk} U_{jk}$$

Análogamente, es combinatorio y compatible, pero produce dilatación del espacio y, por tanto, es frecuente la aparición de grupos muy compactos formados a un nivel alto de semejanza.

1.7.2.3. Métodos de ligamiento promedio

Fueron desarrollados por Sokal y Michener (1958). Se calcula el promedio entre coeficientes de semejanza de dos grupos que tienen la posibilidad de unirse, evitando de esta forma las desventajas producidas por los dos métodos anteriores.

Existen dos grupos de métodos dependiendo del sistema de cálculo del promedio:

a) promedio aritmético: se calcula la media aritmética de las semejanzas entre todos los miembros de los dos grupos que se van a fusionar.

b) centroide: se calcula primero las coordenadas de los centroides de los dos grupos candidatos a unirse, deduciendo posteriormente la desemejanza entre estos dos puntos.

Este grupo de métodos pueden ser ponderados si se da la misma importancia relativa a todas las ramificaciones del dendrograma, independientemente del número de UTOs de que se componga cada grupo, o bien no ponderados, si se da el mismo peso a cada UTO, al calcular la desemejanza existente entre dos grupos ya formados.

Dentro de los métodos de ligamiento promedio, los más utilizados son los siguientes:

UPGMA

Denominado "unweighted pair group method using arithmetic averages". Es probablemente el método más utilizado en Taxonomía Numérica y es el que se ha empleado en el presente estudio. Fue desarrollado por Sokal y Michener (1958) y aplicado por primera vez por Rohlf (1969). La desemejanza entre dos grupos candidatos a fusionarse J y K, viene dada por:

$$U_{J,K} = (1/t_j + 1/t_k) U_{jk}$$

Se caracteriza por ser monótono, combinatorio, compatible y no produce efectos de distorsión en el espacio.

WPGMA

Se denomina "weighted pair group method using arithmetic averages" o método ponderado de grupo par usando promedios aritméticos. Puede formularse de la siguiente manera:

$$U_{JK} = \frac{\sum_{jk} w_j w_k U_{jk}}{\sum_{jk} w_j w_k}$$

Posee las mismas propiedades que el anterior, existiendo algunas diferencias en la estructura taxonómica, las cuales se reflejan después en el dendrograma debido a su característica de ponderación.

UPGMC

Denominado "unweighted pair group centroid method" o método del centroide (Lance y Williams, 1967). Las distancias o el cuadrado de las mismas, -dependiendo del coeficiente de disimilitud elegido- están computados entre estos centroides. No cumple la propiedad de la monotonía, por lo que en los dendrogramas se observa frecuentemente ramificaciones que se cortan. Esto sucede cuando una UTO o grupo se une a otro ya formado, pero lo hace a un nivel de semejanza mayor que aquél al que se formó dicho grupo.

Es combinatorio si se utiliza la distancia euclídea o el método de varianzas-covarianzas, pero no lo es cuando se emplea el coeficiente de correlación.

WPGMC

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

1.7.2.4. Método flexible de Lance y Williams

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

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

1.7.3. Análisis de componentes principales

Es una técnica perteneciente al grupo de métodos no jerárquicos, los cuales tienen por objeto estudiar la situación de los grupos de unidades taxonómicas, en un hiperespacio definido por el conjunto de los caracteres considerados en el análisis. Estos métodos hacen visible la distribución espacial de los grupos, refiriendo su situación a dos o tres ejes cartesianos (Judez, 1989).

Una de las técnicas más importantes dentro de estos métodos es el análisis de componentes principales, el cual describiré a continuación por ser el que se ha utilizado en el presente trabajo.

El análisis de componentes principales forma parte de los métodos de análisis multivariante, cuyo objetivo principal es el estudio de la diversidad genética de una colección de individuos. A esto se le añade la posibilidad de conocer los caracteres que más contribuyen a la variabilidad entre los diferentes genotipos estudiados (Fundora et al., 1988).

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

El método consiste en transformar un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p , en un nuevo conjunto y_1, y_2, \dots, y_p , que cumplan las siguientes propiedades:

a) cada y_i es una combinación lineal de las x , de tal forma que:

$$y_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ip}x_p$$

b) la suma de los cuadrados de los coeficientes a_{ij} es la unidad:

$$\sum_{j=1}^p a_{ij}^2 = 1$$

c) de todas las combinaciones posibles, y_1 es la que posee mayor varianza.

d) de todas las combinaciones posibles no correlacionadas con y_1 , es y_2 la que tiene mayor varianza y análogamente y_3 , de todas las combinaciones no correlacionadas con y_1 e y_2 . Y así sucesivamente hasta que el conjunto de las "y" haya sido completamente definido.

El análisis de componentes principales es actualmente una técnica ampliamente utilizada en clasificaciones de diversos cultivos (Spagnoletti-Zeuli et al., 1984; Charmet et al., 1990; Esquivel et al., 1990; Molina-Cano et al., 1990; Brown, 1991; Illoh y Olorode, 1991).

La idea fundamental del método es que unos pocos componentes contengan la mayor parte de la varianza total del conjunto de datos estudiados, con lo cual puede representarse en diagramas planos o tridimensionales la situación relativa de los grupos de unidades taxonómicas.

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

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

1.7.4. Análisis discriminante

El objeto del análisis discriminante es examinar la posibilidad de distinción existente entre miembros de varios grupos en base a una serie de caracteres estudiados en los mismos.

Según Judez (1989) los objetivos del análisis discriminante se pueden dividir en dos grandes grupos

a.- objetivos descriptivos: cuando se representan el conjunto de las observaciones para permitir verificar si estamos realmente en presencia de grupos bien diferenciados o, cuando se pretende encontrar las variables que mejor discriminan a los grupos ya establecidos.

b.- objetivos decisionales: cuando se trata de reclasificar ciertas observaciones o clasificar nuevas en alguno de los grupos ya existentes.

El análisis discriminante tiene su origen en los trabajos clásicos de Fisher (1936) y posteriormente desarrollados por Welch (1939), Wald (1944) y un gran número de autores. Se ha aplicado extensamente en diferentes áreas como la Morfometría (Blackith y Reyment, 1971), Antropología (Rao, 1952), Genética (Habbema, 1979) y concretamente en clasificaciones de germoplasma de maíz (Camussi et al, 1983, Reid et al., 1990) y de otras especies (Hond y Campbell, 1989; Esquivel et al., 1990; Jaradat, 1991).

Los objetivos principales de esta técnica son el análisis y la clasificación. El análisis provee de diversas herramientas para interpretar los datos, tales como medir la capacidad discriminante de cada variable o, cuando hay varios grupos, indicar el número de funciones discriminantes significativas que debemos utilizar en la clasificación (Nie et al., 1975).

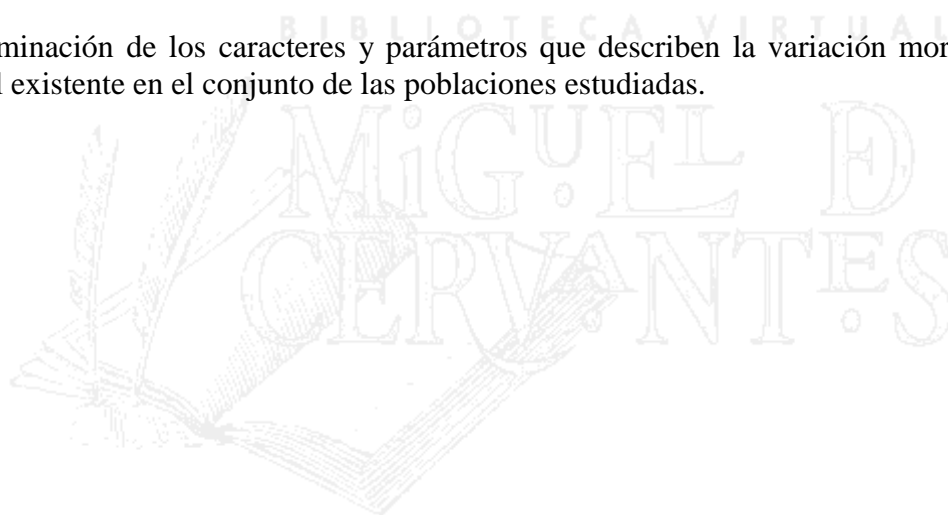
Para conocer la capacidad discriminante de las funciones se puede emplear dos criterios: el porcentaje relativo del valor propio asociado a la función o el porcentaje de varianza que aplica cada función. Los coeficientes discriminatorios, en valor absoluto, representan la contribución relativa de cada variable a su función asociada.

Para su cálculo se determina en cada par de grupos una función Z que es una combinación lineal de un subconjunto $m < n$ de los caracteres empleados, y que posee la propiedad de discriminar mejor a los dos grupos que cualquiera de los caracteres tomados por separado. Los componentes del vector Z son los coeficientes con los que ponderamos a los caracteres utilizados. Una vez calculada la función Z para cada par de grupos, se obtiene lo que se llama valor discriminante que es el que, por comparación, nos sirve para situar correctamente cualquier unidad taxonómica desconocida. Sneath y Sokal (1973) describen los detalles del cálculo de este análisis, así como las principales aplicaciones en Taxonomía.

II. Objetivos

A la vista de la problemática existente en el manejo de poblaciones de maíz y su utilización en programas de mejora, se ha planteado este trabajo con los siguientes objetivos:

- 1.- Caracterización descriptiva de una colección de 100 poblaciones locales de maíz de Guipúzcoa, en base a 27 caracteres morfológicos y de ciclo medidos en planta, mazorca y grano, y 19 parámetros climáticos, edáficos y topográficos de los puntos de recolección de las mismas.
- 2.- Análisis de las relaciones existentes entre los caracteres morfológicos evaluados y los parámetros ambientales.
- 3.- Elección de los caracteres y parámetros más adecuados para la clasificación taxonómica de las poblaciones.
- 4.- Agrupación de las poblaciones y estudio de sus relaciones, a partir de la utilización de caracteres morfológicos y parámetros ambientales.
- 5.- Determinación de los caracteres y parámetros que describen la variación morfológica y ambiental existente en el conjunto de las poblaciones estudiadas.



III. Material

3.1. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal utilizado en la evaluación y posterior clasificación, se centra en un conjunto de 100 poblaciones locales de maíz recolectadas durante el período de 1985 a 1989 por personal técnico del Servicio de Fomento Agrario de la Diputación Foral de Guipúzcoa. Una evaluación preliminar, tras su recogida, permitió la eliminación de algunas duplicaciones fenotípicamente identificables.

El origen geográfico aproximado de dichas poblaciones se presenta en el mapa de Guipúzcoa de la Figura 3-1. Se ha especificado el número de identificación recogido del Banco de Germoplasma de la Estación Experimental del Aula Dei (C.S.I.C.) en Zaragoza, donde se conservan a largo plazo.

[Figura 3-1](#)

El Cuadro 7 (tabla 3-1) detalla las localidades de origen de las 100 poblaciones estudiadas.



Origen	N	Origen	N
Fuenterrabía	690	Albiztur 2	822
Irún	697	Bidegoyan 1	823
Oyarzun 1	699	Bidegoyan 2	826
Lezo 1	700	Regil	827
Lezo 2	701	Azpeitia 1	835
Pasajes	703	Azpeitia 2	839
Oyarzun 2	709	Azcoitia 1	840
Renteria	712	Azcoitia 2	843
Hernani	717	Azcoitia 3	848
Urnieta	722	Bergara	849
Andoain 1	723	Alzo 1	852
Andoain 2	725	Lizarza 1	854
Aduna	728	Lizarza 2	856
Andoain 3	730	Alegia 1	859
Zizurkil 1	731	Alzo 2	861
Zizurkil 2	732	Orendain 1	862
Villabona	734	Orendain 2	863
Asteasu	737	Amezqueta 1	864
Anoeta	743	Tolosa2	865
Alkiza 1	744	Amezqueta 2	866
Alkiza 2	746	Abalcisketa 1	868
Larraul	748	Abalcisketa 2	869
Aya 1	752	Alegia 2	871
Usurbil 1	755	Gainza	874
Usurbil 2	758	Legorreta 1	875
Orio	759	Legorreta 2	877
San Sebastián 1	760	Isasondo 1	878
Aya 2	764	Isasondo 2	880
Zarauz	766	Ordicia 1	881
San Sebastián 2	775	Arama	885
Aizarnazabal	780	Ordicia 2	887
Gueteria	784	Zaldibia 1	888
Cestona	786	Zaldibia 2	891
Deba 1	787	Lazcano	892
Deba 2	790	Olaberría	894
Motriko 1	791	Ataun 1	897
Motriko 2	794	Ataun 2	901
Hemialde	797	Idiazábal 1	905
Tolosa 1	799	Idiazábal 2	909
Belaunza 1	802	Mutiloa	911
Belaunza 2	803	Cerain	912
Leaburu	805	Segura 1	913
Ibarra	806	Segura 2	914
Berrobi 1	808	Cegama 1	915
Berrobi 2	809	Cegama 2	919
Elduayen 1	810	Beasain	921
Elduayen 2	812	Gabiria 1	923
Berastegui 1	815	Gabiria 2	926
Berastegui 2	818	Ormaiztegui	927
Albiztur 1	820	Ezkioga	928

Cuadro 7. Localidades de origen de las 100 poblaciones.

3.2. Material de campo

La preparación del terreno se realizó con la maquinaria y técnicas utilizadas habitualmente por los agricultores de la zona de ensayo. La relación del material utilizado en las diversas labores y mediciones de campo es la siguiente:

- Sembradora neumática de precisión autopropulsada para ensayos de maíz.
- Tractores y útiles del laboreo.
- Abonos, herbicidas e insecticidas.
- Listones graduados para mediciones de alturas de planta y de mazorca.
- Bolsas para la recogida de mazorcas.
- Estaquillas y etiquetas diversas para controles de parcelas.

3.3. Material de laboratorio

La relación del material utilizado es la siguiente:

- Sobres y bolsas de varios tamaños.
- Cámara frigorífica para conservación de muestras.
- Cuentagranos Tripette & Renand, modelo Numigrol.
- Desgranadora eléctrica de mazorca, marca Ajúria.
- Balanza electrónica Mobba, mod. 500, con precisión de 10 g.
- Balanza Sartorius p-600 con precisión de 0.1 g.
- Analizador de grano Dickey-John GAC III.
- Estufa de secado de muestras.
- Regleta graduada en mm para mediciones de mazorcas.
- Calibrador graduado en mm para mediciones de diámetro de mazorca y zuro.

3.4. Material informático

Para el procesamiento y análisis de los datos de campo se utilizaron los equipos informáticos de la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza) y del Centro de Investigación y Mejora Agraria (Vitoria).

El soporte físico estuvo constituido por un ordenador personal PC-AT y un micro Vax 3400.

El soporte lógico utilizado consistió en:

- Programa dBASE III Plus.
- Programa SAS 6.03.
- Programa Harvard Graphis 3.0.
- Programa NTSYS-pc 1.30.
- Programa Word Perfect 5.1.

IV. Métodos

4.1. Caracterización preliminar de las poblaciones

En 1985 los servicios técnicos del Departamento de Agricultura de la Diputación Foral de Guipúzcoa, iniciaron una recolección de variedades locales de maíz cultivadas a lo largo de toda la provincia. Se han muestreado prácticamente la totalidad de los caseríos (más de 3000) en los que se siembra este cultivo.

El procedimiento de recogida se basaba en diferentes muestras representativas, en las que se pretendía que su variabilidad genética estuviese bien representada. Las mazorcas se elegían aleatoriamente dentro de cada población, identificando la muestra con un número de entrada correlativo así como con las características del lugar de recolección. Posteriormente se procedía al desgrane de las mazorcas y se aplicaban los tratamientos fitosanitarios pertinentes para su conservación. Esta se realizó en tarros herméticamente cerrados dentro de una cámara frigorífica a una temperatura aproximada de 4 °C y con una humedad relativa del 60%.

Tras un estudio geográfico de identificación y clasificación sobre mapas y según el origen del conjunto de las variedades, se eligieron muestras de 244 poblaciones representativas de las diferentes zonas maiceras guipuzcoanas.

Durante 1989 se llevó a cabo en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza) una multiplicación y evaluación fenotípica preliminar del conjunto de las 244 poblaciones. La multiplicación fue de tipo conservativo, sin ningún criterio de selección y realizada mediante polinizaciones manuales controladas.

En cada población se utilizaron al menos 120 plantas, cada una como polinizador o como hembra de forma excluyente, con lo que se pretende recoger la máxima variabilidad contenida en cada población y que el aumento de la consanguinidad sea mínimo (Falconer, 1981).

El ensayo de caracterización preliminar basado en una caracterización morfológica y de ciclo y, teniendo en cuenta además, el origen geográfico de las poblaciones, permitió la eliminación de duplicidades fenotípicas y centrar el estudio en un total de 100 poblaciones, las cuales han constituido el material base del presente trabajo.

Muestras de las 100 variedades se conservan en el Banco de Germoplasma de la Estación Experimental de Aula Dei, a una temperatura aproximada de 2° C y una humedad relativa próxima al 65%.

4.2. Evaluación de las poblaciones

4.2.1. Localización

Los ensayos de evaluación tuvieron lugar durante los años 1990 y 1991 en dos localidades: una en la Finca Experimental de Zubieta perteneciente a la Diputación Foral de Guipúzcoa y situada en el municipio de Fuenterrabía (Guipúzcoa), a 21 Km de San Sebastián;

y la segunda en la Estación Experimental de Aula Dei, localizada en Montañana (Zaragoza). En el Cuadro 8 (tabla 4-1) se detalla la situación geográfica aproximada de las zonas de ubicación de los ensayos.

Localidad	Longitud	Latitud	Alitud
Fuenterrabía	1°53'52"W	43°21'24"N	25 m
Zaragoza	0°47'00"W	41°44'30"N	220 m

Cuadro 8. Localización de los ensayos de evaluación.

Cada uno de los ensayos ocupó una superficie de unos 3150 m², dentro de unas parcelas uniformes en estructura y composición química del suelo.

4.2.2. Climatología

En la Figura 4-1 se presentan los datos de temperatura y pluviometría durante la época de cultivo en cada ensayo. Los datos corresponden a las estaciones meteorológicas situadas en la Finca de Zubieta y en la Estación Experimental de Aula Dei.

[Figura 4-1](#)

4.2.3. Manejo de los ensayos

Preparación del terreno

La preparación de las parcelas de ensayo se realizó del modo habitual en cada zona. Primero una labor de alzada con arado de vertedera y posteriormente, uno o dos pases de grada de discos (30-35 cm) con la rastra para dejar el terreno en perfectas condiciones para la siembra.

Abonado

En los días previos a la siembra se realizó un abonado de fondo, a base de un abono mineral con las siguientes cantidades:

- Finca Zubieta: 300 kg/ha de nitrato amónico cálcico del 26%, 500 kg/ha de superfosfato de cal del 18% y 250 kg/ha de sulfato potásico del 36%.
- E.E. Aula Dei: 600 kg/ha de abono complejo 12-24-8.

El abonado de cobertera se distribuyó entre los 30 y 35 días después de la siembra, en dos veces y con las siguientes dosis:

- Finca Zubieta: 300 kg/ha de nitrato amónico del 26%.
- E.E. Aula Dei: 200 kg/ha de urea y 200 Kg/ha de nitrato amónico del 33%.

Siembra

La siembra se realizó a máquina, con una sembradora de precisión autopropulsada de microparcels, a razón de una semilla por golpe. Las fechas de siembra fueron los días 25 de Abril de 1990 en la E.E. de Aula Dei y el 8 de Mayo del mismo año en la Finca Experimental

de Zubieta. En 1991, las siembras se realizaron los días 30 de Abril y 23 de Mayo, respectivamente.

Las parcelas se identificaron con estaquillas y etiquetas en la primera planta de cada surco, indicando el número de la parcela.

Protección del cultivo

Se aplicaron herbicidas de preemergencia en la totalidad de los ensayos, empleándose los siguientes compuestos:

- Eradicane A: cuyas materias activas son EPTC (10%), dialamina (0.96%) y atrazina (2.5%), a razón de 45 kg/ha.
- Primextra: formado por metalacloro (30%) y atrazina (19%), a razón de 5 l/ha.

El primero se utilizó para combatir las malas hierbas de hoja estrecha y el segundo para las de hoja ancha. Se realizaron también escardas manuales y mecánicas cuando se consideró necesario.

Para el control de los insectos del suelo (gusanos blancos y grises) y nematodos se utilizó Curater 5 en el momento de la siembra, a una dosis de 10 kg/ha.

Riego

A los ensayos realizados en la Finca Zubieta no se les aplicó ningún riego, como es habitual en la zona Norte de España para el cultivo del maíz. En la E.E. de Aula Dei en Zaragoza, las necesidades hídricas se cubrieron con riegos a pie a razón de unos 50 l/m², durante los meses de Junio, Julio y Agosto. El número total de riegos fue de 8, en cada año.

Recolección

La recolección se realizó cuando el grano estaba maduro, con una humedad entre el 20 y 25%. Se recolectó manualmente, de forma controlada, parcela por parcela, identificando cada una de ellas con una etiqueta. De cada parcela se tomaron 10 mazorcas al azar para las determinaciones de laboratorio. Estas se dejaron secar hasta alcanzar una humedad próximas al 14%.

La recolección se realizó los días 5 y 6 de Septiembre de 1990 en la E.E. de Aula Dei y 25 y 26 de Septiembre del mismo año en la Finca Zubieta. Los ensayos realizados durante 1991 fueron recolectados los días 15 y 16 de Octubre en la E.E. de Aula Dei y 18 y 19 del mismo mes en Fuenterrabía.

4.2.4. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en los cuatro ensayos de evaluación (dos años y dos localidades por año) fue de bloques completos al azar con tres repeticiones.

La parcela elemental constaba de 2 líneas de 5 m de longitud, con 25 golpes a 20 cm

entre sí, y una separación entre líneas de 75 cm. Los pasillos entre bandas eran de 2 m. Los surcos extremos dentro de cada bloque se sembraron con la misma variedad para reducir el efecto de borde (Bowman, 1989).

La densidad final fue de unas 66000 plantas/ha, aspecto importante dentro del diseño del ensayo, ya que la misma puede afectar a las medidas absolutas de los caracteres vegetativos (El-Lakany y Russell, 1971).

[Figura 4-2](#)

[Figura 4-3](#)

Respecto al tamaño de la muestra de plantas que representan a cada población (Márquez-Sánchez, 1984) y número de individuos a controlar, Sánchez-Monge (1962) dispone de 60 plantas de las que controla 10; Camussi (1979) utiliza en su estudio 30 plantas por repetición, de las cuales controla 6; Alvarez (1988) representa a la población con 150 plantas controlando 15 por repetición.

Para el presente trabajo se dispuso de un total de 600 plantas de cada población, que comparado con las anteriores referencias pretende representar suficientemente a cada variedad local. Del total de plantas se controlaron 10 por repetición, es decir, 120 plantas por cada variedad.

4.2.5. Caracteres y parámetros evaluados

Uno de los aspectos más importantes en la caracterización y clasificación taxonómica de las poblaciones es la elección de los caracteres más adecuados. Existen múltiples tipos de caracteres que pueden utilizarse en un estudio taxonómico numérico: morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, ecológicos, etológicos etc. Por el contrario, hay una serie de ellos que no deben emplearse en este tipo de estudio, como los que no aportan ningún tipo de información sobre la naturaleza fenética de los organismos que constituyen la base del mismo.

Se han formulado varias hipótesis que abordan el problema de fijar el número de caracteres a utilizar en una clasificación, en las cuales no se va a profundizar sino sólo citar. Estas son la hipótesis del nexo, hipótesis de no-especificidad, hipótesis de la asíntota de factores, hipótesis de la asíntota de caracteres concordantes y varias más. Sin embargo, ninguna de ellas proporcionan una explicación teórica consistente para elegir un número mínimo de caracteres.

Sneath y Sokal (1973) recomiendan utilizar el mayor número posible, para lo cual se basan en motivos puramente empíricos. Existe una amplia información sobre los caracteres empleados en análisis de distancias genéticas en Biología. Muchas de las aplicaciones conciernen a la taxonomía o a simples problemas de clasificación (Goodman, 1973; Felsenstein, 1984).

Se han utilizado caracteres de tipo bioquímico y molecular, no afectados por la variación ambiental, para estimar distancias genéticas y relaciones filogenéticas entre individuos (Brow y Weir, 1983). Sin embargo, hay una serie de razones para la estimación de distancias genéticas basadas en caracteres de tipo morfológico y parámetros ecológicos, los

cuales, tanto unos como otros, pueden ser utilizados en clasificaciones de tipo infraespecífico. La selección natural afecta a caracteres morfológicos, los cuales están ligados a características de adaptación. El cálculo de distancias a partir de este tipo de variables puede darnos una información añadida sobre los patrones de adaptación y coadaptación de las poblaciones (Camussi et al., 1985). Por otro lado, las distancias medidas sobre datos cuantitativos son de gran relevancia en la evaluación de fuentes de germoplasma, dentro del contexto de un programa de mejora genética. Además el patrón de evolución morfológica puede no ser el mismo que el inferido a los caracteres de tipo bioquímico (Price et al., 1984).

Se han utilizado ampliamente caracteres morfológicos en trabajos de caracterización de razas de maíz (Wellhausen et al., 1951; Sánchez-Monge, 1962; Goodman, 1967; Costa-Rodrigues, 1969; Brandolini, 1970; Ron, 1987; Alvarez, 1988).

Asimismo, se han empleado variables de tipo ecológico o parámetros ambientales (climáticos, topográficos, edáficos etc.) en la caracterización de cultivos como trigo (Asins y Carbonell, 1987), leguminosas y cultivos herbáceos (Erskine et al., 1989) o en la clasificación de zonas geográficas apropiadas para cultivos como maíz (Pollak y Pham, 1989).

Basándonos en los trabajos antes citados se han elegido para el presente estudio, una serie de caracteres morfológicos y parámetros ambientales que permitan la clasificación taxonómica de las 100 poblaciones de maíz de la provincia de Guipúzcoa.

Algunas de las variables empleadas se han evaluado visualmente siguiendo los descriptores de maíz de la F.A.O.-I.B.P.G.R. (I.B.P.G.R., 1980). Esta es una circunstancia que se da con frecuencia en clasificaciones de tipo infraespecífico (Bartual et al., 1985).

4.2.5.1. Caracteres morfológicos

Los caracteres morfológicos que se describen a continuación, fueron computados en cada parcela sobre 10 plantas competitivas, tomadas al azar y considerando como tales a plantas individualizadas, flanqueadas y sanas (Cuadro 9 de la tabla 4-2).

4.2.5.1.1. Caracteres de planta

Altura de la planta

Se define como la distancia en cm entre la base del tallo en el suelo y el extremo superior de la inflorescencia masculina o pendón. Para su medida se utilizó un listón graduado de 300 cm de longitud.

Altura de inserción de la mazorca

Distancia en cm desde el suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior. Para su medida se utilizó el mismo listón que en el caso anterior.

Número total de hojas

Definido como el número total de hojas que posee la planta, contadas desde la base de

la misma hasta la última hoja en el tallo.

Nudo de inserción de la mazorca

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

Área de la hoja

Se define como la superficie del limbo foliar, en cm^2 , situado inmediatamente inferior a la mazorca principal.

Se han descrito varios métodos para la determinación de este parámetro en maíz (Montgomery, 1911; Francis et al., 1969; Winter y Ohlrogge, 1973; Pearce et al., 1975; Mutisya y Geadelmann, 1990; Fladung y Ritter, 1991), habiendo sido demostrado que el área de la hoja puede ser estimada a partir del producto de su longitud por la anchura máxima y por un factor igual a 0.75. Este es un método rápido y preciso, el cual evita la utilización de aparatos electrónicos menos flexibles y que no cubren, en muchos casos, todo el rango de situaciones experimentales.

Índice de ahijamiento

Indica la relación entre el número de tallos principales con hijuelos y el número inicial de tallos de plantas.

Longitud del pendón

Distancia en cm entre el punto de origen de la ramificación inferior y el ápice del raquis central. Para su medida se empleó una regla graduada en cm.

Número de ramificaciones del pendón

Hace referencia al número total de ramificaciones primarias, secundarias y terciarias de la inflorescencia masculina o pendón.

Longitud del pedúnculo de la mazorca

Distancia medida en cm desde el nudo de inserción del pedúnculo hasta la base de la mazorca principal.

Número total de nudos del pedúnculo

Se define como el número total de nudos que posee el pedúnculo de la mazorca principal, contados desde la base de la misma, hasta el nudo de inserción con el tallo.

4.2.5.1.2. Caracteres de mazorca y grano

Su determinación se realizó tras la recolección, una vez alcanzada la madurez

fisiológica del grano. Sobre una muestra de 10 mazorcas de cada parcela, se tomaron los parámetros que se describen a continuación.

Longitud de mazorca

Definida como la longitud de la misma, desde el ápice hasta la base. Para su medida se empleó una regla graduada en cm.

Diámetro inferior de la mazorca

Medido con un calibrador "pie de rey" graduado en mm, a un tercio aproximadamente de la base de la mazorca.

Diámetro medio de la mazorca

Se tomó el diámetro externo de la mazorca en su punto medio, medido de igual manera que el anterior.

Diámetro superior de la mazorca

Corresponde al diámetro medido a un tercio, aproximadamente, del ápice de la mazorca.

Conicidad de la mazorca

Se consideró como tal la pendiente de la superficie externa de la mazorca, expresada en tanto por ciento (Ordás y Ron, 1988), con el fin de tener una estimación continua de la conicidad, no recurriendo a estimaciones visuales subjetivas (Goodman y Bird, 1977). El índice empleado se calculó de la siguiente forma:

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

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

Número de filas de la mazorca

Se realizó el conteo de las filas de granos en la parte central de la mazorca.

Número de granos por fila

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

Color del zuro

Se consideraron tres colores fundamentales blanco (1), rosado (2) y rojo (3).

Tipo de grano

Indica la presencia o no de dentición, considerando tres tipos principales: liso (1), semidentado (2) y dentado (3).

Color de grano

Se estableció una escala subjetiva sobre observaciones visuales, considerando ocho tipos similares a los referidos por los descriptores de la F.A.O.-I.B.P.G.R., para el maíz:

blanco (1)	naranja (5)
crema (2)	marrón (6)
jaspeado (3)	rojo (7)
amarillo (4)	púrpura (8)

Peso del grano

A partir del grano de las 10 mazorcas, se contaron 1000 semillas, las cuales fueron pesadas en una balanza de precisión. Se expresa como el peso de 1000 granos referido al 14% de humedad.

Peso hectolítrico

Para la determinación de este parámetro se empleó una muestra, tomada al azar, de la masa de granos empleada en el punto anterior y para su estimación se utilizó un analizador de grano Dickey-John GAC III.

Humedad del grano

Medida en el momento de la recolección y expresada en tanto por ciento. Para su determinación se utilizó el analizador de grano anteriormente descrito.

Proporción de zuro

Se define como el tanto por ciento, en masa, del zuro respecto al total de la mazorca. Para ello se pesaron 10 mazorcas y a continuación se desgranaron mecánicamente, recogiendo el grano y pesándolo. El porcentaje de zuro se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ zuro} = \frac{\text{Masa total} - \text{Masa del grano}}{\text{Masa total}} \times 100$$

4.2.5.1.3. Caracteres de ciclo

Floración femenina

Es un carácter ampliamente utilizado, no sólo en trabajos de caracterización sino también en programas de selección. Se define como el número total de días transcurridos entre la siembra y la aparición de sedas o pistilos receptivos por parte de, al menos, el 50% del total de plantas de la parcela. El seguimiento y conteo de plantas florecidas se realizó en días alternos, y se consideraron floraciones del día anterior, aquellas parcelas con más del 70% de plantas que exhibían los pistilos.

Unidades térmicas a floración

El número de días naturales hasta la floración femenina fue transformado posteriormente en unidades térmicas acumuladas, según el método descrito por Gilmore y Rogers (1958) y posteriormente por Arnold (1975). Derieux y Bonhomme (1990) hacen una amplia revisión sobre los métodos existentes en la determinación de este parámetro. El número de unidades térmicas se calculó de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$UT/día = [(T_{máx} + T_{mín})/2] - 10$$

siendo $T_{máx}$ y $T_{mín}$, las temperaturas máxima y mínima diarias, respectivamente. Los límites de temperatura se establecieron a 10° C y 30° C, es decir, temperaturas inferiores a 10° C o superiores a 30° C fueron consideradas como 10° C y 30° C, respectivamente.

Protandria

Medida como el número de días transcurridos desde que el 50% o más de las plantas exhiben las anteras hasta que emiten los estilos y son, por tanto, receptoras de polen.

4.2.5.2. Parámetros ambientales

Se han determinado 19 parámetros ambientales (Cuadro 11 en la tabla 4-4) que caracterizan los lugares de recolección de cada una de las 100 poblaciones estudiadas. Dichas variables se han dividido en parámetros climáticas, topográficos y edáficos.

Los parámetros climáticos se han expresado como medias sobre los 20 últimos años. Los datos fueron recogidos a través del observatorio meteorológico de Igueldo en San Sebastián, perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología. Dicho observatorio posee una amplia red de colaboradores distribuidos por toda la provincia de Guipúzcoa. A cada lugar de recolección se le han asignado los parámetros climáticos de la estación meteorológica más próxima según su situación geográfica. El Cuadro 10 en la tabla 4-3 muestra la relación de estaciones meteorológicas que se han considerado así como sus situación geográfica.

Las variables edáficas de los lugares de recolección de las poblaciones se han determinado a partir de un amplio estudio geomorfológico y edafológico realizado por el Departamento de Medio Ambiente de la Diputación Foral de Guipúzcoa (Salazar et al., 1991). Dicho estudio, realizado a escala 1:25000, utiliza como base la cartografía de unidades morfodinámicas de la provincia de Guipúzcoa. Estas unidades son integradas y homogéneas, del tipo "Land Systems" (Christian y Stewart, 1968), establecidas a diferentes niveles de

detalle, siguiendo un proceso de subdivisión jerárquica del territorio.

PLANTA	
Altura (cm)	AP
Altura de inserción de la mazorca (cm)	AM
Número de hojas	NT
Nudo de inserción de la mazorca	NM
Area de la hoja (cm ²)	AH
Indice de ahijamiento	IA
Longitud del pendón (cm)	LP
Ramificaciones del pendón	RP
Longitud del pedúnculo de la mazorca (cm)	LD
Nudos del pedúnculo de la mazorca	ND
MAZORCA	
Longitud (cm)	LM
Diámetro inferior (mm)	DI
Diámetro medio (mm)	DM
Diámetro superior (mm)	DS
Conicidad (%)	CM
Número de filas	NF
Número de granos por fila	GF
Proporción de zuro	PZ
Color de zuro	CZ
GRANO	
Peso de 1000 semillas (g)	PS
Peso hectolítrico (kg/Hl)	PH
Humedad (%)	HG
Tipo de grano	TG
Color de grano	CG
CICLO	
Floración femenina (días)	FF
Unidades térmicas a floración (°C)	UT
Protandria (días)	PT

Cuadro 9. Caracteres morfológicos utilizados en la caracterización de las poblaciones.

Las unidades morfodinámicas se determinan a partir de la combinación de las características litológicas (sustrato geológico rocoso y/o depósitos superficiales) y topográficas (pendiente), presentes en una determinada zona del territorio.

Como estas unidades son homogéneas, con respecto a los rasgos que determinan la presencia en una zona dada de un tipo concreto de suelo, el mapa de unidades morfodinámicas sirve de base para elaborar el mapa edafológico de la provincia. Además,

para la elaboración del mismo, se ha completado la información con la recogida directa de datos en el campo, mediante el levantamiento de una serie de perfiles edáficos.

Localidad	Longitud	Latitud	Altitud
Andoain	1°40'50"W	43°11'30"N	106 m
Arechabaleta	1°13'01"W	43°01'28"N	335 m
Astigarraga	1°44'20"W	43°16'50"N	60 m
Azcoitia	1°21'29"W	43°10'09"N	114 m
Azpeitia	1°25'02"W	43°11'03"N	84 m
Beasain	1°29'40"W	43°08'00"N	80 m
Berastegui	1°58'47"W	43°10'08"N	200 m
Bergara	1°15'43"W	43°07'50"N	205 m
Eibar	1°13'03"W	43°11'08"N	121 m
Elduayen	1°41'10"W	43°08'20"N	256 m
Elgoibar	1°16'11"W	43°12'57"N	50 m
Elgueta	1°10'51"W	43°09'50"N	262 m
Escoriaza	1°10'35"W	43°01'28"N	280 m
Fuenterrabía	1°53'52"W	43°21'24"N	8 m
Hernani	1°45'10"W	43°14'15"N	44 m
Irún	1°46'49"W	43°20'05"N	30 m
Lasarte	1°40'05"W	43°16'27"N	85 m
Legazpia	1°20'43"W	43°00'45"N	88 m
Mondragón	1°10'45"W	43°03'55"N	216 m
Motriko	1°35'03"W	43°19'48"N	40 m
Mutiloa	1°23'40"W	43°02'70"N	420 m
Ordicia	1°30'08"W	43°03'25"N	195 m
Ormaiztegui	1°25'50"W	43°01'30"N	200 m
Oyartzun	1°53'00"W	43°17'05"N	280 m
Ofiate	1°16'10"W	43°01'56"N	260 m
Pasajes	1°45'37"W	43°19'27"N	20 m
Rentería	01°47'20"W	43°18'45"N	6 m
San Sebastián	1°44'15"W	43°19'20"N	8 m
Tolosa	1°36'60"W	43°06'60"N	90 m
Umiera	1°41'52"W	43°13'55"N	75 m
Villabona	1°37'06"W	43°11'13"N	172 m
Zarauz	1°31'03"W	43°16'48"N	11 m
Zizurkil	1°59'48"W	43°13'09"N	140 m
Zumaya	1°25'47"W	43°17'50"N	200 m

Cuadro 10. Relación de estaciones meteorológicas de Guipúzcoa utilizadas en el presente estudio.

Los tipos de suelo, así como sus asociaciones principales, están basados en la clasificación de la FAO (F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1981), siguiendo la metodología de la "Soil Taxonomy" de EE.UU (Soil Survey Staff, 1988) la cual establece una serie de horizontes y

propiedades de diagnóstico, sobre la base de un conjunto de características que pueden ser observadas y medidas (Figura 4-4).

CLIMÁTICOS	
Temperatura mínima anual (°C)	TMI
Temperatura media anual (°C)	TMD
Temperatura máxima anual (°C)	TMX
Pluviometría anual (mm)	PLU
Evapotranspiración potencial anual (mm)	EVP
Índice termopluviométrico	ITP
TOPOGRÁFICO	
Altitud (m)	ALT
EDÁFICOS	
Materia orgánica	MOG
pH (agua)	PHA
pH (cloruro cálcico)	PHC
Arcilla (%)	ARC
Arena	ARN
Limo	LIM
Concentración de iones Ca (meq/100 g)	CIC
Concentración de iones Mg (meq/ 100 g)	CIM
Concentración de iones Na (meq/100 g)	CIN
Concentración de iones K (meq/ 100 g)	CIK
Intercambio iónico (meq/100 g)	CII
Saturación en bases (%)	GSB

Cuadro 11. Parámetros ambientales utilizados en la caracterización de las poblaciones.

El objetivo de dicha clasificación es ordenar los suelos en grupos homogéneos, definirlos de tal manera que muchas de sus propiedades puedan ser inferidas de su nombre y permitir la interpolación de los datos obtenidos a suelos del mismo tipo, separados geográficamente.

Esta clasificación establece 26 unidades y 103 subunidades de suelos, de las que 11 de las primeras y unas 25 de las segundas, han sido reconocidas en la provincia de Guipúzcoa (Salazar et al., 1991)

4.2.5.2.1. Parámetros climáticos y topográficos

La utilización de parámetros climáticos y topográficos para definir una determinada

región y la trascendencia en el desarrollo del cultivo implantado en dicha zona, ha sido estudiada por diversos autores (Cornish, 1950; Fisher, 1965; Goodchild y Boyd, 1975; Boyd et al., 1976).

En el presente trabajo se han considerado las siguientes variables climáticas y topográficas de los lugares de recolección de las poblaciones, cuyo valor en el análisis clasificatorio de las mismas se pretende discernir.

Temperatura mínima anual

Se ha tomado como dato la media de las temperaturas mínimas, en grados centígrados (°C) y de al menos los últimos 20 años, en cada punto de recogida de las poblaciones. De no existir estación meteorológica en dicho punto, se ha asignado como temperatura mínima la correspondiente a la estación más cercana del lugar considerado.

Temperatura máxima anual

Determinada como la media de las temperaturas máximas en °C y de al menos los últimos 20 años, de cada punto de recogida de las poblaciones. La metodología utilizada ha sido la misma que con el parámetro anterior.

Figura 4-4

Temperatura media anual

Se ha determinado como la media de las temperaturas medias anuales, de igual forma que en los dos puntos anteriores.

Pluviometría anual

Calculada en mm, como la media de lluvia anual de al menos los últimos 20 años, en cada localidad de origen de las poblaciones.

Evapotranspiración potencial

Considerada como el agua devuelta a la atmósfera por un suelo que tenga la superficie completamente cubierta de vegetación. Se ha determinado en mm por año, con medidas indirectas a partir de la evaporación mediante la relación siguiente:

$$E_p = \alpha E_o$$

siendo E_p la evapotranspiración potencial, E_o la evaporación y α un coeficiente próximo a la unidad, cuyos valores dependen del tipo de vegetación y del clima predominante en la zona (International Institute For Land Reclamation, 1972). En el presente trabajo el valor de α ha sido de 0.8.

La evaporación se ha calculado, en mm/año, según el método de Turc (1967) a partir de la fórmula:

$$E_o = 325 + 21t + 0.9t^2$$

siendo t la temperatura media anual (°C) del lugar considerado.

Índice termopluviométrico

Es un índice fitoclimático que pretende cuantificar la influencia del clima sobre las comunidades vegetales. Se ha calculado según el método de Revenga (1941) de la siguiente forma: $I = 100t / P$ donde t es la temperatura media anual en °C y P la precipitación media anual en mm.

Altitud

Mediante mapas topográficos a escala 1:10000, se ha determinado la altura en metros de cada punto de recogida de la variedad, con un error aproximado menor de 5 m.

4.2.5.2.2. Parámetros edáficos

Para el estudio clasificatorio de las poblaciones, se han considerado 12 parámetros que caracterizan el tipo de suelo de cada punto de recolección de las poblaciones.

Materia orgánica

Expresada como el tanto por ciento existente en el suelo del lugar de recogida de cada población.

pH

El pH es un parámetro indicativo de la acidez total del suelo. Se han determinado dos medidas para esta variable en cada tipo de suelo, una en agua y otra en cloruro cálcico. Con esta última se puede obtener una evaluación, quizás más precisa, ya que el intercambio catiónico entre el K^+ del dispersante y el H^+ de las micelas del suelo, hace que todos los hidrogeniones se encuentren en la solución.

Contenido de arcilla

Expresado como el tanto por ciento de arcilla existente en el suelo.

Contenido en arena

Se expresa como el porcentaje de arena existente en el suelo.

Contenido en limo

Expresado como el tanto por ciento de limo existente en el suelo. Los dos parámetros anteriores junto con éste, determinan la textura del suelo del punto de recolección de las variedades. Esta viene dada por la distribución del tamaño de las partículas sólidas que

componen el suelo o, lo que es lo mismo, por su composición granulométrica previa dispersión de sus agregados.

Concentración de iones Calcio

El Calcio es un importante catión de intercambio y se ha expresado su contenido en número de miliequivalentes por cada 100 gramos de tierra fina (menor de 2 mm de grosor).

Concentración de iones Magnesio

La concentración de iones Magnesio se midió de forma análoga que en el punto anterior.

Concentración de iones Sodio

Al igual que los dos cationes anteriores, se determinó la concentración de iones Sodio.

Concentración de iones Potasio

Medido de igual forma que los anteriores elementos.

Capacidad de intercambio iónico

Se expresó de forma cuantitativa en número de miliequivalentes por cada 100 gramos de muestra de tierra.

Grado de saturación en bases

Medido en tanto por ciento de saturación en bases de la muestra obtenida de suelo. Se puede definir como la relación entre bases de cambio retenidas por el complejo absorbente (humus y arcilla) y la capacidad de cambio total de ese complejo. Indica, en cierta medida, la fertilidad natural del suelo.

4.3. Análisis de resultados

4.3.1. Determinación de la existencia de variabilidad morfológica y ambiental

4.3.1.1. Descriptiva de las poblaciones

Se ha realizado una descriptiva basada en los caracteres morfológicos y parámetros ambientales mencionados en los apartados 4.2.5.1 y 4.2.5.2. Para ello, se han calculado los estadígrafos de medida central y de dispersión más relevantes, los cuales representan la variabilidad existente en el conjunto de las 100 poblaciones.

La distribución de cada variable se ha representado gráficamente mediante un diagrama de caja ("box-plot") (Tukey, 1977) según muestra la Figura 4-5.

[Figura 4-5](#)

El límite superior del rectángulo (caja) determina el percentil 75, la parte inferior del mismo, el percentil 25 y la línea transversal que lo divide, la mediana. Los brazos o líneas verticales que se sitúan por encima y debajo del rectángulo, se extienden hasta un máximo de 1.5 veces el rango intercuartil (distancia entre el percentil 25 y el percentil 75). Los valores más extremos se representan con 0, si están dentro de 3 veces el rango intercuartil o con asteriscos (*) si están fuera de este rango. El símbolo + corresponde a la media de la distribución.

A continuación, los datos experimentales de los caracteres morfológicos se sometieron a un análisis de varianza como fundamental procedimiento analítico (Lin y Butler, 1990). Previamente a la realización del análisis se comprobó la distribución normal de las variables, procediendo a su transformación en el caso de que no lo fueran, para mejorar de esta forma la fiabilidad del análisis.

En primer lugar se realizaron los análisis individuales para cada uno de los cuatro experimentos y para cada carácter (Steel y Torrie, 1980). El Cuadro 12 (tabla 4-5) presenta el modelo utilizado en los análisis de varianza individuales.

Fuente Var.	gl	CM	F
Poblaciones	p-1	M1	M1/M3
Bloques	b-1	M2	M2/M3
Error	(p-1)(b-1)	M3	

Cuadro 12. Modelo de análisis de varianza individual.

En los casos en los cuales existan dichas diferencias, se procederá a la estimación de los componentes de la varianza, para lo cual es necesario realizar el análisis combinado en años y localidades. Previamente se comprobó la homogeneidad de las varianzas, mediante la prueba de Bartlett (1947).

4.3.1.2. Estimación de las varianzas genéticas

La mayor parte de los caracteres morfológicos utilizados en el estudio y clasificación de poblaciones son de tipo cuantitativo. Estos presentan una expresión métrica que se conoce como valor fenotípico del individuo. Sin embargo cuando estudiamos una población, lo que nos interesa es el conocimiento de las propiedades genéticas. El estudio de la genética de un carácter métrico se basa en el estudio de su variación. Existen diferentes modelos genéticos (Kearsy, 1965), sucesivamente más complejos, que tratan de descomponer la varianza fenotípica poblacional en sus diversos componentes genéticos, ambientales e interacciones entre ambos. Esto nos permite estimar parámetros tales como la heredabilidad (h^2), en sentido amplio o estricto y la constancia (C); parámetros que permiten determinar la importancia relativa de los diversos componentes de la varianza fenotípica.

El primer modelo de descomposición del valor fenotípico de un individuo se debe a Johanssen (1903), que estableció que la expresión fenotípica de un individuo (P) era función de su propio genotipo (G) y de la influencia ambiental (E) que incluye la variación no genética:

$$P = G + E$$

El modelo se complica para incluir nuevos componentes, siendo el primero la interacción del genotipo y el ambiente (G*E), que en el modelo anterior venía confundida en gran parte con la componente genética (Fisher, 1946):

$$P = G + G^*E + E$$

Esta partición fue necesaria al comprobar que un conjunto de genotipos tenían un comportamiento diferente cuando se evaluaban en diversos ambientes. Por supuesto, lo mismo se puede verificar para varios años, o la combinación de años y localidades.

En el presente trabajo los cuatro experimentos se han combinado en un análisis factorial de 100 poblaciones por dos años y dos localidades, considerando los tres factores aleatorios. El modelo que se ha seguido es el expuesto por McIntosh (1983) y viene reflejado en el Cuadro 13 (tabla 4-6).

Fuente de Var.	GL	CM	F
A	a-1	M1	(M1+M8)/ (M3+M6)
L	1-1	M2	(M2+M8)/ (M3+M7)
A x L	(a-1)(1-1)	M3	(M3+M9)/ (M8+M4)
B (A x L)	(b-1)al	M4	M4/M9
P	p-1	M5	(M5+M8)/ (M6+M7)
P x A	(p-1)(a-1)	M6	M6/M8
P x L	(p-1)(1-1)	M7	M7/M8
P x A x L	(b-1)(p-1)(1-1)	M8	M8/M9
Error	(b-1)(p-1)al	M9	

A=años L=localidades B=bloques P=poblaciones

Cuadro 13. Análisis de varianza combinado en años y localidades.

El cálculo de las esperanzas de cuadrados medios está descrito en gran número de textos de estadística (Kempthorne, 1951; Bennet y Franklin, 1954; LeClerg et al., 1962; Snedecor y Cochran, 1967; Steel y Torrie, 1981). La determinación de las mismas se ha realizado mediante el programa de análisis estadístico SAS (SAS, 1988).

El Cuadro 14 (tabla 4-7) muestra la esperanza de cuadrados medios según el modelo aplicado de análisis de varianza. El valor de "F" se consideró significativo para la estimación posterior de las varianzas a un nivel de probabilidad del 0,01 y 0,05.

Fuente de Var.	Cuadrados medios esperados
A	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2 + p\sigma_{b(al)}^2 + blo_{pa}^2 + bpo_{al}^2 + bpl\sigma_a^2$
L	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2 + p\sigma_{b(al)}^2 + blo_{pl}^2 + bpo_{al}^2 + bpa\sigma_1^2$
A x L	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2 + p\sigma_{b(al)}^2 + bpo_{al}^2$
B (A x L)	$\sigma^2 + p\sigma_{b(al)}^2$

P	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2 + ba\sigma_{pl}^2 + bl\sigma_{pa}^2 + bal\sigma_p^2$
P x A	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2 + bl\sigma_{pa}^2$
P x L	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2 + ba\sigma_{pl}^2$
P x A x L	$\sigma^2 + b\sigma_{pal}^2$
Error	σ^2

A=años L=localidades B=bloques P=poblaciones

Cuadro 14. Esperanzas de cuadrados medios del análisis de varianza combinado.

Para el cálculo de las varianzas se considera que el fenotipo y el genotipo tienen valores que se distribuyen normalmente, ambos con la misma media (μ) y con varianzas σ_p^2 y σ_G^2 , mientras que el ambiente presenta valores que se distribuyen normalmente, con media 0 y varianza σ_E^2 . Lo que nos interesa es calcular la varianza genética y, por tanto, si obtenemos un estimador σ_E^2 de la varianza ambiental, la estima de la varianza genotípica nos dará una medida más aproximada de la varianza genética.

En este estudio se han calculado, a partir del análisis de varianza combinado, los siguientes componentes de la misma:

σ_p^2 : varianza debida a diferencias genéticas entre las poblaciones

σ_a^2 : varianza debida al efecto año

σ_l^2 : varianza debida al efecto localidad

σ_{pa}^2 : varianza debida a la interacción poblaciones x años

σ_{pl}^2 : varianza debida a la interacción poblaciones x localidades

σ_{pal}^2 : varianza debida a la interacción poblaciones x años x localidades

$\sigma_{b(al)}^2$: varianza debida al efecto bloque en años y localidades

σ_{al}^2 : varianza debida a la interacción año x localidad

σ_e^2 : varianza del error

Las estimaciones de los componentes de la varianza han servido para el cálculo posterior de parámetros genéticos como la heredabilidad y la constancia de los caracteres morfológicos. Dichos parámetros determinarán que caracteres son aptos para su utilización en la clasificación taxonómica de las poblaciones.

4.3.1.3. Parámetros genéticos

Heredabilidad

La heredabilidad es una importante propiedad de los caracteres cuantitativos ya que

mide la relación existente entre los valores fenotípicos de un conjunto de individuos y los valores reales de interés en la mejora de los mismos (Falconer, 1981).

Antes de hacer una estima de la heredabilidad es necesario dar una definición aceptable de la misma. Hanson (1963) la describe como la fracción del diferencial de selección esperado en la siguiente generación, cuando dicha selección se practica sobre una unidad de referencia concreta. Dudley y Moll (1969) la definen en dos sentidos: heredabilidad en sentido amplio, como el cociente entre la varianza genética y la varianza fenotípica, entendida aquella como la parte de la varianza fenotípica atribuible a las diferencias genotípicas entre individuos, y heredabilidad en sentido estricto, como el cociente entre la varianza genética aditiva y la varianza fenotípica, considerando la primera, como la media del efecto de sustituir un alelo por otro.

Warner (1952) describe tres métodos para la estimación de la heredabilidad en las plantas cultivadas:

- mediante cálculo de regresión padres-descendencia
- a partir de los componentes obtenidos del análisis de varianza
- determinando una aproximación de la parte de la varianza no heredable en una población genética uniforme

Existe una amplia bibliografía sobre la estimación de la heredabilidad por medio de estos métodos. A partir del cálculo de regresión padres-hijos, diversos autores determinan el grado de heredabilidad de una serie de caracteres en diferentes cultivos (Kempthorne y Tandom, 1953; Frey y Horner, 1957; Fernández y Miller, 1985; Elgersma, 1990). Otros, mediante el cociente de varianzas obtenidas del análisis combinado en diversos ambientes (Gordon et al., 1972; Díaz et al., 1987; Caradus y Woodfield, 1990). También se ha estimado este parámetro en especies como el maíz, basándose en la definición de Hanson (1963) - anteriormente citada- y calculándolo a partir del progreso esperado en cada ciclo de selección (Lamkey y Hallauer, 1987; Hallauer y Miranda, 1988).

En el presente estudio, se ha procedido al cálculo de la heredabilidad (h^2) en sentido amplio, a partir del cociente entre la varianza genotípica (σ^2_G) y la fenotípica (σ^2_P) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$h^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_P = \sigma^2_p / (\sigma^2_p + \sigma^2_{pa} + \sigma^2_{pl} + \sigma^2_{pal} + \sigma^2_e)$$

correspondiendo los subíndices con los descritos en el apartado 4.3.1.2.

Como medida más precisa de la estimación de la heredabilidad, se han desarrollado métodos más o menos sofisticados para calcular intervalos de confianza de este parámetro (Graybill, 1961; Knapp et al., 1985; Knapp, 1986; Bridges et al., 1991). En este trabajo se han determinado los errores de la estima de la heredabilidad a partir del método simplificado de Dickerson (1969) por su eficacia y sencillez de cálculo:

$$E(h^2) = E(\sigma^2_G / \sigma^2_P) = E(\sigma^2_p) / (\sigma^2_p + \sigma^2_{pa} + \sigma^2_{pl} + \sigma^2_{pal} + \sigma^2_e)$$

La estimación del error de una varianza se determinó de la siguiente forma:

$$E(\sigma^2) = \sqrt{2(\text{CM})^2 / \text{gl}}$$

siendo CM el valor del cuadrado medio correspondiente y gl, los grados de libertad del factor.

Constancia

Se sabe por numerosos estudios genéticos en maíz (Fakorede, 1986; Kang y Gorman, 1989; Crossa et al., 1990) que las medidas de los caracteres que se utilizan en estudios de clasificación taxonómica, están influenciadas por el ambiente particular en el que se desarrolla el experimento. Para reducir este problema hay tres vías fundamentales:

- realizar ensayos con el mismo material en diferentes ambientes y obtener el valor estimado del carácter como la media de todos los valores obtenidos en los distintos ensayos.
- utilizar la igualdad de respuesta de una serie de individuos en un determinado ambiente como criterio de similitud (Abou-El-Fittouh et al., 1969).
- elegir los caracteres clasificatorios que posean una menor interacción con el ambiente, es decir, que estén poco afectados por el mismo.

Un estimador para la elección de este tipo de caracteres puede ser la denominada repetibilidad (Goodman y Paterniani, 1969), utilizada por diversos autores (Hussaini et al., 1977; Fundora et al., 1987; Smith y Smith, 1989) y denominada constancia por Ron y Ordás (1987). Esta se expresa como el cociente entre la varianza genética y la varianza ambiental, calculadas a partir de las estimaciones del análisis combinado.

Dicha razón de varianzas informa acerca de la estabilidad de un carácter, es decir, de su comportamiento en una serie de ambientes distintos (Eberhart y Russell, 1966).

En este estudio se ha determinado la constancia de cada variable morfológica de la siguiente forma:

$$C = \sigma_G^2 / \sigma_e^2 = \sigma_p^2 / (\sigma_{pa}^2 + \sigma_{pl}^2 + \sigma_{pal}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_l^2 + \sigma_{al}^2 + \sigma_e^2)$$

El error se ha calculado mediante el método de Dickerson (1969) según la fórmula:

$$E(C) = E(\sigma_G^2 / \sigma_e^2) = E(\sigma_p^2) / (\sigma_{pa}^2 + \sigma_{pl}^2 + \sigma_{pal}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_l^2 + \sigma_{al}^2 + \sigma_e^2)$$

4.3.2. Análisis de la relación entre poblaciones

Para estudiar las relaciones existentes entre las poblaciones, así como para desarrollar un sistema de clasificación objetivo de las mismas que pueda evidenciar sus relaciones, es necesario determinar el grado de diferenciación o disimilitud entre pares de poblaciones. A tal fin se utilizan, por una parte, diferentes coeficientes de similitud o disimilitud (Goodman, 1973), en función del carácter considerado y del grado de correspondencia entre el fenotipo y

el genotipo, y por otra, técnicas de análisis agrupatorio que permiten una representación gráfica de la diversidad de las poblaciones.

En este trabajo se han empleado tres métodos de estudio de las distancias entre las poblaciones: análisis de componentes principales, análisis de grupos y análisis discriminante.

4.3.2.1. Análisis de componentes principales

Se han calculado los componentes principales, a partir de la matriz de correlación de los caracteres morfológicos y los parámetros ambientales, obteniendo una descripción del conjunto de poblaciones y del número total de variables utilizadas en la evaluación. Se ha procedido a la normalización de las variables para eliminar el efecto "escala" (Sneath, 1976), mediante la fórmula:

$$X_j = (X_j - \bar{X}_j) / S_j$$

donde \bar{X}_j y S_j son la media y la desviación típica de la variable j medida en cada individuo.

Posteriormente, se han elaborado diagramas de dispersión en planos definidos por los tres primeros componentes, con el fin de realizar una presentación gráfica de la relación espacial del conjunto de las poblaciones.

4.3.2.2. Análisis de grupos

La aplicación de esta técnica multivariante tiene como objetivo determinar la estructura fenética de las unidades taxonómicas, a partir de la aplicación de un coeficiente de semejanza calculado previamente. La necesidad de emplear este tipo de técnicas viene dada por la dificultad inherente a interpretar la estructura fenética de las poblaciones representadas en la matriz de semejanzas, por procedimientos visuales o directos.

Como se ha descrito en el apartado 1.7.2. existe una gran diversidad de métodos válidos de agrupación. En el presente estudio se ha elegido el método basado en el ligamiento promedio entre grupos, denominado UPGMA o "método no ponderado de grupo par usando promedios aritméticos" (Sokal y Michener, 1958). Es un procedimiento ampliamente utilizado en Biología y se caracteriza por ser monótono, combinatorio, compatible y por no producir efectos de distorsión en el espacio. Se define la distancia entre dos grupos como el promedio de las distancias entre todos los pares de casos en que un miembro del par está en cada uno de los grupos (Cuadras, 1982).

La elección de los caracteres morfológicos válidos para la clasificación taxonómica es un factor importante para conseguir una buena clasificación. No todos los caracteres que se disponen, resultan aptos para tal fin, una vez que se conoce la heredabilidad y la constancia de los mismos. De acuerdo con Goodman y Paterniani (1969) y Martínez et al. (1983) se ha establecido un criterio para discernir cuáles de los caracteres morfológicos poseen mayor aptitud clasificatoria.

En cuanto a la medida de la distancia genética entre las poblaciones, existe un gran número de coeficientes de semejanza y de desemejanza, de los cuales ya se ha hecho una

breve especificación en el primer capítulo (apartado 1.7.1.). Del conjunto existente, se ha elegido el coeficiente de distancia euclídea, el cual mide la distancia entre unidades taxonómicas definidas en un espacio determinado, por unos ejes que representan a las variables empleadas.

Una vez realizada la agrupación, se ha procedido al cálculo del coeficiente de correlación cofenética (Sokal y Rohlf, 1962), el cual es una medida de la bondad de la clasificación. Si el valor del coeficiente es bajo, indica una distorsión notable entre las disimilitudes calculadas a partir del coeficiente de semejanza y las que resultan del dendrograma o representación gráfica de los grupos formados. Farris (1969) realiza un completo análisis de las propiedades del citado coeficiente de correlación.

4.3.2.3. Análisis discriminante

Es otra aproximación al análisis de la relación entre poblaciones a partir de datos multivariantes. Se construye una función lineal que maximiza las diferencias entre poblaciones minimizándolas dentro de las mismas (Goodman, 1973). Las características del análisis, así como el procedimiento del cálculo viene reflejado en el apartado 1.7.4.

El método discriminante tiene dos objetivos principales, análisis y clasificación (Nie et al., 1975). Una de las ventajas de esta técnica es que provee de diversas herramientas para interpretar los datos, tales como medir la capacidad discriminante de cada variable o, cuando hay varios grupos, indicar el número de funciones discriminantes significativas que deberemos utilizar en la clasificación.

Para conocer la capacidad discriminante de las funciones, se pueden emplear dos criterios: el porcentaje relativo del valor Eigen (valor real) asociado a la función y el porcentaje de varianza que explica cada función. Los coeficientes de discriminación representan la contribución relativa de cada variable a su función asociada.

Se ha utilizado el análisis discriminante como técnica clasificatoria posterior al análisis, permitiendo además la asignación de casos desconocidos a grupos ya creados.

V. Resultados

5.1. Caracterización preliminar de las poblaciones

La caracterización preliminar de las 244 poblaciones se realizó durante el año 1989 en la E.E. de Aula Dei (Zaragoza), la cual permitió cumplimentar la información requerida por los descriptores F.A.O.-I.B.P.G.R. (I.B.P.G.R., 1980) relativa a datos fenotípicos tanto cuantitativos como cualitativos. Asimismo, con dicha caracterización se eliminaron las aparentes duplicidades del material vegetal, reduciendo el número de poblaciones a evaluar definitivamente a 100.

Paralelamente y durante el mismo año se procedió a la multiplicación de dichas poblaciones, con el fin de obtener una cantidad suficiente de semilla, tanto para los ensayos realizados en los dos años posteriores, como para su conservación a largo plazo en el Banco de Germoplasma de la E.E. de Aula Dei.

5.2. Evaluación de las poblaciones

Se ha desarrollado durante los años 1990 y 1991 en la E.E. de Aula Dei (Zaragoza) y en la Finca Experimental de Zubieta, situada en Fuenterrabía (Guipúzcoa). La evaluación morfológica se ha basado en el estudio de la variabilidad de cada carácter en el conjunto de las 100 poblaciones, así como de los efectos que más contribuyen a dicha variación. Por otra parte, se presenta la descriptiva del conjunto de parámetros ambientales que caracterizan los lugares de recolección de las mismas.

5.2.1. Descriptiva de las poblaciones en base a los caracteres morfológicos

A continuación y para cada carácter, se muestran los principales estadígrafos, así como la representación gráfica de los mismos, pretendiendo describir el componente fenotípico de la variabilidad. Se han calculado las siguientes medidas de tendencia central y de dispersión para cada distribución de valores:

- Media y su error
- Desviación típica (Desv Std)
- Coeficiente de variación (CV)
- Rango
- Moda

5.2.1.1. Caracteres de planta

La representación se ha realizado a partir de un total de 12000 valores obtenidos para cada carácter, en el conjunto de las 100 poblaciones.

La [Figura 5-1](#) presenta la distribución de la altura de planta y de mazorca, conjuntamente. La primera muestra una media cercana a los 190 cm, con un rango de variación muy amplio. La altura de inserción de la mazorca principal presenta un coeficiente de variación muy elevado (34,4) con un valor más frecuente de 60 cm.

La [Figura 5-2](#) muestra la representación gráfica de los caracteres número total de hojas, nudo de inserción de mazorca e índice de ahijamiento.

El número total de hojas presenta una distribución entre 6 y 15 como valores mínimo y máximo, respectivamente, con un promedio en torno a 10. El nudo de inserción de la mazorca principal concentra la mayor frecuencia de valores entre el quinto y sexto nudo. El carácter índice de ahijamiento se determinó a nivel de parcela por lo que el número total de valores de la distribución es de 1200. Posee un rango muy estrecho con una media general de 1, es decir, un ahijamiento prácticamente nulo.

El área de la hoja (Figura 5-3) presenta un máximo de 1112 cm², concentrándose la mayor frecuencia en 540 cm². Es de destacar el amplio rango de variación encontrado en la distribución de este carácter.

[Figura 5-1](#)

[Figura 5-2](#)

[Figura 5-3](#)

La Figura 5-4 representa gráficamente la distribución de valores de los caracteres longitud del pendón y longitud del pedúnculo de la mazorca.

[Figura 5-4](#)

[Figura 5-5](#)

[Figura 5-6](#)

La longitud del pendón, con una media en torno a 40 cm, es un carácter que presenta un mínimo de 20 cm y un máximo de 67 cm. El valor más frecuente se sitúa en 40 cm.

La longitud del pedúnculo de la mazorca es el carácter que presenta el coeficiente de variación más elevado (53,9), con un rango extremadamente amplio. Es un carácter que no sólo muestra una gran variación interpoblacional, sino también dentro de cada una de las poblaciones.

La [Figura 5-7](#) muestra la representación gráfica del número total de ramificaciones del pendón y el número de nudos del pedúnculo de la mazorca.

El número de ramificaciones del pendón se distribuye entre un valor mínimo de 3 y un máximo de 53, encontrándose la mayor frecuencia en 13 ramificaciones. Como se puede apreciar, la variabilidad encontrada en este carácter ha sido muy alta.

El número de nudos del pedúnculo de la mazorca principal presenta un rango de 13 nudos y sigue la misma tendencia que la longitud del pedúnculo, presentando un coeficiente de variación muy elevado.

[Figura 5-7](#)

5.2.1.2. Caracteres de mazorca

La longitud de la mazorca principal (Figura 5-8) muestra una distribución entre clases con un mínimo de 7 cm y un máximo de 24, concentrándose la mayor frecuencia en 15 cm.

[Figura 5-8](#)

La Figura 5-9 muestra gráficamente las distribuciones del diámetro inferior, medio y superior de la mazorca principal.

[Figura 5-9](#)

El diámetro inferior de la mazorca principal muestra una distribución de valores entre 30 y 76 mm, situándose el valor más frecuente en 50 mm.

El diámetro medio presenta una distribución entre 28 y 68 mm, concentrándose la mayor frecuencia en 43 mm.

Asimismo, el diámetro superior muestra un comportamiento, en cuanto al patrón de variación, muy similar a los dos diámetros anteriores. Se observa que tanto en el diámetro medio como en el superior la media coincide con el percentil 75 de la distribución.

La [Figura 5-10](#) representa gráficamente la distribución de valores para la conicidad y la proporción de zuro de la mazorca principal.

La conicidad es un carácter con un coeficiente de variación muy elevado (43,6). Presenta un mínimo de 1 y un máximo superior a 37, con un valor más frecuente de 7,5. Es de destacar el amplio rango que posee, así como un coeficiente de variación de los más elevados.

La proporción de zuro de la mazorca principal muestra un rango intercuartil muy estrecho, sin embargo se observa la existencia de una serie de valores que se sitúan por el límite superior de la distribución, lo que hace que la diferencia entre el máximo y el mínimo se acentúe.

La [Figura 5-11](#) muestra gráficamente la distribución de los caracteres número de filas y número de granos por fila de la mazorca principal.

[Figura 5-10](#)

El número de filas de la mazorca principal presenta un mínimo de 6 y un máximo de 20, situándose el valor más frecuente en 12 filas.

El número de granos por fila posee un rango de variación amplio, con un valor más frecuente de 28 granos. Se observa como la media coincide con la mediana de la distribución.

[Figura 5-11](#)

El color del zuro (Figura 5-12) presenta una media general de 1, con una distribución entre 1 y 3, pero en la que 11729 mazorcas de un total de 12000, mostraron color blanco, es decir, un valor en torno a 1,0.

[Figura 5-12](#)

5.2.1.3. Caracteres de grano

Los resultados del análisis de estos caracteres se presentan en las Figuras 5-13 a 5-15.

La [Figura 5-13](#) representa gráficamente la distribución de los caracteres tipo y color de grano, conjuntamente.

El tipo de grano muestra una distribución muy similar al color del zuro, con un valor más frecuente que se sitúa en 1, es decir, grano de tipo liso.

El color del grano tiene una media general en torno al 5. El rango es de 7, encontrando prácticamente todos los colores descritos en la escala, con el valor más frecuente coincidente con el color de grano naranja.

[Figura 5-13](#)

El peso de 1000 granos (Figura 5-14) muestra una distribución entre clases de 232 a 531 g, concentrándose la mayor frecuencia cercana a los 318 g. Se puede apreciar por su representación gráfica, una distribución del carácter muy compensada, es decir del tipo normal.

[Figura 5-14](#)

La Figura 5-15 muestra la representación gráfica de la distribución de valores de las variables peso hectolítrico y humedad del grano en recolección.

[Figura 5-15](#)

[Figura 5-16](#)

[Figura 5-17](#)

El peso hectolítrico presenta un valor mínimo de 47,8 kg/Hl y un máximo de 81,7 kg/Hl. Se observa que la distribución de valores se extiende por su límite inferior.

La humedad del grano muestra una distribución muy variable, con unos valores medios muy bajos debido quizás, a las diferentes condiciones meteorológicas en la recolección y procesamiento posterior de algunas muestras en condiciones desfavorables.

Tanto el peso de 1000 granos, como el peso hectolítrico y la humedad de grano, se

han tomado a partir de una muestra representativa de 10 mazorcas en cada parcela, por lo que el número total de valores representados es de 1200.

5.2.1.4. Caracteres de ciclo

La Figura 5-18 describe gráficamente la variabilidad para los caracteres floración femenina y protandria.

La floración femenina presenta un valor mínimo de 56 días y un máximo de 85, existiendo un rango de variación amplio con poblaciones muy precoces hasta tardías. La media general se sitúa en un ciclo medio-precoc.

El carácter protandria o intervalo de días entre la floración masculina y femenina, muestra un rango de 9 días, con un coeficiente de variación muy elevado (56,5), concentrándose la mayor parte de los valores de la distribución en torno a un valor de 2 días.

[Figura 5-18](#)

Las unidades térmicas hasta floración femenina ([Figura 5-19](#)) se encuentran entre 459°C a 852°C, con un gran número de valores que se extienden por encima del percentil 75 de la distribución.

Todos los caracteres de ciclo se han tomado mediante observación visual de cada parcela de ensayo, asignando a cada uno de ellos un valor determinado. Por ello el número total de datos representados es de 1200.

[Figura 5-19](#)

El Cuadro 15 (tabla 5-1) muestra las medias, desviaciones típicas e intervalos de variación del conjunto de los caracteres morfológicos estudiados.

Carácter morfológico	\bar{x}	σ	Intervalo de variación	
AP	189,10±0,30	33,36	102,00-	324,00
NT	10,25±0,01	1,46	6,00-	15,00
AM	67,53±0,21	23,25	17,00-	149,00
NM	5,67±0,01	1,15	3,00-	9,00
IA	1,07±0,00	0,11	1,00-	1,79
AH	555,19±1,34	147,18	110,00-	1112,00
LP	39,06±0,06	7,01	20,00-	67,00
RP	15,06±0,05	6,10	3,00-	53,00
LD	11,95±0,05	6,44	1,00-	50,50
ND	6,67±0,02	2,02	1,00-	14,00
LM	14,80±0,02	2,61	7,00-	24,00
DI	47,45±0,05	6,25	30,00-	76,00
DM	44,52±0,05	5,86	28,00-	68,00
DS	39,02±0,05	5,84	21,00-	62,00
CM	10,33±0,04	4,50	1,00-	37,50
PZ	27,59±0,15	5,26	13,50-	58,30
NF	11,72±0,02	2,21	6,00-	20,00
GF	27,51±0,04	4,97	12,00-	48,00
CZ	1,02±0,00	0,14	1,00-	3,00
TG	1,09±0,00	0,28	1,00-	2,00
CG	5,14±0,00	0,80	1,00-	8,00
PS	370,17±1,62	56,11	232,80-	531,20
PH	70,37±0,19	6,67	47,50-	81,70
HG	15,39±0,14	5,05	7,90-	29,20
FF	69,05±0,16	5,66	56,00-	85,00
PT	2,49±0,04	1,41	0,00-	9,00
UT	610,19±2,61	90,60	459,50-	852,70

Cuadro 15. Medias, desviaciones típicas e intervalos de variación de los caracteres morfológicos.

5.2.2. Descriptiva de las poblaciones en base a los parámetros ambientales de los lugares de recolección

Los resultados de estos parámetros ambientales, tomados en cada lugar de recolección de las poblaciones, se muestran en las Figuras 5-20 a 5-28.

5.2.2.1. Parámetros climáticos y topográficos

La Figura 5-20 representa gráficamente la temperatura mínima, media y máxima anual de los lugares de recolección de las poblaciones.

Figura 5-20

La temperatura mínima anual presenta un mínimo de 5,8°C y un máximo de 10,5°C, concentrándose la mayor frecuencia en 8,1°C.

La temperatura media anual muestra una distribución entre 10,1°C y 14,5°C, con un valor modal cercano a los 13°C.

La temperatura máxima anual presenta un comportamiento muy similar a las dos anteriores, siendo su rango de variación de 4°C. En los tres parámetros se observa como la media coincide, prácticamente, con la mediana de la distribución.

La pluviometría ([Figura 5-21](#)) tiene una media general que supera los 1400 mm anuales, con un mínimo de 1081 mm y un máximo de 2348 mm. En general todas las poblaciones se desarrollan en lugares con un régimen de humedad muy elevado.

[Figura 5-21](#)

La evapotranspiración potencial ([Figura 5-22](#)) anual muestra un valor más frecuente de 582,5 mm con un mínimo de 503,1 mm y un máximo de 655,0 mm.

[Figura 5-22](#)

El índice termopluviométrico da una medida aproximada del grado de humedad o aridez de un territorio determinado (Revenge, 1941). La [Figura 5-23](#) presenta la distribución de este parámetro para el conjunto de los lugares muestreados, situándose en todos ellos entre 0 y 1.

Según el autor antes mencionado, los 100 puntos de recolección de las poblaciones estarían comprendidos dentro de una designación de zona húmeda, la cual posee un índice termopluviométrico entre 0 y 2.

[Figura 5-23](#)

La altitud ([Figura 5-24](#)) muestra una gran variabilidad si observamos el coeficiente y rango de variación, los cuales son muy elevados. Nos encontramos con poblaciones desde 5 m hasta 540, concentrándose la mayor frecuencia en 170 m.

[Figura 5-24](#)

5.2.2.2. Parámetros edáficos

La [Figura 5-25](#) representa gráficamente la distribución del contenido en materia orgánica, arcilla, arena y limo de la totalidad de los lugares de recolección de las poblaciones.

El contenido de materia orgánica del suelo muestra unos valores 3,1% y 8,1%., con una media general superior al 5%.

El contenido en arcilla presenta un rango de 32,4, con un coeficiente de variación muy elevado. Aparecen valores situados por encima del percentil 75, coincidiendo éste con la media de la distribución.

El contenido de arena se encuentra entre el 21% y 72%, mostrando el coeficiente de variación más bajo de los parámetros que definen la textura del suelo. La media general supera el 50%.

El contenido de limo muestra un mínimo de 16% y un máximo de 40%, situándose la media general en el percentil 25 de la distribución.

[Figura 5-25](#)

La [Figura 5-26](#) representa gráficamente la distribución del pH medido en dos soluciones, agua y cloruro cálcico.

El pH del suelo medido en agua muestra un valor máximo de 7 y un mínimo de 4, describiendo un rango de suelos ácidos. La media general se sitúa en torno a 6.

El pH medido en cloruro cálcico da una medida más exacta del valor del pH. Se observa que el rango de la distribución es muy similar al del pH medido en agua, sin embargo, tanto el máximo como el mínimo descienden en un punto y medio punto, respectivamente, resultando los suelos aún más ácidos.

[Figura 5-26](#)

La [Figura 5-27](#) representa gráficamente la distribución de valores de la concentración de iones Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio y la capacidad de intercambio iónico del suelo.

La concentración de iones Calcio en el suelo presenta una distribución con un coeficiente de variación muy elevado, al igual que el resto de parámetros edáficos, con una desviación típica muy acusada. La media general se sitúa en el percentil 25 de la distribución.

La concentración de iones Magnesio presenta un mínimo de 0,2 y un máximo de 2,8 meq, coincidiendo la media con el valor más frecuente.

La concentración de iones Sodio sigue un patrón de variación muy similar a los dos parámetros anteriores, con una desviación típica muy elevada, al igual que su coeficiente de variación que es el más alto.

La concentración de iones Potasio al igual que los tres cationes anteriores, presenta un coeficiente de variación muy elevado, y una media general que coincide, prácticamente, con el valor modal de la distribución. Más del 90% de los suelos se encuentran en torno a un valor de concentración de 1,1 meq.

La capacidad de intercambio iónico del suelo muestra un amplio rango de variación con un mínimo de 8 meq y un máximo de 40 meq. La media general coincide con la mediana de la distribución.

[Figura 5-27](#)

El grado de saturación en bases ([Figura 5-28](#)) de los suelos muestreados presenta una

distribución entre 23% y 74%, con un amplio rango y un coeficiente de variación algo más moderado. El valor más frecuente se sitúa cercano al 50% de saturación.

Figura 5-28

El Cuadro 16 (tabla 5-2) muestra las medias, desviaciones típicas e intervalos de variación para el conjunto de los parámetros ambientales estudiados.

Parámetro ambiental	\bar{x}	σ	Intervalo de variación	
TMI	8,09 ± 0,13	1,30	5,80-	10,50
TMD	12,29 ± 0,12	1,25	10,10-	14,50
TMX	16,55 ± 0,33	1,23	14,30-	18,70
PLU	1486,12 ± 28,30	283,80	1081,00-	2348,20
EVP	576,50 ± 4,32	43,21	503,10-	655,00
ITP	0,84 ± 0,01	0,13	0,53-	1,06
ALT	228,65 ± 12,45	124,49	5,00-	540,00
MOG	5,38 ± 0,13	1,33	3,10-	8,10
ARC	15,64 ± 1,10	5,00	6,30-	38,70
ARN	57,00 ± 1,10	11,00	21,20-	77,50
LIM	28,17 ± 0,70	7,00	16,20-	40,10
PHA	5,91 ± 0,07	0,73	4,20-	7,10
PHC	5,05 ± 0,06	0,66	3,70-	6,10
CIC	8,67 ± 0,48	3,20	2,20-	20,00
CIM	1,11 ± 0,06	0,45	0,20-	2,80
CIN	0,32 ± 0,02	0,14	0,10-	1,50
CIK	0,29 ± 0,01	0,10	0,10-	1,10
CII	21,30 ± 0,75	7,51	8,30-	40,70
GSB	49,54 ± 1,47	14,73	23,50-	74,20

Cuadro 16. Medias, desviaciones típicas e intervalos de variación para los parámetros ambientales.

5.2.3. Análisis de la variabilidad morfológica

Los datos obtenidos para los caracteres morfológicos se han sometido a un análisis de varianza. Previamente se comprobó la normalidad de las variables, transformando las que no lo eran para mejorar la fiabilidad del análisis.

En primer lugar se ha procedido a realizar los análisis individuales para cada localidad y año. A continuación, se han combinado los cuatro experimentos (dos años y dos localidades por año) en uno sólo, con el fin de proceder a la estimación de las varianzas genéticas de todos los factores del análisis.

A partir de los componentes de la varianza se ha determinado la heredabilidad y la constancia, así como sus errores, para el conjunto de caracteres morfológicos estudiados.

5.2.3.1. Análisis de varianza individuales

Se han realizado los análisis de varianza individuales para los 27 caracteres morfológicos evaluados (no se muestran Cuadros).

En el ensayo efectuado en 1990 en Zaragoza se han obtenido para todos los caracteres altas diferencias significativas (nivel 0,01 de probabilidad) entre poblaciones, exceptuando en el índice de ahijamiento en el que las diferencias fueron al nivel del 0,05 y en los caracteres protandria, color de zuro y humedad de grano, los cuales no mostraron diferencias significativas entre poblaciones.

Los análisis de varianza del ensayo realizado durante el mismo año en la Finca Experimental de Zubieta, situada en Fuenterrabía (Guipúzcoa), han mostrado diferencias altamente significativas entre poblaciones (nivel 0,01 de probabilidad) para todos los caracteres a excepción del color de zuro en el que las diferencias fueron al nivel del 0,05.

Del ensayo realizado en la E.E. Aula Dei (Zaragoza) durante 1991 en todos los caracteres se han observado diferencias altamente significativas (nivel 0,01 de probabilidad) entre poblaciones, exceptuando la humedad de grano (nivel 0,05) y el índice de ahijamiento y color de zuro, los cuales no mostraron diferencias significativas.

Finalmente, en los análisis de varianza realizados a partir del ensayo de Guipúzcoa en 1991 todos los caracteres analizados, excepto el color de zuro, mostraron diferencias altamente significativas (nivel 0,01 de probabilidad) entre el conjunto de las poblaciones estudiadas.

5.2.3.2. Análisis de varianza combinado

Los cuatro experimentos se han combinado en un sólo análisis de las 100 poblaciones en dos años y dos localidades.

Los Cuadros 17 a 23 (tablas 5-3 a 5-9) presentan los análisis de varianza combinados para el conjunto de caracteres morfológicos estudiados.

Fte. var.	gl	Cuadrados medios			
		AP	AM	NT	NM
TOTAL	11999				
Año	1	524688,6	85760,5	2,51	3,21
Localidad	1	2894201,8	1095155,9	64,26	58,27**
Año*Loc	1	793179,0**	457024,2**	1,64	0,05
	8	44144,6**	15202,1**	2,20**	2,74**
Bl (Año*Loc)					
Población	99	28915,5**	16627,5**	1,09**	1,15**
Pob*Año	99	2672,4	1233,6**	0,12	0,16
Pob*Loc	99	2315,6	1065,7**	0,18**	0,19
Pob*Año*L	99	1725,5*	622,9*	0,09	0,05
oc					
ERROR	11592	453,8	242,6	0,03	0,04
CV		11,2	23,0	5,8	8,5
MEDIA		189,1	67,5	10,2	5,7

** , * significativo al nivel 0,01 y 0,05, respectivamente.

Cuadro 17. Análisis de varianza combinado para los caracteres altura de planta, altura de mazorca, número de hojas y nudo de inserción de la mazorca.

		Cuadrados Medios		
Fte. var.	gl	AH	LP	RP
TOTAL	11999			
Año	1	17129,1	180282,0*	1,2
Localidad	1	54484141,8	31783,7	214,7
Año*Loc	1	11672358,5**	247,5	87,9*
	8	404277,0**	221,0**	10,5**
BI(Año*Loc)				
Población	99	471355,4**	532,1**	14,7**
Pob*Año	99	49801,4	77,7	1,3
Pob*Loc	99	49319,6	86,2	2,5**
Pob*Año*L	99	44879,3*	71,4	1,0
oc				
ERROR	11592	11180,2	26,0	0,4
CV		19,0	13,0	17,7
MEDIA		555,2	39,0	15,0

Cuadro 18. Análisis de varianza combinado para los caracteres área de la hoja, longitud del pendón y número de ramificaciones del pendón.

		Cuadrados Medios			
Fte. var.	gl	LD	ND	LM	DI
TOTAL	11999				
Año	1	266,6	199,8	576,4	251,7
Localidad	1	78674,4	81,5	2280,1	27045,4
Año*Loc	1	12702,5**	13,2*	105,2	251,7
BI(Año*Loc)	8	189,6**	1,6*	83,4**	307,6**
Población	99	218,4**	0,8**	173,4**	660,5**
Pob*Año	99	83,7	0,4	18,4	263,4
Pob*Loc	99	70,8	0,4	15,2	180,3
	99	61,8	0,3**	14,3	230,4
Pob*Año*Loc					
ERROR	11592	31,2	0,1	4,8	27,1
CV		26,3	14,9	14,8	10,0
MEDIA		11,9	6,7	14,8	47,4

Cuadro 19. Análisis de varianza combinado para los caracteres longitud del pedúnculo, nudos del pedúnculo, longitud de mazorca y diámetro inferior de mazorca.

		Cuadrados Medios			
Fte. var.	gl	DM	DS	CM	NF
TOTAL	11999				
Año	1	21587,4	42206,2	13,62	0,18
Localidad	1	47254,9	34080,8	28,56	4,75
Año*Loc	1	27569,9**	25250,3*	2,07	2,60*
Bl(Año*Loc)	8	426,8**	1078,3*	1,23**	0,25**
Población	99	818,9**	600,0**	0,92**	4,14**
Pob*Año	99	86,2	96,6	0,15	0,20
Pob*Loc	99	63,2	71,8	0,18	0,17
Pob*Año*Loc	99	52,9	71,9*	0,13*	0,10
ERROR	11592	18,2	18,6	0,04	0,06
CV		9,6	11,0	19,3	7,6
MEDIA		44,5	39,0	10,0	11,7

Cuadro 20. Análisis de varianza combinado para los caracteres diámetro medio, diámetro superior, conicidad y número de filas de la mazorca.

		Cuadrados Medios			
Fte. var.	gl	FF	UT	PT	IA
TOTAL	11999				
Año	1	1,32	0,511	0,063	1,361
Localidad	1	0,58	0,257	4,164	9,547
Año*Loc	1	16,38	0,059	2,164*	0,462*
Bl(Año*Loc)	8	1,84**	0,009*	0,268**	0,549**
Población	99	5,66**	0,040	0,376**	0,621**
Pob*Año	99	0,43	0,006	0,039	0,084
Pob*Loc	99	0,44	0,007	0,069*	0,114*
Pob*Año*Loc	99	0,42	0,006	0,043*	0,073**
ERROR	11592	0,17	0,004	0,010	0,023
CV		7,9	6,5	9,9	6,7
MEDIA		27,5	1,0	1,0	5,1

Cuadro 21. Análisis de varianza combinado para los caracteres granos por fila, color de zuro, tipo de grano y color de grano.

		Cuadrados Medios			
Fte. var.	gl#	FF	UT	PT	IA
TOTAL	1199				
Año	1	5,604	9,07	4,28	0,006

Localidad	1	2,064	2677,64	21,30	0,011
Año*Loc	1	67,603**	184,07**	1,63	0,551*
Bl(Año*Loc)	8	0,832**	16,22**	0,49	0,009
Población	99	0,375**	6,26**	0,32	0,004
Pob*Año	99	0,020**	0,36	0,30*	0,001
Pob*Loc	99	0,029**	0,64**	0,19	0,001
	99	0,013	0,29	0,18	0,002
Pob*Año*Loc					
ERROR	792	0,014	0,24	0,12	0,002
CV		1,4	1,9	19,2	3,7
MEDIA		69,0	610,1	2,5	1,0

Cuadro 22. Análisis de varianza combinado para los caracteres floración femenina, unidades térmicas hasta floración, protandria e índice de ahijamiento.

Fte. var.	gl#	Cuadrados Medios			
		PZ	PS	HG	PH
TOTAL	1199				
Año	1	11,88	87601,6	158,4	9997,1
Localidad	1	10,70	2068617,7	29,04	15222,5
Año*Loc	1	5,10**	68791,6**	45,50	7328,9
Bl(Año*Loc)	8	0,32**	2388,7**	2,85	276,2**
Población	99	1,26**	7873,3**	0,15	65,2**
Pob*Año	99	0,21	871,9	0,08	12,8
Pob*Loc	99	0,16	668,1	0,09*	15,6*
	99	0,11	970,3**	0,05	8,8
Pob*Año*Loc					
ERROR	792	0,11	636,2	0,05	10,6
CV		6,2	6,8	5,9	4,6
MEDIA		27,6	370,1	15,4	70,3

los caracteres se han tomado a nivel de parcela para los caracteres proporción de zuro, peso de grano, humedad de grano y peso hectolítrico.

Cuadro 23. Análisis de varianza combinado para los caracteres proporción de zuro, peso de grano, humedad de grano y peso hectolítrico.

5.2.3.3. Heredabilidad

A partir de la esperanza de cuadrados medios del análisis combinado de varianza, tal y como se muestra en el Cuadro 14 de la (Tabla 4-6) del capítulo de Métodos, se han estimado los componentes de la varianza debidos a los efectos genéticos y ambientales, así como sus interacciones.

El Cuadro 24 (tabla 5-10) muestra las heredabilidades obtenidas y sus errores para los 23 caracteres morfológicos que mostraron diferencias significativas entre poblaciones en el análisis de varianza combinado.

Carácter	h^2	E (h^2)
AP	0,706	0,100
AM	0,695	0,098
NT	0,585	0,024
NM	0,645	0,020
AH	0,607	0,086
LP	0,502	0,067
RP	0,584	0,082
LD	0,255	0,035
ND	0,150	0,017
LM	0,638	0,059
DI	0,623	0,088
DM	0,632	0,089
DS	0,536	0,076
CM	0,500	0,059
NF	0,807	0,110
GF	0,711	0,001
PZ	0,832	0,066
PS	0,448	0,063
PH	0,246	0,034
TG	0,450	0,071
CG	0,465	0,020
FF	0,624	0,088
UT	0,663	0,093

Cuadro 24. Heredabilidades y sus errores.

Según los resultados que se observan, los valores de heredabilidad más elevados corresponden a los caracteres número de filas de la mazorca y proporción de zuro. Heredabilidades de tipo medio las presentan los caracteres altura de planta, altura de inserción de la mazorca, nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja, longitud de mazorca, diámetro inferior de la mazorca, diámetro medio de la mazorca, número de granos por fila, floración femenina y unidades térmicas hasta floración.

Los caracteres longitud del pedúnculo de la mazorca, nudos del pedúnculo de la mazorca y peso hectolítrico, mostraron las heredabilidades más bajas.

No se calculó este parámetro para los caracteres protandria, índice de ahijamiento, color de zuro y humedad de grano al no mostrar diferencias significativas entre poblaciones en el análisis de varianza combinado.

5.2.3.4. Constancia

La constancia de cada carácter morfológico y su error se muestran en el Cuadro 25 (tabla 5-11).

El número de filas de la mazorca, número de granos por fila y longitud de la mazorca han obtenido los valores de constancia más elevados.

Los caracteres altura de planta, altura de inserción de la mazorca, número de hojas, nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja, longitud y ramificaciones del pendón, diámetro inferior y diámetro medio de la mazorca, conicidad de mazorca, tipo y color de grano, floración femenina, unidades térmicas hasta floración y proporción de zuro, muestran constancias de tipo medio. El resto de caracteres mostraron valores bajos de este parámetro.

Carácter	C	E (C)
AP	1,632	0,089
AM	1,660	0,095
NT	1,480	0,200
NM	1,484	0,063
AH	1,714	0,101
LP	1,310	0,018
RP	1,980	0,280
LD	0,145	0,020
ND	0,160	0,022
LM	2,320	0,003
DI	1,240	0,076
DM	1,004	0,076
DS	0,820	0,060
CM	1,170	0,137
NF	4,610	0,633
GF	4,050	0,554
PZ	1,878	0,098
PS	0,697	0,097
PH	0,280	0,040
TG	1,000	0,100
CG	0,410	0,078
FF	1,373	0,012
UT	1,470	0,081

Cuadro 25. Constancias y sus errores.

Al igual que para la heredabilidad, no se calculó la constancia para los caracteres protandria, índice de ahijamiento, color de zuro y humedad de grano al no presentar diferencias significativas entre poblaciones, en el análisis de varianza combinado.

5.3. Elección de variables para la clasificación taxonómica de las poblaciones

La selección de caracteres morfológicos para la clasificación taxonómica de las poblaciones, se ha basado en la elección de aquellos que presentan valores altos de heredabilidad y constancia. De esta forma, los caracteres elegidos fueron:

- altura de planta
- altura de inserción de la mazorca
- número de hojas
- nudo de inserción de la mazorca

- área de la hoja
- longitud del pendón
- ramificaciones del pendón
- longitud de mazorca
- diámetro inferior de mazorca
- diámetro medio de mazorca
- conicidad de mazorca
- número de filas de la mazorca
- número de granos por fila
- proporción de zuro
- floración femenina
- unidades térmicas hasta floración

Todos ellos presentan valores de heredabilidad superiores a 0,50 y constancia mayor que 1 (Cuadro 24 de la [tabla 5-10](#) y Cuadro 25 de la [tabla 5-11](#)).

De los parámetros ambientales se ha excluido el índice termopluviométrico, al obtener una designación de zona húmeda para los 100 puntos de recolección de las poblaciones, es decir, un índice entre 0 y 2, lo cual hace a este parámetro inadecuado para una clasificación taxonómica de las mismas.

5.4. Relación entre caracteres morfológicos y parámetros ambientales

Se ha estudiado la relación existente entre el conjunto de caracteres morfológicos utilizados en la evaluación agronómica y los parámetros ambientales que definen los lugares de recolección de las poblaciones. Para ello se ha procedido al cálculo del coeficiente de correlación simple de Pearson entre el conjunto de las variables estudiadas. La correlación calculada puede quedar, en general, algo sobrestimada o enmascarada debido al efecto de unos u otros caracteres, aunque da una idea de la relación existente entre las variables evaluadas.

El Cuadro 26 (tabla 5-12) muestra las correlaciones obtenidas entre los caracteres morfológicos. Sólo se presentan los coeficientes mayores o iguales a 0,50, los cuales son representativos de las correlaciones más importantes.

Se observan altos coeficientes entre caracteres de ciclo, con caracteres vegetativos como altura de planta, altura y nudo de inserción de la mazorca, número de hojas, área de la hoja y número de ramificaciones del pendón. La floración femenina, protandria y unidades térmicas hasta floración están, además, altamente correlacionados entre sí.

La altura de planta y de mazorca muestran altos coeficientes para el número de hojas, nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja y longitud del pendón, así como correlaciones de tipo medio para caracteres de mazorca como diámetros y número de filas. El número de hojas presentó altas correlaciones con las alturas de planta y mazorca, nudo de inserción, superficie de hoja y ramificaciones del pendón.

La superficie de hoja obtuvo una alta correlación con el nudo de inserción de la mazorca y con la longitud del pendón.

BIBLIOTECA VIRTUAL



	FF	PT	UT	PZ	AP	NT	AM	NM	LP	RP	AH	LM	DI	DM	DS	CM	NF	GF
FF	#	.71	.99	.59	.65	.80	.71	.73		.72	.73							.50
PT		#	.71															
UT			#	.58	.64	.79	.71	.72		.72	.72							
PZ				#		.50												
AP					#	.80	.92	.76	.75		.86	.50	.53	.51			.53	
NT						#	.82	.88		.61	.84			.51			.56	
AM							#	.90	.62	.58	.86	.53	.55	.53			.56	
NM								#		.63	.80	.51	.50				.51	
LP									#		.72	.55						
RP										#	.56							
AH											#	.50	.50	.52	.53		.50	
LM												#				-.56		.78
DI													#	.97	.91	.60	.71	
DM														#	.97	.50	.71	
DS															#	.50	.65	
CM																#		
NF																	#	
GF																		#
HG																		

(significativas al nivel 0,01)

Cuadro 26. Correlaciones simples entre caracteres morfológicos ($r > 0,50$).

Entre los caracteres de mazorca se observan altas correlaciones para los tres diámetros, así como entre éstos y el número de filas de la mazorca.

La longitud de mazorca se correlacionó negativamente con la conicidad y positivamente con la longitud del pendón y el número de granos por fila. La conicidad, asimismo, mostró correlación negativa con el número de granos por fila

La longitud y el número de nudos del pedúnculo de la mazorca, el color de zuro, índice de ahijamiento, peso de grano y peso hectolítrico, presentaron bajas correlaciones con los restantes caracteres morfológicos evaluados.

El Cuadro 27 (tabla 5-13) muestra los coeficientes de correlación simple entre los parámetros ambientales de los lugares de recolección de las poblaciones.

La temperatura mínima, media y máxima anual mostraron altas correlaciones entre sí y con la evapotranspiración potencial.

El pH medido en agua se correlacionó positivamente con la misma variable medida en cloruro cálcico. Ambas presentaron correlaciones de tipo medio con la concentración de iones Calcio y Magnesio.

El grado de saturación en bases mostró alta correlación con el pH medido en agua y en cloruro cálcico. También se correlacionó positivamente con la concentración de iones Calcio y Magnesio, porcentaje de limo y negativamente con el contenido en materia orgánica del suelo.

El contenido de arcilla presentó una correlación positiva con el contenido en limo y con las concentraciones de iones Sodio y Potasio.

	TMI	TMD	TMX	EVP	MOG	PHA	PHC	ARC	ARN	LIM	CII	CIC	CIM	CIK	CIN	GSB
TMI	#	.94	.75	.94												
TMD		#	.87	.99												
TMX			#	.88												
EVP				#												
MOG					#											-.51
PHA						#	.98					.61	.50			.85
PHC							#					.61	.50			.87
ARC								#	-.85	.63				.53	.76	
ARN									#	-.85	-.50	-.53	-.64	-.50	-.51	
LIM										#	.58	.76				.52
CII											#	.61	.50	.72		
CIC												#	.69			.60
CIM													#			.58
CIK														#	.62	
CIN															#	
GSB																#

(significativas al nivel 0,01)

Cuadro 27. Correlaciones simples entre parámetros ambientales ($r > 0,50$).

BIBLIOTECA VIRTUAL



El porcentaje de arena mostró altas correlaciones negativas con el contenido de limo y con la concentración de iones Magnesio. Entre los diferentes cationes del suelo se aprecian correlaciones positivas entre el Calcio y el Magnesio y ambos con el contenido de limo. La capacidad de intercambio iónico se correlacionó positivamente con los cationes Calcio, Magnesio y Potasio.

El Cuadro 28 (tabla 5-14) muestra los coeficientes de correlación simple entre los caracteres morfológicos y los parámetros ambientales. Sólo se presentan las correlaciones significativas al nivel del 0,01 de probabilidad.

	ALT	EVP	LIM	CIC	CIM	TMI	TMD	TMX
FF	-.30			-.26				
UT	-.30			-.26				
PT		-.35				-.31	-.34	-.27
AP	-.28							
NT	-.34	-.27		-.27				
AM	-.27							
NM	-.37	-.30		-.26				
AH	-.34							
LP	-.31							
LD					-.26			
CM				-.27				
PZ			-.26					

(significativas al nivel 0,01)

Cuadro 28. Correlaciones simples entre parámetros ambientales y caracteres morfológicos.

Se observa como la altitud está correlacionada negativamente con caracteres de ciclo como floración femenina y unidades térmicas hasta floración. Igualmente, presenta correlaciones negativas con caracteres vegetativos de planta como altura, número de hojas, altura y nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja y longitud del pendón. La temperatura mínima, media y máxima anual se correlacionaron negativamente con el carácter protandria, el cual a su vez muestra una correlación negativa con la evapotranspiración potencial.

El contenido de limo presenta correlaciones negativas con la proporción de zuro, número de hojas y nudo de inserción de la mazorca principal.

La concentración de iones Calcio se correlacionó negativamente con caracteres de ciclo como floración femenina y unidades térmicas hasta floración, y con caracteres de planta y mazorca como número de hojas, nudo de inserción de la mazorca y conicidad. La concentración de iones Magnesio obtuvo un coeficiente de correlación negativa con la longitud del pedúnculo de la mazorca.

5.5. Análisis de componentes principales

A partir de la matriz de correlaciones se realizó un análisis de componentes principales de los 16 caracteres morfológicos y los 18 parámetros ambientales elegidos para la clasificación taxonómica de las poblaciones (apartado 5.3.). Con este tipo de análisis se pretende utilizar la mayor información posible, sin tener que eliminar caracteres o parámetros

que estén íntimamente correlacionados.

5.5.1. Caracteres morfológicos

El Cuadro 29 (tabla 5-15) muestra los autovalores de cada factor, extraído del análisis de componentes principales para los caracteres morfológicos, así como la proporción de varianza que explican, tanto de forma individual como acumulada.

Factor	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
CP1	8,415	52,60	52,60
CP2	3,203	20,02	72,62
CP3	1,201	7,51	80,13
CP4	0,781	4,88	85,01
CP5	0,668	4,18	89,19
CP6	0,449	2,81	92,00
CP7	0,359	2,25	94,25
CP8	0,227	1,42	95,67
CP9	0,197	1,23	96,90
CP10	0,167	1,05	97,95
CP11	0,110	0,69	98,64
CP12	0,092	0,58	99,22
CP13	0,069	0,43	99,65
CP14	0,045	0,28	99,93
CP15	0,008	0,05	99,99
CP16	0,001	0,01	100,00

CP: componente principal o factor

Cuadro 29. Autovalores, proporción de varianza explicada y proporción de varianza acumulada.

Los 3 primeros factores poseen autovalores superiores a 1 y en conjunto, explican el 80,1% de la variación existente. Estos factores fueron las nuevas variables sobre las que se realizó posteriormente el análisis de grupos.

Los valores propios asociados a los caracteres morfológicos originales se indican en el Cuadro 30 (tabla 5-16).

	CP1	CP2	CP3
AP	0,88	-0,09	0,28
NT	0,90	-0,04	-0,08
AM	0,91	-0,03	0,11
NM	0,88	0,00	-0,08
AH	0,91	-0,10	0,13
LP	0,65	-0,26	0,40
RP	0,70	-0,18	-0,39
LM	0,51	-0,70	0,14
DI	0,63	0,61	0,30
DM	0,65	0,55	0,32
CM	0,09	0,91	-0,05
NF	0,65	0,38	0,15
GF	0,19	-0,84	0,21
FF	0,86	-0,14	-0,41
UT	0,85	-0,14	-0,41
PZ	0,61	0,38	-0,35

Cuadro 30. Relación de los componentes principales con los caracteres morfológicos originales.

Se puede observar que el tercer componente muestra una correlación con los caracteres inferior a la existente con los dos primeros factores, donde se encuentran mejor representados.

Es por ello por lo que la representación gráfica de las poblaciones sólo se realizó sobre estos dos primeros componentes.

La [Figura 5-29](#) muestra la representación gráfica de las 100 poblaciones en los planos definidos por el primero y segundo componente principal.

[Figura 5-29](#)

La dispersión de las poblaciones con respecto al primer componente (eje horizontal) refleja su diversidad en cuanto a ciclo y, de forma correlacionada, en cuanto a altura de planta y mazorca, número de hojas, área de la hoja, nudo de inserción de la mazorca y longitud y ramificaciones del pendón, fundamentalmente. El segundo componente principal (eje vertical) determina una dispersión de las poblaciones atribuible a la longitud y tipo de mazorca (cónica o cilíndrica) y algún componente del rendimiento como número de granos por fila.

En la parte izquierda del diagrama se situaron las poblaciones precoces, coincidiendo las más tardías con los valores más positivos del eje horizontal.

De igual forma, las poblaciones que se encuentran a la derecha del diagrama corresponden a plantas más altas, con mayor número de hojas y superficie foliar. También poseen pendones más largos y con mayor número de ramificaciones. En la parte superior del diagrama se sitúan poblaciones con mazorcas más cónicas, de menor longitud y menor número de granos por fila.

5.5.2. Parámetros ambientales

Se ha realizado un análisis de componentes principales sobre la matriz de correlación del conjunto de parámetros ambientales evaluados. En el Cuadro 31 (tabla 5-17) se presentan los autovalores de cada componente principal, así como la proporción de varianza individual y acumulada de los factores extraídos del análisis de componentes principales para los parámetros ambientales.

Los 5 primeros componentes poseen autovalores superiores a 1 y explican el 85,29% de la variación total existente. A partir de estos factores se realizó el análisis de grupos posterior.

Factor	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
CP1	6,150	34,17	34,17
CP2	3,681	20,45	54,62
CP3	2,772	15,40	70,02
CP4	1,675	9,31	79,33
CP5	1,072	5,96	85,29
CP6	0,813	4,52	89,81
CP7	0,601	3,34	93,15
CP8	0,307	1,71	94,86
CP9	0,221	1,23	96,09
CP10	0,206	1,15	97,24
CP11	0,161	0,90	98,14
CP12	0,149	0,83	98,97
CP13	0,086	0,48	99,45
CP14	0,046	0,26	99,71
CP15	0,032	0,18	99,89
CP16	0,015	0,09	99,98
CP17	0,003	0,02	100,00

Cuadro 31. Autovalores, proporción de varianza explicada y proporción de varianza acumulada.

El Cuadro 32 (tabla 5-18) muestra la relación existente entre los parámetros ambientales y los nuevos factores del análisis de componentes principales.

La [Figura 5-30](#) y [Figura 5-31](#) muestran los diagramas de dispersión de las 100 poblaciones en los planos definidos por parejas de los tres primeros componentes.

El primer componente principal (eje horizontal) refleja la diversidad en cuanto a los parámetros climáticos y algunos edáficos ([Figura 5-30](#)). De esta forma, en la mitad derecha del diagrama se han situado las poblaciones que se desarrollan en ambientes con mayores temperaturas y elevada pluviometría y evapotranspiración potencial anual.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
TMI	0,65	-0,49	0,45	-0,00	0,10
TMD	0,63	-0,54	0,49	-0,11	0,10
TMX	0,54	-0,49	0,50	-0,20	0,03
PLU	0,55	-0,06	0,17	-0,15	-0,12
ALT	-0,38	0,00	-0,24	-0,40	0,43
EVP	0,63	-0,54	0,49	-0,11	0,10
MOG	0,14	-0,28	-0,58	-0,61	0,06
PHA	-0,67	0,19	0,57	-0,19	-0,29
PHC	-0,68	0,20	0,57	-0,16	-0,29
ARC	-0,41	-0,71	-0,15	0,50	0,07
ARN	0,68	0,58	0,03	-0,25	-0,19
LIM	-0,76	-0,29	0,17	0,24	0,35
CII	-0,46	-0,59	-0,24	-0,46	-0,16
CIC	-0,75	-0,19	0,18	-0,42	-0,02
CIM	-0,75	-0,25	0,22	-0,12	0,34
CIK	-0,26	-0,68	-0,40	-0,17	-0,40
CIN	-0,15	-0,71	-0,10	0,38	-0,42
GSB	-0,70	0,25	0,58	0,01	-0,04

Cuadro 32. Relación de los componentes principales con los parámetros ambientales originales.

También se encuentran poblaciones adaptadas a suelos más ácidos y arenosos con bajas concentraciones de iones como Calcio y Magnesio. La altitud mostró un efecto menos importante que el de otros parámetros, aunque la correlación con este factor fue mayor que con los otros dos.

Las poblaciones situadas en la parte superior del diagrama de la [Figura 5-30](#) aparecen en suelos poco arcillosos, baja capacidad de intercambio iónico y reducidas concentraciones de cationes como Sodio y Potasio. La [Figura 5-31](#) muestra la representación gráfica sobre los planos definidos por el primer y tercer componente principal. Las poblaciones de la parte inferior del diagrama tienen la característica de desarrollarse en suelos con una concentración de materia orgánica elevada.

[Figura 5-30](#)

[Figura 5-31](#)

5.5.3. Caracteres morfológicos y parámetros ambientales

Se realizó un análisis de correlaciones canónicas (Cuadro 33 de la tabla 5-19) entre los caracteres morfológicos y parámetros ambientales, con el fin de verificar su grado de interdependencia y justificar, así, su tratamiento conjunto.

Correlación canónica	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)	Pr>F

0,79	1,58	32,50	32,50	0,020
0,71	1,06	20,50	53,00	0,061
0,62	0,64	12,31	65,30	0,530

Cuadro 33. Correlaciones canónicas entre los caracteres morfológicos y parámetros ambientales.

La primera correlación canónica resultó significativa a un nivel de probabilidad del 0,05, indicando que ambos niveles de variación presentan alguna relación.

De esta forma los 16 caracteres morfológicos y los 18 parámetros ambientales se han sometido conjuntamente a un análisis de componentes principales. El cálculo de los mismos se hizo a partir de la matriz de correlación entre las citadas variables. En el Cuadro 34 (tabla 5-20) se describen los autovalores así como la proporción de varianza individual y acumulada de los factores extraídos del análisis. Los 7 primeros componentes poseen autovalores superiores a 1 y explican un 81,2% de la variación existente.

Estos 7 factores fueron las nuevas variables sobre las que se realizó el posterior análisis de grupos.

Factor	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
CP1	9,156	26,93	26,93
CP2	6,013	17,69	44,62
CP3	3,944	11,60	56,22
CP4	3,050	8,97	65,19
CP5	2,702	7,95	73,14
CP6	1,672	4,92	78,05
CP7	1,068	3,14	81,20
CP8	0,965	2,84	84,04
CP9	0,912	2,68	86,72
CP10	0,716	2,11	88,83
CP11	0,616	1,81	90,64
CP12	0,538	1,58	92,22
CP13	0,375	1,11	93,33
CP14	0,326	0,96	94,29
CP15	0,306	0,90	95,19
CP16	0,239	0,70	95,90
CP17	0,215	0,63	96,53
CP18	0,187	0,55	97,08
CP19	0,178	0,53	97,61
CP20	0,149	0,44	98,05
CP21	0,136	0,40	98,45
CP22	0,119	0,35	98,80
CP23	0,091	0,27	99,07
CP24	0,073	0,22	99,28
CP25	0,061	0,18	99,46
CP26	0,055	0,16	99,63
CP27	0,041	0,12	99,75
CP28	0,034	0,10	99,85
CP29	0,026	0,08	99,93
CP30	0,013	0,04	99,97
CP31	0,006	0,02	99,99
CP32	0,003	0,01	100,00

Cuadro 34. Autovalores, proporción de varianza explicada y proporción de varianza acumulada para los caracteres morfológicos y parámetros ambientales

El primer componente principal explicó el 26,93% de la variación total existente y en él predominaron los efectos de la mayor parte de los caracteres de planta y de ciclo (Cuadro 35 en la tabla 5-21).

Los coeficientes más altos corresponden a caracteres de planta y caracteres de ciclo. Entre los parámetros ambientales destaca el efecto debido a la altitud, el cual mostró correlaciones con caracteres morfológicos (Cuadro 28 en la [tabla 5-14](#)), coincidiendo el signo de la correlación con el del coeficiente (Cuadro 35 de la tabla 5-21).

No se ha realizado la representación gráfica sobre los dos primeros componentes por estimar que la varianza que explican conjuntamente representa menos del 45% de la variación total existente, lo cual puede inducir a error en su posterior interpretación.

En el segundo componente principal (17,69% de varianza) predominan los parámetros ambientales de tipo climático sobre los caracteres morfológicos. Entre éstos últimos destacan algunos relacionados con la mazorca como la longitud, conicidad y el número de granos por fila.

Los parámetros climáticos, el pH, el porcentaje de limo, las concentración de iones Calcio y Magnesio y el grado de saturación de bases del suelo, mostraron las correlaciones más altas con este factor.

En el tercer componente principal (11,6% de varianza) no aparecen correlaciones importantes con caracteres morfológicos y los efectos son debidos, fundamentalmente, a parámetros ambientales como el contenido de arcilla y arena, la capacidad de intercambio iónico y la concentración de algunos cationes como Potasio y Sodio.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
AP	0,82	-0,28	0,20	-0,04	0,08	0,12	0,17
NT	0,88	-0,17	0,12	-0,04	0,06	0,01	-0,07
AM	0,85	-0,28	0,12	-0,00	0,00	0,07	0,05
NM	0,87	-0,17	0,09	-0,02	-0,00	-0,04	-0,01
AH	0,85	-0,29	0,14	-0,08	0,01	0,01	0,08
LP	0,56	-0,38	0,17	-0,14	0,13	0,12	0,35
RP	0,64	-0,34	-0,20	-0,02	0,11	0,02	-0,25
LM	0,41	-0,49	-0,04	-0,52	0,27	0,08	-0,01
DI	0,63	0,01	0,24	0,47	-0,34	0,08	0,07
DM	0,63	-0,03	0,26	0,43	-0,33	0,05	0,04
CM	0,19	0,36	0,04	0,70	-0,41	-0,07	0,06
NF	0,62	-0,11	0,14	0,32	-0,27	0,12	-0,20
GF	0,10	-0,42	0,00	-0,67	0,33	0,07	-0,03
FF	0,81	-0,30	-0,18	-0,01	0,13	-0,09	-0,23
UT	0,81	-0,30	-0,20	-0,01	0,13	-0,09	-0,23
PZ	0,62	-0,07	-0,17	0,38	-0,18	-0,08	-0,04
TMI	0,27	0,60	0,46	-0,37	-0,27	-0,05	-0,12
TMD	0,20	0,61	0,51	-0,40	-0,30	0,04	-0,16
TMX	0,18	0,51	0,47	-0,43	-0,30	0,15	-0,17
PLU	0,14	0,54	0,05	-0,20	-0,11	0,14	0,43
ALT	-0,43	-0,17	-0,02	0,24	0,07	0,31	-0,49
EVP	0,20	0,61	0,51	-0,41	-0,30	0,04	-0,16
MOG	-0,14	0,27	0,20	0,29	0,49	0,58	-0,07
PHA	-0,22	-0,66	-0,08	-0,20	-0,54	0,22	0,12
PHC	-0,19	-0,68	-0,08	-0,17	-0,56	0,19	0,10
ARC	-0,22	-0,30	0,70	0,12	0,21	-0,52	-0,01
ARN	0,39	0,51	-0,60	-0,13	-0,03	0,30	0,04
LIM	-0,48	-0,58	0,32	-0,00	-0,15	-0,31	-0,07
CII	-0,28	-0,32	0,60	0,18	0,21	0,47	0,00
CIC	-0,47	-0,58	0,23	-0,02	-0,17	0,36	0,01
CIM	-0,44	-0,57	0,29	0,04	-0,26	0,02	-0,21
CIK	-0,14	-0,15	0,67	0,29	0,35	0,22	0,13
CIN	0,04	-0,17	0,71	0,00	0,22	-0,30	0,11
GSB	-0,29	-0,66	-0,16	-0,20	-0,56	-0,03	0,02

Cuadro 35. Relación de los componentes principales con los caracteres morfológicos y parámetros ambientales originales.

Se ha realizado, por otro lado, la representación de los caracteres morfológicos y los parámetros ambientales, sobre los dos primeros componentes principales (Figura 5-32), con el fin de ofrecer una visión gráfica de la relación existente entre el conjunto de las variables estudiadas.

[Figura 5-32](#)

5.6. Análisis de grupos

Una vez realizada la evaluación de las 100 poblaciones y el estudio espacial de las mismas, es necesario proceder a su agrupación, con el fin de reducir el número de elementos diferentes para su empleo en programas de mejora.

Se han efectuado tres análisis de grupos, considerando en el primero los 16 caracteres morfológicos elegidos en base a sus valores de heredabilidad y constancia. La segunda

agrupación se ha realizado a partir de los 18 parámetros ambientales de los lugares de recolección de las poblaciones. Finalmente, se ha procedido a la agrupación de las mismas, a partir de los 16 caracteres morfológicos y los 18 parámetros ambientales, conjuntamente.

5.6.1. Agrupación taxonómica basada en los caracteres morfológicos

A partir de los 16 caracteres morfológicos elegidos -apartado 5.3.- para su utilización en la clasificación de las 100 poblaciones, se efectuó el análisis de componentes principales -descrito en el apartado 5.5.1.-. Los 3 primeros componentes presentaron autovalores superiores a 1 y en conjunto, explicaban un 80,13 de la variación existente (Cuadro 29 en la [tabla 5-15](#)). Estos 3 factores constituyeron las nuevas variables sobre las que se realizó el análisis de grupos. La Figura 5-33 muestra, mediante un dendrograma, las relaciones existentes entre las poblaciones estudiadas. El procedimiento para la elección de un número de grupos determinado, se ha basado en el estudio de las fases de fusión con el número de grupos y coeficientes de distancia euclídea correspondientes, los cuales acompañan al número de la variedad. De esta forma, se busca un incremento importante en el coeficiente lo que indica que se están fusionando grupos heterogéneos, por lo que nos fijamos en la fase anterior como la indicadora del número de grupos homogéneos.

[Figura 5-33](#)

Teniendo en cuenta lo anterior, así como la consecución de un número manejable de compuestos, se ha tomado la decisión de hacer una clasificación definitiva en 7 grupos. En la Figura 5-33 cada población va acompañada del coeficiente de distancia. Si dicho coeficiente es inferior a 1,01, esta población y la siguiente en el dendrograma, pertenecen al mismo grupo. Por el contrario, si el valor es superior, las poblaciones pertenecen a unidades taxonómicas diferentes.

La matriz cofenética resultante del dendrograma y la matriz de distancias entre las poblaciones presentan un coeficiente de correlación cofenética de 0,70, valor que puede suponerse elevado como para considerar que el dendrograma representa suficientemente la distancia entre las poblaciones (Romesburg, 1984).

El Cuadro 36 en la tabla 5-22 muestra los grupos generados y las poblaciones pertenecientes a cada grupo.

Las 100 poblaciones de maíz de la provincia de Guipúzcoa se han clasificado en 7 grupos, dos de los cuales incluyen una única población. Las características generales de los grupos obtenidos son las siguientes:

GRUPO I

Es el más numeroso, con 36 poblaciones distribuidas a lo largo de toda la provincia de Guipúzcoa. Las plantas son de talla muy alta, entre 183 y 218 cm, con un promedio de 203,7 cm y con pendones largos y ramificados. Su ciclo es medio-tardío, entre 67 y 74 días hasta floración femenina, con una media de 70 días. La mazorca es larga, de forma cilíndrica y con 10 a 14 filas de granos.

Grupo	Población	N	Grupo	Población	N
-------	-----------	---	-------	-----------	---

I	Fuenterrabía	690	IV	Lezo 2	701	
	Usurbil 1	755		Renteria	712	
	Albiztur 1	820		Idiazábal	909	
	Asteasu	737		Beasain	921	
	Belaunza 2	803		S. Sebastián 1	760	
	Alegia 1	859		Belaunza 1	802	
	Lezo 1	700		Bidegoyan 2	826	
	Hernani	717		Lizarza 1	854	
	Oyarzun 2	709		Cerain	912	
	Azcoitia 1	840		Berrobi 1	808	
	Zizurkil 2	732		Gabiria 2	926	
	Usurbil 2	758		Abalcisketa 2	869	
	Azcoitia 3	848		Olaberria	894	
	Tolosa 1	799		Cegama 2	919	
	Lizarza 2	856		Gabiria 1	923	
	Deba 1	787		Orendain 1	862	
	Irún	697		Isasondo 1	878	
	Regil	827				
	Aizarnazabal	780		V	Anoeta	743
	Oyarzun 1	699			Segura 2	914
	Elduayen 1	810			Tolosa 2	865
	Leaburu	805			Alkiza 2	746
	Alkiza 1	744			Zaldibia 2	891
	Pasajes	703			S. Sebastián 2	775
	Bidegoyan 1	823			Orendain 2	863
	Andoain 2	725			Gainza	874
	Aduna	728			Ezkioga	928
	Hernalde	797			Zaldibia 1	888
	Legorreta 1	875			Ataun 2	901
	Zizurkil 1	731			Larraul	748
	Albiztur 2	822			Cegama 1	915
	Isasondo 2	880			Arama	885
	Ormaiztegui	927			Idiazábal 1	905
Ataun 1	897	Amezqueta 2	866			
Alegia 2	871	Motriko 2	794			
Mutiloa	911	Ordicia 1	881			
		Legorreta 2	877			
II	Azpeitia 2	839	Ibarra		806	
		759	Abalcisketa 1		868	
		766	Berrobi 2		809	
		786	Alzo 1		852	
		784				
		790	VI		Urnieta	722
					Segura 1	913
					Andoain 3	730
					Alzo 2	861
					Villabona	734
		Elduayen 2			812	
		Azpeitia 1			835	
		Berastegui 2			818	
		Berastegui 1			815	
		Azcoitia 2		843		
		Ordicia 2		887		
		Andoain 1		723		
		Aya 1		752		
		Aya 2	764			
		Motriko 1	791			
		Amezqueta 1	864			
	Deba 2					

	Bergara	849
VII	Lazcano	892

[Figura 5-34](#)

[Figura 5-35](#)

GRUPO II

Formado por una sola población perteneciente a la localidad interior de Azpeitia, la cual se separa del resto por sus características de mazorca. Las plantas son de talla baja mostrando una media de 179,1 cm, con pendones muy ramificados. Su ciclo es tardío, situándose en torno a los 72 días. La mazorca posee una longitud media de 17,1 cm, siendo la mayor de todos los grupos, al igual que el número de granos por fila con 28,6 y la proporción de zuro con 35,4%. La forma de la mazorca es cilíndrica, presentando la conicidad más baja con un promedio del 8%.

GRUPO III

Está constituido por 5 poblaciones, 4 de ellas localizadas en la costa y una en el prelitoral. Las plantas son de talla alta, alrededor de 200 cm, mostrando los valores más elevados de algunos caracteres como número de hojas, área de la hoja, longitud y número de ramificaciones del pendón. Su ciclo es el más tardío con unos 75 días hasta la floración femenina. La mazorca es de longitud media, de forma semicónica y con el mayor número de filas de granos.

[Figura 5-36](#)

[Figura 5-37](#)

GRUPO IV

Formado por 17 poblaciones situadas en los valles interiores, a excepción de la población costera San Sebastián 1. Las plantas presentan la talla más baja, con un promedio de 166,8 cm, mostrando los valores más pequeños para el número de hojas área de la hoja y longitud y número de ramificaciones del pendón. El ciclo es precoz con 65,3 días hasta floración femenina y un rango entre 62 y 69 días. La mazorca posee un diámetro muy pequeño y forma cilíndrica con un promedio de 10 filas de granos.

GRUPO V

Es un grupo numeroso constituido por 23 poblaciones pertenecientes la mayor parte de ellas a zonas interiores y montañosas de la provincia. Las plantas son de talla mediana con un rango entre 166 y 204 cm. Se caracterizan por poseer unos pendones, tanto en longitud como en número de ramificaciones, de tipo intermedio con 38,7 y 14,1 cm, respectivamente. El ciclo es medio, en torno a los 68 días hasta floración femenina. Destacan sus pequeños diámetros de mazorca y su elevado número de granos por fila, con un rango entre 24 y 30.

[Figura 5-38](#)

[Figura 5-39](#)

GRUPO VI

Está formado por 17 poblaciones todas ellas situadas en el interior de Guipúzcoa, tanto en su parte oriental como occidental. Las plantas son de talla media-alta con un promedio de 186,2 cm, mostrando un número de hojas y área de las mismas de tipo medio. Es un grupo que se caracteriza por tener unos pendones muy pequeños al igual que unas mazorcas de escasa longitud, grandes diámetros y forma cónica, con valores elevados de número de filas de granos, entre 12 y 14. Tienen un ciclo medio con un rango que varía entre 65 y 73 días hasta floración femenina.

GRUPO VII

Este grupo se compone de una sola población originaria de Lazcano, situada en el interior de la provincia, y que se diferencia del resto por la gran conicidad de su mazorca, así como por ser la más precoz. Las plantas son bajas, de pocas hojas y superficie foliar pequeña. Los pendones son de longitud media con pocas ramificaciones, alrededor de 14. El ciclo es el más precoz, con una media de 64 días. Las mazorcas son pequeñas, de gran diámetro y forma cónica, mostrando el número más bajo de granos por fila, con un promedio de 21,7.

[Figura 5-40](#)

El Cuadro 37 (tabla 5-23) muestra las medias de los caracteres morfológicos utilizados en la clasificación taxonómica, para los 7 grupos de poblaciones obtenidos. En las Figuras 5-41 a 5-43 se han representado gráficamente las medias normalizadas de los caracteres morfológicos, con el fin de identificar de una forma visual las características intrínsecas de cada grupo por las que se separan del resto.

Carácter	Grupo						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
AP	203,7	179,1	200,9	166,8	183,4	186,2	169,2
NT	10,7	10,2	11,1	9,4	9,9	10,2	9,6
AM	77,8	63,6	80,8	51,5	61,9	66,2	54,8
NM	6,0	5,7	6,4	5,0	5,4	5,6	5,3
AH	608,3	573,6	642,5	463,3	533,9	539,1	511,1
LP	40,6	38,9	41,0	37,0	38,7	37,6	38,7
RP	16,2	16,6	21,4	12,6	14,1	14,3	14,1
LM	15,5	17,1	15,4	13,9	14,9	13,5	12,3
DI	48,4	48,2	49,6	44,6	46,0	49,1	51,3
DM	45,6	46,1	46,3	41,3	43,1	46,5	47,0
CM	9,0	8,0	11,0	9,0	9,0	12,0	15,0
NF	12,3	10,7	12,9	10,1	11,0	12,6	11,0
GF	28,6	28,6	26,5	27,1	28,2	25,1	21,7
PZ	28,0	35,4	35,3	24,4	26,4	28,5	30,7
FF	70,8	71,9	74,9	65,3	68,2	68,7	64,7
UT	630,3	644,9	681,6	565,8	599,8	605,8	560,3

Cuadro 37. Medias de los caracteres morfológicos para los 7 grupos resultantes de la clasificación taxonómica.

[Figura 5-41](#)

[Figura 5-42](#)

[Figura 5-43](#)

5.6.2. Agrupación taxonómica basada en los parámetros ambientales

Tomando los 18 parámetros ambientales de los lugares de recolección de las poblaciones y excluyendo solamente el índice termopluviométrico, se realizó el análisis de componentes principales descrito en el apartado 5.5.2. Del mencionado análisis se han obtenido 5 componentes que explican, en conjunto, un 85,3% de la variación existente (Cuadro 31 en la [tabla 5-17](#)) y que han constituido las nuevas variables sobre las que se efectuó el análisis de grupos.

La [Figura 5-44](#) presenta el dendrograma obtenido para el conjunto de las poblaciones, a partir de los parámetros ambientales. El criterio que se ha seguido para la elección del número de grupos resultante ha sido el mismo que se empleó con los caracteres morfológicos. Cada población va acompañada de un coeficiente; si éste es inferior a 1,26, esta población y la siguiente son del mismo grupo. Si por el contrario el valor es superior, las poblaciones pertenecen a unidades taxonómicas diferentes.

[Figura 5-44](#)

El coeficiente de correlación cofenética calculado ha sido de 0,80, lo cual supone que el dendrograma representa suficientemente la distancia existente entre las poblaciones.

A continuación se ha procedido a hacer una agrupación de las 100 poblaciones en 6 grupos. El Cuadro 38 (tabla 5-24) muestra los grupos obtenidos y las poblaciones pertenecientes a cada uno.

Las características principales de los 6 grupos generados son las siguientes:

GRUPO I

Es el más numeroso, constituido por 52 poblaciones distribuidas por la zona costera y por el Sur de la provincia. Las poblaciones se caracterizan por desarrollarse en lugares con temperaturas medias anuales entre 10,1 y 14,5 °C y una pluviometría anual de tipo intermedio (1474,3 mm), dentro de las características propias de la provincia de Guipúzcoa. El rango de altitud es muy amplio, situándose la media en 229 m con un mínimo de 25 m y un máximo de 540 m. Las poblaciones de este grupo se encuentran en suelos con bajo contenido en materia orgánica y valores altos de pH, siempre dentro de un intervalo de suelos ácidos. Destaca en la composición de éstos la baja proporción de arcilla (14,8%) y capacidad de intercambio iónico (19,5 meq). Las concentraciones de cationes como Calcio y Magnesio son de tipo medio, siendo muy bajas las de Sodio y Potasio.

GRUPO II

Contiene a 20 poblaciones, localizándose la mayor parte de ellas en los valles prelitorales, relieves intermedios y alguna en la zona montañosa del Sur de la provincia. Estos lugares se caracterizan por poseer temperaturas medias anuales frías y pluviometría intermedia. Las poblaciones se encuentran en suelos con alto contenido en materia orgánica (6,3%) y valores de pH algo más ácidos que el grupo anterior. La proporción de arena es elevada (58,1%), correspondiendo con una capacidad media de intercambio iónico baja. Respecto a la presencia de iones en el suelo, destaca una concentración baja de Calcio (6,4 meq) frente a unas concentraciones de tipo intermedio para el Sodio y Potasio.

GRUPO III

Es un grupo bastante definido, formado por 15 poblaciones pertenecientes a la parte oriental de Guipúzcoa, a excepción de dos que se localizan en la zona costera. Los ambientes en que se desarrollan poseen temperaturas medias anuales algo más cálidas, mostrando los valores máximos de pluviometría con un promedio de 1790,6 mm anuales. La altitud media es inferior a la de los dos grupos anteriores, con un mínimo de 20 m y un máximo de 315 m. Los suelos en los que se desarrollan las poblaciones se caracterizan por presentar los valores mínimos de capacidad de intercambio iónico, así como las concentraciones más bajas de algunos cationes como Calcio, Magnesio y Sodio y valores de pH más ácidos.

GRUPO IV

Está constituido por 8 poblaciones situadas al Sureste de la provincia, en la zona de los relieves intermedios del interior. Las poblaciones se encuentran en ambientes con las temperaturas medias anuales más bajas de todo Guipúzcoa (10,9 °C). Asimismo, la pluviometría anual es de las más bajas con una media de 1195,5 mm, mostrando la altitud media más elevada, con un rango entre 185 m y 505 m. Los suelos se caracterizan por tener el contenido de materia orgánica más alto (7,5%) y los valores de pH menos ácidos, con una media cercana a la neutralidad (6,8). Poseen, además, una baja proporción de arena y una capacidad de intercambio iónico elevada. Destacan las concentraciones máximas para cationes como el Calcio y Magnesio, así como el grado de saturación en bases más elevado.

Grupo	Población	N	Grupo	Población	N
I	Fuenterrabía	690	II	Zizurkil 1	731
	Pasajes	703		Asteasu	737
	Andoain 3	730		Villabona	734
	Belaunza 1	802		Alkiza 1	744

Belaunza 2	803		Tolosa2	865
Berrobi 2	809		Gabiria 2	926
Lezo 2	701		Lazcano	892
Ibarra	806		Olaberría	894
Rentería	712		Beasain	921
Leaburu	805		Cerain	912
Segura 1	913		Mutiloa	911
Segura 2	914		Berastegui 2	818
Aya 1	752		Azpeitia 1	835
Aya 2	764		Alzo 2	861
S.Sebastián 1	760		Alegia 2	871
S. Sebastián 2	775		Idiazábal 1	905
Berastegui 1	815		Zarauz	766
Lizarza 1	854		Motriko 1	791
Lizarza 2	856		Ataun 2	901
Alegia 1	859		Cegama 1	919
Orendain 1	862			
Orendain 2	863	III	Irún	697
Legorreta 1	875		Elduayen 2	812
Isasondo 1	878		Oyarzun 2	709
Isasondo 2	880		Lezo 1	700
Ataun 1	897		Urnieta	722
Hernialde	797		Andoain 1	723
Tolosa 1	799		Andoain 2	725
Amezqueta 2	866		Aizarnazabal	780
Gainza	874		Gueteria	784
Abalcisketa 1	869		Oyarzun 1	699
Abalcisketa 2	868		Elduayen 1	810
Ordicia 1	881		Hernani	717
Arama	885		Anoeta	743
Ordicia 2	887		Alkiza 2	746
Zaldibia 1	888		Berrobi 1	808
Azcoitia 2	843			
Bergara	849	IV	Albiztur 1	820
Larraul	748		Albiztur 2	822
Motriko 2	794		Bidegoyan 1	823
Orio	759		Bidegoyan 2	826
Deba 2	790		Zaldibia 2	891
Cestona	786		Legorreta 2	877
Deba 1	787		Idiazábal 2	909
Regil	827		Cegama 1	915
Azpeitia 2	839			
Alzo 1	852	V	Aduna	728
Ezkioga	928		Usurbil 1	755
Amezqueta 1	864		Usurbil 2	758
Ormaiztegui	927		Azcoitia 3	848
Gabiria 1	923			
Azcoitia 1	840	VI	Zizurkil 2	732

Cuadro 38. Clasificación taxonómica de las poblaciones de maíz de Guipúzcoa basada en parámetros ambientales.

GRUPO V

Se compone solamente de 4 poblaciones, 3 de ellas en la zona prelitoral y la restante ubicada en la localidad de Azcoitia, en el centro de la provincia. Todas ellas se desarrollan en ambientes que muestran las temperaturas medias anuales de Guipúzcoa más altas (18,4°C),

así como una elevada pluviometría (1575,6 mm). Lo más característico de estas poblaciones es que se encuentran en las zonas con mayor evapotranspiración potencial de la provincia, entre 614 mm y 655 mm. Los suelos poseen un contenido intermedio de materia orgánica, destacando una alta proporción de arcilla. Presentan bajas concentraciones de Calcio y Magnesio y elevadas del catión Sodio.

GRUPO VI

Únicamente lo compone la población Zizurkil 2, situada en el Medio Este de la provincia y que se separa del resto por el tipo de suelo en el que se encuentra. La zona presenta la pluviometría media anual más baja con 1185,2 mm y unas temperaturas de tipo intermedio. En la composición del suelo destacan los valores máximos del contenido de arcilla y limo y el mínimo de arena. La capacidad de intercambio iónico es también la máxima (33,6 meq) del conjunto de los lugares muestreados, así como las concentraciones de algunos cationes como el Sodio y Potasio, existiendo otros como el Calcio y Magnesio con concentraciones también muy elevadas.

El Cuadro 39 (tabla 5-25) presenta las medias de los parámetros ambientales para los 6 grupos de poblaciones obtenidos en la clasificación taxonómica.

Parámetro	Grupo					
	I	II	III	IV	V	VI
TMI	7,9	7,7	9,5	6,4	9,3	8,2
TMD	12,1	11,8	13,6	10,9	13,8	12,1
TMX	16,4	15,9	17,7	15,5	18,4	16,0
PLU	1474,3	1401,8	1790,6	1195,5	1575,6	1185,2
ALT	229,6	260,2	143,6	350,3	176,2	60,0
EVP	572,2	562,1	622,4	529,0	630,0	568,7
MOG	4,4	6,3	6,3	7,5	5,1	3,1
PHA	6,3	5,2	5,0	6,8	5,6	6,2
PHC	5,4	4,4	4,2	5,8	4,8	5,6
ARC	14,8	16,5	11,5	17,5	26,9	38,7
ARN	57,2	58,1	68,5	40,8	46,6	21,2
LIM	30,2	25,5	20,3	35,4	26,3	40,1
CII	19,5	22,5	17,4	33,1	25,4	33,6
CIC	9,8	6,4	2,7	18,8	6,5	12,9
CIM	1,4	0,8	0,2	1,8	0,7	1,4
CIK	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	1,1
CIN	0,2	0,3	0,2	0,3	1,3	1,5
GSB	58,8	36,6	29,4	62,7	44,2	50,5

Cuadro 39. Medias de los parámetros ambientales para los 6 grupos obtenidos de la clasificación taxonómica.

Las Figuras 5-45 a 5-47 presentan las medias normalizadas de los parámetros ambientales para los 6 grupos de poblaciones obtenidos.

[Figura 5-45](#)

[Figura 5-46](#)

[Figura 5-47](#)

5.6.3. Agrupación taxonómica basada en el conjunto de caracteres morfológicos y parámetros ambientales

Se ha realizado un análisis de grupos a partir de los 16 caracteres morfológicos y los 18 parámetros ambientales, conjuntamente. Previamente, se realizó el análisis de componentes principales descrito en el apartado 5.5.3. Los 7 primeros componentes presentaron autovalores superiores a 1, y en conjunto, explicaban el 81,2% de la variación total existente (Cuadro 34 en la [tabla 5-20](#)).

Estos 7 factores constituyeron las nuevas variables sobre las que se realizó el análisis de grupos. La [Figura 5-48](#) muestra el dendrograma obtenido para el conjunto de las 100 poblaciones. El criterio para la elección del número de grupos ha sido el mismo que al realizar los análisis de grupos con los caracteres morfológicos y parámetros ambientales por separado.

En la [Figura 5-48](#) cada población va acompañada de un coeficiente, si éste es inferior a 1,10, esta población y la siguiente pertenecen al mismo grupo. Si, por el contrario, el valor es superior, las poblaciones pertenecen a unidades taxonómicas diferentes.

El coeficiente de correlación cofenética calculado ha sido de 0,74, valor que supone que el dendrograma representa suficientemente la distancia existente entre las poblaciones.

De esta forma, se ha procedido a clasificar a las 100 poblaciones en 13 grupos diferentes. El Cuadro 40 (tabla 5-26) muestra los grupos obtenidos así como las poblaciones pertenecientes a cada uno de ellos.

Las características generales de los 13 grupos son las siguientes:

GRUPO I

Está formado por 12 poblaciones situadas la mayoría en la parte oriental de la provincia, perteneciendo a la zona costera y a los relieves del prelitoral, a excepción de la población Azcoitia 3 la cual se localiza en la parte occidental de Guipúzcoa. Son plantas de talla intermedia con pendones medianamente largos y ramificados. Las mazorcas son de forma semicónica y poseen una longitud media de 15,4 cm. El ciclo se sitúa entre 67 y 72 días. Destacan por desarrollarse en lugares con las temperaturas medias más elevadas (13,7 °C) de la provincia y por estar en suelos con gran contenido de arcilla y fuertes concentraciones de iones Sodio.

GRUPO II

Formado por 5 poblaciones del interior de la provincia. Son plantas altas, entre 203 y 212 cm con largos pendones y muy ramificados. Las mazorcas son largas y cilíndricas con un número elevado de granos por fila, entre 26 y 30. El ciclo es medio-tardío con un promedio de 71,8 días hasta floración femenina. Se encuentran en lugares con temperaturas intermedias y baja pluviometría, cuyos suelos se caracterizan por tener un bajo grado de saturación en bases y altas concentraciones de iones Sodio y Potasio, con 0,47 y 0,48 meq,

respectivamente.

GRUPO III

Está constituido por 5 poblaciones situadas al Sur de la provincia. Son plantas altas, entre 200 y 210 cm, de gran número de hojas y con pendones largos y ramificados. Se distinguen del resto por poseer la máxima longitud de mazorca (16,8 cm), con formas claramente cilíndricas, un gran número de filas y el mayor número de granos por fila, entre 29 y 33. Su ciclo es tardío situado en 72,7 días hasta floración femenina.

Figura 5-48

Se desarrollan en los lugares más fríos de Guipúzcoa con una temperatura media anual de 10,7 °C y con escasa precipitación en relación al resto de la provincia (1223,4 mm). Los suelos poseen baja cantidad de materia orgánica y elevadas concentraciones de cationes Calcio (10,5 meq).

GRUPO IV

Se compone de 14 poblaciones pertenecientes a la zona de los relieves orientales, a excepción de la población Bergara, la cual se localiza en la mitad Centro de la provincia. Las plantas son de talla media, en las que no destacan sus pendones ni por longitud ni por número de ramificaciones. La mazorca es de longitud media, cónica y con un número bajo de granos por fila (26,5). El ciclo se sitúa en 68,7 días hasta floración.

Se distribuyen en lugares con una temperatura media anual entre 12,5 y 14,5 °C y de pluviometría muy elevada (1790,9 mm). Los suelos se caracterizan por ser fuertemente ácidos (pH=5,0) con unas concentraciones muy bajas de Calcio y Magnesio, 3,1 y 0,3 meq, respectivamente y mostrando el valor mínimo del grado de saturación en bases (29,8%).

GRUPO V

Está formado por 8 poblaciones distribuidas a lo largo de toda la provincia. Son plantas de talla media, cuyos pendones poseen entre 11 y 15 ramificaciones. Es un grupo que se caracteriza por sus mazorcas, las cuales alcanzan el mayor diámetro medio (47,0 mm) y la mayor conicidad, así como el menor número de granos por fila, el cual se sitúa entre 21 y 26. Su ciclo es el más tardío y se desarrollan en ambientes con temperaturas bajas y concentraciones intermedias de los principales cationes presentes en el suelo.

GRUPO VI

Se compone de 8 poblaciones pertenecientes a la zona costera y relieves prelitorales. Las plantas son de talla media-alta, entre 192 y 207 cm, caracterizadas por presentar el mayor número de hojas (11,0), así como los pendones con el número más elevado de ramificaciones, entre 16 y 23. Las mazorcas son cónicas, de longitud media, con bajo número de granos por fila y presentan la proporción de zuro más elevada (33,5%). Poseen un ciclo medio con 68,8 días hasta floración femenina. Las poblaciones se encuentran en ambientes de temperaturas intermedias y de baja altitud, entre 5 y 220 m. Los suelos son arenosos con concentraciones

bajas de cationes y poseen la menor capacidad de intercambio iónico (11,4 meq) respecto al resto de grupos obtenidos.

GRUPO VII

Está formado por 8 poblaciones situadas en la zona de los relieves intermedios del Centro de la provincia. Las plantas presentan una altura intermedia, mostrando pendones largos y ramificados. La mazorca es de gran longitud, entre 13,5 y 17,1 cm. El ciclo es precoz con 67,6 días hasta floración femenina. Los lugares en los que se desarrollan estas poblaciones poseen temperaturas medias, con suelos que poseen el menor contenido medio en arcilla (8,9%), baja materia orgánica y valores medios de pH que se acercan a la neutralidad. La capacidad de intercambio iónico del suelo es muy baja, al igual que las concentraciones de algunos cationes como el Sodio y Potasio.

GRUPO VIII

Es el grupo más numeroso, formado por 26 poblaciones distribuidas a lo largo de toda la provincia. Las plantas son de talla baja (177,9 cm), con pendones de longitud intermedia, entre 34,0 y 42,9 cm. La mazorca es de longitud mediana con forma semicónica. El ciclo es precoz con 67 días hasta floración femenina. Las poblaciones se encuentran en lugares con temperaturas bajas y cuyos suelos muestran una elevada proporción de limo. Se caracterizan por tener concentraciones muy altas de cationes como Calcio y Magnesio, con unos valores medios de 12,9 y 1,7 meq, respectivamente.

GRUPO IX

Está constituido por 8 poblaciones situadas en las zonas montañosas del Sur de la provincia. Las plantas poseen talla baja con una media de 172,4 cm y pendones de longitud intermedia. La mazorca es corta, de pequeño diámetro y forma semicónica. El ciclo es precoz con un promedio de 66,9 días hasta floración femenina. Los lugares en que se distribuyen poseen temperaturas bajas y están situados a gran altitud, entre 215 y 505 m. Los suelos se caracterizan por tener un alto contenido en materia orgánica, pH ácido y bajas concentraciones de los principales cationes excepto de Potasio, el cual muestra un rango entre 0,1 y 0,4 meq.

GRUPO X

Formado solamente por una población de la zona de los relieves intermedios, al Sur de la provincia, la cual se separa del resto por su arquitectura de planta y caracteres de mazorca, fundamentalmente. Son plantas que poseen la menor altura, con una media de 155,2 cm y el menor número de hojas con un promedio de 9,3. Las mazorcas poseen el menor diámetro y el índice más bajo de conicidad así como el menor número medio de filas de granos. Es la población más precoz con 66,5 días hasta floración femenina, desarrollándose en ambientes con temperatura media-alta. El suelo se caracteriza por tener poca materia orgánica y el mayor valor de pH (7,0), así como una baja proporción de arcilla y el grado de saturación en bases más elevado (74,2%).

Grupo	Población	N	Grupo	Población	N
I	Fuenterrabía	690	VII	Deba 1	787

	Pasajes	703		Azcoitia 1	840
	Hernalde	797		Amezketeta 1	864
	Tolosa 1	799		Azcoitia 2	843
	Andoain 3	730		Azpeitia 2	839
	Belaunza 2	803		Ezkioga	928
	Leaburu	805		Berrobi 2	809
	Aduna	728		Alzo 1	852
	Villabona	734			
	Usurbil 1	755	VIII	Lezo 2	701
	Usurbil 2	758		Renteria	712
	Azcoitia 3	848		Belaunza 1	802
				Lizarza 1	854
II	Zizurkil 1	731		S. Sebastián 1	760
	Alkiza 1	744		S. Sebastián 2	775
	Asteasu	737		Lizarza 2	856
	Mutiloa	911		Orendain 2	863
	Alegia 2	871		Amezketeta 2	866
III	Alegia 1	859		Abalcisketa 1	868
	Legorreta 1	875		Arama	885
	Isasondo 2	880		Zaldibia 2	888
	Ataun 1	897		Ordicia 1	881
	Ormaiztegui	927		Gainza	874
IV	Irún	697		Orendain 1	862
	Oyarzun 2	709		Abalcisketa 2	869
	Oyarzun 1	699		Isasondo 1	878
	Elduayen 1	810		Ibarra	806
	Hernani	717		Segura 1	913
	Lezo 1	700		Segura 2	914
	Andoain 2	725		Legorreta 2	877
	Urnieta	722		Cegama 1	915
	Andoain 1	723		Idiazábal 2	909
	Elduayen 2	812		Ataun 2	901
	Anoeta	743	IX	Bidegoyan 2	826
	Alkiza 2	746		Zaldibia 2	891
	Bergara	849		Larraul	748
	Tolosa 2	865		Motriko 2	794
V	Aya 1	752		Idiazábal 1	905
	Aya 2	764		Olaberría	894
	Berastegui 1	815		Beasain	921
	Legorreta 2	887		Gabiria 2	926
	Berastegui 2	818	X	Cerain	912
	Azpeitia 1	835		Cegama 2	919
	Alzo 2	861	XI	Gabiria 1	923
	Lazcano	892		Berrobi 1	808
VI	Orio	759	XII	Albiztur 1	820
	Cestona	786		Albiztur 2	822
	Deba 2	790		Bidegoyan 1	823
	Regil	827	XIII	Zizurkil 2	732
	Aizarnazabal	780			
	Gueteria	784			
	Zarauz	766			
	Motriko 1	791			

Cuadro 40. Clasificación taxonómica de las poblaciones basada en caracteres morfológicos y parámetros ambientales.

GRUPO XI

Se compone de una sola población situada en la mitad Este de la provincia. Las plantas son bajas con un promedio de 173,9 cm. La mazorca es cilíndrica con pequeño diámetro medio, al igual que el número de filas de granos. El ciclo es precoz con una media de 66,9 días hasta floración femenina. Esta población se caracteriza por desarrollarse en lugares con temperaturas altas y de máxima pluviometría (2077,0 mm). El suelo destaca por su alto contenido en materia orgánica, así como por poseer los valores más bajos de pH (4,6). También se distingue por presentar el máximo contenido de arena (73,7%) y poseer la mínima concentración de iones Calcio y Magnesio.

GRUPO XII

Está formado por tres poblaciones situadas al Este de la provincia, en la zona de los relieves intermedios. Se caracterizan por ser las plantas más altas, con un rango entre 202,3 y 218,3 cm, presentando largos pendones y muy ramificados. La mazorca es grande, de tipo cónico y posee el mayor número de filas de granos, con un promedio de 13,2. El ciclo es medio-tardío con 71,1 días hasta floración femenina. Las poblaciones se desarrollan en ambientes de temperaturas bajas, con la mínima pluviometría anual (1081,0 mm) y el rango más elevado de altitud, entre 245 y 490 m. Los suelos destacan por presentar los mayores contenidos en materia orgánica (7,7%) así como la máxima capacidad de intercambio iónico (38,1 meq) y las mayores concentraciones de cationes como Calcio y Magnesio.

GRUPO XIII

Constituido por una sola población situada en los relieves orientales de la provincia y cuyas plantas son de talla media mostrando los pendones más largos (42,2 mm). Las mazorcas son cónicas con un gran diámetro medio (46,6 cm). El ciclo es precoz (67,4 días) y se desarrollan en ambientes de baja pluviometría y altitud. Se caracterizan por desarrollarse en suelos con el menor contenido de materia orgánica (3,1%) y las mayores proporciones de arcilla (38,7%) y limo (40,0%), así como por tener las concentraciones más altas de cationes como Sodio y Potasio.

El Cuadro 41 (tabla 5-27) presenta las medias de los caracteres morfológicos y parámetros ambientales utilizados en la clasificación taxonómica, para los 13 grupos de poblaciones obtenidos.

Variable	Grupo												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
AP	197,7	208,9	205,7	191,8	186,2	201,4	188,9	177,9	172,4	155,2	173,9	210,2	200,4
NT	10,7	10,6	10,9	10,4	10,1	11,0	10,0	9,7	9,5	9,3	9,7	10,6	10,6
AM	74,2	79,5	78,9	68,2	65,3	81,2	69,1	58,3	55,3	47,4	57,0	82,3	73,6
NM	6,0	5,8	6,0	5,7	5,5	6,3	5,7	5,2	5,2	5,0	5,3	5,9	6,0
AH	599,9	625,4	604,4	555,7	542,7	634,9	552,6	514,2	483,9	418,1	479,6	598,9	610,2
LP	39,3	41,8	40,1	38,6	38,3	40,6	39,1	38,4	37,2	34,6	36,7	41,9	42,2
RP	15,4	17,3	16,6	14,1	13,7	19,8	15,6	13,5	14,0	14,6	10,9	17,7	12,9
LM	15,2	16,0	16,8	14,1	13,2	15,1	15,2	14,6	14,3	14,1	14,9	15,4	13,9
DI	48,1	48,3	47,9	48,1	49,8	49,0	48,7	45,9	44,0	41,4	44,1	49,3	48,8
DM	45,2	45,9	45,5	45,1	47,0	45,8	45,8	43,1	40,6	38,3	39,8	46,2	46,6
CM	10,0	9,0	8,0	11,0	13,0	11,0	10,0	9,0	9,0	7,0	8,0	10,0	13,0
NF	11,8	11,9	13,0	12,1	12,4	12,7	12,1	10,9	10,0	9,1	9,8	13,2	12,4
GF	28,5	29,3	31,6	26,5	24,1	26,2	27,3	27,5	28,1	30,3	28,8	27,2	27,6
PZ	27,3	28,4	27,2	26,9	30,0	33,6	28,9	26,1	24,7	21,0	24,1	29,0	26,6
FF	69,3	71,8	72,7	68,7	74,3	68,8	67,0	67,0	66,9	66,5	66,9	71,1	67,4
UT	612,1	645,7	655,8	606,8	606,7	674,7	607,8	585,0	585,1	580,6	584,0	635,6	590,2
TMI	9,6	8,2	6,5	9,3	7,4	8,2	7,8	7,6	7,5	7,7	9,4	6,4	8,2
TMD	13,7	12,3	10,7	13,5	11,6	11,9	12,0	11,8	11,7	12,5	13,4	11,1	12,1
TMX	18,0	16,3	15,9	17,9	15,6	15,8	16,6	16,0	15,7	17,4	17,5	16,0	16,0
PLU	1650,7	1270,3	1223,4	1790,9	1483,3	1414,5	1514,5	1423,8	1365,1	1515,4	2077,0	1081,0	1185,2
ALT	197,0	201,0	183,0	185,0	290,6	97,2	219,1	273,3	303,3	260,0	170,0	370,0	60,0
EVP	627,5	575,2	524,6	620,9	552,8	565,2	569,2	562,0	556,6	582,5	614,4	535,2	568,7
MOG	4,9	6,2	4,2	6,3	5,5	4,7	3,7	5,2	6,5	3,3	7,3	7,7	3,1
PHA	5,9	5,5	6,4	5,0	5,4	5,6	6,8	6,4	5,3	7,0	4,6	6,7	6,2
PHC	5,0	4,6	5,5	4,2	4,6	4,8	5,8	5,5	4,4	5,9	3,9	5,7	5,6
ARC	20,4	16,7	16,1	12,6	16,6	11,4	8,9	17,0	15,5	10,3	10,1	18,4	38,7
ARN	50,5	59,2	54,0	65,6	56,9	68,7	69,6	50,3	58,4	63,5	73,7	36,4	21,2
LIM	30,0	24,0	34,6	22,0	27,2	20,2	21,5	34,6	26,3	26,3	16,6	36,5	40,0
CII	24,0	27,7	20,2	17,6	21,4	11,4	13,6	24,9	17,7	15,4	27,8	38,1	33,6
CIC	8,9	6,6	10,5	3,1	7,6	4,6	8,0	12,9	5,9	9,8	2,5	19,3	12,9
CIM	1,2	0,6	1,5	0,3	1,2	0,5	0,6	1,7	0,9	0,5	0,2	2,3	1,4
CIK	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	1,1
CIN	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	1,5
GSB	49,6	31,5	63,2	29,8	45,1	47,0	67,7	59,6	38,9	74,2	23,5	58,7	50,5

Cuadro 41. Medias de los caracteres morfológicos y parámetros ambientales para los 13 grupos resultantes de la clasificación taxonómica.

5.7. Estudio de la variación morfológica

5.7.1. Clasificación agroclimática

Una vez realizado el análisis de grupos con los caracteres morfológicos y parámetros ambientales, se ha efectuado un estudio de la variación morfológica existente, agrupando a las poblaciones mediante el sistema de clasificación de Papadakis (1960). Básicamente, este sistema caracteriza a cada lugar a través de sus condiciones térmicas de invierno y verano y los períodos de heladas y de sequía, con lo que elabora un espectro de cultivo de un área determinada con relativa sencillez. Este autor considera que las características fundamentales de un clima son dos: el régimen térmico y el régimen de humedad. La combinación de ambos regímenes permite establecer el gran tipo climático o ecoclima al que pertenece. León (1989) aplica este sistema de clasificación a la provincia de Guipúzcoa, a partir de las estaciones de la red termopluviométrica provincial.

El Cuadro 42 (tabla 5-28) presenta la agrupación de las 100 poblaciones atendiendo al tipo climático al que pertenecen.

Tipo climático	N de poblaciones
Continental templado cálido	41
Marítimo templado cálido	5
Marítimo fresco	14
Templado cálido	40

Cuadro 42. Origen climático de las poblaciones.

Las 41 poblaciones pertenecientes al primer tipo climático se localizan, fundamentalmente en la mitad Norte de la provincia. Las poblaciones con clima Marítimo templado cálido se distribuyen en la zona costera y prelitoral. El tercer tipo climático se compone de poblaciones situadas en la zona Suroriental de la provincia. Por último, el clima Templado cálido afecta, principalmente a las poblaciones de la mitad Sur de Guipúzcoa.

A partir de esta clasificación, se ha realizado un estudio de la influencia del tipo de clima en la variabilidad morfológica de las poblaciones. Para ello se ha procedido a un análisis de varianza, tomando como primer factor el tipo climático descrito en el Cuadro 42 de la tabla 5-28.

El Cuadro 43 (tabla 5-29) muestra las medias para cada tipo climático y la significación estadística del conjunto de los caracteres morfológicos evaluados.

Carácter	Tipo climático				Signif.
	CTC	MTC	TC	MF	
AP	194,2a	188,0ab	187,4ab	179,3b	*
NT	10,5a	10,1ab	10,1ab	9,9b	**
AM	71,5a	67,0ab	63,3ab	59,2b	**
NM	5,8a	5,6ab	5,5ab	5,3b	**
AH	580,1a	552, lab	543,8ab	507,0b	**
LP	39,6	38,3	38,9	38,1	NS
RP	15,7a	12,5b	14,7ab	14,8ab	*
LM	14,9	14,0	14,7	15,0	NS
DI	48,1a	47,2ab	47,4a	45,5b	**

DM	45,1a	45,3a	44,5a	42,2b	**
CM	11,0a	11,0a	10,0ab	9,0b	*
NF	11,9	11,2	11,8	10,8	NS
GF	27,3ab	26,8b	27,1b	29,1a	*
PZ	28,6a	26,0ab	27,4ab	25,2b	**
FF	69,9a	67,2b	68,6ab	68,0ab	*
UT	621,3a	588,6b	605,6ab	598,3ab	*

CTC: Continental templado cálido

MTC: Marítimo templado cálido

TC: Templado cálido

MF: Marítimo fresco

*,** significativo al nivel de probabilidad del 0,05 y 0,01, respectivamente

Separación de medias por Waller-Duncan

Cuadro 43. Medias de los caracteres morfológicos según el tipo climático.

Se observa que existen diferencias significativas entre poblaciones para cada tipo climático en 13 de los 16 caracteres morfológicos, siendo en 7 de ellos al nivel de probabilidad del 0,01. Estos se corresponden con algunos caracteres vegetativos de planta, como área de la hoja, número total de hojas, altura y nudo de inserción de la mazorca principal, y caracteres dimensionales de mazorca como diámetros y proporción de zuro. En el resto de los caracteres la significación fue al nivel del 0,05 de probabilidad o resultaron no significativos.

5.7.2. Clasificación según el tipo de suelo

Se han clasificado los suelos de Guipúzcoa en tres grandes grupos atendiendo a las unidades de suelo predominantes en el lugar en que se desarrollan las poblaciones. Dichas unidades se han establecido en base a la génesis, características, distribución en la superficie terrestre, importancia como recurso productivo y significado como factor del medio ambiente.

De esta forma se han obtenido los siguientes tipos de suelo:

- Cambisol: del latín "cambiare", hace referencia a cambio de color y estructura como resultado de la edafización de las rocas "in situ".
- Luvisol: indica lavado y subsecuente acumulación (iluviación), de arcilla.
- Regosol: son suelos menos evolucionados y más delgados, formados en general por un tipo de roca blanda.

El Cuadro 44 (tabla 5-30) muestra la distribución de las 100 poblaciones en las tres unidades de suelos determinadas. Se puede observar como más del 90% de las mismas pertenecen únicamente a los tipos de suelo Cambisol y Luvisol, encontrándose solamente 4, dentro de la unidad denominada Regosol.

Tipo de suelo	N de poblaciones
Luvisol	49
Cambisol	47
Regosol	4

Cuadro 44. Origen edáfico de las poblaciones.

Seguidamente se procedió a la realización de un análisis de varianza de los caracteres morfológicos para cada tipo de suelo, con el fin de estudiar la existencia de variación morfológica debida a este factor. El Cuadro 45 (tabla 5-31) presenta las medias de cada carácter para las tres unidades de suelo así como la significación estadística. Se observan diferencias significativas entre poblaciones, al nivel del 0,01, para cada tipo de suelo en 8 caracteres morfológicos, correspondientes a vegetativos de planta y ciclo como número de hojas, altura y nudo de mazorca, floración femenina y unidades térmicas hasta floración, y algunos dimensionales de mazorca como diámetro inferior, conicidad y proporción de zuro. El resto de caracteres mostró diferencias al nivel de probabilidad del 0,05 o resultaron no significativos.

Carácter	Tipo de suelo			Signif.
	Luvisol	Cambisol	Regosol	
AP	184,7b	192,8ab	198,5a	*
NT	10,0b	10,4ab	10,7a	**
AM	63,9b	70,8ab	73,1a	**
NM	5,5b	5,8ab	6,0a	**
AH	536,5b	571,4ab	592,2a	*
LP	38,8	39,2	39,7	NS
RP	14,3b	15,7a	16,0a	*
LM	14,7	14,7	15,0	NS
DI	46,7b	48,1a	48,6a	**
DM	43,7b	45,2a	45,4a	*
CM	9,8ab	10,0a	9,1b	**
NF	11,5	11,9	11,6	NS
GF	27,9ab	26,9ab	29,0a	*
PZ	26,2b	28,9a	27,8a	**
FF	68,0b	69,9a	70,0a	**
UT	598,6b	621,2a	621,0a	**

*,** significativo al nivel de probabilidad del 0,05 y 0,01, respectivamente

Separación de medias por Waller-Duncan

Cuadro 45. Medias de los caracteres morfológicos según el tipo de suelo predominante.

5.8. Análisis discriminante

Se ha procedido a la realización de un análisis discriminante a partir de las agrupaciones obtenidas con los caracteres morfológicos, parámetros ambientales y ambos grupos de variables, conjuntamente. A partir de este tipo de análisis se pretende obtener una información adicional sobre los grupos obtenidos en cada una de las 3 clasificaciones, así como de la capacidad clasificatoria de las variables utilizadas en cada agrupación.

5.8.1. Análisis discriminante basado en los caracteres morfológicos

El análisis discriminante se ha efectuado a partir de los 16 caracteres morfológicos utilizados en la clasificación taxonómica y los 7 grupos definitivamente aceptados.

En el Cuadro 46 (tabla 5-32) se presentan las funciones discriminantes canónicas obtenidas, con sus autovalores, proporción de varianza que explican, tanto individual como acumulada, correlaciones canónicas y significación estadística.

Las 3 primeras funciones poseen autovalores superiores a 0,90 y explican el 96% de la variación existente.

Función	Autovalor (%)	Varianza acumulada (%)	Varianza canónica	Correlación	GL	Pr>F
1	8,790	77,07	77,07	0,94	96	.0001
2	1,227	10,76	87,84	0,74	75	.0001
3	0,942	8,26	96,10	0,69	56	.0013
4	0,249	2,18	98,28	0,44	39	.6293
5	0,154	1,36	99,64	0,36	24	.8846
6	0,041	0,36	100,00	0,20	11	.9820

Cuadro 46. Funciones discriminantes obtenidas a partir de la clasificación con los 16 caracteres morfológicos.

Grupo	Predicción de grupo							Total
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
I	32 88,89	0 0,00	1 2,78	0 0,00	2 5,56	1 2,78	0 0,00	36 100,00
II	0 0,00	1 100,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	1 100,00
III	0 0,00	0 0,00	5 100,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	5 100,00
IV	0 0,00	0 0,00	0 0,00	16 94,12	1 5,88	0 0,00	0 0,00	17 100,00
V	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	22 95,65	1 4,35	0 0,00	23 100,00
VI	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	17 100,00	0 0,00	17 100,00
VII	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	1 100,00	1 100,00
Total (%)	32 32,00	1 1,00	6 6,00	16 16,00	25 25,00	19 19,00	1 1,00	100 100,00

Cuadro 47. Resultados clasificatorios basados en los caracteres morfológicos.

El Cuadro 47 (tabla 5-33, arriba) muestra el número y la proporción de poblaciones clasificadas correctamente dentro de cada grupo. Se aprecia que en el grupo I el 88,89% de las poblaciones están bien clasificadas, quedando 4 poblaciones incluídas en grupos diferentes con una probabilidad superior al 50% (Cuadro 48 de la tabla 5-34). El grupo II y el grupo III están formados por una y cinco poblaciones, respectivamente, las cuales están correctamente clasificadas. Dentro del grupo IV existe una población que pudiera pertenecer al grupo V, con un 80% de probabilidad. En este último grupo, el 95,6% de las poblaciones están correctamente clasificadas, sólo hay una población perteneciente al grupo VI con una probabilidad del 63,0%. Respecto a los dos últimos grupos (VI y VII), el 100% de los casos fueron clasificados correctamente.

Grupo	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	32 0,93	0 .	1 0,58	0 .	2 0,56	1 0,53	0 .
II	0 .	1 1,00	0 .	0 .	0 .	0 .	0 .
III	0 .	0 .	0 0,99	0 .	0 .	0 .	0 .
IV	0 .	0 .	0 .	16 0,99	1 0,80	0 .	0 .
V	0 .	0 .	0 .	0 .	22 0,92	1 0,63	0 .
VI	0 .	0 .	0 .	0 .	0 .	17 0,97	0 .
VII	0 .	0 .	0 .	0 .	0 .	0 .	1 1,00

Cuadro 48. Número de poblaciones por grupo y probabilidad media de clasificación a partir de caracteres morfológicos.

La Figura 5-49 representa gráficamente la distribución de los grupos de poblaciones generados de la clasificación taxonómica, basada en los caracteres morfológicos. Los planos se han definido por las dos primeras funciones discriminantes, las cuales explican el 87,84% de la variación total existente (Cuadro 46 de la [tabla 5-32](#)). Se observa que los grupos se distribuyen de forma bastante definida, reflejando el eje horizontal una dispersión de los grupos en cuanto a caracteres dimensionales de planta y de ciclo, principalmente y el eje vertical determinante en cuanto a caracteres de mazorca.

Se ha determinado el cociente entre la suma de cuadrados de cada variable dentro de grupos y el total de la suma de cuadrados, definido como Wilks'Lambda, con el fin de determinar el poder clasificatorio de cada variable incluida en el análisis discriminante (Norusis, 1986). Los resultados obtenidos a partir del procedimiento "stepwise discriminat analysis" (SAS, 1988) se presentan en el Cuadro 49 (tabla 5-35). De los 16 caracteres morfológicos utilizados en la clasificación taxonómica de las poblaciones, los 7 de mayor poder discriminante entre grupos han correspondido a caracteres de planta como área de la

hoja, ramificaciones del pendón y altura de planta. Los caracteres de mazorca, conicidad, número de filas, proporción de zuro y longitud poseen la mayor capacidad clasificatoria.

Carácter	Wilk's Lambda	Significación
AH	0,2278	.00001
CM	0,1232	.00001
RP	0,0781	.00001
NF	0,0545	.00001
AP	0,0410	.00001
PZ	0,0315	.00001
LM	0,0271	.00001

Cuadro 49. Análisis discriminante basado en caracteres morfológicos. Caracteres con mayor poder clasificatorio.

[Figura 5-49](#)

5.8.2. Análisis discriminante basado en los parámetros ambientales

Se ha realizado el análisis discriminante a partir de los 6 grupos de poblaciones obtenidos de la clasificación taxonómica utilizando los 18 parámetros ambientales.

El Cuadro 50 (tabla 5-36) muestra las 5 funciones canónicas discriminantes generadas, con sus autovalores, proporción de varianza que explica cada función y varianza acumulada, correlaciones canónicas y significación estadística. Se observa como las 4 primeras funciones poseen unos autovalores superiores a 3 y en conjunto, explican el 99,05% de la variación total existente.

Función	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)	Correlación canónica	GL	Pr>F
1	36,214	61,92	61,92	0,98	90	.0001
2	12,053	20,61	82,52	0,96	68	.0001
3	6,169	10,55	93,07	0,92	48	.0001
4	3,499	5,98	99,05	0,88	30	.0001
5	0,553	0,95	100,00	0,59	14	.0005

Cuadro 50. Funciones discriminantes obtenidas a partir de la clasificación con parámetros ambientales.

El Cuadro 51 (tabla 5-37) presenta los resultados clasificatorios del análisis discriminante y el Cuadro 52 muestra el número de poblaciones asignadas a cada grupo y la probabilidad de su clasificación dentro del mismo.

De la observación conjunta de ambos Cuadros se deduce que el grupo I contiene 52 poblaciones de las cuales todas ellas están bien clasificadas. En el grupo II un 10% de las poblaciones se dispersan hacia el grupo III. El grupo III posee el total de sus poblaciones bien

clasificadas.

Grupo	Predicción de grupo						Total
	I	II	III	IV	V	VI	
I	52 100,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	52 100,00
II	0 0,00	18 90,00	2 10,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	20 100,00
III	0 0,00	0 0,00	15 100,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	15 100,00
IV	1 12,50	0 0,00	0 0,00	7 87,50	0 0,00	0 0,00	8 100,00
V	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	4 100,00	0 0,00	4 100,00
VI	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	1 100,00	1 100,00
Total	53	18	17	7	4	1	100
(%)	53,00	18,00	17,00	7,00	4,00	1,00	100,00

Cuadro 51. Resultados clasificatorios basados en los parámetros ambientales.

En el grupo IV se observa como una población aparece dentro del grupo I con una probabilidad del 96,0%. Finalmente, tanto el grupo V como el grupo VI poseen todas sus poblaciones correctamente clasificadas.

La [Figura 5-50](#) muestra la representación gráfica en los planos definidos por las 2 primeras funciones discriminantes canónicas, las cuales explican el 82,52% de la variación total existente. Se observa como los grupos V y VI son los que más se separan del resto, fundamentalmente por sus características edáficas. Mediante esta representación también se observan poblaciones clasificadas dentro de un grupo y que pueden pertenecer a otro diferente, como es el caso de una población del grupo IV al I o algunas poblaciones del grupo II que pueden pertenecer al III.

Grupo	I	II	III	IV	V	VI
I	52 0,98	0 .	0 .	0 .	0 .	0 .
II	0 .	18 0,99	2 0,95	0 .	0 .	0 .
III	0 .	0 .	15 0,98	0 .	0 .	0 .
IV	1 0,96	0 .	0 .	7 1,00	0 .	0 .
V	0 .	0 .	0 .	0 .	4 1,00	0 .
VI	0 .	0 .	0 .	0 .	0 .	1 1,00

Cuadro 52. Número de poblaciones por grupo y probabilidad media de clasificación a partir de parámetros ambientales.

Al igual que para los caracteres morfológicos, se ha procedido a identificar los parámetros ambientales más determinantes en la clasificación taxonómica de las poblaciones, mediante el cálculo del cociente de las sumas de cuadrados para cada parámetro, definido como coeficiente Wilks'Lambda.

El Cuadro 53 (tabla 5-39) muestra los parámetros ambientales de mayor poder clasificatorio. En él se aprecia como de los 18 parámetros utilizados, 14 de ellos son los que más han influido en la agrupación de las poblaciones. Entre éstos destacan los 11 parámetros edáficos frente a los 3 climáticos, siendo las concentraciones de iones en el suelo y a la textura y materia orgánica del mismo, los de mayor poder de clasificación.

[Figura 5-50](#)

Carácter	Wilk's Lambda	Significación
CIN	0,115420	.00001
CIC	0,022946	.00001
CIK	0,005107	.00001
MOG	0,001629	.00001
LIM	0,000783	.00001
ARN	0,000461	.00001
EVP	0,000291	.00001
ARC	0,000189	.00001
CII	0,000130	.00001
CIM	0,000109	.00001
PLU	0,000095	.00001
TMD	0,000083	.00001
GSB	0,000074	.00001
PHH	0,000064	.00001

Cuadro 53. Análisis discriminante basado en parámetros

ambientales. Parámetros con mayor poder clasificatorio.

5.8.3. Análisis discriminante basado en caracteres morfológicos y parámetros ambientales

Se ha efectuado un análisis discriminante a partir de los 13 grupos obtenidos de la clasificación taxonómica, utilizando los caracteres morfológicos y parámetros ambientales, conjuntamente.

El Cuadro 54 (tabla 5-40) presenta los autovalores de las funciones canónicas generadas, así como la varianza, tanto individual como acumulada, correlaciones canónicas y significación estadística. Las 7 primeras funciones poseen autovalores mayores que 1 y explican un 93,06% de la variación total existente.

En el Cuadro 55 (tabla 5-41) se muestran los resultados clasificatorios del análisis discriminante. A su vez, el Cuadro 56 (tabla 5-42) presenta las poblaciones incluidas en cada grupo con la probabilidad media de pertenencia al mismo.

Función	Autovalor	Varianza acumulada (%)	Varianza canónica (%)	Correlación	GL	Pr>F
1	12,013	31,75	31,75	0,96	408	.0001
2	7,806	20,63	52,39	0,94	363	.0001
3	5,344	14,13	66,52	0,91	320	.0001
4	3,476	9,19	75,71	0,88	279	.0001
5	2,912	7,70	83,40	0,86	240	.0001
6	1,978	5,23	88,63	0,81	203	.0001
7	1,675	4,43	93,06	0,79	168	.0025
8	0,983	2,60	95,66	0,70	135	.1615
9	0,674	1,78	97,45	0,63	104	.5855
10	0,493	1,30	98,75	0,57	75	.8620
11	0,249	0,66	99,41	0,44	48	.9650
12	0,223	0,59	100,00	0,44	23	.8897

Cuadro 54. Funciones discriminantes obtenidas a partir de la clasificación con caracteres morfológicos y parámetros ambientales.

De la observación conjunta de los Cuadros 55 y 56 (tablas 5-41 y 5-42) se puede resaltar que todos los grupos de poblaciones están correctamente clasificados, a excepción del grupo IV en el que existe una población que se puede incluir en el grupo I, con una probabilidad media del 78,0%.

La Figura 5-51 muestra la representación gráfica, en los planos definidos por las dos primeras funciones discriminantes canónicas, de los 13 grupos obtenidos en la clasificación con el conjunto de las variables. Se puede apreciar una baja dispersión en la totalidad de los grupos, debido a que estas dos primeras funciones canónicas explican, en conjunto, aproximadamente la mitad (52,39%) de la variación contenida en las poblaciones, quedando ésta totalmente representada en las 7 primeras funciones, las cuales poseen unos autovalores mayores que la unidad.

Grupo	Predicción de grupo						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	12	0	0	0	0	0	0
	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
II	0	5	0	0	0	0	0
	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
III	0	0	5	0	0	0	0
	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IV	1	0	0	13	0	0	0
	7,14	0,00	0,00	92,86	0,00	0,00	0,00
V	0	0	0	0	8	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
VI	0	0	0	0	0	8	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
VII	0	0	0	0	0	0	8
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
VIII	0	0	0	0	0	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IX	0	0	0	0	0	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X	0	0	0	0	0	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XI	0	0	0	0	0	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XII	0	0	0	0	0	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XIII	0	0	0	0	0	0	0
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	13	5	5	13	8	8	8
	13,00	5,00	5,00	13,00	8,00	8,00	8,00
Grupo	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	Total
I	0	0	0	0	0	0	12
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
II	0	0	0	0	0	0	5
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
III	0	0	0	0	0	0	5
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
IV	0	0	0	0	0	0	14
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
V	0	0	0	0	0	0	8
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
VI	0	0	0	0	0	0	8
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
VII	0	0	0	0	0	0	8
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
VIII	26	0	0	0	0	0	26
	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
IX	0	8	0	0	0	0	8
	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
X	0	0	1	0	0	0	1
	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00

XI	0 0,00	0 0,00	0 0,00	1 100,00	0 0,00	0 0,00	1 100,00
XII	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	3 100,00	0 0,00	3 100,00
XIII	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	0 0,00	1 100,00	1 100,00
Total (%)	26 26,00	8 8,00	1 1,00	1 1,00	3 3,00	1 1,00	100 100,00

Cuadro 55. Resultados clasificatorios basados en los caracteres morfológicos y parámetros ambientales.

Grupo	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	12 0,96	0	0	0	0	0	0
II	0	5 1,00	0	0	0	0	0
III	0	0	5 0,96	0	0	0	0
IV	1 0,78	0	0	13 0,96	0	0	0
V	0	0	0	0	8 0,99	0	0
VI	0	0	0	0	0	8 0,99	0
VII	0	0	0	0	0	0	8 0,99
VIII	0	0	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0	0	0
XI	0	0	0	0	0	0	0
XII	0	0	0	0	0	0	0
XIII	0	0	0	0	0	0	0
Grupo	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
I	0	0	0	0	0	0	
II	0	0	0	0	0	0	
III	0	0	0	0	0	0	
IV	0	0	0	0	0	0	

V	0	0	0	0	0	0
VI	0	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0	0
VIII	26 0,99	0	0	0	0	0
IX	0	8 0,99	0	0	0	0
X	0	0	1	0	0	0
XI	0	0	0	1	0	0
XII	0	0	0	0	3 1,00	0
XIII	0	0	0	0	0	1 1,00

Cuadro 56. Número de poblaciones y probabilidad media de clasificación basada en caracteres morfológicos y parámetros ambientales.

[Figura 5-51](#)

El Cuadro 57 (tabla 5-43) muestra el coeficiente Wilks' Lambda de los 17 principales caracteres morfológicos y parámetros ambientales, obtenidos a partir de la agrupación conjunta de las poblaciones.

Se puede observar que al igual que cuando se realizan los análisis discriminantes con las variables por separado, los caracteres morfológicos con mayor poder clasificatorio corresponden a algunos dimensionales de planta como área de la hoja y ramificaciones del pendón y a caracteres de mazorca como longitud, número de filas de granos y número de granos por fila.

Variable	Wilk's Lambda	Significación
GSB	0,257351	.00001
CIC	0,084500	.00001
AH	0,032519	.00001
ARC	0,012343	.00001
NF	0,005433	.00001
TMX	0,002564	.00001
CM	0,001212	.00001
MOG	0,000747	.00001
CII	0,000464	.00001
CIM	0,000306	.00001
RP	0,000216	.00001
ARN	0,000160	.00001
CIN	0,000118	.00001
PHH	0,000084	.00001
LM	0,000052	.00001
TMD	0,000039	.00001

EVP	0,000030	.00001
-----	----------	--------

Cuadro 57. Análisis discriminante basado en caracteres morfológicos y parámetros ambientales. Variables con mayor poder clasificatorio.

En cuanto a los parámetros ambientales destacan, como en el análisis individual, los parámetros de tipo edáfico, como concentración de iones Calcio, Magnesio y Sodio, grado de saturación en bases, textura del suelo y aparecen con menor poder clasificatorio los parámetros de tipo climático, destacando entre éstos la temperatura y evapotranspiración potencial.



VI. Discusión

6.1. Identificación preliminar de las poblaciones

La recolección y clasificación de los materiales evaluados en el presente estudio tiene gran importancia debido a la rápida erosión genética que están sufriendo las poblaciones locales de la mayoría de los cultivos, al ser sustituidas progresivamente por nuevas variedades híbridas, con la subsiguiente desaparición de los antiguos ecotipos cultivados. Tanto la Comisión Nacional de Recursos Fitogenéticos como los organismos internacionales encargados de dichos recursos (I.B.P.G.R. y F.A.O., principalmente), han reiterado la importancia de proseguir con esta labor de recolección, evaluación y conservación.

La identificación preliminar ha permitido la reducción del número inicial de entradas, al eliminar duplicidades fenotípicamente distinguibles, e iniciar el proceso de multiplicación y conservación a largo plazo con un conjunto de 100 poblaciones. Por otra parte, se considera que estas poblaciones representan suficientemente al maíz que actualmente se cultiva en la provincia de Guipúzcoa.

El sistema de multiplicación empleado, con al menos 60 cruzamientos por población, se puede considerar que cumple los requisitos en cuanto a incremento mínimo de la consanguinidad y que es una buena representación del potencial genético existente dentro de cada población (Falconer, 1981).

A partir de la catalogación preliminar es necesario para optimizar su empleo, la realización de una completa evaluación del mismo, así como una agrupación si es posible, en un número menor de entradas, de tal forma, que facilite la utilización de su potencial genético en posteriores programas de mejora de maíz.

6.2. Evaluación de las poblaciones

6.2.1. Diseño experimental

El experimento se planteó en cuatro ambientes (dos años y dos localidades) con el fin de tener un suficiente control del componente ambiental de la variación. Las localidades seleccionadas, Fuenterrabía (Guipúzcoa) y Montañana (Zaragoza) se pueden considerar como dos ambientes totalmente diferentes, a la vista de su localización geográfica (Cuadro 8 de la [tabla 4-1](#)) y de sus características climáticas ([Figura 4-1](#)).

La elección de un diseño experimental de bloques completos al azar se ha basado, fundamentalmente, en ser el mayormente empleado en experimentos con objetivos semejantes a los del presente estudio y, en estar ampliamente aceptado para la estimación de los componentes de la varianza (Kearsy, 1965; Lin y Binns, 1986; Ron y Ordás, 1987).

La densidad de plantas y el tamaño, tanto de parcela como de número de plantas evaluadas, se comprueba que poseen también una buena eficacia (Marquez-Sánchez y Hallauer, 1970; Chaves y Miranda-Filho, 1992).

6.2.2. Descriptiva de caracteres morfológicos y parámetros ambientales

El análisis de la variabilidad de los caracteres morfológicos permite dar una visión más objetiva de cómo se distribuye cada carácter en el conjunto de las 100 poblaciones.

En general, los caracteres vegetativos como altura de planta, altura de mazorca, nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja, número total de hojas, longitud y número de ramificaciones del pendón, poseen una gran variabilidad si observamos los rangos y coeficientes de variación de cada uno de ellos. Los caracteres de ciclo como días a floración femenina, unidades térmicas a floración y protandria siguen, en principio, también esta tendencia. Es de destacar la alta variabilidad encontrada para caracteres asociados al pedúnculo de la mazorca como longitud y número de nudos, así como la baja variabilidad existente en el índice de ahijamiento.

La longitud de mazorca, diámetros, conicidad, número de filas, número de granos por fila y proporción de zuro se pueden reunir en un grupo de variabilidad media-alta, ya que presentan unos rangos y coeficientes de variación algo más moderados que los caracteres de planta. El color de zuro muestra una baja variabilidad para el conjunto de las poblaciones.

Los caracteres de grano como color, peso de 1000 semillas y peso hectolítrico poseen una variabilidad de tipo medio. La humedad de grano se ha excluido de este grupo, al ser un carácter en el que se han observado grandes diferencias de magnitud entre los ensayos realizados en una u otra localidad y en los diferentes años. Es una variable que puede presentar unos valores de baja fiabilidad, al verse afectada por las condiciones especiales de recolección, tan diferentes entre ambas localidades de ensayo. El tipo de grano mostró una variabilidad baja al pertenecer la mayor parte de las poblaciones al tipo de grano liso.

En cuanto a los parámetros ambientales, encontramos a los climáticos como temperatura mínima, media, máxima y evapotranspiración potencial anual con una variabilidad de tipo medio. La evapotranspiración potencial anual se ha calculado -como se describe en el capítulo de Métodos- a partir de la evaporación, debido a que ambos parámetros dependen de los mismos factores.

Estos son, la energía disponible para la vaporización del agua, el déficit de saturación de la atmósfera, la temperatura del aire, la velocidad y turbulencia del viento y el estado de la superficie de evaporación. Influyen, además, otras variables relacionadas con la movilización del agua por la vegetación como la radiación solar y la existencia de períodos críticos de sensibilidad de las plantas por el agua (M.O.P.U., 1984). Por otra parte, se ha determinado la evapotranspiración "potencial" ya que medirla en términos reales resulta muy complicado, debido al gran número de factores al que está sometida. De esta forma, una estimación suficientemente representativa de este parámetro a partir de datos climatológicos, es un problema aún no resuelto plenamente.

La pluviometría anual es muy elevada para todos lugares muestreados, de acuerdo con las características climatológicas propias del Norte de España. El índice termopluviométrico no será de gran ayuda en la clasificación de las poblaciones ya que todas ellas pertenecen - como se explica en el apartado 5.2.2.1.- a la misma denominación de zona húmeda. La altitud, por el contrario, si presenta una gran variabilidad, con poblaciones situadas desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 500 m.

Dentro de los parámetros edáficos, el contenido en materia orgánica del suelo muestra una gran variabilidad. Su determinación se ha realizado en el horizonte superior, ya que esta variable decrece con la profundidad. Atendiendo a la clasificación de suelos descrita por Nicolás (1968) a partir de su contenido en materia orgánica, encontramos en este estudio poblaciones que se desarrollan en suelos moderadamente húmicos (del 2,1% al 4%) y en suelos fuertemente húmicos (del 4,1% al 10%). Según la clasificación del Soil Survey Staff (1951) existen tres tipos de suelo:

- suelos algo deficientes en materia orgánica (del 2,5% al 5%)
- suelos con contenido normal en materia orgánica (del 4% al 6%)
- suelos con contenido apreciable en materia orgánica (de 5% al 10%).

Se puede apreciar que más del 60% de las poblaciones se desarrollan en suelos con contenido normal de este parámetro.

La textura del suelo se expresa por la distribución del tamaño de las partículas sólidas del mismo. De esta forma, según la formación que predomine en el suelo, éste será arenoso (partículas entre 0,02mm y 2mm), limoso (entre 0,002mm y 0.02mm) o arcilloso (partículas menores a 0,002mm). Si presentan una proporción equilibrada de las tres fracciones se denominan francos, habiendo varios tipos de suelos intermedios (Primo y Carrasco, 1981). Se observa que más del 80% de las poblaciones se desarrollan en suelos con contenidos de arena medio-alto, siendo las fracciones de limo y de arcilla inferiores, aunque existe variabilidad para los tres parámetros.

La medida del pH indica el grado de acidez de la solución del suelo, pero no la acidez total del mismo, ya que no se cuantifican los iones hidrógeno que se encuentran adsorbidos en la superficie de las micelas coloidales. De cualquier forma, la medida de los hidrogeniones en solución es un valor indicativo de la acidez total del suelo, dada la estrecha relación existente entre las fases líquida y sólida del mismo (Hesse, 1971). No obstante, se ha calculado también el valor del pH medido en cloruro cálcico, ya que el intercambio catiónico entre el K^+ del dispersante y el H^+ de las micelas del suelo, hace que todos los hidrogeniones se encuentren en la solución, siendo por esto, una medida más precisa del valor de este parámetro. Según la clasificación del U.S.D.A. de EE.UU (Soil Survey Staff, 1951) más del 75% de las poblaciones se desarrollan en suelos "muy fuertemente ácidos", habiendo un 10% en suelos "extremadamente ácidos".

El contenido de iones Calcio en el suelo, como uno de los principales elementos nutritivos de la plantas, presenta un amplio rango, encontrándose la mayor parte de las poblaciones en suelos con concentraciones medias (Nicolás, 1968) de este catión.

Las concentraciones de otros macronutrientes como el Magnesio, Sodio y Potasio presentan unos valores de tipo medio como corresponde a estos suelos de pH ácido (Briggs, 1977).

La capacidad de intercambio iónico es un parámetro que depende de la composición y textura del suelo. Muestra un amplio rango de variación, aunque una gran parte de las poblaciones se desarrollan en suelos con capacidades de cambio relativamente bajas.

El grado de saturación en bases se manifiesta con gran variabilidad, alcanzando un valor máximo no superior al 80% de saturación. Según Primo y Carrasco (1981) los porcentajes inferiores a este valor se corresponden con suelos de pH ligeramente ácido. Esto concuerda con los valores de pH obtenidos en el presente trabajo.

6.2.3. Análisis de varianza

Los análisis de varianza individuales de los caracteres morfológicos ponen de manifiesto diferencias altamente significativas entre poblaciones (nivel del 0,01 de probabilidad), exceptuando para el color de zuro, protandria, índice de ahijamiento y humedad del grano a recolección. En estos caracteres, el nivel de significación varía según el ensayo, o no se encuentran diferencias estadísticamente significativas.

Este primer paso del análisis de resultados confirma el supuesto inicial de que existen diferencias entre el conjunto de las poblaciones de maíz de Guipúzcoa y, que aquellas constituirán la base para su clasificación y agrupación.

Del estudio del análisis de varianza combinado puede destacarse que las diferencias entre poblaciones resultan altamente significativas (nivel 0,01 de probabilidad) para todos los caracteres, exceptuando la protandria, el índice de ahijamiento, la humedad de grano y el color de zuro. Respecto a las interacciones, se presentan en un gran número de caracteres, debido, posiblemente, a la gran disimilitud, no sólo geográfica sino también climática, existente entre las localidades dónde se realizaron los ensayos de evaluación.

Interacción población*año

Al nivel del 0,01 de probabilidad la presentan los caracteres altura de inserción de la mazorca, número de filas de la mazorca y floración femenina y al nivel del 0,05, el carácter protandria.

Interacción población*localidad

Al nivel de significación del 0,01 se presenta en los caracteres altura de inserción de la mazorca, número de hojas, número de ramificaciones del pendón, floración femenina y unidades térmicas hasta floración y al nivel del 0,05, en el tipo de grano, color de grano, humedad de grano y peso hectolítrico.

Interacción población*año*localidad

Al nivel de significación del 0,01 se presenta en los caracteres nudos del pedúnculo de la mazorca y color de grano y al nivel del 0,05, en peso de grano, altura de planta, altura de inserción de la mazorca, área de la hoja, diámetro superior de la mazorca, conicidad de mazorca y tipo de grano.

6.2.4. Heredabilidad y constancia de los caracteres morfológicos

A partir de las estimaciones de los componentes de la varianza se ha procedido al

cálculo de la heredabilidad y la constancia, así como de sus errores, para el conjunto de caracteres morfológicos que en el análisis de varianza combinado presentaron diferencias significativas entre poblaciones.

Según se observa en los Cuadros 24 en la [tabla 5-10](#) y 25 en la [tabla 5-11](#), los valores más elevados de heredabilidad y constancia han correspondido a determinados caracteres de mazorca, junto a caracteres de ciclo y a algunos vegetativos como altura de planta y altura de inserción de la mazorca.

Los errores estándar, calculados mediante el método simplificado de Dickerson (1969), pueden considerarse como aceptables y permiten un margen de confianza en los valores estimados de heredabilidad y constancia.

Ron y Ordás (1987) obtienen valores altos de heredabilidad ($h^2 > 0,80$) para caracteres de ciclo y vegetativos de planta, como altura y número de hojas. Ron (1987), además, obtiene valores de esa magnitud en caracteres de mazorca como longitud, diámetro y número de filas. Alvarez (1988) presenta, igualmente, valores altos de este parámetro ($h^2 > 0,80$) para caracteres de mazorca.

Los resultados anteriores concuerdan con los obtenidos en este trabajo, en el que los valores más elevados de heredabilidad los muestran caracteres de mazorca como porcentaje de zuro, número de filas, número de granos por fila, longitud y diámetros de mazorca. De igual forma, presentan heredabilidades altas los caracteres de ciclo como floración femenina y unidades térmicas hasta floración y vegetativos, como altura de planta, altura de mazorca, nudo de inserción, área foliar y número de hojas.

Pego y Hallauer (1984) obtienen heredabilidades superiores a 0,90 para caracteres de mazorca como longitud, diámetro y número de filas. El-Hosary (1989) presenta el valor más alto de este parámetro para el número de filas de la mazorca, al igual que Dawod y Mohamed (1989). Ferret et al. (1991) muestran valores superiores a 0,70 para caracteres de ciclo como floración femenina y número total de hojas. Hallauer y Miranda (1988) describen los valores más elevados para altura de planta y mazorca, floración femenina y número de filas de la mazorca, aunque sus valores son, en conjunto, algo más bajos ya que calculan la heredabilidad en sentido estricto. Resultados similares para la altura de planta y mazorca los presentan Reis et al. (1982). Otros investigadores como Harville y Josephson (1979), Bhalla et al. (1986) y Jobet y Barriga (1988) obtienen, de igual forma, los valores más altos de heredabilidad para estos dos caracteres. En cuanto a la conicidad de la mazorca, Ordás y Ron (1988) describen un valor más elevado ($h^2 = 0,70$) que el obtenido en el presente estudio ($h^2 = 0,50$).

Respecto a caracteres reproductivos como longitud y número de ramificaciones del pendón se han obtenido heredabilidades de tipo medio. Estos resultados coinciden con los que presentan Geraldi et al. (1985) y Llauradó (1990).

Los caracteres relacionados con la producción como peso de grano y peso hectolítrico presentan heredabilidades bajas en comparación al resto de los caracteres evaluados. Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores como Böhm y Schuster (1985) y Alvarez y Lasa (1987), aunque para este tipo de caracteres existen más divergencias entre

unos autores y otros.

En otras especies como trigo o sorgo se citan, en general, heredabilidades elevadas en caracteres de ciclo y algunos vegetativos como altura de planta, así como para diversos componentes del rendimiento, con valores superiores a 0,70 (Lothrop et al., 1985; Pauw y McCaig, 1991).

Con todo ello, podemos afirmar que los valores de heredabilidad que aquí se presentan están dentro de la normalidad, en vista de la tendencia general observada. Los caracteres con valores altos para este parámetro demuestran tener una escasa influencia ambiental, lo cual les hace válidos para ser utilizados en la clasificación taxonómica de las poblaciones.

En cuanto a la constancia, entendida como la razón de la varianza genética frente a la ambiental, expresa los valores más altos en los caracteres que mostraban mayor heredabilidad. Se observa, con esto, que existe una concordancia entre ambos parámetros.

Goodman y Paterniani (1969) calculan el cociente entre la varianza genética y el resto de componentes, considerando éste como un índice que informa sobre la repetibilidad de un carácter.

Los resultados obtenidos por dichos autores concuerdan con los del presente trabajo, al obtener la constancia más elevada para el carácter número de filas de la mazorca. No obstante, existen diferencias en otros caracteres como longitud de mazorca y altura de planta, en los que los valores aquí obtenidos son superiores a los calculados por dichos autores. Estas divergencias pueden interpretarse, debido al tipo de material biológico en estudio, muy diverso en su caso (55 razas de América del Sur) mientras que en el presente trabajo el material es mucho más homogéneo.

Llauradó (1990) obtiene valores de constancia similares a los de este estudio, para caracteres como conicidad de mazorca, longitud y número de ramificaciones del pendón, altura de planta, altura de mazorca y floración femenina. Ron (1987) y Alvarez (1988) presentan, en general, unos valores de constancia más elevados para el conjunto de los caracteres, lo cual puede ser atribuible en el caso de este trabajo, a la existencia de unas mayores interacciones, debido a la existencia de un mayor componente ambiental de la variación.

Tanto la heredabilidad como la constancia y junto con la descriptiva presentada para los caracteres morfológicos y parámetros ambientales, proporcionan en conjunto, una valiosa información genética y ambiental de la variación observada en las 100 poblaciones. A partir de estos resultados, se puede afrontar un estudio de clasificación taxonómica de las mismas.

6.3. Elección de las variables aptas para la clasificación taxonómica de las poblaciones

En la elección de los caracteres morfológicos que han servido de base para la clasificación taxonómica de las 100 poblaciones, se ha seguido el criterio de elegir los caracteres que presenten valores de heredabilidad mayores a 0,5 y de constancia superiores a 1. De esta forma, se han excluido los caracteres como longitud del pedúnculo de la mazorca

($h^2 = 0,255$ y $C=0,160$), número total de nudos del pedúnculo ($h^2 = 0,150$ y $C=0,145$), diámetro superior de la mazorca ($h^2 = 0,536$ y $C=0,820$), peso de grano ($h^2 = 0,448$ y $C=0,697$), peso hectolítrico ($h^2 = 0,246$ y $C=0,280$), tipo de grano ($h^2 = 0,450$ y $C=1,000$) y color de grano ($h^2 = 0,465$ y $C=0,410$). Este último carácter posee, además, el conocido efecto de "xenia" lo cual invalida su utilización. La eliminación de los caracteres morfológicos anteriormente descritos se ha basado en la consideración de que los valores de heredabilidad y constancia de cada uno de ellos, resultan en conjunto, excesivamente bajos, lo cual supone una excesiva influencia ambiental, por lo que los hace inadecuados para la clasificación taxonómica. Además de estos caracteres, se han excluido los que no presentaron diferencias significativas entre poblaciones en el análisis de varianza combinado, como color de zuro, protandria, índice de ahijamiento y humedad de grano, de los cuales, obviamente, no se calcularon las estimaciones de los parámetros genéticos.

Goodman y Bird (1977) y Martínez et al. (1983) consideran caracteres válidos para la clasificación los que presentan unos valores del cociente de la varianza genética y ambiental iguales o superiores a 3. Ron y Ordás (1987) estiman como valores altos de constancia los superiores a 1. Por otra parte, Smith et al. (1981) y Gallais et al. (1983) consideran una heredabilidad alta para un determinado carácter si presenta valores de 0,5 o superiores. Al haberse realizado en este trabajo estimaciones de heredabilidad, además de las de constancia, se ha adoptado un criterio conjunto, con el resultado de la exclusión de los caracteres ya citados.

De los parámetros ambientales, únicamente se ha eliminado el índice termopluviométrico por encontrarse todas las poblaciones dentro de una misma designación de zona húmeda (Revenga, 1941). Para el resto de parámetros se ha estimado, "a priori" que presentan variabilidad suficiente, en base al estudio de su descriptiva, para considerarlos válidos en la clasificación taxonómica de las poblaciones.

6.4. Relación entre caracteres morfológicos y parámetros ambientales

El cálculo del grado de correlación entre los caracteres morfológicos, no sólo tiene importancia como medida del grado de asociación y de conocimiento de la herencia cuantitativa de los mismos, sino desde un punto de vista práctico, ya que permite estimar respuestas correlacionadas bajo selección (Robinson et al., 1951). Se ha utilizado el coeficiente de correlación simple de Pearson por ser el más ampliamente empleado en estudios similares, teniendo en cuenta que el significado biológico de la relación puede a veces distorsionarse al contribuir efectos de otros caracteres.

Si observamos el Cuadro 26 en la [tabla 5-12](#) se aprecia que las correlaciones más altas, en conjunto, se encuentran entre los caracteres vegetativos de planta y los de ciclo. Existe una alta correlación entre la altura de planta y altura de mazorca ($r=0,92$), valor que está en línea con los obtenidos por otros autores como Regazzi et al. (1980) ($r=0,83$), Hallauer y Miranda (1988) ($r=0,81$) y Reis et al. (1982) ($r=0,88$). La altura de planta presenta, asimismo, fuertes correlaciones con el número de hojas ($r=0,80$), -coeficiente superior al que obtiene Sviridov (1978) ($r=0,48$) y Schmid et al. (1976) ($r=0,20$)- nudo de inserción de la mazorca ($r=0,76$), área de la hoja ($r=0,86$) y longitud del pendón ($r=0,75$).

Otros caracteres vegetativos altamente correlacionados son el número de hojas con la

altura de mazorca ($r=0,82$), nudo de inserción de la mazorca ($r=0,88$) y área de la hoja ($r=0,84$); la altura de mazorca con el nudo de inserción ($r=0,90$), área de la hoja ($r=0,86$) y longitud del pendón ($r=0,62$). Estos resultados concuerdan, en general, con los obtenidos por otros autores como Casañas et al. (1989) y Alvarez y Lasa (1990a).

Los caracteres de ciclo como floración femenina y unidades térmicas hasta floración presentan una correlación de 0,99, valor que coincide con el calculado por Ordás (1979). Asimismo, se han encontrado correlaciones entre la floración femenina y la protandria ($r=0,71$) superiores a las que presenta Kaan et al. (1982) ($r=0,48$) y del primer carácter con el nudo de inserción de mazorca ($r=0,73$), superficie de hoja ($r=0,73$), ramificaciones del pendón ($r=0,72$), altura de planta ($r=0,65$) y altura de mazorca ($r=0,71$). Estos resultados son algo inferiores a los que muestra Subandi y Compton (1974). El número total de hojas se correlacionó con la floración femenina, obteniendo un coeficiente ($r=0,80$) algo superior al que presenta Ottaviano y Camussi (1981) ($r=0,72$). Diversos autores como Cross y Zuber (1973), Rood y Major (1981) y Pe y Camussi (1982) han encontrado correlaciones positivas entre estos dos caracteres. Las unidades térmicas hasta floración muestra correlación con varios caracteres vegetativos de planta, valores que están en concordancia con los obtenidos por Vincourt (1984). El área de la hoja presenta correlaciones con otros caracteres de la arquitectura de la planta y que pueden estar asociados con la eficiencia en la conversión de energía fotosintética (Moss y Musgrave, 1971), como longitud y número de ramificaciones del pendón, además de con los ya citados como altura de planta y altura de mazorca.

La longitud y ramificaciones del pendón se correlacionaron, a su vez, con la mayoría de los caracteres vegetativos y de ciclo, además de con algún componente del rendimiento como longitud de mazorca. Varios autores (Hunter et al., 1969; Buren et al., 1974; Mock y Schuetz, 1974; Mock, 1979) han puesto en evidencia la influencia de caracteres del pendón con el rendimiento y resistencia al encamado en maíz. Smith et al. (1982) encuentra correlaciones negativas entre el número de ramificaciones del pendón y el rendimiento y de signo positivo entre aquél y el encamado. Resultados similares obtiene Gerdali et al. (1985).

Entre los caracteres de mazorca las correlaciones más altas corresponden a los tres diámetros entre sí y a éstos con el número de filas. Otra correlación elevada es la que presentan la longitud de mazorca con el número de granos por fila ($r=0,78$). La conicidad muestra una correlación negativa ($r=-0,56$) con la longitud de mazorca, resultado similar al obtenido por Ordás y Ron (1988) ($r=-0,59$). Los diámetros de mazorca presentan correlaciones de tipo medio con algunos caracteres vegetativos como altura de planta y de mazorca. Estos resultados son algo inferiores a los obtenidos por Motto (1979). No se han encontrado correlaciones significativas entre el peso de grano con el resto de los caracteres estudiados. No obstante, Rissi y Paterniani (1981), Willman et al. (1987) y Walters et al. (1991) encuentran bajas correlaciones entre caracteres de planta y producción, aunque éstas son más elevadas con determinados componentes del rendimiento.

Entre los parámetros ambientales, los climáticos como temperaturas y evapotranspiración potencial muestran altas correlaciones entre sí, al igual que las señaladas por Nevo et al. (1988). Los valores del pH medidos en agua y cloruro cálcico presentan una fuerte correlación, así como ambos con las concentraciones de Calcio y Magnesio, las cuales se encuentran en mayor proporción en suelos de pH elevado, es decir, más básicos (Briggs, 1977). El grado de saturación en bases, entendido como la parte de capacidad de cambio

catiónico del suelo atribuible a iones metálicos, si es inferior al 80% se corresponde, generalmente, con suelos de pH ácido (Primo y Carrasco, 1981). Esta relación coincide con la alta correlación encontrada entre este parámetro y el pH. Los componentes de la textura del suelo como son la arcilla, arena y limo muestran altas correlaciones negativas entre sí, por definición del tamaño de partículas que los componen.

Las concentraciones de iones presentes en el suelo se relacionan, fundamentalmente, con la textura y materia orgánica (Chapman y Pratt, 1981). De esta forma, encontramos correlaciones negativas entre la mayoría de los cationes con el contenido de arena en el suelo. La capacidad de intercambio iónico, definida como la cantidad de iones que pueden colocarse en las posiciones de intercambio, es importante que sea elevada. Esto supone la posibilidad de retención por el suelo de una mayor cantidad de iones nutritivos, los cuales pueden ser cedidos a la solución salina del mismo, a medida que son consumidos de ésta por la planta (Clarke, 1971). La relación entre la capacidad de intercambio y los principales cationes se muestra en las correlaciones que se han obtenido entre ellos.

En cuanto a las correlaciones entre caracteres morfológicos y parámetros ambientales, en general han sido bajas y todas ellas de signo negativo. La altitud es el parámetro que se ha relacionado con un mayor número de caracteres morfológicos como los de ciclo -floración femenina y unidades térmicas hasta floración- y algunos vegetativos como altura de planta, altura de mazorca, número de hojas, nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja y longitud del pendón. Las temperaturas anuales y la evapo-transpiración potencial se correlacionaron también negativamente con el carácter protandria. Dentro de los parámetros edáficos el porcentaje de limo obtuvo correlaciones negativas con algún carácter vegetativo y de mazorca. De igual forma, la concentración de iones Calcio presenta correlaciones significativas con los caracteres de ciclo además de con el número de hojas, nudo de inserción de la mazorca y conicidad.

No existe una mucha bibliografía sobre la relación entre caracteres morfológicos y parámetros ambientales en maíz. Sin embargo, algunos autores como Binford et al. (1992) describe relaciones entre macronutrientes del suelo como concentración de nitratos y producción, realizando una descriptiva de diferentes tipos de suelos en cuanto a valores de pH o concentración de Potasio intercambiable.

En otros cultivos como trigo, Levy y Feldman (1988) obtienen correlaciones positivas entre parámetros climáticos, como temperaturas y pluviometría y topográficos como altitud, con el contenido de proteínas del endospermo. Nevo et al. (1992) encuentra correlaciones entre diferentes tipos de suelo y diversos marcadores isoenzimáticos, sugiriendo que existe una diferenciación genética adaptativa, causada por una selección a través de diferentes parámetros climáticos y edáficos. El mismo autor (Nevo et al., 1983) describe, en cebada, correlaciones negativas entre la altitud y algunos caracteres vegetativos de planta y componentes del rendimiento. Finalmente, Liang et al. (1991) obtienen correlaciones significativas entre diversos parámetros climáticos con producción en diferentes híbridos de maíz.

6.5. Clasificación taxonómica de las poblaciones

Tanto el análisis de componentes principales como el análisis de grupos aplicados en

este trabajo, son dos métodos ampliamente utilizados en clasificaciones infraespecíficas de diferentes cultivos (Hamon y Toure, 1990; Rezai y Frey, 1990; Charmet y Balfouier, 1991; Dudley et al., 1991; Elena y Sánchez, 1991) los cuales resumen y representan la variación existente, a partir del estudio de una serie de caracteres o variables.

En el análisis de componentes principales con los caracteres morfológicos, el primer componente explicó el 52,60% de la varianza y en él tuvieron un efecto importante y equivalente en magnitud dos grupos de caracteres: - caracteres vegetativos de planta: altura, número de hojas, altura y nudo de inserción de la mazorca, área de la hoja, longitud y número de ramificaciones del pendón.

- caracteres de ciclo: floración femenina y unidades térmicas.

Los diámetros de mazorca, el número de filas y la proporción de zuro tuvieron también un efecto importante en este componente. Los coeficientes asociados a todos los caracteres descritos tienen un signo positivo, lo que indica que todos ellos varían de la misma forma.

El segundo componente principal explicó, junto con el primero, el 72,62% de la variación total. En él predominaron los efectos relacionados con caracteres de mazorca como conicidad, longitud de mazorca y número de granos por fila, presentando estos dos últimos un coeficiente negativo.

El tercer componente (80,13% de varianza acumulada) muestra una correlación con los caracteres inferior a la existente con los dos primeros factores, en los que se encuentran mejor representados. Debido a esta baja relación, se omitió la representación de las poblaciones en el diagrama de dispersión para el tercer componente.

A partir de los resultados obtenidos en la clasificación de las 100 poblaciones basada en los caracteres morfológicos, los 7 grupos generados podrían quedar resumidos de la siguiente forma:

Grupo I: Se distribuye por toda la provincia de Guipúzcoa, siendo el grupo más numeroso y representativo de las variedades autóctonas existentes. Tiene ciclo medio, talla alta y mazorca larga de forma cilíndrica.

Grupo II: Formado por una sola población del interior de la provincia. Posee ciclo tardío, talla baja y mazorca larga de forma cilíndrica.

Grupo III: Localizado en la zona litoral de Guipúzcoa. Tiene ciclo tardío, talla alta con gran número de hojas y de gran área foliar, con pendones muy ramificados, mazorca intermedia y de forma semicónica.

Grupo IV: Formado principalmente por poblaciones situadas en los valles interiores. De talla baja, con pocas hojas y pendones poco ramificados, ciclo precoz, mazorca de escaso diámetro y forma cilíndrica.

Grupo V: Se distribuye en las zonas interiores y montañosas de la provincia. Son plantas de

ciclo medio, talla mediana y mazorcas de poco diámetro, con un gran número de granos por fila.

Grupo VI: Grupo heterogéneo, con distribución en el interior de Guipúzcoa. Poseen ciclo medio, talla mediana con pequeños pendones y mazorca corta de forma cónica.

Grupo VII: Formado por la población Lazcano, del interior de la provincia. Tiene ciclo precoz, talla baja y pequeña mazorca de conicidad muy acentuada.

Del conjunto de grupos obtenidos, la población perteneciente al grupo VII posee grandes semejanzas varietales con la raza descrita como "Vasco" por Sánchez-Monge (1962) y similitudes con un grupo descrito por Alvarez (1988).

El Grupo VI, por su heterogeneidad puede proceder, probablemente, de introducciones independientes a lo largo de los últimos siglos, seguidas de una posterior adaptación local e hibridación entre las variedades, debido al intercambio interior entre las diferentes zonas de la provincia.

Los resultados obtenidos en la agrupación concuerdan, en general, con la distribución de las poblaciones en el análisis de componentes principales. Los caracteres más correlacionados con los factores que explican una mayor proporción de varianza, son caracteres vegetativos de planta y alguno dimensional de mazorca, como se ha descrito anteriormente, estando estos últimos asociados a un componente distinto a los de planta. Esto demuestra que no existe una clara relación entre unos caracteres y otros.

El análisis de grupos realizado a partir de los factores obtenidos en el análisis de componentes principales, tiene la ventaja de reducir, en este caso, los 16 caracteres morfológicos, en un menor número de variables relevantes, lo que da lugar a una representación más simple y fácil de los patrones de variación existentes entre las poblaciones (Camussi et al., 1983).

Del estudio de los parámetros ambientales que caracterizan los lugares de recolección de las poblaciones, se observa la clara influencia en el análisis de componentes principales, de los parámetros edáficos sobre los climáticos y topográficos. Esto viene determinado por la existencia de una correlación más alta de los primeros con los componentes principales que explican una mayor proporción de varianza. No obstante, aparecen parámetros tanto climáticos como edáficos asociados a la misma componente lo que implica una cierta relación entre unos y otros.

En el primer componente (34,17% de la varianza) tuvieron un efecto importante las variables climáticas como temperatura mínima, media y máxima anual, pluviometría y evapotranspiración potencial. También mostraron correlaciones altas el pH (medido en agua y cloruro cálcico), proporción de arena y limo, concentración de iones Calcio y Magnesio y grado de saturación de bases en el suelo. El segundo componente principal explicó el 20,45% de la varianza. En él predominaron los efectos de parámetros como la proporción de arcilla, capacidad de intercambio iónico y concentración de iones Potasio y Sodio. Todos ellos mostraron una correlación de signo negativo con este factor. El tercer componente (15,40% de la varianza) describe la variación respecto al contenido en materia orgánica del suelo,

presentando un coeficiente negativo con este factor.

La representación gráfica de las poblaciones a partir de estos parámetros, muestra una dispersión menor que la obtenida con los caracteres morfológicos. De esta forma, y en relación con el análisis de grupos realizado con dichos parámetros, se obtiene una agrupación que incluye más del 50% de las poblaciones evaluadas.

El número total de grupos generado en este análisis ha sido de 6, con las siguientes características principales:

Grupo I: Es el más numeroso, distribuido por la zona litoral y por el Sur de la provincia. Las poblaciones se desarrollan en lugares con temperatura y pluviometría media y suelos con baja materia orgánica, al igual que las concentraciones de Sodio y Potasio.

Grupo II: Formado principalmente por poblaciones de la zona prelitoral y relieves intermedios de la provincia. Se encuentran en ambientes de temperaturas bajas y suelos con alto contenido en materia orgánica y bajas concentraciones de iones Calcio.

Grupo III: Se distribuye en la parte oriental de Guipúzcoa. Las plantas se desarrollan en lugares con temperaturas intermedias y pluviometría alta. Los suelos se caracterizan por tener bajas concentraciones de Calcio, Sodio y Magnesio al igual que una baja capacidad de intercambio iónico y pH ácido.

Grupo IV: Distribuido por el Sureste de la provincia, en lugares de temperatura y pluviometría baja, gran altitud y suelos con alto contenido en materia orgánica, al igual que las concentraciones de iones Calcio y Magnesio.

Grupo V: Localizado en la zona prelitoral y relieves intermedios. Las plantas se desarrollan en ambientes con altas temperaturas, pluviometría y evapotranspiración potencial. Los suelos poseen bajas concentraciones de Calcio y Magnesio y elevadas en Sodio.

Grupo VI: Compuesto por una población del interior, con temperatura y pluviometría bajas. Se encuentra en un suelo con proporciones muy elevadas de arcilla y limo y concentraciones altas de Sodio y Potasio.

Las bajas correlaciones encontradas entre los caracteres morfológicos y los parámetros ambientales, hacen que las clasificaciones con ambas variables, por separado, difieran en la composición de los grupos. Esto se refleja en el análisis de componentes principales conjunto, en el que la primera componente parece estar asociada, fundamentalmente, con los caracteres morfológicos y con la altitud, mientras que la segunda se relaciona con los parámetros ambientales y solamente algún carácter de mazorca.

No existe apenas bibliografía sobre la relación de ambos tipos de variables en maíz. Koutsas et al. (1992) estudia cómo afecta la textura del suelo en la respuesta de la selección en este cultivo, concluyendo que la interacción entre genotipo y textura de suelo influye en la eficiencia de la selección.

En especies del Género Festuca, Van Santen y Collins (1991) encuentran relaciones

entre caracteres morfológicos como diámetro de tallo, maduración y área foliar con la pluviometría. Oliveira (1990), por el contrario, en una clasificación taxonómica de Lolium perenne L. no encuentra una relación clara entre variables morfológicas y parámetros climáticos y edáficos de los lugares de recolección de las variedades. De igual forma, Weltzien (1989) tampoco describe asociaciones entre caracteres morfológicos y parámetros ambientales, argumentando un período corto de existencia de este cultivo en el área geográfica estudiada.

Si comparamos las clasificaciones realizadas con los caracteres y parámetros, por separado, se observa como la realizada con estos últimos posee un coeficiente de correlación cofenética superior al calculado con la agrupación a partir de los caracteres morfológicos. Esto nos puede indicar una mayor bondad de la clasificación obtenida con los parámetros ambientales, es decir, una mejor agrupación utilizando como variables clasificatorias dichos parámetros.

Este argumento se puede afirmar si observamos la composición de los grupos generados con una y otra clasificación.

A partir de los caracteres morfológicos, encontramos poblaciones de una misma procedencia, pertenecientes a diferentes agrupaciones. Este es el caso de San Sebastián 1 y 2, Orendain 1 y 2, Abalcisketa 1 y 2, Segura 1 y 2 o Bidegoyan 1 y 2, las cuales pertenecen a un mismo grupo, entre sí, en el dendrograma obtenido con los parámetros ambientales.

Sin embargo, otras poblaciones del mismo origen, aunque claramente diferenciadas, aparecen en ambas clasificaciones en grupos distintos como cabía esperar. Este es el caso de Azpeitia 1 y 2.

Por todo ello se puede deducir que la utilización de los parámetros ambientales ha podido mejorar la clasificación taxonómica para este tipo de material genético, adaptado a las condiciones agroecológicas de la provincia de Guipúzcoa.

Si observamos el dendrograma obtenido a partir del conjunto de variables morfológicas y parámetros ambientales, se aprecia una cierta similitud con el generado a partir de los parámetros ambientales. El número de grupos de la clasificación conjunta es, sin embargo, superior al de las dos agrupaciones con las variables por separado, no mejorando el coeficiente de correlación cofenética respecto al obtenido con los parámetros ambientales.

De los 13 grupos obtenidos a partir de la clasificación conjunta, las características definitorias de cada uno de ellos son las siguientes:

Grupo I: Compuesto por poblaciones de la parte oriental de la provincia, en la zona litoral y prelitoral. Poseen talla media y se desarrollan en lugares con temperaturas altas y suelos de gran contenido en arcilla y elevadas concentraciones de iones Sodio.

Grupo II: Formado por poblaciones del interior, presentan talla alta con mazorca larga y cilíndrica. Se encuentran en ambientes de temperatura media y baja pluviometría, con suelos caracterizados por sus bajas concentraciones de Sodio y Potasio.

Grupo III: Las poblaciones se distribuyen al Sur de la provincia. Son plantas altas con mazorcas largas y elevado número de granos por fila. Se desarrollan en lugares de temperatura y pluviometría baja y suelos con niveles reducidos de materia orgánica.

Grupo IV: Constituido por poblaciones de los relieves orientales. Son plantas de talla mediana distribuidas en lugares de pluviometría muy elevada y suelos con bajo grado de saturación en bases.

Grupo V: Distribuido por toda Guipúzcoa, con mazorcas de grandes diámetros, conicidad elevada y ciclo tardío. El ambiente en que se desarrollan muestra valores climáticos y edáficos de tipo intermedio.

Grupo VI: Las poblaciones se distribuyen en la zona litoral y prelitoral, caracterizándose por ser plantas con un gran número de hojas y pendones muy ramificados. Las mazorcas muestran una proporción de zuro muy elevada. Los suelos presentan la menor capacidad de intercambio iónico.

Grupo VII: Se localiza en el centro de Guipúzcoa, con plantas de talla mediana y mazorca larga. Los suelos en que se encuentran tienen los contenidos más bajos de arcilla y reducidas concentraciones de los principales cationes.

Grupo VIII: Grupo heterogéneo distribuido por toda la provincia, con plantas de talla baja y suelos con el menor contenido en limo.

Grupo IX: Formado por poblaciones de zonas montañosas. Son plantas de talla baja y mazorca corta, encontrándose en suelos con bajas concentraciones de Calcio, Magnesio y Sodio.

Grupo X: Lo constituye una población caracterizada por poseer talla baja, con pocas hojas, mazorca cilíndrica y desarrollarse en suelos con los valores más altos de pH y el grado de saturación en bases más elevado.

Grupo XI: Formado por una sola población del interior de Guipúzcoa y que se diferencia por tener plantas de talla baja y desarrollarse en lugares de elevada pluviometría, con suelos de pH ácido, altas proporciones de arena y concentraciones bajas de Calcio y Magnesio.

Grupo XII: Se distribuye por el Este de la provincia y está formado por plantas altas con mazorca de gran número de filas. Los lugares en que se encuentran poseen elevada altitud y baja pluviometría, con suelos de alto contenido en materia orgánica y elevadas concentraciones de Calcio y Magnesio.

Grupo XIII: Formado por una población del interior de Guipúzcoa, caracterizada por tener una talla media con largos pendones. El ambiente en que se desarrolla posee baja pluviometría y suelo con bajo contenido en materia orgánica y elevada proporción de arcilla y limo, al igual que las concentraciones de iones Sodio y Potasio.

Se puede apreciar viendo la composición de cada grupo y sus características que no existe una relación lineal entre la variación morfológica y la ambiental, o si la hay, es de

difícil interpretación.

Con el fin de buscar la influencia de ciertos parámetros ambientales en los patrones de variabilidad morfológica, se han clasificado las poblaciones en grupos más homogéneos según el tipo climático al que pertenecen, definido por Papadakis (1960). De esta forma se han obtenido 4 grupos con unas características morfológicas determinadas.

Del análisis de varianza realizado, se puede destacar que se han encontrado altas diferencias significativas entre grupos -al nivel de probabilidad del 0,01- en 7 caracteres, 4 de ellos son vegetativos de planta y 3 relacionados con el diámetro de mazorca. Otros 6 caracteres presentan diferencias entre grupos, sólo al nivel del 0,05 de probabilidad.

A partir de esta clasificación se puede apreciar cierta influencia del tipo climático en algunos caracteres morfológicos como número de hojas, área de la hoja o diámetros de mazorca, mostrando los valores más bajos para climas con temperaturas más elevadas. Los ecoclimas Continental templado cálido y Marítimo fresco, que poseen temperaturas medias inferiores, muestran unos valores más altos para los caracteres vegetativos de planta, no existiendo grandes diferencias entre grupos para los caracteres de mazorca.

Podemos deducir que la selección artificial realizada a través de los años, no ha mejorado el rendimiento, si observamos que para los componentes del mismo las diferencias entre grupos no existen o son poco significativas, pero sí se ha modificado el arquetipo de la planta, atendiendo a las diferencias encontradas para los caracteres de tipo vegetativo. La selección ha podido estar dirigida, principalmente, hacia una mayor producción forrajera, la cual constituye una característica lógica en la zona Norte de la península.

De igual forma, al analizar la variación morfológica entre grupos de poblaciones que se desarrollan en un tipo de suelo predominante (Cambisol, Luvisol y Regosol), se han encontrado diferencias significativas al nivel de probabilidad del 0,01 en 8 caracteres, correspondiendo a las poblaciones más precoces y con menor número de hojas a las que se encuentran en suelos de tipo Regosol, así como las que poseen un menor diámetro de mazorca. De esta forma se observa una cierta relación entre las diferentes unidades de suelo con caracteres de ciclo y en menor medida con algunos dimensionales de mazorca

La utilización de un método de agrupación basado en los caracteres morfológicos nos permite obtener una caracterización y descripción de las poblaciones y similitudes entre ellas. Mediante la clasificación taxonómica basada en los parámetros ambientales de los lugares de recolección de las variedades, obtenemos un conocimiento de la adaptación de las mismas a unas condiciones medioambientales concretas. Esta información puede ser de gran interés a la hora de elegir un material en programas de mejora para lugares con unas condiciones físicas determinadas, además de constituir un criterio adicional en la clasificación de dichas poblaciones.

6.6. Análisis discriminante

En el presente trabajo se observa que de la agrupación con los caracteres morfológicos obtenemos un 96,9% de casos correctamente clasificados, similar a los generados utilizando parámetros ambientales (96,2%).

Con ambas variables, conjuntamente, el porcentaje de poblaciones bien clasificadas asciende al 99%. En cualquiera de los 3 análisis, el número de casos correctamente clasificados es muy elevado.

La representación de los grupos en los planos definidos por las dos primeras funciones discriminantes, señala una mayor dispersión de las poblaciones cuando se utilizan caracteres morfológicos. En este caso, el Grupo I es el que presenta una menor homogeneidad y una distribución más amplia que el resto de los grupos.

Si observamos la representación gráfica de los 6 grupos obtenidos a partir de los parámetros ambientales, se advierte una separación muy clara de los grupos V y VI y, en menor medida, del IV. El resto aparece mucho más concentrado.

La representación conjunta de ambos tipos de variables no indica una gran dispersión, aunque el número de agrupaciones es más elevado. Son los grupos II, VII y XII los que más claramente se separan del conjunto.

Se ha determinado el poder discriminante de las variables, tomando como criterio el cociente de la suma de cuadrados de cada variable dentro de grupos, entre la suma de cuadrados del total, denominado Wilks'Lambda. Se ha utilizado el procedimiento de análisis "paso a paso" o "stepwise discriminat analysis" el cual es apropiado cuando las observaciones están caracterizadas por un gran número de variables, buscando un conjunto de ellas que proporcione una buena separación entre los grupos (Judez, 1989).

Observando los resultados del análisis basado en los caracteres morfológicos, los que indican un mayor poder clasificatorio se corresponden a 3 de planta -área de la hoja, número de ramificaciones del pendón y altura- y 4 caracteres de mazorca -conicidad, número de filas, proporción de zuro y longitud de mazorca-. Cabe destacar la importancia que adquieren los caracteres de pendón, como el número de ramificaciones. Llauradó (1990) coincide también en esta característica a partir de la clasificación de poblaciones originarias de Galicia. Goodman y Paterniani (1969) atribuyen a los caracteres de mazorca, un valor taxonómico superior a los de pendón y en general, de planta. No obstante, hay que tener en cuenta que en las razas de maíz que clasifican, ha tenido gran influencia en muchos casos, la selección artificial dirigida para determinados tipos de mazorca y grano (Goodman y Bird, 1977).

Sin embargo, en la región de procedencia de las poblaciones aquí consideradas, el efecto de la selección artificial ha podido estar dirigido tanto a la producción forrajera -de ahí la importancia de caracteres como área de la hoja, ramificaciones del pendón y altura de planta- combinada con la producción de grano.

Álvarez y Lasa (1990b) estudiando 229 variedades locales del Norte peninsular, atribuyen un mayor poder discriminante a caracteres de mazorca como número de filas, longitud de mazorca y diámetro de zuro.

El número total de parámetros ambientales del presente trabajo que tienen peso en la clasificación, es superior al de caracteres morfológicos. De todos ellos, hay que señalar como de mayor importancia los parámetros edáficos y, concretamente, las concentraciones de iones

Sodio, Calcio y Potasio, contenido de materia orgánica y textura de suelo. Estos resultados están de acuerdo con Koutsas et al. (1992) en cuanto a la influencia de la textura del suelo en procesos selectivos de maíz. Los parámetros climáticos con mayor poder discriminante han sido la evapotranspiración potencial, pluviometría y temperatura media anual.

Cuando realizamos el análisis conjunto, con ambos tipos de variables, se observa que hay 17 que influyen en la clasificación taxonómica, es decir, la mitad del conjunto. De éstas, 12 corresponden a parámetros ambientales y 5 a caracteres morfológicos. A esto se debe, posiblemente, la similitud encontrada entre el dendrograma obtenido a partir de los parámetros ambientales y el generado por las variables conjuntamente.

En general, todos los caracteres y parámetros con influencia en los análisis realizados por separado, poseen poder discriminante en el análisis conjunto, a excepción de algunos caracteres morfológicos como altura de planta y proporción de zuro. Esto puede ser debido a que la mayor presencia de los parámetros ambientales en la agrupación conjunta, amortigua de alguna forma el poder discriminante de los caracteres morfológicos.

Respecto a la utilización de un número determinado de variables en la clasificación de las poblaciones, ésta ha sido muy discutida (Goodman y Paterniani, 1969; Goodman y Bird, 1977). Las primeras descripciones de razas sudamericanas están basadas en la utilización de más de 30 caracteres morfológicos, tanto de planta como de mazorca y grano, además de fisiológicos (Grant et al., 1963). En España, Sánchez-Monge (1962) emplea alrededor de 40 en el estudio de las razas de maíz existentes, al igual que Costa-Rodrigues, (1969) en Portugal. Posteriormente, Bird y Goodman (1977) obtienen una clasificación de 219 razas latinoamericanas, a partir de tan sólo 8 caracteres de mazorca. Estudios más recientes, realizados con poblaciones españolas, sin embargo, utilizan un número más elevado de caracteres (Ron, 1987; Alvarez, 1988; Malvar y Ordás, 1989; Llauradó, 1990).

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que la mayor utilidad demostrada por un número reducido de variables, se debe atribuir a la naturaleza de las mismas y al nivel taxonómico de las UTOs que se pretenden clasificar. Esto es, la diferenciación entre razas puede permitir el empleo de un número menor de caracteres, mientras que un estudio a nivel subracial, con un número más elevado de los mismos, permitirá una mejor definición de los taxones o grupos que se obtengan. Basándonos en los resultados obtenidos del análisis discriminante, se puede considerar que para la clasificación de poblaciones de maíz de Guipúzcoa y zonas geográficas de características similares, la elección de un número no demasiado elevado de caracteres puede ser suficiente para representar la variabilidad existente. Estos corresponden, fundamentalmente, a caracteres vegetativos de planta, incluyendo los reproductivos de pendón, como longitud y número de ramificaciones, y caracteres dimensionales de mazorca.

En cuanto a los parámetros ambientales, se ha podido comprobar como las características del suelo, principalmente, han tenido una mayor influencia en la clasificación de las poblaciones. La utilización de parámetros ambientales en la clasificación taxonómica ha contribuido, principalmente, al conocimiento de la adaptación de las poblaciones a los diferentes ambientes existentes en la provincia de Guipúzcoa, lo cual es de un gran interés a la hora de la elección de las variedades más adecuadas para su cultivo en una zona geográfica determinada, además de constituir una herramienta adicional en la agrupación de

germoplasma de maíz.



VII. Conclusiones

De los resultados que se han presentado y discutido, se pueden desprender las siguientes conclusiones:

1. Se han caracterizado un conjunto de 100 poblaciones guipuzcoanas de maíz, representativas de los antiguos cultivares que han empleado los agricultores desde hace varios siglos.
2. Se han utilizado 27 caracteres morfológicos y de ciclo medidos en planta, mazorca y grano y 19 parámetros climáticos, edáficos y topográficos de los puntos de origen geográfico de las poblaciones.
3. El estudio descriptivo evidencia una gran variabilidad genética entre las poblaciones para el conjunto de caracteres morfológicos estudiados. El análisis combinado de los 4 ambientes de ensayos muestran diferencias altamente significativas entre poblaciones para 23 caracteres morfológicos.
4. Los parámetros ambientales estudiados poseen diferentes grados de variación. Así los climáticos tienen, en general, variabilidad de tipo medio. De entre los edáficos destaca la materia orgánica con una gran variabilidad, al igual que la concentración de iones Calcio. La altitud geográfica presenta una gran variación, con poblaciones situadas desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 500 m.
5. Los valores más altos de heredabilidad en caracteres morfológicos se corresponden con caracteres de mazorca y de ciclo, junto a vegetativos como alturas de planta y mazorca.
6. Para la elección de los caracteres morfológicos que serán utilizados en la clasificación taxonómica, se ha considerado aquéllos que presentan los valores de heredabilidad y constancia más elevados, siendo 16 los caracteres elegidos.
7. De los parámetros ambientales, sólo se ha eliminado para la agrupación, el índice termopluviométrico por tener todas las poblaciones la misma designación de zona húmeda.
8. Las correlaciones obtenidas entre caracteres morfológicos y parámetros ambientales han sido, en general, bajas y todas ellas de signo negativo, aunque significativas al nivel de probabilidad del 0.01. La altitud es el parámetro que se ha correlacionado con un mayor número de caracteres morfológicos, como los de ciclo y otros vegetativos de planta.
9. Mediante el uso de caracteres morfológicos se han clasificado las poblaciones en 7 grupos, 5 de ellos mayoritarios que comprenden el 98% de las poblaciones y 2 grupos formados por una sola población.
10. Estos resultados clasificatorios concuerdan, en general, con la distribución de las poblaciones en el análisis de componentes principales.
11. Los caracteres morfológicos que han tenido una mayor importancia en la clasificación fueron algunos vegetativos como área de la hoja, ramificaciones del pendón y altura de planta

y caracteres de mazorca como conicidad, número de filas, proporción de zuro y longitud.

12. La utilización de parámetros ambientales ha permitido la clasificación de las poblaciones en 6 grupos, 5 de ellos mayoritarios que agrupan al 99% de las poblaciones y un grupo formado por una sola población. Se han obtenido unas agrupaciones más homogéneas, mejorando la fiabilidad con respecto a los caracteres morfológicos, según el conocimiento previo del material.

13. Del estudio de los parámetros ambientales se observa una clara influencia en la clasificación, de variables edáficas como concentración de iones Sodio, Calcio y Potasio, contenido en materia orgánica y textura del suelo. Dentro de los parámetros climáticos destacan la evapotranspiración potencial, pluviometría y temperatura media anual.

14. Las bajas correlaciones encontradas entre los caracteres morfológicos y los parámetros ambientales, hacen que las clasificaciones con ambas variables, por separado, difieran sustancialmente en la composición de los grupos obtenidos, no existiendo una clara relación lineal entre la variación morfológica y ambiental.

15. Mediante la utilización conjunta de caracteres morfológicos y parámetros ambientales se han agrupado las poblaciones en 13 grupos, 10 de ellos mayoritarios que integran el 97% de las poblaciones y 3 grupos con una sola población.

16. Del estudio de esta última agrupación se aprecia una cierta similitud con la generada a partir de los parámetros ambientales, aunque el número de grupos es muy superior al obtenido con las variables por separado, no mejorando en sí la clasificación.

17. Aplicando la clasificación agroclimática de Papadakis al conjunto de poblaciones, así como su agrupación en unidades de suelo predominantes, se observan diferencias significativas entre las mismas para algunos caracteres de planta, mazorca y ciclo.

18. La utilización de caracteres morfológicos permite obtener una descripción de las poblaciones y las relaciones filogenéticas entre ellas. Mediante el uso de parámetros ambientales de los lugares de recolección de las poblaciones, se puede obtener un conocimiento sobre las posibilidades de adaptación de las mismas a unas condiciones medioambientales concretas.

Esta última conclusión puede ser de gran interés en la elección de un determinado material genético adaptado y su utilización en un programa de mejora de maíz, para zonas de condiciones ambientales específicas, además de servir como un criterio adicional en la clasificación de poblaciones locales de esta especie.

VIII. Bibliografía

- ABDALLA M.M.F.; METWALLY A.A.; EL-HINNAWY H.H. 1987. Evaluation of some local collections of corn Zea mays L. Ass. J. of Agric. Sci. 18:89-102.
- ABOU-EL-FITTOUH H.A.; RAWLINGS J.O.; MILLER P.A. 1969. Classification of environments to control genotype by environment interactions with an application to cotton. Crop Sci. 9:135-140.
- ÁLVAREZ A. 1988. Evaluación de poblaciones de maíz grano (Zea mays L.) de la Cornisa Cantábrica y estudio de sus relaciones. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- ÁLVAREZ A.; LASA J.M. 1987. Asturian populations of maize. I. Morphological-vegetative description and variability. An. Aula Dei 18:177-186.
- ÁLVAREZ A.; LASA J.M. 1990a. Populations of maize from Cantabria. I. Morfological evaluation and variability. An. Aula Dei 20:41-49.
- ÁLVAREZ A.; LASA J.M. 1990b. Local populations of maize from the North of Spain. Proc. II National Maize Conference. Grado, Italy. p. 848-856.
- ANDERSON E.; CUTLER H.C. 1942. Races of Zea mays L.: I. Their recognition and classification. Ann. Missouri Bot. Gard. 29:69-89.
- ARNOLD C.Y. 1975. Heat unit systems in corn production. Illinois Res. 13:6-7.
- AROMOSE O.S.A.; ALAKE J.A. 1987. Collecting maize in southwest Nigeria. Plant Gen. Res. Newsletter 72:44 pp.
- ASCHERSON P. 1875. Ueber Euchlaena mexicana Schrad. Bot. Vereins Prov. Brandenburg 17:76-80.
- ASINS M.J.; CARBONELL E.A. 1987. Concepts involving in measuring genetic variability and its importance in conservation in plant genetic resources. Evolutionary Trends in Plants 1:51-52.
- AUNG T.; WILLIAMS W.P.; WINDHAM G.L.; DAVIS F.M. 1991. Characterization of open-pollinated corn varieties. En Plant Breeding Abstracts 62:1229 pp.
- BARSUKOV A.D.; MATVEEVA G.V. 1986. Genetic sources of breeding traits in maize from Spain and Portugal. Sbor. Nauch. Tru. Pri. Bot. 105:21-27.
- BARTLETT M.S. 1947. The use of transformations. Biometrics 3:39-52.
- BARTUAL R; CARBONELL E.A.; GRENN D.E. 1985. Multivariate of a collection of soybean cultivars for Southwestern Spain. Euphytica 34:113-123.
- BAUM B.R.; LEFKOVITCH L.P. 1973. A numerical taxonomy study of phylogenetic and phenetic relationships in some cultivated oats using known pedigrees. Syst. Zool.

22:128-131.

- BEADLE G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. *J. Hered.* 30:245-247.
- BENNET C.A.; FRANKLIN N.L. 1954. *Statistical analysis in chemistry and the chemical industry*. John Wiley and Sons. New York, USA.
- BHALLA S.K.; BALI S.; SHARMA S.; SHARMA B.K. 1986. Assesment of genetic variability and correlations in indigenous maize (*Zea mays* L.) germplasm of Himachal Pradesh. *Himachal J. of Agric. Res.* 12:75-81.
- BIANCHI A.; GHATNEKAR M.V.; GHIDONI A. 1963. Knobs in Italian maize. *Chromosoma* 14:601-617.
- BIANCHI A.; LORENZONI C.; SALAMINI F. 1989. *Genetica dei cereali*. Ed. Agricole, Italia. p. 376-379.
- BIELICKI T. 1962. Some possibility for estimating inter-population relationships on the basis on continuos traits. *Current Anthropol.* 3:3-8.
- BINFORD G.D.; BLACMER A.M.; CERRATO M.E. 1992. Relationship between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* 84:53-59.
- BIRD R. McK.; GOODMAN M.M. 1977. The races of maize V. Grouping races of maize on the basis of ear morphology. *Econ. Bot.* 31:471-481.
- BLACKITH R.E.; REYMENT R.A. 1971. *Multivariate Morphometrics*. Academic Press, London and New York. 412 pp.
- BÖHM H.; SCHUSTER W. 1985. Untersuchungen zur heritabilität bei mais (*Zea mays* L.). *Z. Pflanzenzüchtung* 95:125-134.
- BONCIARELLI F. 1961. Studio agronomico comparato delle popolazioni umbre di mais. *Maydica* 6:35-61.
- BOUATTOURA N. 1988. Phytogenetic resources: importance, preservation, utilization. Programme in progres. *Ann. l'Institut National Agron. El-Harrach. En Plant Breeding Abstracts* 60:344 pp.
- BOWMAN D.T. 1989. Crop ecology, production and management. *Crop Sci.* 29:1202-1206.
- BOYD W.J.R.; GOODCHILD N.A.; WATERHOUSE W.K.; SINGH B.B. 1976. An analysis of climatic environments for plant breeding purposes. *Aust. J. Agric. Res.* 27:19-33.
- BRANDENBURG W.A. 1986. Classification of cultivated plants. *Acta Horticulturae* 182:109-115.
- BRANDOLINI A. 1970. Razze Europee di Mais. *Maydica* 15:5-27.

- BRANDOLINI A.; MARIANI G. 1968. Il germoplasma italiano nella fase attuale del miglioramento genetico del mais. *Genetica Agraria* 22:189-206.
- BRIDGES W.C.; KNAPP S.C.; CORNELIUS P.L. 1991. Crop breeding, genetics and cytology. *Crop Sci.* 31:253-255.
- BRIEGER F.G.; GURGEL J.T.A.; PATERNIANI E.; BLUMENSCHNEIN A.; ALLEONI M.R. 1958. Races of maize in Brazil and other Eastern South American countries. NAS-NRC Publ. 593. Washington D.C., USA.
- BRIGGS D. 1977. *Soils*. Ed. Butterworths. London, U.K.
- BROWN A.H.D.; WEIR B.S. 1983. Measuring genetic variability in plant populations. p. 219-239. En S.D. Tanksley y T.J. Orton (eds.). *Isozymes in plant genetics and breeding*. Elsevier. Amsterdam, Holland.
- BROWN J.S. 1991. Principal component and cluster analyses of cotton cultivar variability across the U.S. cotton belt. *Crop Sci.* 31:915-922.
- BROWN W.L. 1960. Races of maize in the West Indies. NAS-NRC Publ. 792. Washington D.C., USA.
- BROWN W.L. 1985. Maize variability of potential interest to plant molecular geneticists. *Maydica* 30:225-233.
- BROWN W.L.; ANDERSON E. 1948. The Southern Dent Corns. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 35:255-267.
- BUREN L.L.; MOCK J.J.; ANDERSON I.C. 1974. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. *Crop Sci.* 14:426-429.
- BYTH D.E.; EISEMANN R.L.; LACY I.H.de. 1976. Two-way pattern analysis of a large data set to evaluate genotypic adaptation. *Heredity* 37:215-230.
- CAIN A.J.; HARRISON G.A. 1958. An analysis of the taxonomist's judgement of affinity. *Proc. Zool. Soc. Lond.* 131:85-98.
- CAMUSSI A. 1979. Numerical taxonomy of Italian populations of maize based on quantitative traits. *Maydica* 24:161-174.
- CAMUSSI A.; OTTAVIANO E.; CALINSKI T.; KACZMAREK Z. 1985. Genetic distances based on quantitative traits. *Genetics* 111:945-962.
- CAMUSSI A.; SPAGNOLETTI ZEULI P.L.; MELCHIORRE P. 1983. Numerical taxonomy of italian maize populations: genetic distances on the basis of heterotic effects. *Maydica* 28:411-424.

- CARADUS J.R.; WOODFIELD D.R. 1990. Estimates of heritability for, and relationships between, root and shoot characters of white clover. I. Replicated clonal material. *Euphytica* 43:206-209.
- CARREKER J.R.; ADAMES W.E.; MORRIS H.D. 1972. Corn yields in relation to rainfall and cropping treatments. *J. Soil Water Conserv.* 27:117-120.
- CASAÑAS F; BOSCH LI.; NUEZ F. 1989. Herencia de la precocidad en una población local y varios conjuntos de líneas de maíz. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 4:147-158.
- CASAS E.; HANSON W.D.; WELLHAUSEN E.J. 1968. Genetic relationships among collections representing three Mexican race composites of *Zea mays* L. *Genetics* 59:299-310.
- CECCARELLI S.; GRANDO S.; VAN LEUR J.A.G. 1987. Genetic diversity in barley landraces from Syria and Jordan. *Euphytica* 36:389-404.
- CHANG T.T. 1979. Crop genetics resources. p. 83-103. En J. Sneep y A.J.T. Hendriksen (eds). *Plant breeding perspectives. Centre for Agric. Publ. and Docum. Wageningen, Holland.*
- CHAPMAN C. 1989. Principles of germplasm evaluation. p. 55-64. En H.T. Stalker y C. Chapman (eds.). *Scientific management of germplasm: characterization, evaluation and enhancement. IBPGR. Rome, Italy.*
- CHAPMAN H.D.; PRATT P.F. 1981. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas. México. 27 pp.
- CHARMET G.; BALFOURIER F. 1991. Further evaluation of exotic germplasm of perennial ryegrass for use in French plant breeding programmes. *Euphytica* 57:67-76.
- CHARMET G.; BALFOURIER F.; BION A. 1990. Agronomic evaluation of a collection of French perennial ryegrass populations: multivariate classification using genotype x environment interactions. *Agronomie* 10:807-823.
- CHAVES L.J.; MIRANDA-FILHO 1992. Plot size for progeny selection in maize (*Zea mays* L.). *Theor. Appl. Genet.* 84:963-970.
- CHEETHAM A.H.; HAZEL J.E. 1969. Binary (presence-absence) similarity coefficients. *J. Paleontol.* 43:1130-1136.
- CHOE B. 1986. Collection and evaluation of maize in the Republic of Korea. *Plant Gen. Res. Newsletter* 68:2-5
- CHRISTIAN C.S.; STEWART G.A. 1968. Methodology of integrated surveys. p. 223-280. En *Aerial Surveys and Integrated Studies. Proc. of the Toulouse Conf. UNESCO. Paris, France.*

- CLARKE G.R. 1971. The study of soil in the field. Clarendon Press. Oxford, U.K.
- CLIFFORD H.T.; STEPHENSON W. 1975. An introduction to numerical classification. Academic Press. New York, USA.
- COLLINS G.N. 1921. Teosinte in Mexico. J. Heredity 12:339-350.
- COMSTOCK R.E.; MOLL R.H. 1963. Genotype-environment interactions. En Hanson W.H. y H.F. Robinson (eds.). Statistical Genetics and Plant Breeding. NAS-NRC Publ. 982. Washington D.C., USA.
- CORNISH E.A. 1950. The influence of rainfall on the yield of wheat in South Australia. Aust. J. Sci. Res. 3:178-218.
- COSTA-RODRIGUES L. 1969. Races of maize in Portugal. Agronomia Lusit. 31:239-284.
- CRISTEA M.; REICHBUCH S.; FUNDUIANU D. 1979. Maize resources evaluated and conserved at the Suceava agricultural research station. Probleme de Genetică Teoretică și Aplicată 11:347-356.
- CROSS H.Z.; ZUBER M.S. 1973. Interrelationships among plant height, number of leaves and flowering dates in maize. Agron J. 65:71-74.
- CROSSA J.; GAUCH H.G.Jr.; ZOBEL R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. Crop Sci. 30:493-500.
- CUADRAS C.M. 1982. Métodos de Análisis Multivariante. Ed. Universitaria de Barcelona.
- DAWOD K.M.; MOHAMED A.S.A. 1989. Estimates of heritability and path coefficient analysis for some characters in maize (*Zea mays* L.). Meso. J. of Agric. 21:243-254.
- DERIEUX M.; BONHOMME R. 1990. Heat units requirements of maize inbred lines for pollen shedding and silking: Results of the european FAO network. Maydica 35:41-46.
- DÍAZ H.; DÍAZ M.; VELÁZQUEZ O. 1987. Clasificación de sojas para verano, según sus caracteres agronomicos. Ciencias de la Agricultura 32:32-36.
- DICKERSON G.E. 1969. Techniques for research in quantitative animal genetics. Tec. Proc. in Anim. Sci. Res. Albany. New York, USA
- DIRKS V.A.; BOLTON E.F. 1981. Climatic factors contributing to year-to-year of corn on Brookston clay. Can. J. Plant Sci. 61:293-305.
- DOEBLEY J.F. 1990. Molecular systematics of *Zea* (Gramineae). Maydica 35:143-150.
- DOEBLEY J.F.; GOODMAN M.M.; STUBER C.W. 1986. Exceptional genetic divergence of northern flint corn. Amer. J. of Bot. 73:64-69.

- DOEBLEY J.F.; WENDEL J.D.; SMITH J.S.C. 1988. The origin of cornbelt maize: The isozyme evidence. *Econ. Bot.* 42:120-131.
- DUDLEY J.W.; MOLL R.H. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Sci.* 9:257-262.
- DUDLEY J.W.; SAGHAI M.A.; RUFENER G.K. 1991. Molecular markers and grouping of parents in maize breeding programs. *Crop Sci.* 31:718-723
- DUNN G.; EVERITT B.S. 1982. An introduction to mathematical taxonomy. Cambridge University Press. UK.
- EADES D.C. 1965. The inappropriateness of the correlation coefficient as an measure of taxonomic resemblance. *Syst. Zool.* 14:98-100.
- EBERHART S.A.; RUSSELL W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- EDWARDS R.J.; LENG E.R. 1965. Classification of some indigenous maize collections from southern and southeastern Europe. *Euphytica* 14:161-169.
- EL-HOSARY A.A. 1989. Genetic studies in a variety of maize. *Egypt. J. of Agron.* 12:57-64.
- EL-LAKANY M.A.; RUSSELL W.A. 1971. Relationships of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. *Crop Sci.* 11:698-701.
- ELENA R.; SANCHEZ O. 1991. Los pinares españoles de Pinus nigra Aun.: síntesis ecológica. Monografías INIA nº 81. Ed. I.N.I.A.-M.A.P.A. Madrid.
- ELGERSMA A. 1990. Heritability estimates of spaced-plant traits in three perennial ryegrass (Lolium perenne L.) cultivars. *Euphytica* 51:163-171.
- ELINGS A.; NACHIT M.M. 1991. Durum wheat landraces from Syria. I. Agro-ecological and morphological characterization. *Euphytica* 53:211-224.
- ERSKINE W.; ADHAM Y.; HOLLY L. 1989. Geographic distribution of variation in quantitative traits in a world lentil collection. *Euphytica* 43:97-103.
- ESQUINAS J.T. 1982. Los recursos fitogenéticos una inversión segura para el futuro. Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (F.A.O.)- I.N.I.A. Madrid. p. 1-44.
- ESQUINAS J.T. 1987. Recursos genéticos vegetales: base de la seguridad alimentaria. *Revista Ceres* 20:39-45.
- ESQUIVEL M.; CASTIÑEIRAS L.; HAMMER K. 1990. Origin, classification, variation and distribution of lima bean (Phaseolus lunatus L.) in the light of Cuban material. *Euphytica* 49:89-97

- FAKOREDE M.A.B. 1986. Factor analysis of genotype x environment interaction in maize. *Maydica* 31:315-324.
- FALCONER D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. (2nd ed.) Longman. New York, USA.
- F.A.O. 1991. Anuario F.A.O. de Producción. F.A.O., n° 45, Roma. Italia.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O. 1981. Clave para la clasificación de los suelos. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Madrid. 58 pp.
- FARRIS J.S. 1969. On the cophenetic correlation coefficient. *Syst. Zool.* 18:279-285.
- FEIL B. 1992. Breeding progress in small grain cereals. A comparison of old and modern cultivars. *Plant Breeding* 128:1-11.
- FELSENSTEIN J. 1983. Computers in systematics: one perspective. p. 600-619. En J. Felsenstein (ed.). *Numerical Taxonomy*. Springer-Verlag. New York, USA.
- FELSENSTEIN J. 1984. Distance methods for inferring phylogenies: a justification. *Evolution* 38:16-24.
- FERNÁNDEZ G.C.J.; MILLER J.C. Jr. 1985. Estimation of heritability by parent-offspring regression. *Theor. Appl. Genet.* 70:650-654.
- FERRET A.; CASAÑAS F.; VERDU A.M.; BOSCH L.; NUEZ F. 1991. Breeding for yield and nutritive value in forage maize: an easy criterion for stover quality, and genetic analysis of Lancaster variety. *Euphytica* 53:61-66.
- FISCHBECK G. 1981. La utilización de los Bancos de Genes: perspectivas para el mejoramiento fitogenético. En: *La utilización de los Recursos Genéticos del Reino Vegetal*. UPOV, Ginebra.
- FISHER H.M. 1965. Cereal yield tests in 1966. *J. Dep. Agric. West. Aust.* 8:382-388.
- FISHER R.A. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Eug.* 7:179-188.
- FISHER R.A. 1946. *Statistical methods for research workers*. (10th ed.). Oliver and Boyd. Edinburgh, UK.
- FLADUNG M.; RITTER E. 1991. Plant leaf area measurements by personal computers. *J. of Agronomy and Crop Science* 166:69-70.
- FORD G.L.; NIELSEN G.A. 1982. Selecting environmentally analogous areas for agronomic research using computer graphics. *Agron. J.* 74:261-265.

- FOX P.N.; ROSIELLE A.A.; BOYD W.J.R. 1985. The nature of genotype x environments interactions for wheat yield in Western Australia. *Field Crop Res.* 11:387-398.
- FRANCIS A. 1990. The tripsacinae: An interdisciplinary review of maize (*Zea Mays*) and its relatives. *Acta Bot. Fennica* 140:1-51.
- FRANCIS C.A.; RUTGER J.N.; PALMER A.F.E. 1969. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 9:537-539.
- FREY K.J.; HORNER T. 1957. Heritability in standard units. *Agron. J.* 49:59-62.
- FROLICH W. 1988. Variability of early maize genotypes from southern Chile. *PGRC/E-ILCA. Germplasm Newsletter* 18:12-15.
- FUNDORA Z.; BAEZ M.R.; PRATS A.; SOTO J.A. 1987. Repetibilidad en espacio, avance genético y correlaciones entre algunos caracteres de importancia económica en la cebolla. *Ciencias de la Agricultura* 32:47-51.
- FUNDORA Z.; DIAZ M.; BAEZ M.R.; SOTO J.A. 1988. Análisis de los componentes principales de la variación en siete cultivares de cebolla. *Ciencias de la Agricultura* 33:78-81.
- GALLAIS A.; VINCOURT P.; BERTHOLLEAU J.C. 1983. Etude de critères de sélection chez le maïs fourrage: héritabilités, corrélations génétiques et réponse attendue à la sélection. *Agronomie* 3:751-760.
- GARDNER F.P.; VALLE R.; McCLOUD D.E. 1990. Yield characteristics of ancient races of maize compared to a modern hybrid. *Agron. J.* 82:864-868.
- GARLIPP G.W.E. 1976. The influence of rainfall on maize grain yield. *Agroplanta* 8:21-22.
- GERALDI I.O.; MIRANDA-FILHO J.B.; VENCOSKY R. 1985. Estimates of genetic parameters for tassel characters in maize (*Zea mays* L.) and breeding perspectives. *Maydica* 30:1-14.
- GHADERI A.; EVERSON E.H.; CRESS C.E. 1980. Classification of environments and genotypes in wheat. *Crop Sci.* 20:707-710.
- GILES B.E. 1984. A comparison between quantitative and biochemical variation in the wild barley *Hordeum murinum*. *Evolution* 38:34-41.
- GILMORE E.C.; ROGERS J.S. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
- GNANADESIKAN R. 1977. Methods for statistical data analysis of multivariate observations. John Wiley and Sons. New York, USA.
- GOODCHILD N.A.; BOYD W.J.R. 1975. Regional and temporal variations in wheat yield in

- Western Australia and their plant breeding implications. *Aust. J. Sci. Res.* 26:209-217.
- GOODMAN M.M. 1967. The races of maize: I. the use of mahalanobis` generalized distance to measure morfological similarity. *North Carolina State Univ. Raleigh* 4:1-22.
- GOODMAN M.M. 1972. Distance analysis in biology. *Syst. Zool.* 21:174-186.
- GOODMAN M.M. 1973. Genetic distances: Measuring dissimilarity among populations. *Yearbook of Phys. Anthropol.* 17:1-38.
- GOODMAN M.M. 1976. Maize. p. 128-136. En Simmonds N.W. (ed.). *Evolution of crop plants.* Longman Group Ltd. London, UK.
- GOODMAN M.M.; BIRD R.McK. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Econ. Bot.* 31:204-221.
- GOODMAN M.M.; PATERNIANI E. 1969. The races of maize: III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23:265-273.
- GOODMAN M.M.; STUBER C.W. 1983. Races of maize. VI. Isozyme variation among races of maize in Bolivia. *Maydica* 28:169-187.
- GORDON I.L.; BYTH D.E.; BALAAM L.N. 1972. Variance of heritability ratios estimated from phenotypic variance components. *Biometrics* 28:401-415.
- GOWER J.C. 1966. Some distance propetiers of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika* 53:325-338.
- GOWER J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27:857-871.
- GRANT U.J.; HATHEWAY W.H.; TIMOTHY D.H.; CASSALETT C.; ROBERTS L. 1963. Races of maize in Venezuela. *NAS-NRC Publ.* 1136. Washington D.C., USA.
- GRAYBILL F.A. 1961. *An introduction to linear satistical models.* Vol.I. McGraw-Hill Book Co. New York, USA.
- GROBMAN A.; SALHUANA W.; SEVILLA R. 1961. Races of maize in Peru. *NAS-NRC Publ.* 915. Washington D.C., USA.
- GUZMAN R. 1978. Una nueva localidad para el teosinte Zea perennis y primer reporte de Zea mexicana para Jalisco. *Bol. Inf. Inst. Bot. Univ. de Guadalajara* 6:9-10.
- HABBEMA J.D.F. 1979. Statistical methods for classification of human chromosomes. *Biometrics* 35:103-118.

- HALLAUER A.R. 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35:1-16.
- HALLAUER A.R.; MIRANDA-FILHO J.B. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa, USA.
- HAMON P.; TOURE B. 1990. The classification of the cultivated yams (*Dioscorea cayenensis-rotundata* complex) of West Africa. *Euphytica* 47:179-187.
- HANELT P. 1988. Taxonomy as a tool studying plant genetic resources. *Kulturpflanze* 36:169-187.
- HANSON W.D. 1963. Heritability. p. 125-140. En W.D. Hanson y H.F. Robinson (eds.). *Statistical genetics and plant breeding*. Natl Acad. Sci. Natl. Res. Council. Publ. n° 982.
- HANSON W.D. 1984. Intergradation among Latin American maize based on an analysis of chromosome knob frequencies. *Theor. Appl. Genet.* 68:347-354.
- HARLAN J.R. 1975. Our vanishing genetic resources. *Science* 188:618-621.
- HARLAN J.R.; WET J.M.J. de; PRICE E.G. 1973. Comparative evolution of cereals. *Evolution* 27:311-325.
- HARSHBERGER J.W. 1896. Fertile crosses of teosinte and maize. *Gard. and Forest* 9:522-523.
- HARVILLE B.G.; JOSEPHSON L.M. 1979. Inheritance of ear height and associated characters in maize. *Maydica* 24:95-102.
- HATHEWAY W.H. 1957. Races of maize in Cuba. NAS-NRC Publ. 453. Washinton D.C., USA.
- HAWKES J.G. 1979. Genetic poverty of the potato in Europe. En Proc. of Conf. Broadening the Genetic Base of Crops. PUDOC, Wageningen, Holland. p. 19-28.
- HAWKES J.G.; LAMBERTS H. 1977. Eucarpia's fifteen years of activities in genetic resources. *Euphytica* 26:1-3.
- HESSE P.R. 1971. Soil Chemical Analysis. John Murray (ed.). Londres, UK.
- HEYWOOD V.H. 1968. Plant taxonomy today. p. 3-12. En V.H. Heywood (ed.). *Modern methods in plant taxonomy*. Academic Press. London, UK.
- HOND P.E. de.; CAMPBELL C.S. 1989. Multivariate analyses of hybridization between *Betula cordifolia* and *Betula populifolia* (Betulaceae). *Can. J. Bot.* 67:2252-2260.
- HORNER T.W.; FREY K.J. 1957. Methods for determining natural areas for oat varietal recommendations. *Agron. J.* 49:313-315.
- HUNTER R.B.; DAYNARD T.B.; HUME D.J.; CURTIS J.W. 1969. Effect of tassel removal

- on grain yield of corn. *Crop Sci.* 9:405-406.
- HUSSAINI S.H.; GOODMAN M.M.; TIMOTHY D.H. 1977. Multivariate analysis and the geographical distribution of the world collection of finger millet. *Crop Sci.* 17:257-263.
- I.B.P.G.R. 1980. Maize descriptors. F.A.O.-I.B.P.G.R. Roma, Italia. p. 6-8.
- I.B.P.G.R. 1986. Maize collecting in Paraguay. *Plant Gen. Res. Newsletter* 67:50-51.
- ILLOH H.C.; OLORODE O. 1991. Numerical taxonomic studies of mango (*Mangifera indica* L.) varieties in Nigeria. *Euphytica* 51:197-205.
- ILTIS H.H.; DOEBLEY J.F. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Amer. J. Bot.* 67:994-1004
- ILTIS H.H.; DOEBLEY J.F.; GUZMAN R.; PAZY B. 1979. *Zea diploperennis* (gramineae): a new teosinte from Mexico. *Science* 203:186-187.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. 1972. Field book for land and water management experts. Ed. ILRI. Wageningen, Holland.
- JAPAN DIVISION OF GENETIC. 1979. Collection and characteristics of races of maize in Japan. *Misc. Publ. Natl. Inst. Agric. Sci.* 3:1-210.
- JARADAT A.A. 1991. Phenotypic divergence for morphological and yield-related traits among landrace genotypes of durum wheat from Jordan. *Euphytica* 52:155-164.
- JARDINE N.; SIBSON J. 1971. *Mathematical taxonomy*. John Wiley and Sons. New York, USA.
- JOBET C.; BARRIGA P. 1988. Variabilidad genética del rendimiento y de otros caracteres cuantitativos en una población de maíz. I. Estimación de los componentes de la variación y heredabilidad. *Agro Sur* 16:73-83.
- JOHANNESSEN C.L.; PARKER A.Z. 1989. Maize ears sculptured in 12th and 13th century A.D. India as of pre-columbian diffusion. *Econ. Bot.* 43:164-180.
- JOHANNESSEN S.; HASTORF C. 1989. Corn and culture in central andean prehistory. *Science* 244:690-692.
- JOHANNSEN W. 1903. *Über erblichkeit in populationen und in reinen Linnien*. G. Fisher (ed.). Jena, RFD.
- JOHNSON S.C. 1967. Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika* 32:241-254.

- JUDEZ L. 1989. Técnicas de análisis de datos multidimensionales. Ed. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- JUGENHEIMER R.W. 1959. Obtención de maíz híbrido y producción de semilla. F.A.O. Roma, Italia. p. 393-462.
- KAAN F.; DERIEUX M. 1986. Use of exotic material and building up of broadly based populations for European breeders. Proc. 13th Conf. of the Maize and Sorghum. EUCARPIA.
- KAAN F.; RAUTOU S.; PANOUILLE A.; BOYAT A.; TERSAC M. 1982. Etude de populations européennes de maïs pour quelques caractères d'intérêt agronomique. *Agronomie* 2:577-582.
- KANG M.S.; GORMAN D.P. 1989. Genotype x environment interaction in maize. *Agron. J.* 81:662-664.
- KEARSEY M.J. 1965. Biometrical analysis of a random mating population: a comparison of five experimental designs. *Heredity* 20:205-235.
- KEMPTHORNE O. 1951. Design and analysis of experiments. John Wiley and Sons. New York, USA.
- KEMPTHORNE O.; TANDON B. 1953. The estimation of heritability by regression of offspring on parent. *Biometrics* 9:90-100.
- KNAPP S.J. 1986. Confidence intervals for heritability for two-factor mating design single environment linear models. *Theor. Appl. Genet.* 72:587-591.
- KNAPP S.J.; STROUP W.W.; ROSS W.M. 1985. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. *Crop Sci.* 25:192-194.
- KOUTSAS T.; KOUTSIKA-SOTIRIOU M.; FASOULAS A.C. 1992. The impact of genotype x soil texture interaction on the efficiency of selection for yield in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 61:61-65.
- KULESHOV N.N. 1933. World's diversity of phenotypes of maize. *J. Am. Soc. Agron.* 25:688-700.
- KURUVADI S. 1988. Multivariate analysis of genetic divergence in wheat. *Turrialba* 38:267-271.
- LAMKEY K.R.; HALLAUER A.R. 1987. Heritability estimated from recurrent selection experiments in maize. *Maydica* 32:61-78.
- LANCE G.N.; WILLIAMS W.T. 1967. A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. *Computer J.* 9:373-380.

- LECLERG E.L.; LEONARD W.H.; CLARK A.G. 1962. Field plot technique. Burgess Publ. Co. Minneapolis, USA.
- LEI Z.; LI G. 1989. Brief report on the maize germplasm resources in Guangxi province. *Zuow. Pinz. Ziyuan* 4:20 pp.
- LENG E.R.; TAVCAR A.; TRIFUNOVIC V. 1962. Maize of Southeastern Europe and its potential value in breeding programs elsewhere. *Euphytica* 11:263-272.
- LEON A. de. 1989. Caracterización agroclimática del País Vasco. Ed. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- LEON J.L.; MARIA F.; FERNANDEZ G.; ZOPPOLO J. 1981. Evaluation and classification of native maizes. *En Plant Breeding Abstracts* 53:123-124.
- LEVY A.A.; FELDMAN M. 1988. Ecogeographical distribution of HMW glutenin alleles in populations of the wild tetraploid wheat Triticum turgidum var. *dicoccoides*. *Theor. Appl. Genet.* 75:651-658.
- LIANG B.C.; MACKENZIE A.F.; KIRBY P.C.; REMILLARD M. 1991. Corn production in relation to water inputs and heat units. *Agron. J.* 83:794-799.
- LIN C.S. 1982. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean square. *Theor. Appl. Genet.* 62:277-280.
- LIN C.S.; BINNS M.R. 1986. Relative efficiency of two randomized block designs having different plot sizes and numbers of replications and of plots per block. *Agron. J.* 78:531-534.
- LIN C.S.; BINNS M.R. 1991. Assessment of a method for cultivar selection based on regional trial data. *Theor. Appl. Genet.* 82:379-388.
- LIN C.S.; BUTLER G. 1990. Cluster analyses for analyzing two-way classification data. *Agron. J.* 82:344-348.
- LIU Z.X.; ZHANG S.E.; WANG G.L. 1990. Research and utilization of maize germplasm resources in Shandong province. *Crop Gen. Res.* 2:14-16.
- LLAURADO M. 1990. Caracterización morfológica e isoenzimática de las variedades locales de maíz de Galicia y de la Cornisa Cantábrica. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- LOTHROP J.E.; ATKINS R.E.; SMITH O.S. 1985. Variability for yield and yield components in IAPIR grain sorghum randomating population. I. Means, variance components and heritabilities. *Crop Sci.* 25:235-240.
- MAHALANOBIS P.C. 1936. On the generalized distance in statistics. *Proc. Nat. Inst. Sci. India* 2:49-55.

- MALVAR R.A.; ORDAS A. 1989. Estimación de los componentes de la varianza genética en poblaciones de maíz del Noroeste de España. XXIV Jornadas Luso-Espanholas de Genetica. 71 pp.
- MANGELSDORF P.C. 1974. Corn: Its origin, evolution, and improvement. Harvard Univ. Press. Cambridge.
- MANGELSDORF P.C.; REEVES R.G. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. 574.
- M.A.P.A. 1990. Anuario de Estadística Agraria. Ed. Secretaría General Técnica, Madrid.
- MARIN S.N. 1988. Study of local maize varieties of the Primor'e region. En Maize Abstracts 7:99 pp.
- MÁRQUEZ SÁNCHEZ F. 1984. Sample size for the representation of maize populations: replications and economic analysis. Revista Chapingo 9:242-251.
- MÁRQUEZ-SÁNCHEZ F.; HALLAUER A.R. 1970. Influence of sample size on the estimation of genetic variances in a synthetic variety of maize. I. Grain yield. Crop Sci. 10:357-361.
- MARTÍNEZ O.J.; GOODMAN M.M.; TIMOTHY D.H. 1983. Measuring racial differentiation in maize using multivariate distance measures standardized by variation in F2 populations. Crop Sci. 23:775-778.
- MAYR E. 1966. The proper spelling of taxonomy. Syst. Zool. 15:88 pp.
- MAcNEISH R.S. 1985. The archaeological record on the problem of the domestication of corn. Maydica 30:171-178.
- McCAIN F.S.; SCHULTZ Jr. 1959. A method for determining areas for corn varietal recommendations. Agron. J. 51:476-479.
- McINTOSH M.S. 1983. Analysis of combined experiments. Agron. J. 75:153-155.
- MOCK J.J. 1979. Breeding maize to convert solar energy into food more efficiently. Proc. Ann. Corn and Sorghum Res. Conf. 32:32-46.
- MOCK J.J.; SCHUETZ S.H. 1974 Inheritance of tassel branches number in maize. Crop Sci. 14:885-888.
- MOLINA-CANO J.L. 1976. A numerical classification of some European barley cultivars (Hordeum vulgare L.). Z. Pflanzenzüchtung 76:320-333.
- MOLINA-CANO J.L. 1977. Numerical taxonomy as an aid to barley germplasm collection. Barley Genet. News. 7:45-50.

- MOLINA-CANO J.L.; GARCIA DEL MORAL L.F.; RAMOS J.M; GARCIA DEL MORAL M.B.; JIMENEZ-TEJADA P.; ROMAGOSA I.; ROCA DE TOGORES E. 1990. Quantitative phenotypical expression of three mutant genes in barley and the basis for defining an ideotype for Mediterranean environments. *Theor. Appl. Genet.* 80:762-768.
- MONTGOMERY E.G. 1911. Correlations studies in corn. *Neb. Agric. Exp. Stn. Annu. Rep.* 24:108-159.
- M.O.P.U. 1984. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. Ed. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- MORISHIMA H. 1969. Phenetic similarity and phylogenetic relationships among strains of *Oryza sativa*, estimated by methods of numerical taxonomy. *Evolution* 23:429-443.
- MORRISON D.F. 1976. *Multivariate Statistical Methods*. International Student Edition. Ed. McGraw-Hill Book Co. New York, USA.
- MOSS D.N.; MUSGRAVE R.B. 1971. Photosynthesis and crop production. *Adv. Agron.* 24:317-334.
- MOTTO M. 1979. Heritability and interrelations of seed quality and agronomic traits in a modified opaque-2 synthetic variety of maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 24:193-202.
- MUCHOW R.C.; SINCLAIR T.R.; BENNETT J.M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82:338-343.
- MUTISYA F.M.; GEADELMANN J.L. 1990. Rapid method for estimating leaf area per plant in early maturing maize. *East African Agric. and Forest. J.* 53:165-169.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. 1972. Genetic vulnerability of food crops. Washington D.C., USA.
- NEVO E.; BEILES A.; KAPLAN D. 1988. Genetic diversity and environmental associations of wild emmer wheat, in Turkey. *Heredity* 61:31-45.
- NEVO E.; ORDENTLICH A.; BEILES A.; RASKIN I. 1992. Genetic divergence of wheat production within and between the wild progenitors of wheat and barley: evolutionary and agronomical implications. *Theor. Appl. Genet.* 84:958-962.
- NEVO E.; ZOHARY D.; BROWN A.H.D.; HABER M. 1979. Genetic diversity and environmental associations in wild barley. *Evolution* 33:815-833.
- NEVO E.; BEILES A.; STORCH N.; DOLL H.; ANDERSEN B. 1983. Microgeographic edaphic differentiation in hordein polymorphisms of wild barley. *Theor. Appl. Genet.* 64:123-132.

- NICOLAS A. 1968. Apuntes de Edafología. E.T.S.I.M., Sección de Publicaciones. Madrid.
- NIE N; HULL C.H.; JENKINS J.G.; STEINBRENNER K; BENT D.H. 1975. SPSS, Statistical package for the social science. (2nd. ed.) McGraw Hill Book Co. New York, USA.
- NIGATU Y. 1987. Collection and evaluation of some Ethiopian maize germplasm. En Plant Breeding Abstracts 59:111-112.
- NIVIO A.A.; MAGOJA J.L. 1988. Races of maize from Salta (Argentina): numerical analysis of storage protein data. MNL 62:79-80.
- NORUSSIS M.J. 1986. Statistical package for the social sciences. SPSS/PC+. SPSS Inc. Chicago, USA.
- OLIVEIRA J.A. 1990. Contribution a l'etude de populations naturelles de raygrass anglais (*Lolium perenne* L.) de Galice. Tesis Doctoral. Paris.
- ORDAS A. 1979. Empleo de unidades térmicas y capa negra en la clasificación de híbridos de maíz para Galicia. An. de Edafol. y Agrobiol. 38:1079-1088.
- ORDAS A. 1991. Heterosis in crosses between american and spanish populations of maize. Crop Sci. 31:931-935.
- ORDAS A.; RON A.M. de 1988. A method to measure conicalness in maize. Maydica 33:261-267.
- ORTIZ-VALDEZ M. 1985. Climatic delineation of maize production areas in Iowa: A multivariate statistical analysis. PhD. Iowa State Univ. Ames, Iowa, USA.
- OTTAVIANO E.; CAMUSSI A. 1981. Phenotypic and genetic relationships between yield components in maize. Euphytica 30:601-609.
- PALMBERG C.; ESQUINAS J.T. 1990. The role of the United Nations agencies and other international organizations in the conservation of plant genetic resources. For. Ecol. and Management 35:171-197.
- PAPADAKIS J. 1960. Geografía Agrícola Mundial. Salvat Editores S.A. Barcelona.
- PAUW R.M. de; McCAIG T.N. 1991. Components of variation, heritabilities and correlations for indices of sprouting tolerance and seed dormancy in *Triticum spp.* Euphytica 52:221-229.
- PAVLICIC J.; TRIFUNOVIC V. 1967. A study of some importat ecologic corn types in Yugoslavia and their classification. J. Sci. Agric. Res. 19:44-62.
- PE' E.; CAMUSSI A. 1982. Yield components and plant traits in summer-sowing maize. Maydica 27:169-183.

- PEARCE R.B.; MOCK J.J.; BAILEY T.B. 1975. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. *Crop Sci.* 15:691-694.
- PEARSON K. 1926 On the coefficient of racial likeness. *Biometrika* 18:105-117.
- PEGO S.E.; HALLAUER A.R. 1984. Portuguese maize germplasm with abnormal ear shape. *Maydica* 29:39-53.
- POLLAK L.M.; PHAM H.N. 1989. Classification of maize testing locations in Sub-Saharan Africa by using agroclimatic data. *Maydica* 34:43-51.
- PRICE S.C.; SHUMAKER K.M.; KAHALER A.L.; ALLARD R.W.; HILL J.E. 1984. Estimated of population differentiation obtained from enzyme polymorphism and quantitative characters. *J. Hered.* 75:141-142.
- PRIMO E.; CARRASCO J.M. 1981. *Química Agrícola I. Suelos y Fertilizantes*. Ed. Alhambra. Madrid.
- RADOVIC G.; VIDAKOVIC M. 1979. Taxonomic studies of maize populations from Yugoslavia. Proc. of the 10th Meet. Section Maize and Sorghum. EUCARPIA.
- RADOVIC G.; ZIVKOVIC V. 1983. Collecting local maize in southern Yugoslavia. *Plant Gen. Res. Newsletter* 53:15-16.
- RAMEY T.B.; ROSIELLE A.A. 1983. HASS cluster analysis: a new method of grouping genotypes or environments in plant breeding. *Theor. Appl. Gen.* 66:131-133.
- RAMÍREZ E.R.; TIMOTHY D.H.; DIAZ B.E.; GRANT U.J. 1960. Races of maize in Bolivia. NAS-NRC Publ. 747. Washington. D.C., USA.
- RAO C.R. 1948. The utilization of multiple measurements in problems of biological classification. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. 10*:159-193.
- RAO C.R. 1952. *Advanced Statistical Methods in Biometric Research*. John Wiley and Sons. New York, USA.
- RAVEN P.H.; BERLIN B.; BREEDLOVE D.E. 1971. The origin of taxonomy. *Science* 174:1210-1213.
- REEVES M.G.; MANGELSDORF P.C. 1942. A proposed taxonomic change in the tribe Maydeae (family Gramineae). *Amer. J. Bot.* 29:815-817.
- REGAZZI A.J.; SILVA J.C.; THIEBAUT J.T.L.; OLIVEIRA L.M.; GALVAO J.D. 1980. Variâncias, covariâncias e correlações fenotípicas, genotípicas e genéticas aditivas num composto de milho (Zea mays L.). *Revista Ceres* 27:32-46.
- REID L.M.; ARNASON J.T.; NOZZOLILLO C.; BRAUM B.; HAMILTON R. 1990.

- Taxonomy of Mexican landraces of maize, *Zea mays* L., based on their resistance to European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Euphytica* 46:119-131.
- REIS F.P.; SILVA J.C.; REGAZZI A.J.; OLIVEIRA L.M. de 1982. Heredabilidades, correlações e índices de seleção em milho (*Zea mays* L.). *Revista Ceres* 29:268-283.
- REVENGA A. 1941. Mapa de isoxeras de España. Ed. Estudios Geográficos. Madrid.
- REZAI A.; FREY K.J. 1990. Multivariate analysis of variation among wild oat accessions-seed traits. *Euphytica* 49:111-119.
- RHODES A.M.; CARMER S.G.; COURTER J.W. 1969. Measurement and classification of genetic variability in horseradish. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94:98-102.
- RISSI R. de; PATERNIANI E. 1981. Estimates of genetic parameters in two sub-populations of the variety of maize (*Zea mays* L.) Pirañao. *Revista Brasileira de Genética* 4:579-592.
- ROBERTS D.M.; GRANT U.J.; RAMIREZ E.R.; HATHEWAY W.H.; SMITH D.L. 1957. Races of maize in Colombia. NAS-NRC Publ. 510. Washington D.C., USA.
- ROBINSON H.F.; COMSTOCK R.E.; HARVEY P.H. 1951. Genotypic and phenotypic correlation in corn and their implications in selection. *Agron. J.* 43:282-287.
- ROGERS D.J. 1963. Taximetrics, new name, old concept. *Brittonia* 15:285-290.
- ROHLF F.J. 1969. GRAFPAC, graphic output subroutines for the GE 635 computer. *Kansas Geol. Surv. Computer Contrib.* 36:50 pp.
- ROHLF F.J.; SOKAL R.R. 1965. Coefficients of correlation and distance in numerical taxonomy. *Univ. Kansas Sci. Bull.* 45:3-27.
- ROMESBURG H.C. 1984. Cluster analysis for researches. John Murray (ed.). USA.
- RON A.M. de. 1987. Estudio genético y taxonómico de las poblaciones gallegas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- RON A.M. de; ORDAS A. 1987. Genetic study of non-ear characters in maize. *Plant Breeding* 98:262-271
- ROOD S.B.; MAJOR D.J. 1981. Diallel analysis of leaf number, leaf development rate and plant height of early maturing maize. *Crop Sci.* 21:867-873.
- RUDEFORTH C.C. 1975. Storing and processing data for soil and land use capability surveys. *J. Soil Sci.* 26:155-168.
- RUSSELL J.S. 1982. Selection of homoclimates based on comparisons with single stations and using monthly rainfall and temperature data. *Agric. Meteorol.* 26:179-194.

- RUSSELL J.S.; MORE A.W. 1970. Detection of homoclimates by numerical analysis with reference to the Brigalón region (Eastern Australia). *Agric. Meteorol.* 7:455-479.
- RUSSELL W.A.; HALLAUER A.R. 1980. Corn. p. 299-312. En Fehr W.R. y H.H. Hodley (eds.). *Hybridization of crop plant*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- SALAMINI F. 1968. Variabilità mendeliana nelle varietà italiane di mais. *Maydica* 13:1-45.
- SALAZAR A.; ALONSO S.; GALLARDO J.; PORTERO G.; PASCUAL M.H.; OLIVE A. 1991. *Geomorfología y Edafología de Guipúzcoa*. Ed. Diputación Foral de Guipúzcoa. San Sebastián.
- SÁNCHEZ-MONGE E. 1962. *Razas de maíz en España*. Publ. Ministerio de Agricultura. Madrid. 179 pp.
- SANDHU T.S. 1992. Potential of genetic resources and biotechnology in pulse breeding. *Plant Breeding Abstracts* 62:131-139.
- SAS. 1988. *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.03 Edition. Cary, NC, USA.
- SCHMID A.R.; GOODRICH R.D.; JORDAN R.M.; MARTEN G.C.; MEISKE J. 1976. Relationships among agronomic characteristics of corn and sorghum cultivars and silage quality. *Agron. J.* 68:403-406.
- SCHRADER H. 1832. *Index Seminum Hort. Acad. Gottingen* 1832:3. Reprinted in *Linnaea* (Berlin) 1833:25-26.
- SEAMANN F. 1979. *Agrometeorology*. Springer Verlag. New York, USA. 125 pp.
- SHAHI J.P.; SHING I.S.; AGRAWAL K.N. 1986. Genetic variability for grain yield and its components characters at two plant densities in maize (*Zea mays* L.). *Z. Pflanzenzüchtung* 96:122-129.
- SHAW R.H. 1988. Climate requirement. En G.F. Sprague y J.W. Dudley (eds.). *Corn and corn improvement*. Agron Monogr. 18. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- SHULL G.H. 1909. A pure-line method of corn breeding. *Am. Breeders' Assoc. Rep.* 5:51-59.
- SINGH R.B. 1989. Crop genetics resources. p. 434-446. En *Plant Breeding*. IBH Publ. Com. Ltd. New Delhi, India.
- SMITH C.S.; MOCK J.J.; CROSBIE T.M. 1982. Variability for morphological and physiological traits associated with barrenness and grain yield in the maize population, Iowa upright leaf syntetic. *Crop Sci.* 22:828-832.

- SMITH J.S.C. 1988. Diversity of United States hybrid maize germplasm: isozymic and chromatographic evidence. *Crop Sci.* 28:63-73.
- SMITH J.S.C.; SMITH O.S. 1989. The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. The use of morphological traits as descriptors. *Maydica* 34:141-150.
- SMITH O.S.; HALLAUER A.R.; RUSSELL W.A. 1981. Use of index selection in recurrent selection programs in maize. *Euphytica* 30:611-618.
- SNEATH P.H.A. 1957. The application of computers to taxonomy. *J. Gen. Microbiol.* 17:201-226.
- SNEATH P.H.A. 1976. Some applications of numerical taxonomy to plant breeding. *Z. Pflanzenzüchtung* 76:19-46.
- SNEATH P.H.A.; SOKAL R.R. 1973. Numerical taxonomy. Freeman W.H. and Co. San Francisco, California, USA.
- SNEDECOR G.W.; COCHRAN W.G. 1967. Statistical methods. Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa, USA.
- SOIL SURVEY STAFF 1951. Soil Survey Manual. U.S. Dep. of Agric. Handb. n° 18. USDA. Washington D.C., USA.
- SOIL SURVEY STAFF 1988. Keys to soil taxonomy. SMSS, Technical Monograph. Cornell Univ. USA. 220 pp.
- SOKAL R.R.; MICHENER C.D. 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ. Kansas Sci. Bull.* 38:1409-1438.
- SOKAL R.R.; ROHLF F.J. 1962. The comparisons of dendrograms by objective methods. *Taxon* 11:33-40.
- SOKAL R.R.; SNEATH P.A. 1963. Principles of numerical taxonomy. Freeman W.H. and Co. San Francisco, California, USA.
- SPAGNOLETTI-ZEULI P.L.; PACE C. de; PORCEDDU E. 1984. Variation in durum wheat populations from three geographical origins. I. Material and apike characteristics. *Euphytica* 33:563-574.
- SPRAGUE G.F. 1984. Organization of breeding programs. p. 20-31. Proc. 20th Annual Illinois Corn Breeders. Univ. of Illinois. Urbana, USA.
- STACE C.A. 1986. The present and future infraspecific classification of wild plants. *En Plant Breeding Abstracts* 56:697 pp.
- STEEL R.G.; TORRIE J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book

Co. New York, USA.

- STURTEVANT E.L. 1899. Varieties of corn. USDA Off. Exp. Stn. Bull. 57:1-108.
- SUBANDI J.; COMPTON W.A. 1974. Genetic studies in an exotic population of corn (Zea mays L.) grown under two plant densities. I. Estimates of genetic parameters. Theor. Appl. Genet. 44:153-159.
- SVIRIDOV A.V. 1978. Heritability of quantitative characters in maize under irrigation. En Plant Breeding Abstracts 50:785 pp.
- SWAMINATHAN M.S. 1983. Genetic conservation: microbes to man. XV Congress of Genet. New Delhi, India. 32 pp.
- TABA S. 1990. Conservation and use of maize genetic resources at CIMMYT. Maydica 35:183-186.
- TIMOTHY D.H.; HATHEWAY W.H.; GRANT U.J.; TORREGROZA C.M.; SARRIA V.; VARELA D. 1963. Races of maize in Ecuador. NAS-NRC Publ. 975. Washington D.C., USA.
- TIMOTHY D.H.; PEÑA V.B.; RAMIREZ E.R. 1961. Races of maize in Chile. NAS-NRC Publ. 847. Washington D.C., USA.
- TUKEY J.W. 1977. Exploratory data analysis. Reading Massachussets. Addison Wesley. USA.
- TURC L. 1967. Incidence des facteurs macroclimatiques sur les productions végétales. Fourrages 31:23-25.
- VAN SANTEN E.; COLLINS D.J. 1991. Genetic diversity in tall fescue ecotypes from Alabama. I. Maturity, morphological traits, and disease reaction. Plant Breeding 107:210-217.
- VINCOURT P. 1984. Relations entre rythme d'apparition des feuilles, nombre total de feuilles et precocite de floraison chez le maïs. Agronomie 4:795-800.
- VON POST T.O.; KUNTZE O. 1904. Lexicon generum phanerogamarum. Deutsche Verlags-Anstalt. Stuttgart, Germany.
- WALD A. 1944. On a statistical problem arising in the classification of an individual into one of two groups. Ann. of Math. Statistics 15:145-162.
- WALLACE H.A.; BROWN W.L. 1956. Corn and its early fathers. Michigan State Univ. Press. East Lansing, USA.
- WALSH J. 1981 Genetic vulnerability down on the farm. Science 214:161-164.

- WALTERS S.P.; RUSSELL W.A.; LAMKEY K.R. 1991. Comparisons of phenotypic correlations among S1 lines, and their testcrosses, from four Iowa Stiff Stalk populations of maize. *Maydica* 36:39-44.
- WARNER J.N. 1952. A method for estimating heritability. *Agron. J.* 44:427-430.
- WEATHERWAX P. 1954. *Indian corn in old America*. Company, New York, USA.
- WELCH B.L. 1939. Note on discriminant functions. *Biometrika* 31:218-220.
- WELLHAUSEN E.J.; FUENTES A.; HERNANDEZ A.; MANGELSDORF P.C. 1957. Races of maize in Central America. NAS-NRC Publ. 511. Washington D.C., USA.
- WELLHAUSEN E.J.; ROBERTS L.M.; HERNANDEZ E. 1952. Races of maize in Mexico, their origin, characteristics, and distribution. The Bussey Inst. Harvard Univ. Cambridge, Massachusetts, USA. 223 pp.
- WELLHAUSEN E.J.; ROBERTS L.M.; HERNANDEZ E.; MANGELSDORF P.C. 1951. Razas de maíz en México. Folleto Técnico N° 5. Oficina de Estudios Especiales, SAG. México.
- WELTZIEN E. 1989. Differentiation among barley landrace populations from the Near East. *Euphytica* 43:29-39.
- WILKES H.G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. Bussey Inst. Harvard Univ. Cambridge, Massachusetts, USA.
- WILLMAN M.R.; BELOW F.E.; LAMBERT R.J.; HOWEY A.E.; MIES D. 1987. Plant traits related to productivity of maize. I. Genetic variability, environmental variation, and correlation with grain yield and stalk lodging. *Crop Sci.* 27:1116-1121.
- WINTER S.R.; OHLROGGE A.J. 1973. Leaf angle, leaf area, and corn (*Zea mays* L.) yield. *Agron. J.* 65:395-397.
- WITEHOUSE R.N.H. 1969. Canonical analysis as an aid to plant breeding. p. 269-282. En R.A. Nilan (ed.). Washington State Univ. Press. Pullman, USA.
- YAU S.K. 1991. Need of scale transformation in cluster analysis of genotypes based on multi-location yield data. *J. of Genet. and Breed.* 45:71-76.
- ZUBER M.S.; DARRAH L.L. 1980. 1979 U.S. corn germplasm base. Proc. Annual Corn Sorghum Res. Conf. 35:234-249.

Anejo 1. Medias poblaciones de los caracteres morfológicos de planta y de ciclo.

Pob	AP	NT	AM	NM	AH	LP	RP	LD	ND	FF	PT	UT	IA
854	166,68	9,35	54,89	5,10	485,26	36,48	8,93	11,67	6,57	64,33	1,75	552,64	1,09
856	198,05	9,75	66,35	5,11	581,53	42,96	13,59	12,18	6,60	67,50	2,58	591,96	1,10
859	208,33	10,65	80,41	5,89	587,80	39,00	15,68	11,82	6,86	70,25	2,50	626,33	1,05
861	191,00	10,63	73,21	5,93	540,52	36,78	14,10	11,37	6,50	68,41	2,41	604,86	1,00
862	183,25	9,54	57,66	5,08	497,35	39,61	10,71	13,87	6,58	63,75	2,25	547,67	1,08
863	185,93	10,05	62,80	5,48	530,53	39,53	10,75	11,19	6,65	67,16	2,00	588,19	1,04
864	181,02	10,50	62,86	5,60	541,18	36,77	17,65	10,71	6,41	71,50	3,25	640,55	1,01
865	183,83	9,90	65,24	5,50	524,76	37,45	14,03	10,50	5,84	67,16	1,75	587,20	1,05
866	174,86	10,00	62,76	5,58	571,83	38,19	14,33	10,74	6,41	70,83	2,83	632,17	1,12
868	184,15	9,40	60,39	5,21	517,33	40,33	13,27	11,07	6,45	66,91	2,50	581,15	1,02
869	164,36	9,40	49,80	4,91	498,10	37,45	14,50	11,72	6,33	67,08	3,25	589,69	1,18
871	203,34	10,24	71,83	5,62	632,40	45,19	15,12	11,81	6,32	71,25	2,75	637,96	1,06
874	178,87	10,19	61,72	5,31	505,85	37,12	15,56	11,61	6,81	71,33	2,41	639,64	1,03
875	210,27	10,65	82,07	6,07	625,42	41,66	14,62	12,05	6,92	72,33	3,50	650,68	1,05
877	181,77	10,29	59,55	5,35	569,37	41,20	14,73	11,30	6,75	70,50	2,83	629,75	1,07
878	158,16	9,85	48,98	5,25	469,92	34,07	16,35	9,99	7,07	69,08	3,00	611,74	1,07
880	201,95	11,07	79,70	6,14	625,90	39,44	17,18	12,96	6,60	73,75	3,41	666,51	1,12
881	186,24	10,87	67,13	6,10	545,34	38,18	17,08	10,34	6,63	71,33	2,66	637,80	1,03
885	180,16	10,12	57,51	5,41	536,63	37,83	14,81	11,94	6,54	68,00	2,41	596,06	1,18
887	182,15	10,27	64,80	5,71	567,44	38,66	10,94	9,32	6,74	69,83	2,41	621,09	1,01
888	174,98	9,60	54,46	5,15	516,05	38,10	14,60	12,34	6,98	68,33	2,50	599,44	1,06
891	188,25	9,87	62,89	5,49	539,70	38,84	11,91	11,75	6,73	67,16	2,16	585,82	1,11
892	169,20	9,59	54,80	5,37	511,15	38,70	14,10	10,86	6,74	64,75	2,16	560,34	1,04
894	159,43	9,32	48,91	5,15	434,95	36,15	13,89	10,03	5,82	64,50	2,00	554,09	1,09
897	200,79	11,15	76,50	6,10	594,68	40,28	18,93	13,37	6,94	74,41	3,08	676,33	1,05
901	181,35	9,64	57,68	5,29	494,10	40,58	14,15	10,78	6,88	66,33	2,00	573,60	1,05
905	181,09	9,95	59,45	5,34	522,25	37,75	14,79	13,01	6,73	70,08	3,33	621,63	1,03
909	164,46	9,15	50,97	4,95	445,94	37,64	13,40	11,86	6,57	62,91	1,91	536,53	1,01
911	205,92	10,63	73,28	5,67	604,02	41,67	18,74	13,02	7,43	72,91	2,91	658,95	1,06
912	167,63	9,48	51,65	5,26	460,53	37,17	11,20	10,81	6,87	65,00	2,25	560,14	1,06
913	190,53	10,04	68,81	5,53	573,99	38,25	13,56	11,68	6,51	67,50	2,08	587,27	1,08
914	174,11	10,30	58,34	5,51	541,00	36,34	13,17	10,36	6,19	67,25	1,83	585,60	1,04
915	188,64	10,03	66,10	5,42	517,37	38,47	17,50	13,00	7,12	69,91	3,25	622,38	1,08
919	165,34	9,46	48,75	5,05	448,70	36,54	16,20	12,00	6,64	64,91	2,50	561,90	1,17
921	160,68	8,93	44,70	4,84	408,43	35,95	12,12	9,42	5,72	64,25	1,75	550,19	1,06
923	155,24	9,35	47,46	5,01	418,15	34,60	14,63	9,30	6,73	66,50	2,83	580,65	1,06
926	168,23	9,45	49,71	4,95	481,15	38,74	12,65	12,49	7,07	68,25	2,66	601,67	1,23
927	207,22	11,20	76,00	6,00	588,60	40,56	16,78	11,10	6,40	73,00	3,58	659,34	1,04
928	179,10	9,88	58,04	5,21	482,66	37,53	15,20	11,55	6,94	69,66	3,25	619,45	1,07

Anejo 1. Medias poblacionales de los caracteres morfológicos de planta y de ciclo (Continuación)

Anejo 2. Medias poblacionales de los caracteres morfológicos de mazorca y grano.

871	7,0	11,3	15,7	1081,0	190	541,8	6,9	5,1	4,3	15,7	64,0	20,7	22,9	6,4	0,8	0,4	0,3	34,0
874	8,1	12,5	16,4	1301,0	345	582,5	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,7
875	6,4	10,1	16,0	1081,0	230	503,1	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,6
877	6,4	10,1	16,0	1081,0	335	503,1	5,9	6,7	5,8	13,6	57,0	29,3	31,2	15,6	2,1	0,4	0,3	58,5
878	6,4	10,1	16,0	1381,0	350	503,1	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,5
880	6,4	10,1	16,0	1381,0	170	503,1	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,4
881	8,1	12,5	16,0	1381,0	180	582,5	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,6
885	8,1	12,5	16,0	1381,0	170	582,5	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,4
887	8,1	12,5	16,0	1381,0	170	582,5	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,5
888	8,1	12,5	16,0	1381,0	160	582,5	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,7
891	8,1	12,5	16,0	1381,0	185	582,5	8,1	6,7	5,7	20,0	31,2	36,8	36,8	19,0	2,1	0,5	0,3	60,8
892	8,1	12,5	16,0	1352,9	320	582,5	7,2	5,3	4,4	17,3	54,9	28,1	19,7	7,5	1,3	0,4	0,3	43,0
894	8,1	12,5	16,0	1352,9	215	582,5	7,2	5,3	4,4	17,3	54,9	28,1	19,7	7,5	1,3	0,4	0,3	43,0
897	5,8	10,1	14,3	1389,0	220	503,1	4,4	6,3	5,4	17,6	51,7	36,7	21,4	10,7	1,8	0,2	0,3	60,0
901	5,8	10,1	14,3	1389,0	345	503,1	4,3	6,1	5,3	20,9	43,9	35,3	23,7	8,3	0,9	0,5	0,6	46,1
905	5,8	10,1	14,3	1389,0	315	503,1	6,9	5,1	4,3	15,7	64,0	20,7	22,9	6,4	0,8	0,4	0,3	34,2
909	5,8	10,1	14,3	1389,0	403	503,1	7,4	7,1	6,1	15,8	49,0	35,5	23,2	19,4	0,7	0,3	0,2	73,3
911	8,1	12,5	16,4	1409,1	240	582,5	6,9	5,1	4,3	15,7	64,0	20,7	22,9	6,4	0,8	0,4	0,3	34,4
912	8,1	12,5	16,4	1409,1	265	582,5	7,2	5,3	4,4	17,3	54,9	28,1	19,7	7,5	1,3	0,4	0,3	43,0
913	8,1	12,5	16,4	1409,1	395	582,5	5,9	6,7	5,8	13,6	57,0	29,3	31,2	15,6	2,1	0,4	0,3	58,5
914	8,1	12,5	16,4	1409,1	475	582,5	5,9	6,7	5,8	13,6	57,0	29,3	31,2	15,6	2,1	0,4	0,3	58,4
915	5,8	10,1	14,3	1389,1	265	503,1	7,4	7,1	6,1	15,5	49,0	35,5	23,2	19,4	0,7	0,3	0,2	73,7
919	5,8	10,1	14,3	1389,1	505	503,1	5,5	4,8	3,9	18,3	50,0	32,0	18,5	4,5	0,6	0,3	0,3	31,6
921	8,1	12,5	16,4	1352,9	225	582,5	7,2	5,3	4,4	17,3	54,9	28,1	19,7	7,5	1,3	0,4	0,3	43,0
923	7,7	12,5	17,4	1515,4	260	582,5	3,3	7,0	5,9	10,3	63,5	26,3	15,4	9,8	0,5	0,2	0,2	74,2
926	7,7	12,5	17,4	1515,4	410	582,5	7,2	5,3	4,4	17,3	54,9	28,1	19,7	7,5	1,3	0,4	0,3	43,0
927	6,9	12,2	17,6	1185,2	205	572,1	3,3	7,0	5,9	10,3	63,5	26,3	15,4	9,8	0,5	0,2	0,2	74,3
928	6,4	10,1	16,0	1352,9	225	503,1	3,3	7,0	5,9	10,3	63,5	26,3	15,4	9,8	0,5	0,2	0,2	74,2

Anejo 3. Medias poblacionales de los parámetros ambientales.
(Continuación)

