

*Dedico este trabajo a mi esposa, Luisa, y  
a mis hijos, padres y hermanas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a:

- los Doctores D. Bernardo Pascual España y D. Vicente Maroto Borrego, catedráticos del Departamento de Producción Vegetal y directores de la presente Tesis Doctoral, por su constante apoyo, técnico y moral, su dedicación a este trabajo, sus indicaciones y consejos, iniciarme en la investigación en el mundo de la Fitotecnia, apoyarme profesionalmente y, finalmente, por ser unos insustituibles compañeros y amigos;
- el Ministerio de Educación y Ciencia por la beca de F.P.I. concedida para la realización de la presente Tesis Doctoral;
- el Servicio de Semillas y Plantas de Vivero y a la Dirección General de Innovación y Promoción Agrarias de la Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació de la Generalitat Valenciana por su apoyo financiero prestado a la realización de los presentes estudios;
- el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos por permitirme utilizar sus instalaciones y, especialmente, al Doctor D. José Morell Mascarell, a D. Adolfo Martí Vidagany y D. Miguel Sabater Solaz por sus consejos y ayuda en los apartados dedicados a la horchata;
- los compañeros y becarios de las Unidades Docentes de Fitotecnia I/II de la E.T.S.I.A. por la frecuente ayuda recibida, especialmente la de D Marisol Bono Herrera en sus constantes colaboraciones en los trabajos de campo y de laboratorio;
- los compañeros de la Unidad Docente de Suelos y del laboratorio de Citricultura de la E.T.S.I.A. por la cesión de sus locales e instalaciones para la realización de diversos experimentos;
- los Doctores D. Ángel Maquieira Catalá, D. Miguel Peris Tortajada y D M Dolores Raigón Jiménez del Departamento de Química, D Concepción Cervera Fras del Departamento de Ciencia Animal, D. José M Bellés Albert del Departamento de Biotecnología, D. Fco. Javier Esteras Pérez, D. Fernando Fornés Sebastiá D Carmen Albert Polo del Departamento de Biología Vegetal, D. Sebastián Balasch Parisi y D. Rafael Romero Villafranca del Departamento de Estadística e Investigación Operativa por las facilidades dadas para la realización de experimentos y por los consejos teóricos proporcionados;
- al Doctor D. Antonio Garrido Vivas, investigador del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, por las fotografías de material vegetal;
- D. Vicente Panach, D. Ernesto Díaz Asensio y D. José Díaz Tercero por su inapreciable colaboración en el manejo de las plantas y de los tubérculos y a todas las personas no citadas que me han animado y ayudado, de una forma u otra, a la realización de la presente Tesis Doctoral.

Por último, deseo agradecer a mis padres y hermanas y, sobre todo, a Luisa, mi esposa, por estar continuamente a mi lado y por la paciencia que han tenido.

## **RESUMEN**

La presente Tesis Doctoral aborda un estudio complementario a numerosos trabajos de investigación llevados a cabo en el Departamento de Producción Vegetal de la U.P.V. sobre diversos aspectos agronómicos del cultivo de *Cyperus esculentus* var. *sativus* (chufa). Tras haberse llevado a cabo una selección clonal, tanto con parte del material vegetal cultivado en l'Horta Nord de València como con material foráneo, se ha tipificado éste desde unos puntos de vista morfológico y agronómico.

Se han realizado estudios morfológicos y fisiológicos sobre las plantas (altura de plantas, número de brotes por planta, emisión de inflorescencias, evolución del encamado) y sobre los tubérculos (peso unitario, forma (relación longitud/anchura), número de nudos). Otros estudios han abarcado aspectos productivos (rendimientos, producción de masa foliar, número de tubérculos producidos por planta) y la composición química de los tubérculos (almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra, cenizas).

Asimismo, se han analizado las propiedades organolépticas de las horchatas elaboradas con tubérculos de los distintos clones, así como la composición química de las mismas.

Con todos los parámetros considerados y tras haberse obtenido resultados de tres campañas, se ha analizado su heredabilidad y se han planteado análisis discriminantes.

De este modo ha sido posible definir grupos de clones con similar comportamiento (cuatro cultivares, dos de ellos obtenidos a partir de dos clones cada uno) y sus principales características, sentando unas bases firmes para el planteamiento de futuros estudios de selección y mejora del material vegetal de *C. esculentus*, tanto cultivado como susceptible de serlo.

## **ÍNDICES**

**Índice general**

**CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN DE *Cyperus esculentus* L.**

<b>1.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2.</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
1.2.1.	Distribución y utilización.....	2
1.2.2.	Zonas de cultivo.....	4
1.2.3.	Importancia económica.....	4
<b>1.3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.3.1.	Encuadramiento taxonómico.....	6
1.3.2.	Variedades.....	7
1.3.2.1.	Descripciones.....	7
1.3.2.2.	Variedades en la Cuenca Mediterránea.....	9
1.3.3.	Ciclo.....	9
1.3.4.	Ecología.....	9
1.3.5.	Biología.....	9
1.3.5.1.	La planta.....	10
1.3.5.2.	Hojas.....	11
1.3.5.3.	Inflorescencias.....	12
1.3.5.4.	Semillas.....	12
1.3.5.5.	Rizomas.....	12
1.3.5.6.	Tubérculos.....	13
1.3.5.7.	Bulbo basal.....	14
1.3.5.8.	Raíces.....	15
1.3.6.	Desarrollo vegetativo.....	17
1.3.6.1.	Reguladores del crecimiento.....	19
1.3.6.2.	Floración.....	19
1.3.6.3.	Propagación.....	20
1.3.6.3.1.	Reproducción sexual.....	20
1.3.6.3.1.a.	Germinación de las semillas.....	22
1.3.6.3.2.	Propagación vegetativa.....	23
1.3.7.	Cultivo.....	27
1.3.8.	Composición química.....	31
1.3.8.1.	Tubérculos.....	31
1.3.8.2.	Derivados industriales: la horchata.....	34
<b>1.4.</b>	<b>ESTUDIOS AGRONÓMICOS REALIZADOS.....</b>	<b>37</b>
1.4.1.	Estudio analítico del contenido de nutrientes en los distintos órganos de la planta de chufa: correlación con la producción. Evaluación de las extracciones.....	37
1.4.2.	Fertilización.....	38
1.4.3.	Control del encamado con retardadores del crecimiento.....	38
1.4.4.	Influencia de la fecha de plantación en la productividad.....	38
1.4.5.	Influencia de la textura del suelo en la cuantía y calidad de los tubérculos.....	38
1.4.6.	Desyerbe químico.....	39
1.4.7.	Estudios sobre la hipotética latencia de los tubérculos.....	39
<b>1.5.</b>	<b>SELECCIÓN Y TIPIFICACIÓN CLONAL.....</b>	<b>39</b>
1.5.1.	Introducción.....	39
1.5.2.	Métodos de caracterización vegetal.....	41
<b>1.6.</b>	<b>OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS DOCTORAL.....</b>	<b>42</b>

**CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS**

<b>2.1.</b>	<b>MATERIAL VEGETAL EMPLEADO.....</b>	<b>45</b>
<b>2.2.</b>	<b>MANEJO DEL CULTIVO.....</b>	<b>46</b>
2.2.1.	Campos de ensayo.....	46
2.2.2.	Contenedores.....	50
<b>2.3.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS.....</b>	<b>54</b>
2.3.1.	Morfología y fisiología de las plantas.....	55
2.3.2.	Morfología de los tubérculos.....	56
2.3.3.	Características productivas.....	57
2.3.4.	Composición química de los tubérculos y de las horchatas.....	57
2.3.4.1.	Método de elaboración y tratamiento de las horchatas.....	58
2.3.4.2.	Métodos de análisis químicos empleados.....	60
2.3.5.	Estudios complementarios.....	62
2.3.5.1.	Brotación de los tubérculos.....	62
2.3.5.2.	Determinación de la densidad estomática.....	63
2.3.5.3.	Producción de semillas.....	63
2.3.5.4.	Ensayos sensoriales con horchatas.....	63
2.3.5.5.	Estudios bioquímicos.....	64
2.3.5.5.1.	Introducción.....	64
2.3.5.5.2.	Método.....	64
2.3.6.	Heredabilidad de los caracteres.....	66
2.3.7.	Análisis discriminantes.....	68
<b>2.4.</b>	<b>MÉTODOS DE ESTUDIO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>68</b>

**CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>3.1.</b>	<b>MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS.....</b>	<b>70</b>
3.1.1.	Estudios anuales.....	70
3.1.2.	Estudio conjunto del período considerado.....	72
3.1.3.	Discusión.....	73
<b>3.2.</b>	<b>MORFOLOGÍA DE LOS TUBÉRCULOS.....</b>	<b>74</b>
3.2.1.	Estudios anuales.....	75
3.2.2.	Estudio conjunto del período considerado.....	76
3.2.3.	Discusión.....	77
<b>3.3.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS.....</b>	<b>78</b>
3.3.1.	Estudios anuales.....	78
3.3.2.	Estudio conjunto del período considerado.....	81
3.3.3.	Discusión.....	82
<b>3.4.</b>	<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TUBÉRCULOS Y DE LAS HORCHATAS.....</b>	<b>83</b>
3.4.1.	Estudios anuales.....	83
3.4.2.	Estudio conjunto del período considerado.....	84
3.4.3.	Discusión.....	84
<b>3.5.</b>	<b>ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....</b>	<b>85</b>
3.5.1.	Brotación de los tubérculos.....	85
3.5.2.	Determinación de la densidad estomática.....	86

3.5.3.	Ensayos sensoriales con horchatas.....	86
3.5.4.	Electroforesis.....	86
<b>3.6.</b>	<b>HEREDABILIDAD DE LOS CARACTERES.....</b>	<b>87</b>
3.6.1.	Morfología y fisiología de las plantas.....	87
3.6.2.	Morfología de los tubérculos.....	87
3.6.3.	Características productivas.....	87
3.6.4.	Composición química de los tubérculos.....	87
3.6.5.	Discusión.....	87
<b>3.7.</b>	<b>ANÁLISIS DISCRIMINANTES.....</b>	<b>88</b>
3.7.1.	Estudios anuales.....	88
3.7.2.	Estudio conjunto del período considerado.....	88
3.7.3.	Discusión.....	88
<b>3.8.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES.....</b>	<b>89</b>

<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
---------------------------------	-----------

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>
---------------------	-----------

<b>ANEJOS</b>	
---------------	--

Anejo 1.	DATOS CLIMÁTICOS.....	100
Anejo 2.	MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS.....	102
Anejo 3.	MORFOLOGÍA DE LOS TUBÉRCULOS.....	112
Anejo 4.	CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS.....	120
Anejo 5.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TUBÉRCULOS Y DE LAS HORCHATAS.....	128
Anejo 6.	ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....	137
Anejo 7.	HEREDABILIDAD DE LOS CARACTERES.....	141
Anejo 8.	ANÁLISIS DISCRIMINANTES.....	142
Anejo 9.	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	155

**Índice de cuadros**

**CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN DE *Cyperus esculentus* L**

Cuadro 1.	Serie histórica de la superficie, la producción y el rendimiento de la chufa (M.A.P.A., 1995).....	5
Cuadro 2.	Clasificación botánica de <i>C. esculentus</i> L. (Kükenthal, 1936).....	7
Cuadro 3.	Ciclo de desarrollo de <i>C. esculentus</i> L.....	9
Cuadro 4.	Distribución de estomas en las hojas de algunas especies vegetales de interés agrícola (Meyer <i>et al.</i> , 1965; Fahn, 1975; Black <i>et al.</i> , 1976; Wills <i>et al.</i> , 1980).....	11
Cuadro 5.	Composición química de los tubérculos (% materia seca).....	31
Cuadro 6.	Contenido en carbohidratos de los tubérculos (% m.s.).....	32
Cuadro 7.	Contenido en ácidos grasos del aceite de chufas (en % de moles).....	33
Cuadro 8.	Fracciones proteicas de las proteínas de los tubérculos de chufa (en g/100 g de proteínas) (según Morell, 1983).....	33
Cuadro 9.	Componentes minerales de los tubérculos de chufa (mg/100 g m.s.).....	34
Cuadro 10.	Composición química de la horchata (en g/100 g horchata).....	35
Cuadro 11.	Comparación entre la composición de la leche de vaca y la horchata (en g/100g) (Morell, 1983).....	36
Cuadro 12.	Contenido en ácidos grasos del aceite de horchata (% de moles sobre el total de ács. grasos) (según Morell, 1983).....	36
Cuadro 13.	Fracciones proteicas de la horchata (g/100 g de proteínas) (según Morell, 1983)	36
Cuadro 14.	Contenido en aminoácidos de la horchata (en g/16 g N) (según Morell, 1983)....	37

**CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS**

Cuadro 15.	Clones ensayados. Relación entre los mismos.....	46
Cuadro 16.	Número de bloques en los experimentos en campo.....	47
Cuadro 17.	Análisis de suelo. Previo a la primera campaña.....	47
Cuadro 18.	Análisis de suelo. Previo a la segunda campaña.....	48
Cuadro 19.	Análisis de suelo. Tras la tercera campaña.....	48
Cuadro 20.	Fechas de plantación en campo de los tubérculos.....	49
Cuadro 21.	Fechas de recolección en campo de los tubérculos.....	49
Cuadro 22.	Composición de la turba empleada en contenedores.....	50
Cuadro 23.	Número de contenedores empleados en cada campaña.....	50
Cuadro 24.	Fechas de plantación y recolección en contenedores de los tubérculos.....	50
Cuadro 25.	Tamaño de muestra J (tubérculos) determinada en cada campaña.....	56
Cuadro 26.	Clasificación de la forma de los tubérculos en función del valor de la relación l/a.	57
Cuadro 27.	Esquema de elaboración de la horchata (adaptado de Morell, 1983).....	59
Cuadro 28.	Escalas presentadas para las pruebas organolépticas (según Morell, 1983).....	64
Cuadro 29.	Pruebas realizadas con el test de Bradford en hojas.....	65
Cuadro 30.	Expresiones para las esperanzas de los cuadrados medios por el algoritmo de	



Franklin y Bennett.....	67
-------------------------	----

## ANEJO 2. MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS

Cuadro 31. Año 1. Datos determinados sobre las plantas: número de brotes por tubérculo inicial, altura de la planta (en cm), relación altura planta/número brotes y número de inflorescencias (por ha).....	102
Cuadro 32. Año 1. Evolución temporal del número de brotes por tubérculo inicial, de la altura de la planta (en cm) y del encamado (valores medios) en función de los días transcurridos desde la plantación.....	103
Cuadro 33. Año 2. Datos determinados sobre las plantas: número de brotes por tubérculo inicial, altura de la planta (en cm), relación altura planta/número brotes y número de inflorescencias (por ha).....	104
Cuadro 34. Año 2. Evolución temporal del número de brotes por tubérculo inicial, de la altura de la planta (en cm) y del encamado (valores medios) en función de los días transcurridos desde la plantación.....	105
Cuadro 35. Año 3. Datos determinados sobre las plantas: número de brotes por tubérculo inicial, altura de la planta (en cm), relación altura planta/número brotes y número de inflorescencias (por ha).....	106
Cuadro 36. Año 3. Evolución temporal del número de brotes por tubérculo inicial, de la altura de la planta (en cm) y del encamado (valores medios) en función de los días transcurridos desde la plantación.....	107

## ANEJO 3. MORFOLOGÍA DE LOS TUBÉRCULOS

Cuadro 37. Año 1. Datos determinados sobre los tubérculos: relación longitud/anchura, longitud (en cm), anchura (en cm), peso fresco unitario (en g) y número de nudos.....	112
Cuadro 38. Año 2. Datos determinados sobre los tubérculos: relación longitud/anchura, longitud (en cm), anchura (en cm), peso fresco unitario (en g) y número de nudos.....	113
Cuadro 39. Año 3. Datos determinados sobre los tubérculos: relación longitud/anchura, longitud (en cm), anchura (en cm), peso fresco unitario (en g) y número de nudos.....	114

## ANEJO 4. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS

Cuadro 40. Año 1. Características productivas: peso fresco de los tubérculos, peso seco de los tubérculos, peso seco de las hojas, relación peso seco tubérculos/peso seco hojas y número de tubérculos por contenedor.....	120
Cuadro 41. Año 2. Características productivas: peso fresco de los tubérculos, peso seco de los tubérculos, peso seco de las hojas, relación peso seco tubérculos/peso seco hojas y número de tubérculos por contenedor.....	121
Cuadro 42. Año 3. Características productivas: peso fresco de los tubérculos, peso seco de los tubérculos, peso seco de las hojas, relación peso seco tubérculos/peso seco hojas y número de tubérculos por contenedor.....	122

## ANEJO 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TUBÉRCULOS Y DE SUS HORCHATAS

Cuadro 43. Año 1. Determinaciones químicas (en % de m.s.): almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra y cenizas. Medias por bloques.....	128
Cuadro 44. Año 2. Determinaciones químicas (en % de m.s.): almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra y cenizas. Medias por bloques.....	129

Cuadro 45.	Año 3. Determinaciones químicas (en % de m.s.): almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra y cenizas. Medias por bloques.....	130
------------	--	-----

#### ANEJO 6. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Cuadro 46.	a) Brotación de tubérculos a las diversas temperaturas ensayadas (en %) b) Variaciones en la brotación de los tubérculos (en %), tomando como referencia los valores determinados para T = 25 °C.....	137
Cuadro 47.	Número de días transcurridos hasta alcanzar el 50% y el 100% de brotación de los tubérculos viables.....	137
Cuadro 48.	Número de estomas por mm <sup>2</sup> en hojas de <i>C. esculentus</i> . Valores medios de 10 determinaciones por contenedor.....	139

#### ANEJO 7. HEREDABILIDAD DE LOS CARACTERES

Cuadro 49.	Valores hallados para la heredabilidad de los parámetros estudiados (en %).....	141
------------	---	-----

#### ANEJO 8. ANÁLISIS DISCRIMINANTES

Cuadro 50.	Contenedores. Morfología y fisiología de las plantas. Análisis discriminante por clones (3 años).....	145
Cuadro 51.	Campo. Morfología de los tubérculos. Análisis discriminante por clones (3 años)	146
Cuadro 52.	Contenedores. Morfología de los tubérculos. Análisis discriminante por clones (3 años).....	147
Cuadro 53.	Campo. Características productivas. Análisis discriminante por clones (3 años)..	148
Cuadro 54.	Contenedores. Características productivas. Análisis discriminante por clones (3 años).....	149
Cuadro 55.	Campo. Composición química de los tubérculos. Análisis discriminante por clones (3 años).....	150
Cuadro 56.	Campo. Estudio conjunto. Análisis discriminante por clones (3 años).....	151
Cuadro 57.	Campo. Estudio conjunto. Análisis discriminante por grupos de clones (3 años)..	152
Cuadro 58.	Contenedores. Estudio conjunto. Análisis discriminante por clones (3 años).....	153
Cuadro 59.	Contenedores. Estudio conjunto. Análisis discriminante por grupos de clones (3 años).....	154

#### ANEJO 9. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Cuadro 60.	Características estudiadas sobre los diferentes clones de <i>C. esculentus</i> , agrupados atendiendo a los resultados obtenidos en los diferentes capítulos precedentes (cultivo en campo/contenedores).....	155
Cuadro 61.	Composición química de los tubérculos (% m.s.).....	155

**Índice de figuras**

**CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN DE *Cyperus esculentus* L**

Figura 1.	Evolución de la superficie (ha) y de la producción (t).....	6
Figura 2.	<i>Cyperus esculentus</i> L. 1, planta; 2, espiguilla; 3, aquenio; 4, tubérculo.....	10
Figura 3.	Aspecto general de una planta de <i>C. esculentus</i> L. con inflorescencia.....	16
Figura 4.	Tubérculos de <i>C. esculentus</i> L.....	17
Figura 5	Detalle de un aquenio de <i>C. esculentus</i> L. (1 unidad equivale a 1 mm).....	17
Figura 6.	<i>C. esculentus</i> L. - Propagación vegetativa. Planta en temprana fase de desarrollo.....	24

**CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS**

Figura 7.	Cultivo de plantas de <i>C. esculentus</i> en campo. Campo experimental en Alboraiá (Valencia). Plantas desarrolladas.....	51
Figura 8.	Cultivo de plantas de <i>C. esculentus</i> en contenedores en instalaciones de la U.P.V. Plantas jóvenes.....	51
Figura 9.	Cultivo de plantas de <i>C. esculentus</i> en contenedores en instalaciones de la U.P.V. Plantas desarrolladas.....	52
Figura 10.	Plantación mecanizada de los tubérculos de <i>C. esculentus</i> L. Campo experimental en Alboraiá (Valencia).....	52
Figura 11.	Recolección mecanizada de los tubérculos de <i>C. esculentus</i> L. Campo experimental en Alboraiá (Valencia).....	53
Figura 12.	Lavado de los tubérculos de <i>C. esculentus</i> L. Instalaciones de la U.P.V.....	54

**CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES**

Figura 13.	Detalle de los tubérculos característicos correspondientes a los cuatro cultivares de <i>C. esculentus</i> definidos en la presente Tesis Doctoral.....	93
------------	---	----

**ANEJO 1. DATOS CLIMÁTICOS**

Figura 14.	Evolución de las temperaturas máximas mensuales (1988 - 1990).....	100
Figura 15.	Evolución de las temperaturas mínimas mensuales (1988- 1990).....	100
Figura 16.	Evolución de las temperaturas medias mensuales (1988 - 1990).....	101
Figura 17.	Evolución de las precipitaciones mensuales (1988 - 1990).....	101

**ANEJO 2. MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS**

Figura 18.	Campo. Histograma de medias correspondiente al número de brotes por tubérculo inicial.....	108
Figura 19.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente al número de brotes por tubérculo inicial.....	108
Figura 20.	Campo. Histograma de medias correspondiente a la altura máxima de las plantas (en cm).....	109

Figura 21.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la altura máxima de las plantas (en cm).....	109
Figura 22.	Campo. Histograma de medias correspondiente a la relación altura de planta/número de brotes.....	110
Figura 23.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la relación entre la altura de planta/número de brotes.....	110
Figura 24.	Campo. Histograma de medias correspondientes al número de inflorescencias/ha.....	111
Figura 25.	Campo. Histograma de medias correspondiente al encamado de las plantas (entre paréntesis “n° de días tras la fecha de plantación”).....	111

### **ANEJO 3. MORFOLOGÍA DE LOS TUBÉRCULOS**

Figura 26.	Campo. Histograma de medias correspondiente a la relación l/a.....	115
Figura 27.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la relación l/a.....	115
Figura 28.	Campo. Histograma de medias correspondiente a la longitud (en centímetros)	116
Figura 29.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la longitud (en centímetros).....	116
Figura 30.	Campo. Histograma de medias correspondiente a la anchura (en centímetros)	117
Figura 31.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la anchura (en centímetros).....	117
Figura 32.	Campo. Histograma de medias correspondiente al peso fresco unitario (en gramos).....	118
Figura 33.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso fresco unitario (en gramos).....	118
Figura 34.	Campo. Histograma de medias correspondiente al número de nudos.....	119
Figura 35.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente al número de nudos...	119

### **ANEJO 4. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS**

Figura 36.	Campo. Histograma de medias correspondiente al peso fresco de los tubérculos (en kg/ha).....	123
Figura 37.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso fresco de los tubérculos (en gramos/contenedor).....	123
Figura 38.	Campo. Histograma de medias correspondiente al peso seco de los tubérculos (en kg/ha).....	124
Figura 39.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso seco de los tubérculos (en gramos/contenedor).....	124
Figura 40.	Campo. Histograma de medias correspondiente al peso seco de las hojas (en kg/ha).....	125
Figura 41.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso seco de las hojas (en gramos/contenedor).....	125
Figura 42.	Campo. Histograma de medias correspondiente a la relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas.....	126
Figura 43.	Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas.....	126

Figura 44. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al número de tubérculos por contenedor.....	127
---	-----

**ANEJO 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TUBÉRCULOS Y DE SUS HORCHATAS**

Figura 45. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en almidón (en % sobre m.s.).....	131
Figura 46. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en almidón (en % sobre m.s.).....	131
Figura 47. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en grasas (en % sobre m.s.).....	132
Figura 48. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en grasas (en % sobre m.s.).....	132
Figura 49. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en azúcares (en % sobre m.s.).....	133
Figura 50. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en azúcares (en % sobre m.s.).....	133
Figura 51. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en proteínas (en % sobre m.s.).....	134
Figura 52. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en proteínas (en % sobre m.s.).....	134
Figura 53. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en fibra (en % sobre m.s.).....	135
Figura 54. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en fibra (en % sobre m.s.).....	135
Figura 55. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en cenizas (en % sobre m.s.).....	136
Figura 56. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en cenizas (en % sobre m.s.).....	136

**ANEJO 6. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS**

Figuras 57./58. Histogramas de medias correspondientes al cuadro 46.a).....	137
Figuras 59./60./61. Porcentajes acumulados de brotación.....	138
Figuras 62./63./64. Aceptación y textura.....	140

**ANEJO 8. ANÁLISIS DISCRIMINANTES**

Figura 65. Año 1. Campo. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2).....	142
Figura 66. Año 1. Contenedores. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2).....	142
Figura 67. Año 2. Campo. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2).....	143
Figura 68. Año 2. Contenedores. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2).....	143

Figura 69.	Año 3. Campo. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2).....	144
Figura 70.	Año 3. Contenedores. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2).....	144
Figura 71.	Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 50. (funciones discriminantes 1 y 2).....	145
Figura 72.	Campo. Figura correspondiente al cuadro 51. (funciones discriminantes 1 y 2)	146
Figura 73.	Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 52. (funciones discriminantes 1 y 2).....	147
Figura 74.	Campo. Figura correspondiente al cuadro 53. (funciones discriminantes 1 y 2)	148
Figura 75.	Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 54. (funciones discriminantes 1 y 2).....	149
Figura 76.	Campo. Figura correspondiente al cuadro 55. (funciones discriminantes 1 y 2)	150
Figura 77.	Campo. Figura correspondiente al cuadro 56. (funciones discriminantes 1 y 2)	151
Figura 78.	Campo. Figura correspondiente al cuadro 57. (funciones discriminantes 1 y 2)	152
Figura 79.	Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 58. (funciones discriminantes 1 y 2).....	153
Figura 80.	Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 59. (funciones discriminantes 1 y 2).....	154

**CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN DE *Cyperus esculentus* L.**

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los tubérculos de la planta de *C. esculentus* en la alimentación humana y su ocasional cultivo se remonta a épocas muy lejanas en la Historia. Se encuentran referencias sobre la presencia de la chufa en la alimentación de los antiguos egipcios, tal como atestiguan hallazgos de tubérculos en sarcófagos y tumbas egipcias de hace más de 6000 años, así como restos de tubérculos de chufa en momias egipcias.

Un símbolo frecuente en la escritura jeroglífica del Alto Egipto era la planta de chufa, tal como se puede observar en una tumba del siglo XV a.C. en la que, asimismo, se puede descifrar una receta basada en la mezcla de chufas molidas con miel (Negbi, 1992).

Las propiedades culinarias y medicinales de *C. esculentus* ya fueron descritas en Mycenae (siglo XIII a.C.). Se encuentran referencias a la chufa en antiguos escritos persas, árabes y chinos, llegándose a aconsejar el consumo del zumo extraído de los tubérculos por sus propiedades medicinales (estimulantes del apetito y tranquilizantes) (Dragendorff, 1898<sup>1</sup>; Negbi, 1992).

Según Teofrasto<sup>2</sup> (371-287 a.C.), cocían los egipcios los tubérculos (*malinathalle*) de *C. esculentus* (*mnasion*), redondos, sin hueso ni piel, volviéndose entonces muy dulces y aprovechándose como un postre.

Plinio<sup>3</sup> (23-79 d.C.) volvió a hacer referencia al consumo de los tubérculos en Egipto indicando que "*eran tostados al fuego para su posterior consumo*".

El nombre del género (*Cyperus*) proviene del griego *kypeiron* (Negbi, 1992), y el de "chufa" posiblemente provenga de la palabra latina *cyphi*, que significa "*aroma a hierba de Chipre*" (Serrallach, 1927).

Tras su expansión desde Egipto al resto del norte de África, se introdujo en la Península Ibérica y Sicilia con las invasiones islámicas de la Edad Media. Sus propiedades medicinales se extendieron rápidamente y, por tanto, su cultivo, reforzado posiblemente por la proliferación de bebidas no alcohólicas, ya que el vino estaba prohibido por la religión mahometana. Se tienen noticias de que por el siglo XIII se consumía en nuestra zona la "llet de xufes", bebida refrescante probablemente antecesora de la "orxata" (Pascual y Maroto, 1984c).

Aun hoy día, se reconocen sus efectos positivos sobre ciertas afecciones digestivas ya apuntadas por el médico personal de Carlos I, Andrés Laguna en el siglo XVI (Pascual y Maroto, 1984c). Ello ha dado pie a diferentes estudios sobre su aplicación en diversos tratamientos de disfunciones digestivas (Morell, 1983).

Los primeros análisis químicos completos se deben al farmacéutico Lesant en 1822. Tras haberse publicado diversos trabajos de mayor o menor importancia, aparecieron hacia 1921-1923 unos estudios acerca de la composición y del cultivo de la chufa en las colonias belgas debidas a Pieraerts (Serrallach, 1927).

Se han podido encontrar, entre otras, las siguientes referencias a la chufa (Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano):

---

<sup>1</sup> DRAGENDORFF, G. 1898. *Die Heilpflanzen der verschiedenen Völker und Länder*. Stuttgart. (en Serrallach, 1927)

<sup>2</sup> THEOPHRASTUS. *Historia plantarum*, IV 8.12. (en Negbi, 1992)

<sup>3</sup> PLINIO. *Historia natural*, XXI: 88-89. (en Negbi, 1992)



"Como a ellas no les falte  
Almendrucos y pasteles,  
**Chufas**, fresas y acerolas,  
Garapiñas y sorbetes." - Calderón

"Este menudo tubérculo (**chufa o cotufa**) se come, y se usa también exprimido en bebida refrescante." - Oliván

"...: (son afrodisíacos) el cardo corredor,... las **cotufas** y el cubeba." - Monlau

## **1.2. GENERALIDADES**

### **1.2.1. Distribución y utilización**

La planta de *C. esculentus* puede encontrarse de tres formas diferentes: en **estado natural**, generalmente en zonas húmedas o de inundación estacional; como **mala hierba** en numerosos cultivos de regadío o de secano húmedo; como **planta cultivada**.

Es frecuente en estado natural en terrenos húmedos, de drenaje pobre y en turberas. En ocasiones aparecen las poblaciones de chufa mezcladas con las de juncia, siendo a veces difícil distinguirlas hasta el momento de la floración. En condiciones óptimas de crecimiento es la planta de juncia más vigorosa y competitiva que la de chufa, desplazando parcialmente a esta última (Tumbleson y Kommedahl, 1961; Bendixen, 1973; Holm *et al.*, 1977).

En América se hallan distribuidas diferentes variedades botánicas desde el Cono Sur hasta Alaska (Kükenthal, 1936). El mayor número de referencias se debe a investigadores norteamericanos que han constatado que *C. esculentus* se encuentra en toda la geografía de Canadá y de Estados Unidos (Mulligan y Junkins, 1976; Berchielli *et al.*, 1987; Stoller y Sweet, 1987<sup>4</sup>; Wills, 1987).

En Europa se tienen referencias acerca de su presencia en los países meridionales más cálidos como Portugal, España, Francia, Italia, *etc.* (Godinho, 1984) y se ha extendido también a zonas más septentrionales como Holanda y Alemania (Van Groenendael y Habekotte, 1988; Miesner y Enz, 1990).

Se considera que es una mala hierba de importancia en, al menos, 21 cultivos en más de 30 países (Holm *et al.*, 1977), provocando pérdidas de cosecha e incrementos en los costes de producción (Keeley y Thullen, 1974; Stoller *et al.*, 1979). Se han realizado numerosos estudios y trabajos para conseguir su control, sobre todo en EE.UU.

En las zonas agrícolas africanas constituye una importante mala hierba, existiendo numerosos estudios sobre su control de investigadores de Zimbawbe y Sudáfrica.

En otras zonas (como, por ejemplo, Cuba), siendo una mala hierba importante, se aprovechan sus tubérculos para alimento del ganado.

En Holanda se puede hallar en todo su territorio exceptuando las zonas más al norte. Su introducción durante la década de los setenta se debe a los cultivadores de bulbos al realizar importaciones de cormos de gladiolos y de otras especies, fundamentalmente desde los Estados Unidos. Dada la variabilidad genética encontrada, se supone que la introducción ha sido repetida. A

---

<sup>4</sup> STOLLER, E.W. y SWEET, R.D. 1987. *Biology and life cycle of purple and yellow nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*)*. Weed Tech. 1: 66-73. (en Van Groenendael y Habekotte, 1988)

pesar de encontrarse en el límite geográfico superior de su hábitat, ha llegado a ser una mala hierba de importancia (Ter Borg *et al.*, 1988; Van Groenendael y Habekotte, 1988).

En Alemania está preocupando en varios "Länder" su presencia como mala hierba (Miesner y Enz, 1990).

En España es importante la presencia de *C. esculentus* L. en zonas húmedas. En regiones septentrionales de nuestra geografía es preocupante como mala hierba en cultivos de regadío o de secano húmedo, habiéndose realizado estudios fisiológicos y de control en Galicia.

Como planta cultivada por sus tubérculos comestibles ha sido conocida en el sur de Europa y en África desde hace siglos, en Egipto posiblemente desde el cuarto milenio a.C. (Power y Chestnut, 1923<sup>5</sup>; Negbi, 1992).

Según Killinger y Stokes (1951), ha sido cultivada a pequeña escala en diversos estados norteamericanos (Florida, Georgia, Alabama,...), fundamentalmente para la alimentación de ganado.

En Alemania se cultivó a pequeña escala, bien para el consumo de sus tubérculos, bien para la obtención de un sucedáneo del café (alcanzó cierta importancia a mediados del siglo pasado hasta ser sustituida por la achicoria y otras raíces). Los tubérculos de chufa se podían encontrar en los mercados bajo nombres como "tubérculo dulce de la India", "maná del Sinaí", *etc.* Se obtenían, asimismo, emulsiones medicinales a partir de los tubérculos (Serrallach, 1927; Kükenthal, 1936; Schultze-Motel, 1980).

En Francia fue cultivada a muy pequeña escala y en las zonas costeras mediterráneas se aprovechó como planta ornamental (Serrallach, 1927).

En varios países africanos es cultivada la chufa para aprovechar sus tubérculos para la alimentación humana y como alimento del ganado. También se ha conocido en el pasado su aprovechamiento como bebida refrescante en Egipto y en diversas zonas de Libia, simplemente endulzando el extracto acuoso (Serrallach, 1927). Se estudia actualmente las posibilidades nutritivas que ofrece combinándose con otros productos vegetales (Addy y Ethesola, 1984).

En la antigua U.R.S.S. y en China se han publicado trabajos sobre la composición de los tubérculos por su posible interés en la dieta humana (Denisova, 1980<sup>6</sup>; Okladnikov, 1977<sup>7</sup>; Putnina, 1953<sup>8</sup>; Yan, 1983<sup>9</sup>).

Como alimento humano puede consumirse en fresco, tostado -se ha utilizado incluso como sustitutivo del café y del chocolate una vez molido (Lindley y Moore, 1899<sup>10</sup>; Stampa, 1932<sup>11</sup>) -o

---

<sup>5</sup> POWER, F.B. y CHESTNUT, V.K. 1923. *Chemical examination of "chufa", the tubers of Cyperus esculentus Linne.* J. Agric. Res. 26: 69-75. (en Serrallach, 1927)

<sup>6</sup> DENISOVA, N.P. 1980. *Effect of chemical mutagens on the economically useful characters of Cyperus esculentus*. En: Referativnyi Zhurnal, 1982

<sup>7</sup> OKLADNIKOV, Y.N. 1977. *[The introduction of chufa into the human diet as a source of poliunsaturated fatty acids]*. Vopr. Pitan 3: 45-48

<sup>8</sup> PUTNINA, C. 1953. *[New oil-crop-chufa (Cyperus esculentus)]*. Latv. PSR Zinātnu Akad. Vest. 8: 81-84. (en Mulligan y Junkins, 1976)

<sup>9</sup> YAN, M.H. 1983. *[Studies on fatty acids and unsaponifiable constituents of oil fresh tubers of Cyperus esculentus L.]* Acta Botanica Sinica 25(3): 254-263

<sup>10</sup> LINDLEY, J. y MOORE, T. 1899. *The treasury of Botany. Part I*. London. (en Killinger y Stokes, 1951)

<sup>11</sup> STAMPA, G. 1932. *Agricultural industries. The edible Cyperus and its industrial uses*. Int. Agric. Rev. 7: T259-T270. (en Linssen *et al.*, 1989)

exprimido, dando lugar a la bebida refrescante de aspecto lechoso conocida como horchata ("orxata") en la zona de Valencia, cultivándose tradicionalmente en la comarca de l'Horta Nord de València. Ya Cavanilles (1795) realizó una completa descripción del cultivo de la chufa, situándolo en los términos de Alboraiá y Almáspera. Power y Chestnut (1923)<sup>5</sup> tuvieron acceso a una información de 1911 en la que se aludía a la recolección de tubérculos de chufa para la elaboración de la horchata en los márgenes del río Segura. Esta bebida posee un sabor y aroma característicos y agradables, habiendo sido consumida tradicionalmente desde hace siglos (Primo y Lafuente, 1965)<sup>12</sup>.

En Italia y Egipto se ha obtenido aceite a partir de los tubérculos para su consumo en la alimentación humana y se han extraído las grasas para la elaboración de jabones. También se ha empleado en confitería, pastelería, para la elaboración de diversos preparados lácteos, etc. (Serrallach, 1927; Killinger y Stokes, 1951; Negbi, 1992).

Wills (1987) apunta la posibilidad futura de aprovechar los tubérculos de chufa (y de juncia) para la obtención de productos, no sólo destinados a la alimentación, sino también de utilidad en el campo medicinal.

La biomasa subterránea, fundamentalmente los tubérculos, ha sido descrita como un valioso alimento para diferentes aves acuáticas (USDA, 1917<sup>13</sup>; Martin y Uhler, 1951<sup>14</sup>; Shields y Benham, 1969<sup>15</sup>; Wills, 1970<sup>16</sup>).

### **1.2.2. Zonas de cultivo**

*C. esculentus*, chufa, es cultivada a pequeña escala en países como Argelia, Irán, Irak, Egipto, Costa de Marfil, Nigeria, Togo, EE.UU., Rusia, China,... Asimismo, se ha ensayado su cultivo en diversos países sudamericanos e Israel.

En España, prácticamente la totalidad de la superficie dedicada al cultivo de la chufa se halla situada en la provincia de Valencia y, más concretamente, en la comarca de l'Horta Nord. Destaca el término de Valencia con un 50-60% de la superficie dedicada a este cultivo (incluye las pedanías de Borbotó, Carpesa, Poble-Nou,...). Le siguen los términos de Alboraiá con un 20% y de Almáspera (18%). Antiguamente se cultivó esporádicamente en otros términos al sur de Valencia (p.ej., en Algemesí, cuya producción de tubérculos de chufa llegó a ser conocida por la calidad y el color rojizo de los mismos). También se pueden localizar parcelas de cultivo en otras comarcas colindantes, como, por ejemplo, l'Horta Sud de València.

### **1.2.3. Importancia económica**

Según los datos actualizados hasta 1993 del Anuario de Estadística Agraria (M.A.P.A., 1995) se observa que la superficie dedicada al cultivo de la chufa disminuyó durante la década de los 80

---

<sup>12</sup> PRIMO, E. y LAFUENTE, B. 1965. *This is horchata*. Proc. First Int. Cong. Food Sci. and Techn. 4: 687-691. (en Linssen *et al.*, 1989)

<sup>13</sup> U.S.D.A. 1917. Bulletin 465. (en Serrallach, 1927)

<sup>14</sup> MARTIN, A.C. y UHLER, F.M. 1951. *Food of game ducks in the United States and Canada*. U.S. Fish and Wildlife Serv. Res. Rep. 30. (en Kelley, 1990)

<sup>15</sup> SHIELDS, R.H. y BENHAM, E.L. 1969. *Farm crops as food supplements for whooping cranes*. J. Wildlife Management 33: 811-817. (en Kelley, 1990)

<sup>16</sup> WILLS, D. 1970. *Chufa tuber production and its relationship to waterfowl management on Catahoula Lake, Louisiana*. Proc. An. Conf. Southeastern Ass. Game and Fish Commissioners 24: 146-153. (en Kelley, 1990)

tras haber alcanzado un máximo histórico en 1981 de unas 1.200 ha. Desde entonces ha ido disminuyendo la superficie dedicada a este cultivo, con algún altibajo, hasta situarse en las 470 ha de 1993.

Las producciones totales alcanzaron una cifra máxima en 1981 (unos  $12 \times 10^6$  kg). En las sucesivas campañas ha ido disminuyendo la producción hasta situarse en las  $6,2 \times 10^6$  kg de 1993.

Como se observa a partir de las cifras recogidas en el siguiente cuadro 1 y en la figura 1, la superficie dedicada al cultivo y la producción han seguido una evolución paralela a lo largo del período estudiado (1945-1993). Ello se traduce, evidentemente, en unos valores más o menos constantes del rendimiento medio del cultivo hasta 1987 (alrededor de los  $10.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), aumentando a partir de 1988 hasta llegar a superar los  $13.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  desde 1991.

Es curioso constatar como durante la primera mitad de la década de los años 80 sufre un aumento vertiginoso la superficie dedicada al cultivo y la producción obtenida. Ello fue motivado esencialmente por el paso de la recolección manual de los tubérculos a la recolección mecanizada durante los últimos años de la década anterior. Como viene siendo sintomático en la agricultura, ese aumento acentuado de la producción condujo a una disminución de los precios pagados por unidad productiva, lo que, en consecuencia, provocó la disminución progresiva durante la segunda mitad de la década de las hectáreas de cultivo, hasta llegar a unos valores más o menos estables, tanto en superficie como en producción.

**Cuadro 1.** Serie histórica de la superficie, la producción y el rendimiento de la chufa (M.A.P.A., 1995)

	cultivo			comercio exterior ( $10^3 \text{ kg}$ )	
	superficie (ha)	producción ( $10^3 \text{ kg}$ )	rendimiento ( $10^3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	importación	exportación
1950	243	2138	8,80	-	-
1955	260	2340	9,00	-	-
1960	180	1620	9,00	-	-
1965	200	1800	9,00	-	-
1970	350	3500	10,00	-	4
1971	520	5200	10,00	-	14
1972	439	4390	10,00	-	25
1973	583	5830	10,00	-	18
1974	654	6541	10,00	-	22
1975	652	6482	9,94	-	10
1976	717	7177	10,01	-	1
1977	747	7470	10,00	-	-
1978	797	7971	10,00	-	40
1979	749	7490	10,00	-	5
1980	1018	10180	10,00	2	25
1981	1217	12160	9,99	-	-
1982	1182	11785	9,97	-	-
1983	758	7391	9,75	-	10
1984	623	6094	9,78	-	45
1985	642	6395	9,96	-	64
1986	686	6719	9,79	-	67
1987	680	6800	10,00	-	62
1988	543	6516	12,00	1	12
1989	571	6907	12,10	-	-
1990	606	7400	12,21	243	14
1991	563	7322	13,01	490	81
1992	472	6509	13,79	213	92
1993	470	6204	13,20	74	133

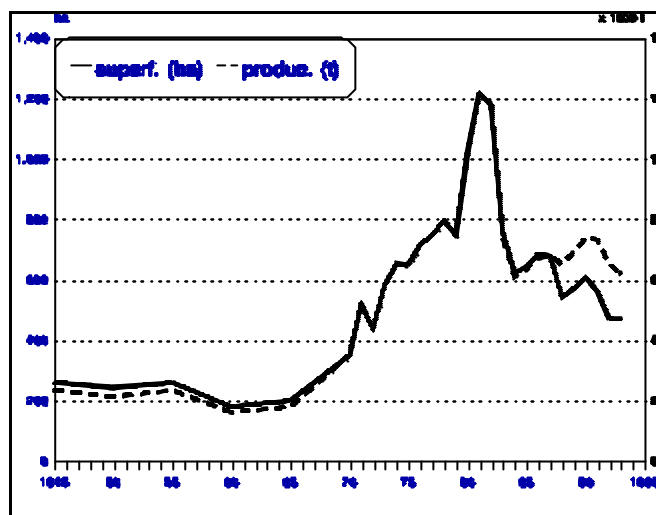


Figura 1. Evolución de la superficie (ha) y de la producción ( $10^3$  kg)

### 1.3. DESCRIPCIÓN

#### 1.3.1. Encuadramiento taxonómico

La chufa pertenece botánicamente al orden *Cyperales*, familia *Cyperaceae*, subfamilia *Scirpoideae*, tribu *Scirpeae*, subtribu *Cyperinae*, género *Cyperus*. La especie es *C. esculentus* L., siendo cultivada la variedad botánica *sativus* en la zona valenciana.

*C. esculentus* pudiera haber tenido un origen poliploide (Brown y Marshall, 1981)<sup>17</sup>, sin embargo, estos autores sugieren que puede haber tenido lugar ya un alto índice de diploidización. Diversos autores citan que su número cromosómico es  $2n = 108$  (Hicks, 1929<sup>18</sup>; Maire, 1957; Fedorov, 1969<sup>19</sup>).

Este género engloba aproximadamente a unas 600 especies distribuidas por todo el mundo, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales (Gleason, 1963)<sup>20</sup>.

*C. esculentus* L. posee una inmensa gama de nombres comunes sinónimos en los diferentes idiomas, destacando "chufa, cotufa, coquito" en las zonas de habla hispana, incluyendo algunos de los actuales estados de EE.UU. donde antiguamente estaba difundida mayoritariamente la lengua castellana; "yellow nutsedge, tigernut, ground almond, rush nut, earth almond, chufa, northern nutgrass, nutgrass, edible galingale, orgeat" en las zonas de lengua inglesa; en francés se le conoce como "souchet comestible"; en alemán como "Erdmandel, Knollencyperngras, Chufa"; en holandés como "knolcyperus"; en italiano como "dolicchigno, mandorla di terra", etc.

<sup>17</sup> BROWN, A.D.H. y MARSHALL, B.E. 1981. *Evolutionary changes accompanying colonization in plants*. En: *Evolution Today*. Proc. 2nd Int. Cong. Syst. Evol. Biol.: 351-363. (en Horak y Holt, 1986)

<sup>18</sup> HICKS, G.C. 1929. *Cytological studies in Cyperus, Eleocharis, Dulichium, and Eriophorum*. Bot. Gaz. 88: 132-150. (en Mulligan y Junkins, 1976)

<sup>19</sup> FEDOROV, A.A., ed. 1969. *Chromosome number of flowering plants*. Nauka, Leningrado. (en Negbi, 1992)

<sup>20</sup> GLEASON, H.A. 1963. *Illustrated Flora of the Northeastern United States and adjacent Canada*. Vol. 1. Hafner Publishing Co., Inc., New York. 482 pp. (en Wills, 1987)

### 1.3.2. Variedades

#### 1.3.2.1. Descripciones

Una de las primeras descripciones, debida a Serrallach (1927), indicó la existencia en la cuenca mediterránea de dos especies silvestres (*C. aureus* Ten. y *C. melanorrhizus* Del.), además de la especie cultivada *C. esculentus* L. citó que, a principio de siglo, se distinguían dos tipos de chufa cultivada en nuestra zona de cultivo, la "común" y la "valenciana", siendo otros tipos la rojiza de Alginet y la grande de Algemesí.

Posteriormente, Kükenthal (1936), realizó una clasificación, que ha sido la más utilizada, distinguiendo ocho variedades botánicas, la mayoría de ellas silvestres o malas hierbas y que habían sido consideradas anteriormente como especies (Willkomm y Lange, 1870). Entre ellas se halla la variedad cultivada, *C. esculentus* var. *sativus* Boeck., típica en la zona mediterránea conjuntamente con una variedad considerada como mala hierba, la var. *esculentus*. Catalogó como una misma especie a todas las indicadas por Serrallach. Según Kükenthal sería difícil distinguir el tipo cultivado de sus parientes silvestres. Los tubérculos del primero serían más largos y grandes y con un mayor contenido en lípidos y azúcares. Las plantas poseerían rizomas más cortos y raramente florecerían, distinguiéndose de los tipos silvestres por el color más oscuro de estos últimos (Ter Borg *et al.*, 1988; Costa, 1979; Mohlenbrock, 1960<sup>21</sup>).

**Cuadro 2.** Clasificación botánica de *C. esculentus* L. (Kükenthal, 1936)

especie	variedades botánicas
<i>Cyperus esculentus</i> L.	a <i>esculentus</i> L. β <i>sativus</i> Boeck. ? <i>cyclolepis</i> Boeck. d <i>nervoso-striatus</i> (Turrill) Kükenthal e <i>leptostachyus</i> Boeck. ? <i>hermannii</i> (Buckl.) Britton ? <i>macrostachyus</i> Boeck. ? <i>sprucei</i> C.B. Clarke

De la información aportada por los autores consultados cabría indicar que la variedad indicada como *esculentus* L. por Kükenthal (1936) (citada, entre otros, por Ter Borg *et al.*, 1988) es la denominada *aureus* (Ten.) Richter por Maire (1957) (citada, por ejemplo, por Sánchez-Tamés *et al.*, 1973; De Bolós *et al.*, 1990 y Negbi, 1992), equivalencia apuntada desde antiguo no considerándolas como variedades, sino como especies (Coste, 1900-1906).

Sánchez Tamés *et al.* (1973) trabajaron con tubérculos de *C. esculentus* Ten. var. *aureus* Richt. (según la clasificación de Maire), pero no describieron tal variedad ni facilitaron referencias para su identificación.

Costa y Appleby (1976) trabajaron con dos variedades botánicas de *C. esculentus* basándose en las descripciones de Kükenthal (1936) y de Mohlenbrock (1960)<sup>21</sup>: var. *esculentus* y var. *leptostachyus*. Detectaron entre ambas variedades diferencias de tipo morfológico, tal como ya hicieron otros investigadores con diferentes ecotipos (Ito *et al.*, 1968<sup>22</sup>; Lorougnon, 1969<sup>23</sup>).

<sup>21</sup> MOHLENBROCK, R.H. 1960. *The Cyperaceae of Illinois*. I. *Cyperus*. The Amer. Midland Naturalist 63: 270-306. (en Costa y Appleby, 1976)

<sup>22</sup> ITO, K.; INOUE, J. y FURUYA, T. 1968. *Comparison of autoecology of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) and yellow*

Zohary y Hopf (1988)<sup>24</sup>, siguiendo el criterio de clasificación botánica de Maire, citaron a *C. esculentus* var. *sativus* Boeckeler como variedad cultivada en el Antiguo Egipto (basándose en referencias datadas en el cuarto milenio a.C.) hasta el período de dominación romana (siglo V a.C.). Esta variedad presentaría un bajo índice de floración y, por tanto, pocas posibilidades para su multiplicación por vía sexual. Asimismo indicaron que se conoció una variedad silvestre, *C. esculentus* var. *aureus* (Ten) Richt, con tubérculos característicamente más pequeños y que, aun hoy día, crecería en el valle del Nilo. Esta última variedad sí que presentaría un elevado índice de floración, pudiendo combinar, por tanto, la propagación vegetativa con la sexual y presentando, en consecuencia, unas grandes posibilidades de distribución. Todo lo indicado por estos autores concuerda con lo apuntado por Wills (1987).

En Holanda se han descrito cuatro variedades, respondiendo a la nomenclatura de Kükenthal: var. *leptostachyus* Boeck., var. *cyclolepis* Boeck. ex Kükenthal, var. *esculentus* y una cuarta desconocida (Ter Borg *et al.*, 1988).

En los Estados Unidos son las vars. *leptostachyus* y *esculentus* las más comunes, la primera en zonas más norteñas y la segunda más hacia el sur (Stoller y Sweet, 1987)<sup>4</sup>.

La variedad *cyclolepis* parece tener un origen africano, según se desprende de la información aportada por Kükenthal.

A nivel intravarietal se han descrito diferencias fenológicas y fisiológicas entre poblaciones de *C. esculentus* (Fernald, 1950<sup>25</sup>; Hauser, 1968<sup>26</sup>; Mulligan y Junkins, 1976; Yip, 1978<sup>27</sup>; Horak y Holt, 1986; Horak *et al.*, 1987; Ter Borg y Schippers, 1992). Así, Mulligan y Junkins (1976) hallaron diferencias entre poblaciones canadienses de chufa al estudiar los niveles de floración y de tuberización. Matthiesen y Stoller (1978) demostraron la existencia de diferencias entre variantes de chufa al estudiar caracteres como la densidad, la composición, y las dimensiones de los tubérculos; la densidad de tallos y la incidencia de la floración. Asimismo, se conocen diferencias en la respuesta frente a distintos herbicidas por parte de varias poblaciones de chufa (Costa y Appleby, 1976; Hauser, 1968<sup>26</sup>; Stoller, 1973).

Stoller (1973) realizó experimentos sobre el comportamiento de *C. esculentus* frente al frío utilizando tubérculos de un único clon. Indicó al final de su trabajo que sería interesante estudiar el comportamiento utilizando tubérculos de otros clones, apuntando a un posible comportamiento diferencial interclonal. Posteriormente Stoller y Weber (1975) publicaron los resultados de un trabajo relativo a la resistencia frente al frío de los tubérculos de *C. esculentus* en el que había empleado ecotipos diferentes, demostrando que existían diferencias entre los mismos.

---

*nutsedge* (*Cyperus esculentus* L.). Weed Res. Japan 7: 29-34. (en Costa y Appleby, 1976)

<sup>23</sup> LOROUGNON, G. 1969. *Étude morphologique et biologique de deux variétés de Cyperus esculentus* Linn. (Cypéracées). Cah. ORSTOM, sér. Biologie 10: 35-63. (en Costa y Appleby, 1976)

<sup>24</sup> ZOHARY, D. y HOPF, M. 1988. *Domestication of plants in the Old World*. Oxford University Press, Oxford. (en Negbi, 1992)

<sup>25</sup> FERNALD, M.L. 1950. *Gray's Manual of Botany*. Eighth ed. American Book Co., New York. 1632 pp. (en Wills, 1987)

<sup>26</sup> HAUSER, E.W. 1968. *Yellow nutsedge - problems, research trends and outlook*. Proc. Northeast. Weed Control Conf. 22: 37-48. (en Wills, 1987)

<sup>27</sup> YIP, C.P. 1978. *Yellow nutsedge Cyperus esculentus L.) ecotypes, their characteristics and responses to environment and herbicides*. Ph.D. Thesis. Cornell Univ., Ithaca, New York. (en Ter Borg *et al.*, 1988)

Cabrelles (1981) y Nuez & Cabrelles (1984) hicieron referencia a la variación en poblaciones de chufa cultivadas en Valencia (*C. esculentus* var. *sativus*), indicando la existencia de tipos californianos y africanos, estos últimos semejantes a los cultivados en nuestra zona.

**1.3.2.2. Variedades en la Cuenca Mediterránea**

Las variedades referenciadas en la Cuenca Mediterránea son *esculentus*, *leptostachyus* (origen americano), *macrostachyus* (origen americano) y *sativus* (Kükenthal, 1936; Ter Borg *et al.*, 1988; Ter Borg y Schippers, 1992). En España son importantes:

- \* var. *esculentus* L.: silvestre, considerada una mala hierba importante en zonas más septentrionales (Galicia, Asturias,...); tubérculos redondeados y resistentes al frío; sensible al sometimiento a régimen de días cortos, estimulando éstos la tuberización; pronta floración, sugiriendo este hecho una adaptación a un corto período de desarrollo;
- \* var. *sativus* Boeck.: cultivada; tubérculos grandes, oblongo-elípticos, comestibles, característicamente más dulces y con mayor contenido en grasas y almidón; apenas florece; conocida comúnmente como "chufa" (Fernald, 1950<sup>25</sup>; Wills, 1987).

**1.3.3. Ciclo**

Los tubérculos brotan a partir del mes de abril cuando se han alcanzado unas temperaturas mínimas adecuadas. La formación de nuevas plantas se prolonga hasta mediados del mes de agosto, es decir, prácticamente durante todo el verano. La formación de tubérculos transcurre, básicamente, durante el otoño hasta finales de noviembre, permaneciendo los nuevos tubérculos en el terreno durante la época invernal y primaveral en un estado de aparente latencia, hasta volver a comenzar el ciclo.

Cuadro 3. Ciclo de desarrollo de *C. esculentus* L.

en	fb	mz	ab	my	jn	jl	ag	sp	oc	nv	dc
"latencia tubérculos"									"latencia tubérculos"		
			brotación tubérculos								
				formación de plantas							
						formación de rizomas					
							tuberización				

**1.3.4. Ecología**

En cuanto a exigencias de suelo se puede indicar que *C. esculentus*, como típico representante de las Ciperáceas, está bien adaptada a suelos húmedos, presentando en éstos su máximo desarrollo. En suelos áridos o semiáridos únicamente la encontraremos en zonas sometidas a riego (Bendixen y Nandihalli, 1987<sup>28</sup>; Keeling *et al.*, 1990).

**1.3.5. Biología**

Al ser considerada la especie *C. esculentus* L. como una de las más importantes malas hierbas del mundo (Holm *et al.*, 1977), existen numerosos trabajos publicados sobre su biología, fisiología y ecología, destacando especialmente los realizados por investigadores norteamericanos.

Las especies pertenecientes a la familia Ciperáceas son muy parecidas a las de la familia Poáceas, de las que se distinguen principalmente por la ausencia de nudos en el tallo y por estar

<sup>28</sup> BENDIXEN, L.E. y NANDIHALLI, U.B. 1987. *Worldwide distribution of purple and yellow nutsedge *Cyperus rotundus* and *C. esculentus**. Weed Technol. 1: 61-65. (en Keeling *et al.*, 1990)



soportada cada flor por una sola bráctea. Presentan filotaxia de 2/6 (Wills, 1987; Martorell, 1994). Las hojas tienen vainas cerradas y ausencia de lígula. Los tallos son, generalmente, macizos (Wills, 1987).

Se trata de una planta que pertenece al grupo de las plantas  $C_4$  y, por tanto, presenta una elevada eficiencia fotosintética (Fischer, 1987; Stoller y Sweet, 1987<sup>4</sup>; Wills, 1987).

### 1.3.5.1. La planta (figura 2)

La planta de *C. esculentus* posee un brote que inicialmente consiste en un fascículo triangular de hojas del que, posteriormente surge, en su caso, un escapo floral macizo triangular. Éste se desarrolla a través del centro del fascículo y porta en su ápice la inflorescencia. En la base del fascículo se halla un bulbo subterráneo sólido (en lo sucesivo se denominará 'bulbo basal') del que parten raíces y finos rizomas. El extremo del rizoma puede permanecer, durante la fase de crecimiento, en su forma original o evolucionar, ya sea a un nuevo bulbo con su brote y sus rizomas o a un tubérculo (Wills *et al.*, 1980).

El escapo floral, con una longitud entre 20 y 90 cm, finaliza en una inflorescencia de aspecto umbeliforme. Ésta está rodeada, en un mismo nivel, por hojas involucrales, en número de 3 a 9, que son considerablemente más largas que las brácteas (Wills, 1987).

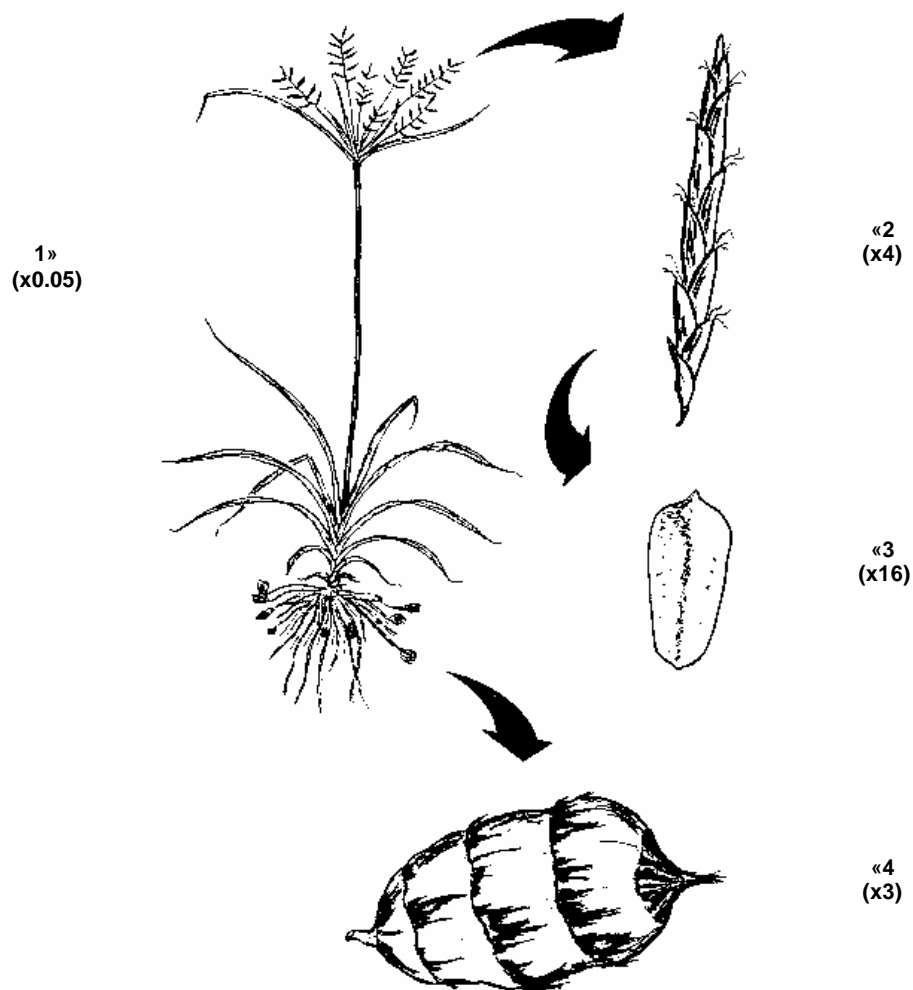


Figura 2. *Cyperus esculentus* L. 1, planta; 2, espiguilla; 3, aquenio; 4, tubérculo

**1.3.5.2. Hojas**

Las hojas son paralelinervias, poseen un color verde pálido, su sección transversal es corrugada, tienen una anchura de 4 a 9 mm, una longitud de 20 a 90 cm y un nervio central muy pronunciado (Holm *et al.*, 1977; Wills, 1987).

La superficie adaxial de las hojas se compone de filas paralelas de grandes células epidérmicas cubiertas de una espesa capa cérica (1 a 1,3 µm de espesor) y situándose los estomas únicamente en sus extremos. La superficie abaxial se compone de células epidérmicas, menores y alargadas, alternando con numerosas filas paralelas de estomas, fibras hipodermales y una fina cutícula de 0,5 a 0,7 µm de espesor. El tamaño aproximado de los estomas abiertos es de 15 a 23 µm, con una densidad muy variable en función del material vegetal considerado. El número de estomas por mm<sup>2</sup> en especies vegetales monocotiledóneas oscila entre 100 y 300 (Stålfelt, 1956)<sup>29</sup> y se hallan dispuestos en filas paralelas. Algunos valores sobre la distribución de los estomas por mm<sup>2</sup> se dan en el cuadro 4, teniendo en cuenta que las cifras indicadas son meramente orientativas, ya que pueden variar en función de las condiciones ambientales (zona de cultivo, época del año, condiciones climáticas,...) (Meyer *et al.*, 1965).

**Cuadro 4.** Distribución de estomas en las hojas de algunas especies vegetales de interés agrícola. (Meyer *et al.*, 1965; Fahn, 1975; Black *et al.*, 1976; Wills *et al.*, 1980)

especie	estomas/mm <sup>2</sup>	especie	estomas/mm <sup>2</sup>
<i>Arachis hipogea</i>	310	<i>Phaseolus vulgaris</i>	281
<i>Avena sativa</i>	23	<i>Pistacia palaestina</i>	176
<i>Brassica oleracea</i>	226	<i>Pistacia lentiscus</i>	255
<i>Cyperus esculentus</i>	400	<i>Pisum sativum</i>	216
<i>Helianthus annuus</i>	38-156	<i>Saccharum officinarum</i>	160
<i>Lycopersicon esculentum</i>	130	<i>Solanum tuberosum</i>	161
<i>Medicago sativa</i>	138-180	<i>Triticum aestivum</i>	84
<i>Nicotiana tabacum</i>	120	<i>Triticum sativum</i>	14
		<i>Zea mays</i>	68-100

Así, Wills *et al.* (1980) contabilizaron hasta unos 400 estomas/mm<sup>2</sup> en poblaciones americanas, disminuyendo la densidad hasta unos 100-150 estomas/mm<sup>2</sup> en el caso de poblaciones valencianas de *C. esculentus* var. *sativus*, cifra ésta obtenida a partir de experimentos realizados por el autor (véase el anejo 6).

Las hojas se desarrollan a partir del bulbo basal (véase el apartado 1.3.5.7.) en un fascículo triangular solapado. El desarrollo foliar en el bulbo comienza por la hoja más externa, progresando hacia el interior y finalizando con un escapo portador de la inflorescencia.

El desarrollo de un nuevo tejido foliar, incluyendo el sistema vascular, tiene lugar principalmente en el meristemo intercalar en la base de las hojas (Wills *et al.*, 1980).

En la fase de crecimiento se forma una nueva hoja cada 4,5 a 5 días. El crecimiento es muy rápido al principio, pero poco después comienza a disminuir el ritmo hasta que se paraliza al cabo de una semana. El período global de crecimiento para una hoja varía de 24 a 40 días. Las hojas presentan un progresivo descenso en su longitud hasta la cuarta o quinta hoja, a partir de la cual se van haciendo gradualmente más largas (Holm *et al.*, 1977).

<sup>29</sup> STÅLFELT, M.G. 1956. *Die stomatäre Transpiration und die Physiologie der Spaltöffnungen*. Hand. der Pflanzenphysiol. 3: 350-426. (en Esau, 1972)

### **1.3.5.3. Inflorescencias** (figura 2)

Una de las primeras evidencias de la floración es la aparición de un tubo foliar triangular por el que el escapo ha de elongarse. Al extenderse el escapo comienzan a diferenciarse las estructuras florales a partir de los meristemos de las hojas involucrales. Cuando se ha elongado alrededor de un tercio de la longitud del tubo foliar entonces las inflorescencias en las axilas de las hojas involucrales inferiores adquieren un carácter macroscópico.

Es interesante saber que se pueden formar rizomas a partir de yemas en las axilas de brácteas adaxiales y, aunque no es frecuente en la naturaleza, también pueden formarse tubérculos aéreos en los extremos de tales rizomas (Holm *et al.*, 1977).

La inflorescencia es una panícula umbeliforme de espigas, en cuya base se desarrollan brácteas de aspecto foliáceo de entre 5 y 25 cm de longitud. Las espigas poseen una coloración marrón-dorada o pajiza, su longitud oscila entre 1 y 3 cm, su anchura entre 1,5 y 3 mm y poseen las flores en disposición, generalmente, de dos carreras. En cuanto a su forma son alargadas y acuminadas, presentando un aspecto aplastado. La mayoría de estas espigas irradian horizontalmente formando un racimo. Cada flor posee tres estambres y un estigma con tres hendiduras. Su anatomía es similar a la de las flores de las Poáceas (Fernald, 1950<sup>25</sup>; Holm *et al.* 1977; Wills, 1987).

### **1.3.5.4. Semillas** (figura 2)

La flor de *C. esculentus* es capaz de producir pequeñas semillas viables (Justice y Whitehead, 1946; Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; Hill *et al.*, 1963).

Los frutos son aquenios que forman una unidad de la que no se puede separar la semilla. La cubierta exterior permanece intacta tras alcanzar la madurez. El aquenio, de forma triangular, color amarillo-marrón a grisáceo y aspecto externo granuloso, mide, aproximadamente, 1,5 x 0,8 mm. Se desarrolla sésil sobre una flor y está recubierto por una escama o gluma delgada, oblonga, de forma obtusa. Cada escama presenta una clara nerviación, está seca en su extremo y posee una longitud entre 2,3 y 3 mm.

Cada aquenio posee una semilla de dimensiones 1,2 x 0,8 mm. Un pericarpio duro y relativamente grueso envuelve a una fina cubierta que ha sido reducida al espesor de unas pocas células. El endospermo está diferenciado en un cuerpo amiloso y una capa grasa periférica. El embrión, microscópico (aproximadamente, 100 x 300 µm), se halla en la base de la semilla y está en contacto con el endospermo (Justice y Whitehead, 1946; Fernald, 1950<sup>25</sup>; Gleason, 1963<sup>20</sup>; USDA, 1970<sup>31</sup>; Wills, 1987).

### **1.3.5.5. Rizomas**

Los rizomas se desarrollan a partir del bulbo basal y a partir del tubérculo.

En el primer caso se originan a partir de las yemas axilares del primer nudo foliar del bulbo basal recientemente formado. En los bulbos secundarios se desarrollan a partir del nudo del perfilo (la primera estructura foliar del nuevo brote).

---

<sup>30</sup> BELL, R.S., LACHMAN, W.H., RHAN, E.M. y SWEET, R.D. 1962. *Life history studies as related to weed control in the northeast. 1. Nutgrass*. Rhode Island Agr. Exp. Sta. Bull. 364. 3 pp. (en Stoller *et al.*, 1972)

<sup>31</sup> U.S.D.A. 1970. *Selected weeds of the United States*. Agric. Handb. 366. 463 pp. (en Stoller y Wax, 1973)

Al brotar la yema del tubérculo se forman uno o más rizomas de crecimiento ascendente que, bajo la influencia de la luz, dando lugar, cada rizoma, a un bulbo basal. De éste emerge entonces una planta con crecimiento típico herbáceo. Tras unas semanas aparecen rizomas laterales, que se desarrollarán hasta alcanzar, en algunos casos, longitudes de hasta 1 m. Inicialmente estos rizomas darán lugar a brotaciones secundarias que, a su vez, repitiendo el proceso, darán brotaciones terciarias y así sucesivamente. Llegado un momento empezarán a producirse rizomas bajo un cierto ángulo descendente. Es muy difícil determinar el momento en que los rizomas dejan de desarrollarse horizontalmente y lo hacen bajo el citado ángulo y depende de diversos factores como son: el fotoperiodo, la disponibilidad de nitrógeno, la densidad de vegetación y la penetración de la luz (Van Groenendael y Habekotte, 1988).

Los rizomas son indeterminados y consisten en varios espacios internodales elongados, catafilos nodales y un extremo puntiagudo. En material vegetal cultivado (var. *sativus*) rara vez superan los 40 cm de longitud, aunque en otras variedades botánicas (por ejemplo, var. *esculentus*) pueden alcanzar 60 cm, conteniendo más de 30 zonas internodales antes de diferenciarse en el ápice para formar bien un tubérculo, bien un bulbo basal. En ocasiones, el crecimiento es tan limitado que puede parecer que el bulbo basal haya surgido directamente del tubérculo. Los rizomas poseen catafilos (hojas bracteales nerviadas, rígidas, con una longitud de 0,5 a 1 cm) en los nudos y dos o tres primordios cladofilares en el meristemo terminal. Las ramificaciones de los rizomas se originan en las yemas axilares de los catafilos más viejos (Tumbleson y Kommedahl, 1961; Holm *et al.*, 1977).

La sección transversal de un rizoma joven muestra una epidermis, un córtex y una endodermis envolviendo un cilindro vascular, conteniendo éste la mayor parte del tejido vascular del rizoma (Wills *et al.*, 1980).

El meristemo apical de un rizoma activo en desarrollo consta de la superposición de una serie de catafilos muy apuntados. La porción anterior del meristemo posee un área central compuesta por varias capas de primordios foliares de un brote latente. Éstas están rodeadas por células activas en división de los catafilos. La porción posterior produce tejido no diferenciado y tejido provascular. Este último evoluciona dando lugar al sistema vascular del rizoma (Wills *et al.*, 1980).

La diferenciación de los rizomas viene influida por factores ambientales, como lo son el fotoperiodo, la temperatura, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de ciertas hormonas vegetales (Garg *et al.*, 1967).

#### **1.3.5.6. Tubérculos** (figura 2)

Al formarse los tubérculos cesa la elongación en el extremo del rizoma, se forman numerosos catafilos y tiene lugar un engrosamiento radial. Al madurar los tubérculos dejan de elongarse las zonas internodales y los primordios foliares continúan latentes. Durante este tiempo aumentan las células parenquimáticas su ritmo de crecimiento (tanto las interiores como las exteriores a la endodermis) y acumulan almidón hasta alcanzar elevadas concentraciones.

Al aumentar el diámetro de la zona interior a la endodermis, se extienden más ampliamente los haces vasculares y las áreas meristemáticas (incluyendo los primordios foliares) se ramifican en nuevas direcciones. Estas áreas meristemáticas en el interior de los tubérculos permanecen latentes

hasta la siguiente época de crecimiento y se extenderán entonces como nuevos rizomas (Wills *et al.*, 1980).

Los tubérculos llegan a alcanzar unos diámetros que oscilan entre 0,8 y 1,2 cm. El tubérculo recién formado es blanco y se vuelve marrón al madurar, variando desde un color tostado a un marrón oscuro, e incluso negruzco. Generalmente son de forma esferoide. Los extremos basal y distal son claramente discernibles. Los tubérculos se desarrollan, generalmente, en los extremos de los rizomas, cortos en *C. esculentus* var. *sativus*, que se extienden radialmente desde la base de la planta. Únicamente se forma un tubérculo por cada rizoma.

Durante la maduración se cubre el tubérculo, irregularmente redondeado, con una capa simple de catafilos casi transparentes que muestran un vetado oscuro y que, al senescer, oscurecen al mismo tiempo que lo hace el resto del tubérculo. En el ápice se halla una yema terminal cónica rodeada de catafilos (entrenudos más cortos) (Holm *et al.*, 1977).

Los tubérculos también pueden presentar raíces adventicias en disposición desordenada.

Los tubérculos muestran de 3 a 7 zonas nodales con sus correspondientes yemas laterales. Al madurar retiene las marcas nodales, pero pierde sus catafilos (Van Groenendael y Habekotte, 1988). En nuestras condiciones y con la variedad cultivada no ocurre lo descrito, permaneciendo gran parte de los catafilos hasta la fase del lavado de los tubérculos recolectados.

Los tubérculos poseen en su extremo apical de dos a siete yemas funcionales, que, salvo situaciones anómalas, son las responsables de la propagación asexual. Las yemas están dispuestas en grupos de tres y distribuidas como los vértices de un triángulo equilátero (Bendixen, 1973; Thullen y Keeley, 1975).

La longevidad de los tubérculos viene marcada por el tamaño de los mismos: así los tubérculos de mayor peso presentan una vida media superior a los de menor peso. Influyen en gran medida, evidentemente, las condiciones de almacenamiento (Thullen y Keeley, 1975).

Los tubérculos poseen un sabor agradable, por lo que son recolectados para su consumo (Fernald, 1950<sup>25</sup>; Jansen, 1971; Stoller *et al.*, 1972; Parker, 1988), tal como ocurre en la zona de cultivo de l'Horta Nord de València.

#### **1.3.5.7. Bulbo basal**

Otros autores denominaron a esta formación "corona". Esta corona no es totalmente equiparable al bulbo basal de *C. rotundus* L. (juncia), ya que no presenta latencia y no sobrevive al período invernal como lo hacen los bulbos mencionados (Ranade y Burns, 1925)<sup>32</sup>. El bulbo basal da lugar a hojas, raíces y rizomas, diferenciándose posteriormente estos últimos en tubérculos o en nuevos brotes (Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; USDA, 1968<sup>33</sup>; Bhan *et al.*, 1970; USDA, 1970<sup>31</sup>; Gleason y Cronquist, 1968<sup>34</sup>; Holm, 1969; Armstrong *et al.*, 1973a).

---

<sup>32</sup> RANADE, S.B. y BURNS, W. 1925. *The eradication of Cyperus rotundus L. (a study in pure and applied Botany)*. India Dept. Agr. Mem. 13: 98-192. (en Justice y Whitehead, 1946)

<sup>33</sup> U.S.D.A. Agric. Res. Serv. 1968. *Extent and cost of weed control with herbicides and an evaluation of important weeds, 1965*. ARS 34-102.: 85 pp. (en Armstrong *et al.*, 1973a)

<sup>34</sup> GLEASON, H.A. y CRONQUIST, A. 1968. *Manual of vascular plants*. D. van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey. 810 pp. (en Armstrong *et al.*, 1973b)

El bulbo basal se forma entre 1 y 4 cm por debajo de la superficie del suelo, pero también puede darse su formación a mayores profundidades. En el extremo del rizoma se diferencia el perfilo a partir del meristemo, de igual manera que un catafilo, pero creciendo hasta ser de dos a tres veces más largo que aquél. La vaina de la primera hoja típica va engrosando a medida que esta última se va alargando. Cada vaina foliar se va expandiendo siguiendo un orden. Las hojas están insertadas en un tallo ancho, cónico que continúa formándose mientras el bulbo basal continúe engrosando. En la base de las hojas se van formando largas raíces carnosas (Garg *et al.*, 1967; Jansen, 1971; Stoller *et al.*, 1972; Holm *et al.*, 1977; Parker, 1988).

La formación del bulbo basal es similar a la descrita para el tubérculo, exceptuando que los primordios foliares fomentan el crecimiento de brotes. Un corto tallo se extiende acrópetamente con hojas desarrollándose desde nudos compactos. Las células parenquimáticas de crecimiento lateral no acumulan almidón, contrariamente a las del tubérculo. Parte del área meristemática se divide en nuevos rizomas y brotes o en ambos. Puesto que el sistema vascular se extiende desde las hojas a través del bulbo y al interior del rizoma, cambia de una disposición colateral a una amfivasal con el xilema rodeando al floema (Wills *et al.*, 1980).

Es la unidad de la que depende, en último extremo, la propagación vegetativa. En plantas obtenidas a partir de semilla se observa que el bulbo basal es como una protuberancia en la zona de unión del mesocotilo con el coleóptilo. El crecimiento apical desde el bulbo basal da origen al brote foliar y, bajo circunstancias favorables, al escape floral y a la inflorescencia. También los rizomas se desarrollan a partir del bulbo basal y dan origen, a una distancia variable de la planta madre, por transformación de su extremo a otro bulbo basal secundario. Al mismo tiempo se desarrollan otros rizomas que dan origen a los tubérculos que provocarán las primeras brotaciones de la siguiente temporada. Un tubérculo brota produciendo uno o más rizomas desde la zona apical y éstos crecen acrópetamente para producir más bulbos basales. La repetición de este proceso posibilita que el bulbo basal primario origine una serie de brotes vegetativos secundarios, terciarios y de orden superior, cada uno de ellos produciendo, a su vez, más rizomas y tubérculos. Una planta sana puede dar lugar a más de 400 tubérculos por año, hecho constatado por el autor de la presente Tesis Doctoral a raíz de los experimentos realizados en contenedores (véase el anejo 4) (Hauser, 1962; Jansen, 1971; Stoller *et al.*, 1972; Armstrong *et al.*, 1973a; Holm *et al.*, 1977; Fischer, 1987).

#### **1.3.5.8. Raíces**

Las raíces se desarrollan fundamentalmente a partir de la endodermis de los bulbos, creando un sistema radical fasciculado más bien superficial. También pueden desarrollarse a partir de tubérculos y rizomas.

Una sección transversal de un tejido radical maduro pone al descubierto un cilindro vascular envuelto por una simple capa de células parenquimáticas denominadas periciclo. Éste, además, está rodeado por una capa de células endodérmicas lignificadas, que está compuesta por células que se han dividido tangencialmente en tres o cuatro subcapas. Las raíces jóvenes poseen, además, una capa exterior de células corticales recubiertas por una capa simple de células epidérmicas, desapareciendo ambas al madurar la raíz (Wills *et al.*, 1980).



**Figura 3.** Aspecto general de una planta de *C. esculentus* L. con inflorescencia



Figura 4. Tubérculos de *C. esculentus* L.

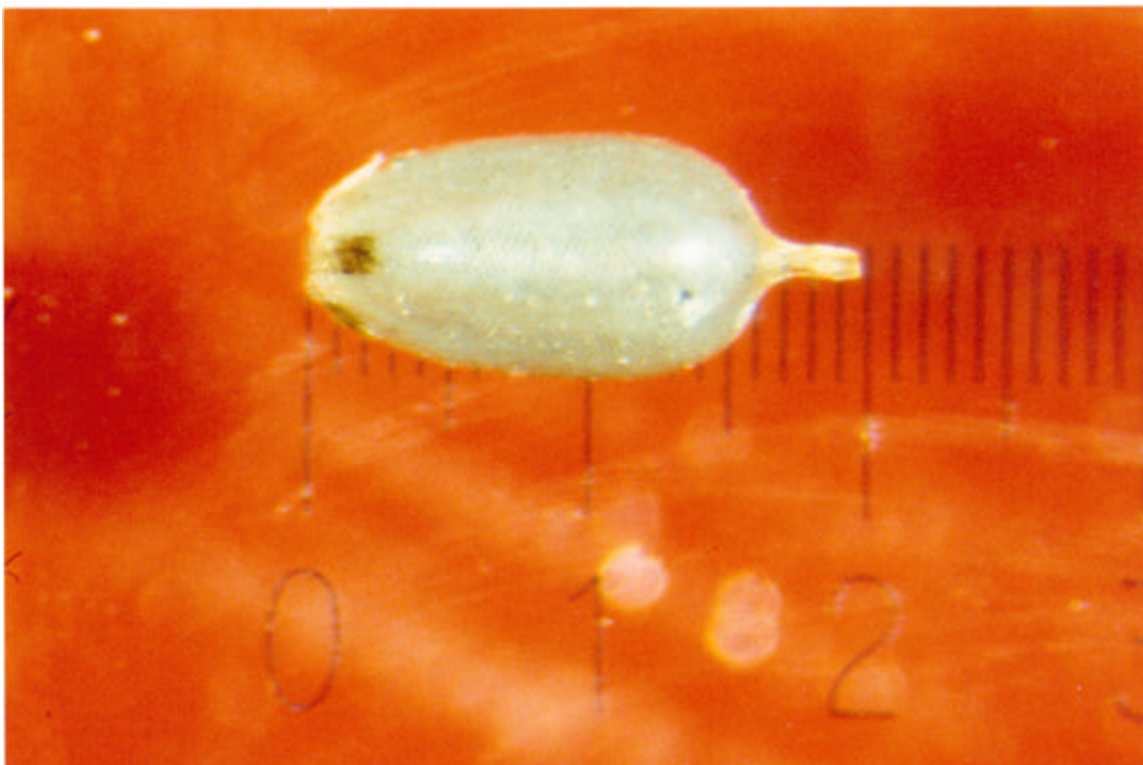


Figura 5. Detalle de un achenio de *C. esculentus* L. (1 unidad equivale a 1 mm)

### **1.3.6. Desarrollo vegetativo**

Según Fischer (1987) puede desarrollarse la planta a partir de semilla o de un tubérculo, pudiendo presentarse, en ambos casos, fenómenos de latencia. En nuestras condiciones no se



observa tal fenómeno, pues los tubérculos pueden brotar inmediatamente tras haber sido recolectados. La propagación vegetativa es rápida, vigorosa y persistente, dando lugar a un complejo sistema subterráneo compuesto por rizomas, tubérculos y bulbos basales (Garg *et al.*, 1967).

Aunque algunos investigadores señalan que prefiere suelos con pH entre 5 y 7 (Holm *et al.*, 1977), se adapta sin manifestar ningún tipo de problema a suelos con valores de pH de 7 a 8, como, por ejemplo, los de la Huerta de Valencia.

Según diversos autores la planta puede alcanzar alturas que oscilan entre 15 y 76 cm, habiendo comprobado el autor de esta Tesis que puede llegar a alturas superiores a 1 m (véase el anejo 2).

La planta de *C. esculentus* es particularmente sensible a los cambios en la duración del fotoperiodo, tal como comprobó Jansen (1971) tras realizar unos experimentos modificando el fotoperiodo a partir de un valor inicial de 8 h de luz diurna e incrementando los valores de dos en dos horas hasta alcanzar el valor máximo de 24 h. El número de rizomas que se diferenciaron en nuevos brotes era claramente superior con los fotoperiodos mayores. Con fotoperiodos de 14 h o menos no se desarrollaron nuevos brotes exceptuando aquellos que ya habían iniciado su desarrollo. Todos aquellos rizomas indeterminados presentes al inicio del experimento formaron tubérculos en sus extremos hacia el final del experimento (3 meses) en el caso de haber sido expuestos a fotoperiodos cortos de 8, 10 y 12 h. Algunos ya eran visibles a las 2 semanas y completamente desarrollados a las 3 semanas. La formación de tubérculos disminuía a medida que se incrementaba el fotoperiodo.

Sin embargo, esta pérdida en el ritmo de tuberización se compensa con la formación de nuevos brotes con sus respectivos rizomas y tubérculos, por lo que el número global de tubérculos no está relacionado directamente con la duración del fotoperiodo, sea éste corto o largo, tras una duración significativa del ciclo de desarrollo (Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; Bendixen, 1970a/b; Jansen, 1971).

Con fotoperiodos largos (>14 h) se observó una inhibición de la tuberización, favoreciendo la formación de nuevos brotes (Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; Garg *et al.*, 1967), lo que concuerda con lo registrado con otro tubérculo: la patata (Gregory, 1956<sup>35</sup>; Okazawa, 1959<sup>36</sup>; Okazawa, 1960<sup>37</sup>; Okazawa y Chapman, 1962<sup>38</sup>).

La tuberización ya puede iniciarse, en algunos casos, a las cuatro semanas tras la brotación (Tumbleson y Kommedahl, 1961), extremo corroborado por Van Groenendael y Habekotte (1988).

La planta presenta, en estado natural, un patrón de desarrollo muy rápido como respuesta a la competencia con las otras especies por la luz solar. Un grado de sombreado del 30% puede reducir la producción de materia seca hasta en un 32%. Los humedales o las zonas con inundaciones estacionales acogen especies vegetales características por su elevada altura, con numerosas especies que producen mucha sombra, por lo que la planta de chufa se ve obligada a emerger y

---

<sup>35</sup> GREGORY, L.E. 1956. *Some factors for tuberization in the potato plant*. Amer. J. Bot. 43: 281-288. (en Garg *et al.*, 1967)

<sup>36</sup> OKAZAWA, G. 1959. *Studies on the occurrence of natural gibberellin and its effect on the tuber formation of potato plants*. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 28: 129-134. (en Garg *et al.*, 1967)

<sup>37</sup> OKAZAWA, G. 1960. *Studies on the relation between the tuber formation of potato and its natural gibberellin content*. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 29: 121-124. (en Garg *et al.*, 1967)

<sup>38</sup> OKAZAWA, G. y CHAPMAN, H.W. 1962. *Regulation of tuber formation in the potato plant*. Physiol. Plantarum 15: 413-419. (en Garg *et al.*, 1967)

crecer rápidamente para permitir la acumulación de fotosintetizados antes de que el sombreado por otras especies sea limitante (Keeley y Thullen, 1978)<sup>39</sup>.

Se ha comprobado que un aumento en la densidad de plantas provoca un incremento en la translocación de carbohidratos hacia estructuras subterráneas inicialmente existentes, lo que conlleva una posterior reducción en la formación de nuevos tubérculos, conservando, no obstante, el tamaño de los tubérculos producidos (Van Groenendael y Habekotte, 1988).

Generalmente, el 80% de los tubérculos de una población natural no alterada se halla en los 15 cm superiores del suelo, dependiendo del tipo del mismo (Jenkins y Jackman, 1941<sup>40</sup>; Parker, 1988); sin embargo, en determinadas ocasiones, un número importante de tubérculos se pueden hallar a profundidades superiores a los 45 cm. Durante la brotación pueden emitir brotes desde profundidades de unos 30 cm (Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; Tumbleson y Kommedahl, 1961). El autor del presente trabajo ha podido corroborar las observaciones efectuadas por Pascual y Maroto (1984c) en cultivo en contenedores referentes a la producción de tubérculos en los 10-15 cm superficiales, en el caso de plantas pertenecientes a la variedad botánica *sativus*. Sin embargo, se ha constatado en plantas de la variedad *esculentus* una producción de tubérculos a profundidades superiores a los 50 cm, habiéndose observado, en determinadas ocasiones, una brotación de los mismos.

#### **1.3.6.1. Reguladores del crecimiento**

En plantas de *C. esculentus* L. se ha determinado la existencia de ciertas sustancias con efectos alelopáticos. Así, Tumbleson y Kommedahl (1962)<sup>41</sup> comprobaron que un extracto de tubérculos podía provocar latencia en semillas de otras especies, fenómeno corroborado posteriormente con semillas hortícolas por Sánchez Tamés *et al.* (1973) pudiendo aislar diversos compuestos fenólicos (ácidos p-hidroxibenzoico, vainílico, p-cumárico y ferúlico) como posibles causantes de las mencionadas alelopatías.

Posiblemente en otros órganos de la planta se pueda detectar sustancias con efectos fitorreguladores, tal como hiciera Berger (1966)<sup>42</sup> al aislar reguladores de crecimiento a partir de hojas de *C. rotundus*.

Diversos experimentos llevados a cabo con plantas de la variedad *sativus* para estudiar el retraso del desarrollo vegetativo aplicando fitorreguladores (CCC y daminozida) (ver apartado **1.4.3.**) permitieron detectar, en ciertas condiciones, respuestas positivas (Pascual y Maroto, 1984c).

#### **1.3.6.2. Floración**

Para inducir la floración son necesarios fotoperiodos de 12 a 14 h. La existencia de bajas temperaturas durante la primavera puede ser causa de un bajo índice de floración (Jansen, 1971). Mulligan y Junkins (1976) constataron, en estudios que realizaron con plantas canadienses, que la

---

<sup>39</sup> KEELEY, P.E. y THULLEN, R.J. 1978. *Light requirements of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) and light interception by crops*. Weed Sci. 26: 10-16. (en Kelley, 1990)

<sup>40</sup> JENKINS, L. y JACKMAN, E.R. 1941. *Yellow nutgrass and sedge*. Oregon State Coll. Ext. Bull. 568

<sup>41</sup> TUMBLESON, M.E. y KOMMEDAHL, T. 1962. *Factors affecting dormancy in tubers of *Cyperus esculentus**. Bot. Gaz. 123: 186-190. (en Sánchez Tamés *et al.*, 1973)

<sup>42</sup> BERGER, G. 1966. *Dormancy, growth inhibition, and tuberization of nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) as affected by photoperiods*. Diss. Abstr. Calif. (en Sánchez Tamés *et al.*, 1973)

longitud del fotoperiodo era menos importante que la exposición a elevadas temperaturas para provocar la inducción floral.

El desarrollo de las inflorescencias se puede detectar aproximadamente dos semanas después de la estimulación de la floración, pero éstas son visibles exteriormente hacia la sexta semana (Jansen, 1971).

La intensidad de floración de las poblaciones naturales es muy variable según las condiciones ambientales (Van Groenendael y Habekotte, 1988). Bajo nuestras condiciones se ha comprobado que la floración de las plantas cultivadas es errática (véase el apartado 3.1.).

### **1.3.6.3. Propagación**

La planta de *C. esculentus* está muy bien adaptada a los diferentes ambientes que la pueden acoger, como lo demuestran constataciones de diversos investigadores aparentemente contradictorias en cuanto a la vía más común de propagación. Así, Fischer (1987) cita por un lado autores que asignan a *C. esculentus* un elevado potencial de reproducción por vía sexual al contabilizar que una sola planta fue capaz de producir hasta 90.000 semillas en 1963 (McClure *et al.*, 1976)<sup>43</sup> y, por otro, autores que aseguran que las semillas no son importantes en el mantenimiento de las poblaciones de *C. esculentus* en ambientes agrícolas (Horak y Holt, 1986). En una postura intermedia se hallan autores como Parker (1988), asegurando que se propaga mediante semillas, rizomas, bulbos basales y tubérculos.

Los estudios de Horak *et al.* (1987) ponen de relieve que las poblaciones de *C. esculentus* se crean y se mantienen fundamentalmente por vía asexual. La reproducción sexual es la responsable de la diversidad genética en especies de propagación fundamentalmente asexual (Ellstrand y Roose, 1987)<sup>44</sup>, así como la introducción de nuevos genotipos procedentes de otras zonas geográficas.

La inmensa mayoría de los estudios sobre la germinación de semillas del género *Cyperus* han sido realizados en los Estados Unidos y en Canadá. Prácticamente todos ellos han sido dirigidos a constatar la viabilidad de las semillas tras pasar un cierto período de latencia y especular con el papel que éstas pudieran jugar en la expansión del género *Cyperus* como una mala hierba, en combinación con la forma alternativa, mucho más importante, de propagación por tubérculos.

#### **1.3.6.3.1. Reproducción sexual**

La variabilidad genética intrapoblacional es mayor en una especie con reproducción sexual que en otra con reproducción asexual. Puesto que *C. esculentus* es autoincompatible y, por tanto, de cruzamiento obligado (Brown y Marshall, 1981)<sup>17</sup>, un elevado grado de la variabilidad genética en una muestra representativa de las poblaciones debería poderse correlacionar con la reproducción sexual por semilla dentro de esas poblaciones. Dicho de otra forma, en las poblaciones de *C. esculentus* poca variabilidad debería poderse relacionar con la reproducción asexual (Horak y Holt, 1986).

De lo expuesto anteriormente se deduce que una población representada por un único genotipo no puede producir semillas viables. Por tanto, las plantas de una población proveniente de

---

<sup>43</sup> McCLURE, D.G., BENDIXEN, L.E. y STROUBE, E.W. 1976. *Field studies seek methods to control yellow nutsedge*. Ohio Report 72. (en Fischer, 1987)

<sup>44</sup> ELLSTRAND, N.C. y ROOSE, M.L. 1987. *Patterns of genotypic diversity in clonal plant species*. Am. J. Bot. 74: 123-131. (en Horak *et al.*, 1987)

un solo clon únicamente pueden propagarse vegetativamente, es decir, mediante tubérculos y rizomas, hecho que se ve acentuado por el aislamiento geográfico (Horak y Holt, 1986).

Se ha comprobado que la cantidad de semillas viables depende, fundamentalmente, de la separación entre las plantas genéticamente distintas, así como de las condiciones ambientales durante el momento de la polinización cruzada (Mulligan y Junkins, 1976; Horak y Holt, 1986).

Van Groenendael y Habekotte (1988) apuntan que la fructificación no se da normalmente bajo condiciones holandesas por falta de temperaturas suficientemente elevadas ni, por tanto, la formación de semillas. Los tipos de *C. esculentus* cultivados en l'Horta Nord de València apenas producen semillas. El autor de la presente Tesis Doctoral pudo hallar semillas en inflorescencias de las plantas ensayadas, aspecto éste ampliado y desarrollado por Martorell (1994) llevando a cabo estudios acerca de la viabilidad de las mismas en el Departamento de Producción Vegetal de la U.P.V. El número de semillas halladas siempre ha sido, ciertamente, muy reducido. Ello podría estar motivado por la existencia de autoincompatibilidad polínica o, como apunta Alcayde (1990) en consonancia con lo indicado por los autores holandeses anteriormente citados, por no presentarse temperaturas suficientemente elevadas.

Thullen y Keeley (1979) iniciaron experimentos encaminados a aclarar el papel de las semillas en la propagación como respuesta a la creencia de ciertos agricultores en EE.UU. en la capacidad de diseminación por medio del agua de riego.

Stoller (1973) afirmó que, a pesar de que las semillas viables son una posibilidad para la propagación, no existe evidencia directa alguna de la misma en un ambiente natural. Así, Mulligan y Junkins (1976) afirmaron que las poblaciones naturales generalmente producen inflorescencias, pero que éstas no siempre producen semillas viables. Hicieron referencia al cultivo ocasional en Canadá indicando que la planta, en las condiciones locales ensayadas, nunca produjo semillas y que raramente emitió inflorescencias. En ese sentido expresaron que, debido a la falta de vigor, pequeño tamaño y aparente ausencia de plántulas en los medios naturales, la reproducción por semillas no es la principal vía de diseminación, especialmente en áreas cultivadas donde el crecimiento de las posibles plántulas se ve enormemente dificultado por las prácticas agrícolas y el control de las malas hierbas, afirmaciones corroboradas por Fischer (1987) y Parker (1988). Es muy probable que las plántulas de chufas sean altamente sensibles a los herbicidas debido a su falta de vigor. Por ello, aun teniendo lugar la propagación por semillas, no se puede hallar ninguna evidencia de la misma ya que las plántulas no sobreviven (Thullen y Keeley, 1979).

Wills (1987) contradujo parcialmente tales aseveraciones indicando que la planta de *C. esculentus* es capaz de reproducirse anualmente por semillas. Asimismo, Thullen y Keeley (1975) consideraron que la reproducción por semillas es importante cuando la chufa coloniza nuevas áreas.

Sin embargo, Kelley (1990) observó que, en estado natural y como elemento de la vegetación de zonas húmedas, no es una planta gran productora de inflorescencias. Registró en una población natural un índice de floración del 16%, con una producción de semillas muy baja, coincidiendo de este modo con lo citado anteriormente y con lo observado en investigaciones del Departamento de Producción Vegetal de la U.P.V. Otros autores (Bell y Larssen, 1960<sup>45</sup>; Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; Hill *et al.*,

---

<sup>45</sup> BELL, R.A. y LARSEN, E. 1960. *Experiments with germination of northern nutgrass seed*. Proc. Northeast. Weed Control Conf.

1963; Tumbleson y Kommedahl, 1961; Andersen, 1968<sup>46</sup>; Armstrong *et al.*, 1973b) también registraron la producción de semillas viables, reconociendo la posibilidad de propagación por vía sexual, sin poder evaluar el verdadero papel que las semillas juegan en la propagación natural, y haciendo hincapié en la importancia de la propagación vegetativa. En determinadas condiciones experimentales se ha comprobado su capacidad de producir abundante semilla viable (Garg *et al.*, 1967; Bendixen, 1970a/b; Stoller y Wax, 1973; Thullen y Keeley, 1975; Holm *et al.*, 1977; Thullen y Keeley, 1979).

Existen referencias del potencial de producción de semillas muy variables, destacando la cifra dada de 50.000 semillas obtenidas a partir de 25 inflorescencias (Justice y Whitehead, 1946). Estos autores sostuvieron, a partir de sus experimentos llevados a cabo con diferentes ecotipos de *C. esculentus*, que la planta tiene una capacidad elevada para propagarse por semilla. Por otro lado, estimaron Hill *et al.* (1963) unos 605 millones de semillas por hectárea a partir de 598.000 inflorescencias.

#### **1.3.6.3.1.a. Germinación de las semillas**

Justice y Whitehead (1946) realizaron simples ensayos de germinación en placas Petri utilizando agua corriente y nitrato potásico al 2%. Registraron valores de germinación que oscilaban desde el 2,5% hasta el 95%, con un valor medio del 76%. Llegaron a obtener hasta 1.521 plántulas de media por inflorescencia.

Hill *et al.* (1963) lograron hacer germinar, bajo un régimen día/noche de 8/16 h y a 35/20 °C respectivamente, un 50-55% de semillas y comprobaron, como ya lo hiciera Durfee (1960)<sup>47</sup>, que existe una relación positiva entre el peso de la semilla y el poder germinativo, aspecto posteriormente corroborado por Thullen y Keeley (1979), quienes determinaron un peso medio por semilla, en esas condiciones, de 0,18 mg. En estos experimentos se obtuvieron porcentajes de germinación cercanos al 46%.

Las semillas necesitan una temperatura mínima de 21 °C para germinar aceptablemente, mejorando los índices de germinación al incrementarse la temperatura, manteniendo constante el régimen de iluminación. La temperatura óptima día/noche parece ser igual a 38/32 °C (Thullen y Keeley, 1979). Según estos autores, valores cercanos a las 11 h de iluminación proporcionan, asimismo, los mejores resultados.

Mulligan y Junkins (1976) realizaron ensayos de germinación con nitrato potásico al 2%, nitrito potásico, ácido sulfúrico (tratamiento durante 5-10'), clorhidrina de etileno, nitrato amónico y ácido giberélico. Consideraron que la semilla es viable a las 2-3 semanas tras el inicio de la floración. Experimentos similares fueron llevados a cabo por Holm *et al.* (1977) utilizando nitrato potásico al 2% y escarificando con ácido sulfúrico durante 5 a 10 min, constatando un estímulo sobre la germinación de las semillas.

---

14: 45-48. (en Armstrong *et al.*, 1973a)

<sup>46</sup> ANDERSEN, R.N. 1968. *Germination and establishment of weeds for experimental purposes*. Weed. Sci. Soc. of America, Urbana, Illinois. 236 pp. (en Thullen y Keeley, 1975)

<sup>47</sup> DURFEE, J.W. 1960. *Life history and the control of northern nutgrass, *Cyperus esculentus* L.* M.S. Thesis. Univ. Delaware, Newark. (en Horak y Holt, 1986)

En caso de poseer latencia las semillas (véase el apartado 1.3.6.), ésta se puede romper con un almacenamiento en seco a temperatura ambiente ( $T=20-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) o con un almacenamiento húmedo a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante unos cuatro meses como mínimo en ambos casos (Justice y Whitehead, 1946; Andersen, 1968<sup>46</sup>; Thullen y Keeley, 1979). Bell *et al.* (1962)<sup>30</sup> comprobaron que la semilla no germina a temperatura constante (ensayaron niveles de temperatura de  $24, 29$  y  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), pero sí cuando la temperatura nocturna era inferior a  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 15 h. Con un régimen de temperaturas de  $35/20\text{ }^{\circ}\text{C}$  obtuvo un 59% de germinación bajo iluminación y un 46% en oscuridad, comprobando que, si la temperatura es favorable, la oscuridad no inhibe la germinación de las semillas.

Durfee (1960)<sup>47</sup> obtuvo diferentes porcentajes de germinación (desde 7% hasta 95%) dependiendo del tratamiento químico, peso de la semilla y medio ambiente a los que sometió las diferentes muestras de semillas recogidas en la zona noreste de los EE.UU. Los distintos valores de germinación observados los atribuyó a diferencias genéticas.

En Holanda se han obtenido semillas en condiciones naturales, pero los ensayos realizados por Ter Borg *et al.* (1988) para hacerlas germinar no han tenido éxito.

Martorell (1994), siguiendo el método de tinción al tetrazolio, halló unos porcentajes de aprox. 40,5% de semilla viable sobre las muestras de semillas recogidas de inflorescencias producidas en parcela de ensayo en el término de Alboraya (Valencia). Sometidas las semillas a diversos tratamientos para favorecer la germinación, obtuvo los mejores resultados con una escarificación previa con ácido sulfúrico durante 10 min, germinando de un 9 a un 30% de semillas, lo que suponía del 22 al 74% de las semillas viables.

#### **1.3.6.3.2. Propagación vegetativa**

La propagación vegetativa es considerada de especial importancia durante la primera fase de establecimiento, reproducción y mantenimiento de las poblaciones de *C. esculentus* (Horak *et al.*, 1987).

Wills (1987) afirmó que se propaga de forma perenne mediante bulbos basales, débiles rizomas filosos que se extienden a partir de los bulbos o mediante tubérculos, ampliando la información de otros autores, ya indicada en apartados anteriores (Garg *et al.*, 1967; Holm *et al.*, 1977; Jansen, 1971; Parker, 1988; Stoller *et al.*, 1972; Tumbleson y Kommedahl, 1961).

En poblaciones naturales es importante la propagación por tubérculos y la dispersión mediante rizomas, tal como indican ciertas comprobaciones: un tubérculo es capaz de originar 1.900 plantas y hasta 6.900 tubérculos en un área de  $3,2\text{ m}^2$  y en un año. En algunos casos se han barajado cifras de hasta 32 millones de plantas por hectárea en ciertos campos (Tumbleson y Kommedahl, 1961). Hauser (1968)<sup>26</sup> obtuvo, en un plazo de 17 semanas, hasta 622 tubérculos de una planta desarrollada a partir de un solo tubérculo inicial. En nuestras investigaciones, trabajando con la variedad *sativus*, hemos detectado producciones de hasta  $>650$  tubérculos por chufa inicial plantada en contenedor (véase el apartado 3.3.).

Una contribución especial a la propagación vegetativa la hacen las labores del campo con el consiguiente traslado de material de propagación de una zona a otra (otros tubérculos, transplantes, bulbos,...), tal como indican Mulligan y Junkins (1976).

Las densidades de 2,5 a 25 millones de tubérculos por hectárea son muy comunes en áreas de infestación moderada a alta de otros cultivos. Bajo condiciones de deficiente luminosidad se siguen produciendo tubérculos, aunque su número decrece de forma importante. Las plantas que todavía emergen en agosto o septiembre son capaces de formar tubérculos (Parker, 1988).

En condiciones naturales hibernan los tubérculos en el suelo, brotando durante la primavera tras haberse calentado suficientemente el terreno. Los primeros brotes consumen gran cantidad de las reservas almacenadas, por lo que las sucesivas brotaciones se ven más limitadas en cuanto a la disponibilidad de nutrientes (Parker, 1988).

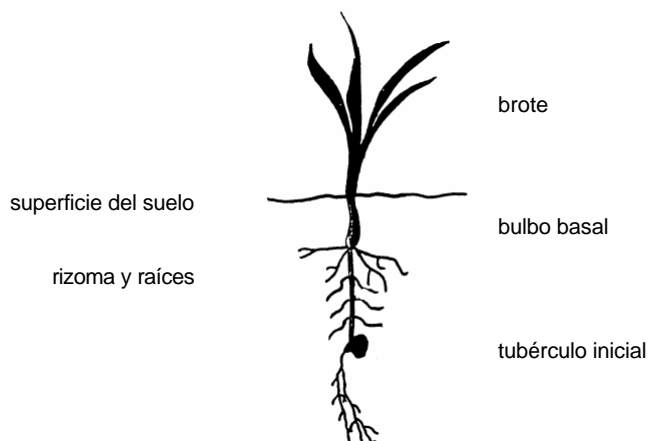


Figura 6. *C. esculentus* L. - Propagación vegetativa. Planta en temprana fase de desarrollo

Brotan en primer lugar las yemas mayores situadas en el triángulo exterior del extremo apical del tubérculo. Al mismo tiempo emite el tubérculo uno o más rizomas desde el extremo distal, incluso pueden volver a desarrollarse más rizomas a partir de yemas más alejadas del extremo apical si se dañaran o desaparecieran los primeros por cualquier causa (pase de maquinaria, ataque de animales, etc.) (Bendixen, 1973; Thullen y Keeley, 1975). En diversos experimentos se comprobó que es común la brotación múltiple y se contabilizaron desde cero hasta siete brotes iniciales por tubérculo, presentando más del 50% de los tubérculos dos brotes y el 25% aprox. tres brotes iniciales (Tumbleson y Kommedahl, 1961; Jansen, 1971; Stoller *et al.*, 1972).

La brotación se ve afectada por la profundidad del tubérculo en el suelo, la compactación del terreno, la posible latencia del tubérculo, el laboreo (Armstrong *et al.*, 1973a). Algunos estudios indican una profundidad entre 8 y 15 cm para asegurar una brotación normal (Bundy *et al.*, 1960)<sup>48</sup>, sin embargo, otros indican que la máxima brotación o la máxima viabilidad se obtienen a profundidades entre 10 y 30 cm (Stoller y Wax, 1973).

Según Holm *et al.* (1977), los tubérculos de *C. esculentus* poseen latencia, siendo las referencias respecto a la duración de la misma muy variables. Bell *et al.* (1962)<sup>30</sup> constataron que todos los tubérculos recolectados durante el período de desarrollo de la planta presentaban latencia al ser sometidos a diferentes tests de brotación. Sin embargo, obtuvieron un 42% de brotación tras

<sup>48</sup> BUNDY, O.M., DONALLEY, W.F. y RAHN, E.M. 1960. *Growth and development of northern nutgrass as affected by certain environmental conditions*. Proc. Northeast. Weed Contr. Conf. 14: 44. (en Armstrong *et al.*, 1973a)

mantener los tubérculos a 10 °C durante un mes y posteriormente a temperaturas alternantes de 20 °C y 25 °C durante 48 h. Prolongando este último período pudieron obtener incluso valores de brotación superiores. En cambio, los tubérculos obtenidos, tras permanecer durante el invierno en el campo, mostraban unos elevados índices de brotación al ser sometidos a las mismas temperaturas alternantes durante 7 días. Un almacenamiento a 3 °C favorecía la brotación y la emisión de brotes, según Tumbleson y Kommedahl (1962)<sup>41</sup>, trabajando con poblaciones de *C. esculentus* de la zona norte central de EE.UU., extremo corroborado posteriormente por Thomas (1967)<sup>49</sup> con tubérculos sudafricanos. Thomas (1967)<sup>49</sup> obtuvo los mejores resultados tratando tubérculos negros con peróxido de hidrógeno al 3% o escarificándolos con papel de lija. Según diversos autores (Tumbleson y Kommedahl, 1962<sup>41</sup>; Taylorson, 1967; Thullen y Keeley, 1975), los tubérculos obtenidos a finales del verano y en otoño presentaban una peor brotación que los obtenidos durante el invierno y la primavera.

Tubérculos plantados inmediatamente tras su cosecha en otoño sin ser lavados o tratados mostraron índices de brotación muy bajos durante el mes siguiente (sólo un 8%), sospechándose que los tubérculos brotados pudieran ser de la campaña previa (Bundy *et al.*, 1960<sup>48</sup>; Bell *et al.*, 1962<sup>30</sup>; Taylorson, 1967; Andersen, 1968<sup>46</sup>; Thullen y Keeley, 1975). El laboreo, a pesar de ser el método más común de control cuando la chufa es considerada una mala hierba, incrementa la brotación de los tubérculos, incluso latentes (Tumbleson y Kommedahl, 1961; Taylorson, 1967; Berchielli *et al.*, 1987), debido probablemente a un efecto de oxigenación, pues, según Van Groenendael y Habekotte (1988), uno de los factores que parece influir más directamente sobre la latencia de los tubérculos es la baja disponibilidad de oxígeno en el suelo, pero éstos sí pueden brotar una vez emplazados en condiciones favorables.

Las condiciones de sequedad pueden afectar negativamente a los tubérculos, habiéndose comprobado en poblaciones naturales americanas de *C. esculentus* que la exposición durante dos días de los tubérculos al aire tras un pase de apero agrícola reducía su viabilidad de un 90% a un 10% (Day, 1956<sup>50</sup>; Tumbleson y Kommedahl, 1961; Thomas, 1969). Sin embargo, en nuestras condiciones y con poblaciones locales de *C. esculentus* var. *sativus* (chufa) se conservan los tubérculos durante varios meses, e incluso años, en condiciones de sequedad sin mostrar ninguna consecuencia fisiológica negativa de importancia.

Las condiciones de almacenamiento más adecuadas están siendo continuamente investigadas. Así, el Departamento de Tecnología de Alimentos de la U.P.V. ha iniciado estudios en este sentido para establecer el tiempo de secado adecuado y las condiciones óptimas para el mismo, combinando el secado natural con acciones mecánicas para influir sobre el mismo.

Sin embargo, la mayoría de estudios llevados a cabo en esta línea se han fundamentado en conocer el comportamiento de los tubérculos latentes frente a las condiciones naturales que les rodean con vistas a aprovecharlas para la destrucción de los mismos. En este sentido averiguaron

---

<sup>49</sup> THOMAS, P.E.L. 1967. *A rhizome germinating technique for glasshouse propagation*. Pest Artic. C 13: 221-222. (en Thomas, 1969)

<sup>50</sup> DAY, B.E. 1956. *Status of the nutgrass problem in California*. Proc. 8th Calif. Weed Control Conf. and 15th West. Weed. Control Conf.: 125-129. (en Thomas, 1969)



Day y Russell (1955)<sup>51</sup> en tubérculos secados al aire y almacenados posteriormente a temperatura ambiente en un recinto durante 6 meses que únicamente se presentó una pérdida del 25% de tubérculos viables, en contraste con las mayores pérdidas registradas tras una exposición exterior al sol y/o al viento. Ya Thomas (1969) indicó que las mejores condiciones se daban con temperaturas ambientes alrededor de los 22 °C, dándose los índices más bajos de supervivencia de tubérculos con unos valores mínimos del 30% de humedad relativa, facilitando unas HR elevadas los mejores valores. La combinación de baja temperatura (ensayos a 4 °C) y baja humedad relativa ambiental provocó los índices más bajos de viabilidad de los tubérculos.

Stoller (1973) hizo brotar tubérculos en condiciones de laboratorio. Para ello situó los tubérculos en contenedores de plástico con papel absorbente humedecido con agua corriente y bajo un régimen de temperaturas de 30/20 °C y de iluminación respectiva de 8/16 h.

En el plazo de 2 a 4 semanas brotó el 75-80% de los tubérculos en unos ensayos llevados a cabo por Thullen y Keeley (1975). Los tubérculos fueron sometidos a almacenamiento en frío a 5 °C durante 1 a 6 meses tras haberlos lavado y secado, con el fin de romper la latencia de los mismos, basándose en experimentos previos realizados por Stoller *et al.* (1972) y Stoller (1973) que trabajaron con temperaturas de almacenamiento de 2 °C. Fueron cultivados en contenedores con substrato arcillo-arenosos en condiciones de invernadero.

Los tubérculos pueden permanecer latentes durante períodos prolongados, llegándose a comprobar latencias medias de 4 a 6 meses, dependiendo de la profundidad a la que está el tubérculo en el suelo. Keeley y Thullen (1974) han indicado que los tubérculos pueden permanecer hasta más de dos años en el suelo sin perder capacidad de brotación.

Las bajas temperaturas invernales pueden provocar la muerte de los tubérculos situados encima de los 10 cm de profundidad de suelo. Sin embargo, en condiciones de laboratorio se comprobó que el 50% de los tubérculos ensayados eran capaces de sobrevivir a una exposición a -6,5 °C, llegando a registrar tubérculos viables tras soportar temperaturas de hasta -15 °C en condiciones naturales. La caída del índice de brotación del 100% al 0% se daba abruptamente alrededor de los -6/-7 °C (Stoller, 1973; Stoller y Wax, 1973).

Los tubérculos son capaces de sobrevivir en áreas con baja temperatura del aire y del suelo, parcialmente debido a la capacidad del tubérculo de "endurecerse" frente al frío y soportar esas bajas temperaturas por períodos más prolongados (Stoller, 1973). Esta resistencia parece variar según variedades, tal como se ha comprobado en poblaciones holandesas (Lotz *et al.*, 1991)<sup>52</sup>. Hay que considerar también que influye el período de exposición a las bajas temperaturas, pues éste puede convertir temperaturas subletales en letales. El frío afecta la vitalidad de los tubérculos ya a 0 °C, siendo los tubérculos de menor tamaño los más sensibles (Van Groenendael y Habekotte, 1988).

Se asume que los constituyentes de la chufa son algunos de los diversos factores que intervienen en la resistencia de los tubérculos frente al frío, tales como almidón, azúcares, proteínas y lípidos. Este último componente parece ser el directamente implicado en la mayor resistencia frente al

---

<sup>51</sup> DAY, B.E. y RUSSELL, R.C. 1955. *The effect of drying on survival of nutgrass tubers*. Calif. Agric. Exp. Sta. Bull. 751. (en Kelley, 1990)

<sup>52</sup> LOTZ, L.A.P., Van OENE, H. y GROENEVELD, R.M.W. 1991. *Perspectives in the eradication of *Cyperus esculentus* in the Netherlands. 2. Mortality of hibernating tubers*.

frío, tanto por su concentración como por su composición. Asimismo, se ha comprobado que los ecotipos más resistentes poseían tubérculos de menor tamaño y con un mayor contenido de agua, mostrando diferente composición en ácidos grasos de los triglicéridos frente a otros ecotipos (Lyons, 1973<sup>53</sup>; Shearman *et al.*, 1973<sup>54</sup>; Yoshida y Sakai, 1974<sup>55</sup>; Stoller y Weber, 1975).

Las reservas del tubérculo se movilizan en el momento de la brotación, consumiéndose más del 60%, en peso seco, de los carbohidratos, almidón, proteínas y grasas. Así es posible un crecimiento inicial muy rápido en primavera seguido de un eficaz aprovechamiento de la luz en verano. El tamaño del tubérculo no influye sobre la capacidad de brotación, pero sí sobre el número y el vigor de los brotes que se desarrollan a partir de los mismos (Moss *et al.*, 1969<sup>56</sup>; Stoller *et al.*, 1972; Stoller y Wax, 1973).

Según indican Tumbleson y Kommedahl (1961), el lavado de los tubérculos favorece su brotación. El índice de brotación de tubérculos no lavados fue del 5 al 10% a las 4 semanas de su plantación, mientras que con tubérculos lavados aumentaron los porcentajes hasta el 75-90%. Sin embargo, Pascual y Maroto (1984c), trabajando con tubérculos de poblaciones valencianas de *C. esculentus* var. *sativus*, constataron en experimentos similares que el lavado no incrementó el índice de brotación, llegando a comprobar Taylorson (1967) unos mejores índices de brotación con tubérculos sin lavar de plantas de *C. esculentus* del sureste de los EE.UU.

Según citan Pascual y Maroto (1984b), se piensa que, en los casos que se presenta latencia, la brotación de las yemas puede estar inhibida por la presencia de ciertas sustancias que se elaboran en la porción basal del tubérculo (Tumbleson y Kommedahl, 1962)<sup>41</sup>.

### **1.3.7. Cultivo**

En el caso de las poblaciones naturales interesantes como fuente de alimento para diversas especies animales, como, por ejemplo, aves acuáticas (véase el apartado 1.2.1.), se ha comprobado que la producción de plantas y tubérculos se ve incrementada si éstas se ven sometidas a condiciones de semicultivo, es decir, con labores superficiales del terreno y riegos posteriores que eviten la desecación de las plantas (Day y Russell, 1955<sup>51</sup>; Taylorson, 1967; Kelley, 1986<sup>57</sup>).

En el cultivo agrícola tradicional y en nuestras condiciones usualmente alterna el cultivo de chufa con otros cultivos hortícolas como patata temprana, cebolla 'Babosa', zanahoria o alcachofa, aunque es frecuente observar repeticiones de cultivo.

---

<sup>53</sup> LYONS, J.M. 1973. *Chilling injury in plants*. Annu. Rev. Plant Physiol. 24: 445 - 466. (en Stoller y Weber, 1975)

<sup>54</sup> SHEARMAN, L.L., OLIEN, C.R., MARCHETTI, B.L. y EVERSON, E.H. 1973. *Characterization of freezing inhibitors from winter wheat cultivars*. Crop Sci. 13: 514-519. (en Stoller y Weber, 1975)

<sup>55</sup> YOSHIDA, S. y SAKAI, A. 1974. *Phospholipid degradation in frozen plant cells associated with freezing injury*. Plant Physiol. 53: 509-511. (en Stoller y Weber, 1975)

<sup>56</sup> MOSS, D.N., KRENZER, E.G. y BRUN, W.A. 1969. *Carbon dioxide compensation points in related plant species*. Science 164: 187-188. (en Costa, 1979)

<sup>57</sup> KELLEY, J.R. jr. 1986. *Management and biomass production of selected moist-soil plants*. M.S.Thesis, University of Missouri, Columbia. (en Kelley, 1990)

### **Aspectos climáticos de L'Horta Nord de València**

El clima que afecta a la comarca es suave con temperaturas medias que oscilan entre 13 °C y 25 °C y humedad ambiental elevada ( $HR_{media}$  entre 65 y 70%), lo que favorece el buen desarrollo de *C. esculentus*.

Las frecuentemente intensas lluvias otoñales coinciden con el período normal de recolección de los tubérculos. Los meses que presentan los mayores valores de precipitación mensual media son octubre y noviembre (>87 y 126 mm respectivamente), lo que suele provocar dificultades y retrasos en la recolección de los tubérculos.

Asimismo, son problemáticos los típicos vientos veraniegos. Por un lado, los vientos cálidos y secos de Poniente, que pueden provocar situaciones de estrés hídrico en las plantas si no se controla adecuadamente el suministro de agua al cultivo. Por otro lado, las brisas vespertinas de Levante que, al soplar desde el mar, poseen un elevado contenido salino que puede provocar desecaciones de los extremos foliares de las plantas de *C. esculentus*. Todos estos regímenes de vientos pueden provocar un encamado precoz de las plantas si su intensidad sobrepasa la típica de brisa.

Según los datos climatológicos recogidos por el Servicio Meteorológico Nacional en su Estación de Valencia (Viveros) y aplicando el criterio de clasificación agroclimática de Papadakis (Elías y Ruiz, 1977) se trata de un clima 'Mediterráneo subtropical' (Su, Me) con invierno *Citrus* (Ci) y verano *Gossypium* menos cálido (g).

### **Suelos**

*C. esculentus* vegeta adecuadamente en suelos sueltos, de textura franco-arenosa. Este tipo de suelos se encuentra en las zonas típicas de cultivo de l'Horta Nord. La práctica extendida en el pasado entre los agricultores de aportar arena de playa lavada al terreno de cultivo facilita las condiciones de desarrollo de las plantas.

La buena nivelación del terreno, la práctica ausencia de piedras, la elevada humedad y el buen nivel térmico que alcanzan los suelos contribuyen, asimismo, junto con los buenos niveles de fertilidad que presentan, a que el cultivo se vea facilitado al máximo en la citada comarca.

### **Labores preparatorias**

Los objetivos de estas labores coinciden con los generales en la zona para otros tipos de cultivo, y son: dejar el terreno bien suelto, aireado y nivelado, dependiendo su realización del tiempo disponible.

Las labores preparatorias consisten básicamente en dos pases cruzados de fresadora, enterrándose los restos vegetales del cultivo precedente y, eventualmente, el abonado orgánico y de fondo. Si se dispone de tiempo, se riega posteriormente la parcela con una dosis elevada. Pasado un tiempo y con el terreno en sazón, se realiza otro pase de fresadora dejando el terreno preparado para la plantación. Ocasionalmente, se procede a la desinfección del campo recurriendo al bromuro de metilo formulado con 2% de cloropicrina, aunque este tratamiento no está justificado en la mayoría de las ocasiones.

### **Plantación**

La fecha de plantación depende, esencialmente, de la recolección del cultivo precedente. Antiguamente se realizaba entre los meses de mayo y junio (julio), pero actualmente se suele realizar

durante el mes de abril hasta mediados de mayo. Aun así, es posible observar campos plantados durante la segunda quincena de marzo.

La plantación se realiza con el terreno seco (regándose a continuación) o en sazón, retrasando entonces el riego.

Los tubérculos son plantados mecánicamente, quedando los tubérculos distanciados unos 8 cm y los caballones separados entre 55 y 60 cm. Los tubérculos quedan a una profundidad de unos 3-5 cm (plantación en seco) o de 6-8 cm (plantación en sazón).

### **Riego**

*C. esculentus* es una planta que se desarrolla de forma natural en zonas húmedas, tal como ya se comentó en apartados anteriores (véase los apartados 1.2.1. y 1.3.4.). Por ello, y dadas las características del terreno de cultivo, es necesario un frecuente aporte hídrico. Evidentemente la frecuencia de riego es superior en la época estival, que coincide con la fase de ahijamiento (junio-julio). Asimismo, es importante el riego durante la fase de tuberización (agosto-septiembre).

El primer riego se debe dar cuando la planta alcanza los 15-20 cm de altura, es decir, a los 25-30 días tras la plantación, si ésta se ha realizado con el terreno en sazón. Los últimos riegos se dan cuando la planta se agosta y son especialmente importantes para favorecer el engrosamiento de los tubérculos. Una frecuencia de riegos típica en Valencia, en dosis que oscilan entre 500 y 700 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, sería:

- desde el primer riego hasta finales de junio: cada 10 días
- durante julio y agosto: cada 8 días
- hasta mediados de octubre: cada 10-12 días.

### **Fertilización**

Dadas las características del terreno de cultivo (textura franco-arenosa) y dado que las plantas de chufa se consideran esquilmanes y que se riega con frecuencia, provocando unos índices elevados de lixiviación de nutrientes, es especialmente importante mantener los niveles de fertilidad adecuados. Esta necesidad viene compensada en gran medida por la importante fertilización de los cultivos precedentes (patata, zanahoria, etc.), por lo que en la práctica apenas se fertiliza (Maroto y Pascual, 1984; Pascual y Maroto, 1984c). Este extremo es especialmente importante para el caso del nitrógeno. Diferentes experimentos han demostrado que un exceso de los aportes de nitrógeno en el abonado inhibe la tuberización, ya que el nitrógeno promueve el desarrollo vegetativo aéreo (Garg *et al.*, 1967) favoreciendo la aparición del accidente del encamado precoz o "gitat". Pascual (1981) y Pascual y Maroto (1984c) constataron disminuciones en los rendimientos en tubérculos en relación con elevadas dosis de fertilización nitrogenada.

### **Escardas**

Durante las primeras fases del cultivo pueden representar un problema las malas hierbas típicas de la zona, como son las pertenecientes a los géneros *Amaranthus*, *Urtica*, *Portulaca*. El problema desaparece en posteriores etapas, cuando las plantas de chufa ya han alcanzado cierto tamaño y su parte aérea cubre gran parte de terreno, evitando el desarrollo de las malas hierbas.

El control inicial de las malas hierbas se puede realizar con aplicaciones de trifluralina al suelo con las labores preparatorias, a no ser que se haya desinfectado el terreno con bromuro de metilo. Asimismo, son posibles aplicaciones en preemergencia de linurón.

Una vez emergidas las plantas de chufa se pueden controlar las eventuales malas hierbas con pases de "entauladora", que además de rehacer los caballones y romper posibles costras, arranca las malas hierbas existentes en los surcos.

### **Plagas y enfermedades**

*C. esculentus*, como cultivo, no plantea excesivos problemas fitopatológicos (Pascual y Maroto, 1984c). Sin embargo, se sabe que algunos insectos, especialmente lepidópteros, en su fase larvaria pueden atacar los tallos de las plantas provocando consecuentemente la muerte de las mismas (E.L., 1978; Frick *et al.*, 1979). Maroto y Pascual (1991) citan entre los insectos que afectan a esta planta a los "barrenadores de la chufa", lepidópteros tortricidos pertenecientes a la familia *Olethreutidae*, representados por las especies *Bactra lanceolana* Hb. y *Bactra furfurana* Haw., ya señalados por García Baudín (1973) y por García Baudín *et al.* (1979). En las zonas de cultivo típicas de l'Horta de València llegan a secar las plantas que, una vez arrancadas, presentan en su base una perforación que tiene su continuación en una galería interna del tallo. Para prevenir los ataques se realizan tratamientos preventivos (clorpirifos, metil-clorpirifos,...) a toda la parcela al detectar en la misma alguna evidencia del ataque. Asimismo, se han encontrado ejemplares del pirálido *Angustalius malacellus* royendo la base de los tallos de *Cyperus*, siendo, por tanto, otra posible plaga del cultivo (García-Baudín *et al.*, 1978).

En Estados Unidos se ha identificado la especie *Bactra verutana* Zeller *chrysea* Heinrich, que despertó interés como posible medio de lucha biológica frente a la chufa, ya que allí es considerada una mala hierba y el mencionado insecto presenta una notable especificidad frente a la planta (Keeley *et al.*, 1970).

Ocasionalmente se detectan daños debidos a larvas de lepidópteros noctuidos del género *Agrotis* que roen la base de la planta.

Otros daños que pueden afectar a los tubérculos son los provocados por pequeños roedores, coleópteros, lepidópteros, *etc.* tanto a nivel de campo como durante el almacenamiento y secado. Durante esta última fase citada son especialmente típicos los ataques de insectos propios de productos secos almacenados, como son polillas (*Ephestia kuehniella*, *Plodia interpunctella*) y curculiónidos.

En cuanto a las enfermedades son escasas las referencias. En ocasiones se han detectado sobre alguna partida de chufas ciertos tubérculos con daños provocados, al parecer, por uno o varios hongos como *Rosellinia* sp., *Rhizoctonia* sp., *etc.* Sin embargo, esos daños físicos son suficientes para que el valor comercial de las chufas recolectadas se deprecie notablemente.

### **Recolección**

Los tubérculos de chufa son recolectados en unas fechas que varían a lo largo de los meses de noviembre a enero, una vez que la planta se ha agostado completamente y ha sido quemada la parte aérea.

La recolección se realiza con una máquina que, arrastrada por un tractor, tamiza la tierra que constituye los caballones separando en un tambor giratorio los tubérculos, siendo éstos llevados mediante una cinta transportadora a un remolque arrastrado en paralelo.

### 1.3.8. Composición química

#### 1.3.8.1. Tubérculos

Los primeros análisis químicos de tubérculos de *Cyperus esculentus* fueron realizados por el farmacéutico Lesant en 1822<sup>58</sup>. Asimismo, se publicaron los primeros datos acerca de la composición media de los tubérculos de chufa a mediados del siglo pasado (Torres, 1851)<sup>59</sup>. Posteriormente se dieron a conocer datos acerca de la composición media de tubérculos de chufa cultivados en España a principios de este siglo por medio de la Tesis Doctoral presentada por Serrallach (1927). Durante las décadas posteriores se han analizado, tanto en España como en otros países, los tubérculos de *C. esculentus* proporcionando datos variables en cada uno de los parámetros estudiados (Valenzuela, 1946<sup>60</sup>; Alcalá, 1956<sup>61</sup>; Mokady y Dolev, 1970<sup>62</sup>; Morell y Barber, 1980<sup>63</sup>; Morell, 1983; Addy y Ethesola, 1984; Linssen *et al.*, 1987<sup>64</sup>), hecho también constatado por Stoller y Weber (1975) al estudiar diferentes ecotipos de *C. esculentus*. Los estudios analíticos generalmente se han llevado a cabo para intentar conocer el valor nutritivo de los tubérculos, bien dentro del régimen de alimentación humana, bien como parte de la alimentación del ganado, tanto en forma de tubérculos como en combinación con otros productos vegetales (Addy y Ethesola, 1984).

**Cuadro 5.** Composición química de los tubérculos (% materia seca)

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
almidón	24,5	29,7	26,7	29,4	-	34,3	47,9(*)	30,5
grasas	29,6	30,1	23,2	25,5	21,9	25,9	32,8	25,5
azúcares	21,6	14,1	14,6	16,0	16,1	16,1	(*)	17,4
proteínas (Nx6,25)	7,6	6,5	4,9	5,4	5,1	8,7	3,8	5,1
fibra	8,6	14,2	-	-	13,0	10,3	8,8	9,6
cenizas	1,7	2,8	1,9	2,2	-	1,9	6,7	2,2

(a) Serrallach (1927) (e) Mokady y Dolev (1970)<sup>62</sup>  
 (b) Valenzuela (1946)<sup>60</sup> (f) Morell (1983)  
 (c) Alcalá *et al.* (1954) (g) Addy y Ethesola (1984)  
 (d) Alcalá (1956)<sup>61</sup> (h) Linssen *et al.* (1987)<sup>64</sup>

(\*) carbohidratos

### Carbohidratos

Se ha constatado en diferentes poblaciones de chufa que el contenido en carbohidratos totales sobre peso seco oscilaba entre el 45% y el 77%, siendo el almidón el carbohidrato más abundante (Matthiesen y Stoller, 1978).

<sup>58</sup> LESANT. 1822. Journal de Pharm. (2) 8: 509. (en Serrallach, 1927)

<sup>59</sup> TORRES, R. 1851. *Memorie sur la Nature Chim. La Chufa (souchet comestible)*. J. Pharm. et Chim. sér. 3, 19: 336. (en Morell, 1983)

<sup>60</sup> VALENZUELA, N. 1946. Quim. farm. Chile 47, 1. (en Morell, 1983)

<sup>61</sup> ALCALÁ, A. 1956. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Valencia. (en Morell, 1983)

<sup>62</sup> MOKADY, S. y DOLEV, D. 1970. *Nutritional evaluation of tubers of *Cyperus esculentus**. J.Sci. Food Agric. 21: 211-214. (en Morell, 1983)

<sup>63</sup> MORELL, J. y BARBER, S. 1980. *Chufa y horchata: características físicas, químicas y nutritivas*. IATA. Valencia. 84 pp. (en Morell, 1983)

<sup>64</sup> LINSSEN, J.P.H., Van OLDEREN, J.D. y PILNIK, W. 1987. **Cyperus esculentus*: voedingsmiddel of onkroid* Voedingsmiddelentechnologie 20: 24-26. (en Linssen *et al.*, 1989)

El almidón supone en poblaciones valencianas, según Morell (1983), del 53% al 65% de las MELN (materias extractivas libres de nitrógeno). El mismo autor ha encontrado que éste se halla en porcentajes cercanos al 35% del peso seco del tubérculo. El almidón se encuentra en forma de gránulos. Su forma es redondeada u oval y el tamaño de los mismos oscila generalmente entre 1 y 15 micras, aunque en algún caso llega a alcanzar los 20 µm de diámetro. Presentan unas dimensiones muy reducidas en comparación con los gránulos de almidón de otros tubérculos, cereales y plantas (Abdel-Akner y Michalinos, 1963)<sup>65</sup>. Este carbohidrato se haya concentrado, como cabía esperar, en la zona central del tubérculo y, en menor medida, en la corteza, tal como se deduce de diversos tests de iodo realizados por Tumbleson y Kommedahl (1961).

Los azúcares son los carbohidratos más importantes después del almidón. Constituyen aproximadamente el 25% de las MELN. La casi totalidad de los azúcares de la chufa es sacarosa. Los azúcares reductores se encuentran en un porcentaje muy bajo, tal como indican los resultados presentados por Valenzuela (1946)<sup>60</sup>, Alcalá (1956)<sup>61</sup> y Morell (1983). Este último indica que la sacarosa constituye aproximadamente el 98% de los azúcares de los tubérculos de *C. esculentus*, constituyendo alrededor del 16% de la sustancia seca de los mismos. Los azúcares reductores, tales como la alfa-glucosa, la beta-glucosa, la fructosa y la galactosa sólo se encuentran en porcentajes inferiores al 0,5% sobre materia seca.

**Cuadro 6.** Contenido en carbohidratos de los tubérculos (% m.s.) (trazas (tr) = 0,5%).

	(a)	(b)	(c)	(d)
almidón	29,7	26,7	29,4	34,3
sacarosa	10,6	14,4	15,8	16,1
az. reductores	3,5	0,2	0,2	tr

(a) Valenzuela (1946)<sup>60</sup> (c) Alcalá (1956)<sup>61</sup>  
 (b) Alcalá *et al.* (1954) (d) Morell (1983)

**Lípidos**

García Olmedo *et al.* (1979), sabiendo que diversos autores habían determinado contenidos grasos en chufa que oscilaban entre el 20% y el 30%, estudiaron la composición en ácidos grasos y los valores del índice de refracción y de iodo en el aceite de tubérculos de la zona de cultivo cercana a Valencia, constatando que la composición ácida del mismo no presenta diferencias significativas con la de tubérculos de chufa procedentes de otras zonas mediterráneas (aunque en la bibliografía consultada por el autor, tal como se indica en el cuadro 7, se publicaran resultados analíticos sensiblemente diferentes). Determinaron que la composición en ácidos grasos no varía sensiblemente de una campaña a otra. Asimismo comprobaron que existía una cierta semejanza con el aceite de oliva.

Addy y Ethesola (1984) comprobaron sobre tubérculos de *C. esculentus* cultivados en Nigeria que éstos poseían un contenido relativamente elevado en grasas (cerca del 33%). Soheir *et al.* (1986) comprobaron posteriormente sobre tubérculos de chufa egipcia que estos poseían un contenido graso menor, cercano al 24%. También analizaron la composición en aceites grasos, siendo ésta más bien diferente a la determinada para los tubérculos cultivados en la zona de Valencia, tal como se puede apreciar en el cuadro 7.

<sup>65</sup> ABDEL-AKNER, M. y MICHALINOS, A.N. 1966. *Stärke-Atlas, Seidemann*. Ed. Paul Parey, Berlin y Hamburg. (en Morell, 1983)

En el aceite extraído de los tubérculos se han determinado índices de acidez, de refracción, de iodo y de saponificación (Baughman y Jamieson, 1923<sup>66</sup>; Pierarts, 1924<sup>67</sup>; Valenzuela, 1946<sup>60</sup>; Barberá, 1941<sup>68</sup>; García Olmedo *et al.*, 1979). La composición en ácidos grasos ha sido estudiada, asimismo, por Osman *et al.* (1968)<sup>69</sup> y Morell (1983), entre otros. Este último cita como ácidos grasos más importantes del aceite de chufa al ácido oleico, palmítico, linoleico y esteárico, constituyendo respectivamente un 73%, 14%, 10% y 2% de los ácidos grasos totales. En cantidades menores se detectan los ácidos mirístico y palmitoleico.

Asimismo, se ha comprobado que existe una relación positiva entre el contenido en grasas con la resistencia frente al frío (Stoller y Weber, 1975).

**Cuadro 7.** Contenido en ácidos grasos del aceite de chufas (en % de moles) (trazas (tr) = 0,5%)

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
ác. oleico	71,3	70,5	61,2	72,4	73,4	21,2	(a) Osman <i>et al.</i> (1968) <sup>69</sup>
ác. palmítico	20,4	14,8	11,7	13,5	13,8	4,1	(b) Mokady y Dolev (1970) <sup>62</sup>
ác. linoleico	2,0	11,0	24,5	10,2	9,8	3,3	(c) Matthiesen y Stoller (1978)
ác. esteárico	5,2	3,7	1,8	2,4	2,4	0,9	(d) García Olmedo <i>et al.</i> (1979)
ác. palmitoleico	1,1	tr	-	0,3	0,4	1,5	(e) Morell (1983)
ác. linolénico	-	tr	0,4	0,2	-	-	(f) Soheir <i>et al.</i> (1986)
ác. mirístico	-	tr	-	0,1	0,2	5,4	

### **Compuestos nitrogenados**

Diversos autores han estudiado la composición en aminoácidos de las proteínas de los tubérculos (Morell, 1983; Addy y Ethesola, 1984). De los aminoácidos determinados destaca la presencia de la arginina junto a los ácidos aspártico y glutámico. La comparación de los niveles obtenidos con las pautas recomendadas por la FAO pone de manifiesto que las proteínas de la chufa poseen un limitado valor biológico, fundamentalmente por el bajo nivel del aminoácido valina, tal como ya advirtió Morell (1983).

Las fracciones proteicas están caracterizadas por el elevado porcentaje de la fracción soluble en agua (albúminas) con un valor cercano a 81 g/100 g de proteínas.

**Cuadro 8.** Fracciones proteicas de las proteínas de los tubérculos de chufa (en g/100 g de proteínas) (según Morell, 1983)

albúminas	81,19	prolaminas	0,92
globulinas	4,82	fr. insoluble	10,78
glutelinas	2,29		

### **Minerales**

En cuanto a la composición en elementos minerales hay que resaltar la información aportada por Valls *et al.* (1980), en la que destaca el alto valor hallado para el potasio (424,35 mg/100 g m.s.), así como unos valores relativamente elevados para Fe (3,89 mg/100 g m.s.) y Zn (3,49 mg/100 g

<sup>66</sup> BAUGHMAN, W.F. y JAMIESON, G.S. 1923. Journal of Agric.Res. 26: 77. (en Serrallach, 1927)

<sup>67</sup> PIERARTS. 1924. Mat. Grasse 16: 6674. (en Serrallach, 1927)

<sup>68</sup> BARBERÁ, G. 1941. Ann.Chim.Appl. 31: 330. (en Morell, 1983)

<sup>69</sup> OSMAN, F., SUBBARAL, M.R. y ACHAYA, K.T. 1968. *The glyceride structure of some Egyptian vegetable oils.* Fette, Seifen, Anstrichmittel 2: 69. (en Morell, 1983)



m.s.). Según los mismos autores se puede considerar que el aporte mineral de los tubérculos es semejante al de los frutos secos oleaginosos.

Otros valores son los aportados por Woot-Tjuen (1975)<sup>70</sup> en los que indica niveles de calcio próximos a 69 mg/100 g m.s. (sensiblemente inferior al hallado por los autores anteriormente citados, que analizaron tubérculos de chufa valenciana) y de hierro de 3,3 mg/100 g m.s.

Otros estudios relativos a la composición mineral los realizaron Alcalá (1956)<sup>61</sup> y Morell (1983). Este último autor detectó en las muestras de tubérculos analizadas niveles de elementos metálicos tóxicos para el organismo por ser de difícil eliminación. Estos niveles fueron, sin embargo, bajos y no alcanzaron concentraciones que se pudieran considerar peligrosas.

Finalmente, los datos más recientes consultados por el autor son los debidos a Peyró y Serra (1984), que estudiaron la evolución de los diferentes elementos en diversos órganos de las plantas de *C. esculentus* var. *sativus* durante su ciclo vegetativo, destacando, en el caso de los tubérculos, unos elevados niveles para el calcio y potasio y relativamente bajos para el cinc y magnesio, tal como se indica en el cuadro siguiente.

**Cuadro 9.** Componentes minerales de los tubérculos de chufa (mg/100 g m.s.)

	(a)	(b)	(c)	
calcio	92,76	99,53	250	
cinc	3,49	4,58	2,5	
cobre	0,97	2,01	1,25	
fósforo	-	274,73	240	
hierro	3,89	3,95	5	
magnesio	93,85	94,97	70	
manganeso	0,25	-	0,8	
potasio	424,35	567,37	655	
sodio	34,42	41,10	-	(a) Valls <i>et al.</i> (1980)
cadmio (ppm)	-	0,20	-	(b) Morell (1983)
plomo (ppm)	-	0,036	-	(c) Peyró y Serra (1984)

### **Otros constituyentes**

Linssen *et al.* (1989) analizaron los tubérculos, especialmente en cuanto a su contenido en fibra (9,6% m.s.), asegurando que son una buena fuente de la misma en la tecnología agroalimentaria actual. Morell (1983) también aporta datos acerca de la composición en fibra (10,3% m.s.).

Bustinza (1928)<sup>71</sup> determinó la presencia de determinadas enzimas, tales como catalasa, peroxidasa, sacarasa, amilasa, lipasa y fosfatasa.

Vidal-Valverde *et al.* (1982) estudiaron con más detalle el contenido en pectinas. Expresadas las pectinas como ácido anhidrogálico (AGA) determinaron niveles medios del 7,05% respecto a materia fresca comestible y del 7,48% respecto a materia seca comestible.

#### **1.3.8.2. Derivados industriales: la horchata**

La composición química media de la horchata ha sido estudiada por numerosos investigadores españoles y extranjeros (Alcalá *et al.*, 1954; Dolev y Mokady, 1970<sup>72</sup>; Morell y Barber,

<sup>70</sup> WOOT-TJUEN, W.L. 1975. *Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina*. Interamericana. Panamá. (en Valls *et al.*, 1980)

<sup>71</sup> BUSTINZA, F. 1928. *Rev. Real Acad. Ciencias* 24: 411. (en Morell, 1983)

<sup>72</sup> DOLEV, A. y MOKADY, S. 1970. *Nutritional evaluation, possible uses and enrichment of "Horchata de Chufa"*. *Nutr.Rept.Int.* 2: 297-303. (en Mulligan y Junkins, 1976)

1980<sup>63</sup>; Morell, 1983) y varía sensiblemente en algunos componentes respecto a la composición vista en el caso de los tubérculos, puesto que los diversos constituyentes de éstos pasan de forma variable y en proporciones diferentes a la horchata.

La legislación vigente, más concretamente, el *Reglamento de las Denominaciones de Origen "Chufa de Valencia" y "Horchata Valenciana de Chufa" y su Consejo Regulador* (D.O. de la Comunidad Valenciana, 1989) únicamente hace referencia cuantitativa a dos constituyentes, almidón y grasas, fijando unos límites mínimos de 2,2% y 2,5% respectivamente en la composición de la horchata natural.

El cuadro 10 indica los valores medios hallados por diferentes autores relativos a la composición química de la horchata. Los valores indican que el contenido en grasa es relativamente elevado, así como el de carbohidratos en general, sin embargo, el contenido en proteínas es bastante bajo.

**Cuadro 10.** Composición química de la horchata (en g/100 g horchata)

	g/100 g			% m.s.
	(a)	(b)	(c)	(c)
<b>sólidos totales</b>	10,60	-	12,20	-
<b>almidón</b>	3,13	-	-	31,80
<b>sacarosa</b>	2,07	-	-	23,77
<b>az. reductores</b>	0,03	-	-	-
<b>grasas</b>	2,97	2,93	3,05	25,00
<b>proteínas</b>	0,78	1,36	1,39	11,39
<b>fibra</b>	-	-	0,13	1,06
<b>cenizas</b>	0,36	0,29	0,29	2,38
<b>M.E.L.N.</b>	-	7,38	7,33	60,17

(a) Alcalá *et al.* (1954)  
 (b) Morell y Barber (1980)<sup>63</sup>  
 (c) Morell (1983)

En el cuadro 11 se muestran datos comparativos de la composición de la horchata y de la leche de vaca (Alcalá, 1956<sup>61</sup>; Morell, 1983; Juárez *et al.*, 1978<sup>73</sup>; McCance y Widdowson, 1960<sup>74</sup>; Lynn y Lawler, 1966<sup>75</sup>). En él se observa que la horchata posee aproximadamente, la mitad del valor energético de la leche de vaca. La horchata presenta unos niveles de proteínas y de cenizas cercanos al 50% de los de la leche, mostrando unos valores similares en cuanto a la grasa. El aporte de fósforo y de vitaminas es muy superior en la leche de vaca.

<sup>73</sup> JUÁREZ, M., MARTÍNEZ, I., RAMOS, M., MÉNDEZ, A. y MARTÍN, A. 1978. *Estudio sobre la composición de la leche de vaca en España*. Instituto de Productos Lácteos, C.S.I.C. Arganda del Rey, Madrid. (en Morell, 1983)

<sup>74</sup> McCANCE, R.A. y WIDDOWSON, E.M. 1960. *The composition of foods*. Her Majesty's Stationary Office, Londres. (en Morell, 1983)

<sup>75</sup> LYNN, L. y LAWLER, F.K. 1966. *Food Eng.* 38, 11: 68. (en Morell, 1983)

Cuadro 11. Comparación entre la composición de la leche de vaca y la horchata (Morell, 1983) (en g/100 g)

	horchata		leche de vaca		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
valor energético (cal/kg)	335	-	613	-	-
sólidos totales	10,61	12,20	11,4	-	-
proteínas	0,78	1,39	3,13	-	3,42
grasa	2,97	3,05	3,24	-	3,67
fibra	-	0,12	-	-	-
carbohidratos	-	-	-	-	8,77
sacarosa	2,07	2,90	-	-	-
azúcares reductores	0,03	-	4,47	-	-
almidón	3,13	3,88	-	-	-
cenizas	0,36	0,29	0,70	-	0,73
fósforo (mg/100 g)	28,00	-	-	95	-
vit. B <sub>1</sub> (mg/100 g)	0,02	-	-	0,04	-
vit. E (U.I.)	0,00	-	-	-	-
vit. C (mg/100 g)	0,30	-	-	2,0	-

(a) Alcalá (1956)<sup>61</sup>  
 (b) Morell (1983)  
 (c) Juárez *et al.* (1978)<sup>73</sup>  
 (d) McCance y Widdowson (1960)<sup>74</sup>  
 (e) Lynn y Lawler (1966)<sup>75</sup>

**Carbohidratos**

Los carbohidratos constituyen cerca del 60% de todos los sólidos totales de la horchata, tal como pone de manifiesto el cuadro 12. Tienen como principal componente el almidón: cerca del 60% de los mismos. Como ya se vio en el caso de los tubérculos, apenas tienen importancia los azúcares reductores, predominando como azúcar la sacarosa.

Se han identificado otros azúcares en proporciones muy bajas, tales como la alfa-glucosa, la beta-glucosa, la fructosa y la galactosa.

**Lípidos**

Existe escasa información acerca de la composición de la horchata en cuanto a lípidos. La cantidad y naturaleza de los mismos varía con respecto a los estudiados en los tubérculos de chufa. Ello es fundamentalmente debido a que el método de obtención de la horchata (extracción discontinua empleada por Morell (1983) y por nuestro equipo) sólo permite un rendimiento de extracción de grasa de aproximadamente 75%.

Se comprueba que la importancia de los diferentes ácidos grasos y de sus proporciones relativas es similar a la encontrada en el aceite de los tubérculos (véase el cuadro 7).

Cuadro 12. Contenido en ácidos grasos del aceite de horchata (% de moles sobre el total de ács. grasos) (según Morell, 1983). (trazas (tr) =0,5%)

ác. oleico	76,93	ác. esteárico	2,95
ác. palmítico	11,58	ác. palmitoleico	tr
ác. linoileico	8,53	ác. mirístico	tr

**Compuestos nitrogenados**

De la composición en aminoácidos de la horchata cabe destacar la importancia relativa de los ácidos glutámico y aspártico y de la arginina. De los tres es la arginina el más abundante.

Cuadro 13. Fracciones proteicas de la horchata (g/100 g de proteínas) (según Morell, 1983)

albúminas	88,90	prolaminas	1,22
globulinas	2,55	fr. insoluble	5,43
glutelinas	1,90		

**Cuadro 14.** Contenido en aminoácidos de la horchata (en g/16 g N) (según Morell, 1983)

ác. aspártico	8,05	isoleucina	3,25
treonina	4,49	leucina	4,84
serina	3,26	tirosina	5,62
ác. glutámico	9,61	fenilalanina	3,51
prolina	2,58	histidina	2,68
glicina	3,89	lisina	5,38
alanina	4,37	arginina	21,41
cistina	3,18	triptófano	0,90
valina	0,94	NH <sub>3</sub>	1,55
metionina	1,17	recuperación (%)	92,00

### **Minerales**

El fósforo es el único elemento mineral que ha sido estudiado en la horchata. Se han determinado niveles cercanos a 364 mg de P elemental por 100 g de materia seca (Alcalá, 1956)<sup>61</sup>.

### **Vitaminas**

Según el mismo autor son los contenidos vitamínicos (B<sub>1</sub> y ácido ascórbico) muy bajos, alcanzando únicamente valores de 0,02 mg/100 g y 0,27 mg/100 g.

### **Otros constituyentes**

Se han detectado enzimas como la catalasa, fosfatasa, fitasa, lecitinasa, sacarasa, amilasa y ureasa (Alcalá, 1956)<sup>61</sup>.

Asimismo, han sido identificados otros componentes como metanol, etanol, formaldehído, acetaldehído, acetona y metil-etil-cetona (Alcalá *et al.*, 1957)<sup>76</sup>.

## **1.4. ESTUDIOS AGRONÓMICOS REALIZADOS**

Tal como se ha señalado anteriormente (véase el apartado 1.2.1.), es considerada *C. esculentus* L. como una de las principales malas hierbas a nivel mundial, por lo que los estudios acerca de su comportamiento agronómico fueron, hasta finales de la década de los setenta, escasos. Ello, unido al estancamiento de los rendimientos obtenidos en el cultivo durante las décadas anteriores, motivó que en 1978 iniciara el entonces Departamento de Fitotecnia General y Cultivos Herbáceos (actualmente integrado en el Departamento de Producción Vegetal) de la U.P.V. una serie de estudios de carácter agronómico. Estos han dado como resultado, además de numerosas publicaciones, la redacción de una Tesis Doctoral (Pascual, 1981) y son el origen de la presente.

Los diversos aspectos estudiados han sido:

### **1.4.1. Estudio analítico del contenido de nutrientes en los distintos órganos de la planta de chufa: correlación con la producción. Evaluación de las extracciones**

Es preciso conocer en cualquier cultivo tanto las extracciones como las pautas de absorción de los diferentes nutrientes, antes de poder establecer las bases de la fertilización racional. En el caso de *C. esculentus* no se conocían publicaciones que abordaran estos dos aspectos.

Para poder cubrir esa falta de información relativa a la nutrición de *C. esculentus* se emprendió este estudio, pudiendo, así, evaluar las necesidades de cada uno de los macronutrientes

<sup>76</sup> ALCALÁ, A., CASAS, A. y PRIMO, E. 1957. *Estudio sobre la chufa (Cyperus esculentus L.)*. IV. Componentes volátiles. Soc. Española de Física y Química. Serie B-Química. Tomo LIII (B) 5: 385. (en Morell, 1983)

principales por parte de la planta, así como el ritmo de absorción de los mismos (Pascual, 1981; Pascual y Maroto, 1982b; Pascual y Maroto, 1984c).

Posteriormente, y paralelamente a unos ensayos de fertilización, se ha analizado el estado nutricional, nitrogenado y potásico, de la planta, así como la correlación (a partir de datos obtenidos a lo largo de cinco años de experimentos en diferentes condiciones de cultivo) entre diversos índices nutricionales y el rendimiento en tubérculos (Pascual *et al.*, 1994).

#### **1.4.2. Fertilización**

Como en el caso anterior, eran escasas las referencias bibliográficas relativas a la fertilización del cultivo de *C. esculentus*. En este sentido únicamente se podría destacar el trabajo publicado por Killinger y Stokes (1951) en el que se analizaron diferentes combinaciones de fertilizantes para el cultivo de chufa en Florida (como alimento del ganado porcino).

Los trabajos se orientaron a determinar relaciones entre diferentes niveles de aportación de N y las producciones de tubérculos y de masa aérea. Asimismo, se estudió la relación entre los niveles de N y los de K en diferentes órganos de la planta, relacionándolos con los valores correspondientes a las extracciones de los mismos (Pascual, 1981; Maroto y Pascual, 1984; Maroto *et al.*, 1986).

#### **1.4.3. Control del encamado con retardadores del crecimiento**

El encamado es un fenómeno natural que sufre la planta de chufa en la fase final de su ciclo vegetativo, observándose el inicio de éste hacia mediados de agosto. Sin embargo, cuando las plantas crecen de forma exuberante, puede aparecer este fenómeno de forma prematura (a partir del mes de julio) con lo que las plantas ven reducida su productividad (mala conducción de la savia, reducción de la fotosíntesis,...).

Los estudios realizados permitieron descartar el exceso de abonado nitrogenado como causa directa de la aparición del encamado precoz, intentándose entonces la aplicación de alguna práctica agronómica que evitara la aparición del citado fenómeno.

Se realizaron experimentos durante cuatro años con CCC y daminozida (entonces aún no prohibida), basándose en los antecedentes conocidos en cereales y plantas productoras de tubérculos (Pascual y Maroto, 1984c).

#### **1.4.4. Influencia de la fecha de plantación en la productividad**

La fecha de plantación de los tubérculos ha ido adelantándose paulatinamente. Antiguamente se realizaba la plantación a primeros de julio, tras la cosecha del trigo. Posteriormente se adelantó hasta mayo, escalonándose la plantación durante todo el mes. A principios de la década de los ochenta se observó que los agricultores adelantaban la fecha aún más, llegándose en alguna ocasión a plantarse los tubérculos a mediados de marzo.

Los trabajos realizados en este sentido intentaron relacionar el adelanto de la fecha de plantación con aumentos de los niveles productivos (Pascual y Maroto, 1981a; Maroto *et al.*, 1984; Pascual y Maroto, 1984a).

#### **1.4.5. Influencia de la textura del suelo en la cuantía y calidad de los tubérculos**

Aunque la casi totalidad de los suelos pertenecientes a la zona productora de chufa presentan una textura franco-arenosa, resultaba interesante conocer de forma objetiva la influencia de la textura sobre la tuberización de *C. esculentus*, tanto a nivel productivo como morfológico y

cualitativo. Estos estudios fueron motivados, fundamentalmente, por la paulatina expansión del cultivo hacia otras zonas con suelos claramente diferentes en cuanto a su textura.

Se ensayó el cultivo de chufa con diferentes tipos de sustratos en contenedores (Pascual y Maroto, 1981b).

#### **1.4.6. Desyerbe químico**

En general no son problemáticas las malas hierbas en el cultivo de *C. esculentus* en l'Horta Nord de València, debido, por una parte, a la alternancia de los cultivos y, por otra, a que con relativa frecuencia se realizan desinfecciones del suelo con bromuro de metilo. Aun así, a veces pueden ser un inconveniente con el consiguiente consumo de herbicidas y de mano de obra.

Abundante bibliografía considera a *C. esculentus* como una mala hierba, pero poca o ninguna se había referido anteriormente al control de las malas hierbas en el cultivo de la chufa. Es por ello que se realizaron estudios sobre el efecto de ciertos herbicidas, utilizados habitualmente por los agricultores de la zona, tanto sobre las malas hierbas como sobre la chufa misma (Pascual *et al.*, 1990).

#### **1.4.7. Estudios sobre la hipotética latencia de los tubérculos**

Movidos por la información aportada por diversos autores (Tumbleson, 1960<sup>77</sup>; Tumbleson y Kommedahl, 1962<sup>41</sup>; Thomas, 1967) acerca de la latencia de los tubérculos, se estudió ésta para intentar mejorar el manejo de los tubérculos en el cultivo en contenedores. Ello permitiría acortar el ciclo de *C. esculentus* y, con ello, la obtención de más de una cosecha al año en las mencionadas condiciones artificiales, puesto que a nivel del cultivo en campo apenas presenta interés esa hipotética latencia de los tubérculos.

Se ensayaron diferentes condiciones térmicas para la brotación de los tubérculos, así como la influencia de la aplicación de fitorreguladores y del lavado previo de las chufas (Pascual y Maroto, 1982a; Pascual y Maroto, 1984b).

### **1.5. SELECCIÓN Y TIPIFICACIÓN CLONAL**

#### **1.5.1. Introducción**

Las chufas cultivadas en l'Horta Nord de València pertenecen a la variedad botánica *sativus*. Desde hace varios años se mantiene en cultivo en contenedores plantas de la variedad botánica *esculentus*, procedentes de Galicia y de Argentina. En ambos casos las características de los tubérculos son totalmente distintas entre sí y respecto a las de nuestras poblaciones.

Durante la realización de todos los estudios citados anteriormente se ha constatado la existencia de claras diferencias entre poblaciones valencianas de chufa, siendo frecuente la distinción entre el tipo "*ametlla*" de tubérculos redondeados y el tipo "*llargueta*" de tubérculos alargados. No obstante, no existen cultivares (cvs.) definidos en las poblaciones valencianas de *C. esculentus* L.

Nuez y Cabrelles (1984) constataron la existencia de variabilidad genética en las poblaciones actuales de chufas, concluyendo que cabe esperar una respuesta clara en caso de realizarse una selección clonal.

---

<sup>77</sup> TUMBLESON, M.E. 1960. *Germination inhibitor in tubers of Cyperus esculentus*. Res. Rept., N. Central Weed Control Conf. 17: 106-107 (en Tumbleson y Kommedahl, 1961)

Por todo ello, una vez realizados los estudios agronómicos indicados en el apartado 1.4., se consideró oportuna la realización de trabajos de investigación que abarcara la caracterización y tipificación agronómica del material vegetal existente y la realización de una selección clonal. Ello, posiblemente, permitiría:

- el conocimiento y la utilización del material vegetal con elevado poder productivo;
- su aplicación en la obtención de nuevos cvs., al disponer del material vegetal caracterizado;
- registrar en la lista de variedades protegidas los cvs. que se consideren más interesantes.

En nuestro país el organismo encargado de controlar la producción del material vegetal y de expedir la certificación correspondiente es el Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. La certificación es la garantía de que el material vegetal ha pasado los controles establecidos, uno de cuyos objetivos principales es garantizar la identidad de los cvs. Las líneas generales de las normas legales referentes a la producción de plantas son:

- que todo elemento de reproducción que se pone a disposición de los agricultores tiene que pertenecer a un cv. debidamente ensayado y que figure en un registro de variedades comerciales;
- que el material de reproducción ha de pertenecer a una de las categorías definidas con requisitos determinados;
- que su obtención ha de realizarse bajo control oficial en sus distintas fases;
- que todo obtentor tiene derecho a la protección de los justos derechos que le corresponden a las nuevas variedades de su obtención.

Posteriormente se han añadido unas normas específicas para la obtención y la protección de los derechos de los obtentores, la legislación de la U.P.O.V. (Unión para la Protección de los Obtentores Vegetales). La U.P.O.V. protege un cv. cuando satisface las exigencias de:

- distinguibilidad - un cv. es distinto del resto de cvs. existentes si se comprueba que se diferencia claramente por, al menos, un carácter importante, sea éste de tipo morfológico, fisiológico, químico o agronómico;
- uniformidad - todos los individuos del cv. deben presentar los caracteres básicos del mismo;
- estabilidad - el cv. debe mantener sus caracteres esenciales al ser reproducido.

La metodología básica para identificar y demostrar que un cv. es distinto del resto de cvs. ya existentes consiste en analizar sus diferentes tipos de caracteres que, a ser posible, deben cumplir las siguientes condiciones:

- presentar elevada heredabilidad, es decir, que su expresión no debe estar influida por las condiciones ambientales;
- su evaluación ha de ser sencilla y fácil de realizar;
- los resultados han de ser reproducibles en cualquier parte del mundo y por cualquier equipo.

Dado el carácter asexual de la propagación de *C. esculentus* en nuestras condiciones, se centró el estudio de la variabilidad genética, fundamentalmente, en la determinación de la heredabilidad en un sentido amplio de cada uno de los caracteres considerados, ya sean morfológicos, de producción o químicos.

Antecedentes a este tipo de estudio los podemos encontrar en Nuez y Cabrelles (1984), donde, para el material vegetal y en las condiciones particulares del citado estudio, se indican heredabilidades para parámetros estudiados sobre la planta y productivos entre el 14 y el 40%. Para parámetros relativos a la morfología del tubérculos (peso, longitud) se indican valores cercanos al 5%.

Este nuevo parámetro nos permitirá determinar la importancia de la componente genética en la expresión de los diversos caracteres estudiados, indicándonos qué proporción de la variabilidad observada entre los diferentes clones de *C. esculentus* L. es debida a la herencia (genotipo), estando la restante provocada por factores ambientales.

En función del tipo de caracteres a analizar se distinguen varios métodos de caracterización varietal, presentando cada uno de ellos ventajas e inconvenientes.

### **1.5.2. Métodos de caracterización vegetal**

#### **Análisis de caracteres morfológicos y agronómicos**

La metodología utilizada habitualmente en la caracterización de cvs. es la basada en el análisis de caracteres morfológicos y agronómicos.

La U.P.O.V. ha elaborado una serie de descriptores para la mayoría de especies cultivadas (un descriptor por especie), basados en la descripción de tallos, hojas, inflorescencias, flores, frutos, etc. y su comparación con un cv. conocido que permite la identificación varietal en la mayoría de las especies cultivadas, pero **no** existe descriptor alguno para *Cyperus esculentus* L.

Esta metodología no está exenta de algunos inconvenientes, como es que la expresión de los caracteres morfológicos y agronómicos está influenciada por diversos factores (climáticos, nutricionales, fitopatológicos, etc.), lo que obliga a la realización de mediciones durante varios ciclos de cultivo, permitiendo asegurar la fiabilidad de los resultados. No obstante, es la metodología más utilizada en la caracterización de cvs.

#### **Métodos bioquímicos**

Con el objeto de acortar el período de análisis de cada cv. y de eliminar las influencias ambientales, se han estudiado nuevas metodologías de identificación varietal, siendo el análisis de compuestos bioquímicos y, concretamente, las proteínas e isoenzimas, las metodologías probablemente más estudiadas hasta hace poco.

La producción de proteínas está controlada directamente por el genoma de la planta, por lo que las proteínas e isoenzimas proporcionan una información directa del genoma. Esto justifica que las proteínas e isoenzimas han sido los compuestos bioquímicos más utilizados en la caracterización e identificación de cvs.

No obstante, el análisis de los compuestos proteicos presenta un gran inconveniente, consistente en la falta de variación intravarietal en determinadas especies. En cambio, sí que cumple con el requisito de que los resultados sean reproducibles en cualquier parte del mundo y por cualquier equipo, con tal de que se utilice la misma metodología.

En la caracterización varietal por métodos bioquímicos se han utilizado fundamentalmente hojas y polen, pero también otros órganos de las plantas como raíces, semillas, corteza de frutos, etc.

La U.P.O.V. ha presentado objeciones a la utilización de los caracteres bioquímicos para el registro de cvs.: por una parte, no es posible patentar individuos que biológica y agronómicamente no



tengan ningún interés, aunque muestren diferencias electroforéticas; por otra parte, tampoco es posible patentar individuos que fisiológica y agronómicamente sean iguales, aunque presenten diferencias electroforéticas. La posición de la U.P.O.V. frente a los caracteres bioquímicos es la de restringir el uso de dichos caracteres a aquellos casos en los que el interés del cv. sea patente, merezca la protección y, mediante el uso de caracteres bioquímicos, sea más ventajosa su identificación.

## **1.6. OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS DOCTORAL**

### **Selección de clones**

Tras la recolección de diversos grupos de tubérculos en los principales términos municipales productores de chufas y del análisis del comportamiento productivo, tanto en cultivo en campo como en contenedores, así como de la caracterización inicial del material vegetal recolectado, el primer objetivo es la selección e iniciación de clones a partir de los tubérculos obtenidos en contenedores.

### **Seguimiento del comportamiento agronómico de los clones seleccionados**

Analizar la productividad de cada uno de los clones seleccionados, sin olvidar las diferencias que pueden presentarse en las respuestas de los mismos en diversas condiciones de cultivo. Los aspectos a estudiar son los detallados en el apartado **2.4.3.**

### **Caracterización botánica y bioquímica del material vegetal seleccionado**

La caracterización botánica se basará tanto en aspectos morfológicos como fisiológicos de las plantas y de los tubérculos. Los diferentes caracteres a estudiar se detallarán en los apartados **2.4.1.**, **2.4.2.** y **2.4.5.**

### **Caracterización química de los tubérculos y de las horchatas correspondientes**

Se analizarán los contenidos en diferentes compuestos fundamentales, tanto en tubérculos como en las horchatas desarrolladas a partir de los mismos. En el apartado **2.4.4.** se indican los diferentes parámetros a considerar, así como la metodología seguida.

### **Determinación de la heredabilidad de los caracteres morfológicos, fisiológicos, productivos y químicos**

El conocimiento de la heredabilidad de los distintos parámetros facilitará la realización de los trabajos de caracterización y tipificación posteriores, puesto que el estudio podrá reducirse a aquellos parámetros que presenten un determinado nivel de heredabilidad.

## **CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAL VEGETAL EMPLEADO**

Tras finalizar la campaña de cultivo de *C. esculentus* en el año 1986 se tomaron muestras de tubérculos en 13 campos, de los que se conocía su elevado rendimiento, pertenecientes a las partidas y términos municipales de la comarca más representativa del cultivo de la chufa, l'Horta Nord. Así se colectaron tubérculos en campos de Alboraiá, Bonrepós, Carpesa, Meliana, Valencia y Vinalesa. Tras cultivarse un primer año en un campo de ensayos de la Universidad Politécnica de Valencia y en una parcela del término de Alboraiá se inició un proceso de selección de los clones con mejores características generales (aspecto, adaptación, productividad). De las plantas obtenidas en contenedores en 1987 (a partir de un tubérculo por contenedor) se obtuvieron los tubérculos madre de las plantas cultivadas, tanto en campo como en contenedores. Tal como se aprecia en el cuadro 15, se cultivaron durante el primer año considerado en el presente estudio diez clones de *C. esculentus* L., siendo uno de origen africano (Togo). Durante la siguiente campaña se redujo la cifra de clones ensayados a ocho, habiéndose obtenido dos de ellos a partir del tipo de origen africano. El número de clones ensayados durante el último año considerado fue de seis. La eliminación año tras año de ciertos clones (siempre en función de los resultados obtenidos) se debió, principalmente, a evitar la duplicidad de muestras a ensayar, trabajando, de este modo, con un conjunto de material vegetal más manejable. La eliminación de los clones se basó en análisis discriminantes realizados tras cada campaña.

A partir de la tercera campaña considerada en esta Tesis Doctoral se han ido incluyendo en esta línea de estudio nuevos tipos, tanto de la zona tradicional de cultivo valenciana como de procedencia foránea (Argentina, Costa de Marfil, Galicia, Nigeria). Tales trabajos no son descritos en esta Tesis, ni se presentan sus resultados.

En el cuadro 15 se indican los clones de *C. esculentus* ensayados en cada campaña y las relaciones entre los mismos, siendo las expresiones 'Saboya', 'Mar', 'Calvet' y 'Miracle' nombres de diferentes partidas del término municipal de Alboraiá en las que se realizó la colecta de parte del material vegetal inicial.

Se puede observar que en la tercera campaña fueron ensayados tipos representativos de tres grandes zonas locales de cultivo: la zona "interior" de Meliana-Bonrepós-Vinalesa-Carpesa (tipo  $\beta$  de forma redondeada de los tubérculos), Alboraiá (tipo  $\gamma$  de forma aovada), Valencia (tipos  $\eta$  y  $\mu$  de formas aovada y redondeada respectivamente). De zonas foráneas se tuvieron el tipo  $a_1$  (tubérculos grandes y más o menos redondeados) y el  $a_2$  (tubérculos grandes y alargados), ambos de procedencia africana.

Cuadro 15. Clones ensayados . Relación entre los mismos

1987 origen			año 1			año 2		año 3	
			forma de los tubérculos						
0	Togo	→a	a	no unif.	a <sub>1</sub>	aov	a <sub>1</sub>	aov	
1	Meliana	→β	β	redonda	a <sub>2</sub>	alargada	a <sub>2</sub>	alar	
2	Meliana	→?/d	?	aovada	β	red	β	red	
3	Bonrepós	*	d	no unif.	?	aov	?	aov	
4	Vinalesa	→e	e	red	d	red	?	aov	
5	Carpesa	*	?	aov	?	aov	μ	red	
6	Carpesa	*	?	aov	?	aov			
7	Alboraia-Saboya	→?/?	?	aov	μ	red			
8	A-Mar	→?	?	aov					
9	A-Calvet	*	μ	red					
10	Valencia	→?/μ							
11	A-Miracle	*							
12	A-Miracle	*							

\* = tipos eliminados

Las principales características de los tubérculos pertenecientes a cada uno de los grupos iniciales son (Pascual *et al.*, 1988):

grupo

- 0 \* Tubérculos grandes y de forma aovada alargada. Aspecto muy bueno.
- 1 \* Aspecto muy uniforme. Esféricos. Tamaño de medio a pequeño.
- 2 \* Presentan variación manifiesta. En determinados contenedores y bloques predominan los esféricos, en otros los alargados y aovados.
- 3 \* En general, predominan los esféricos. Tamaño de medio a pequeño. Parecen similares a los del grupo 1.
- 4 \* Bastante similares a los del grupo 3. Son esféricos.
- 5 \* Tamaño medio. En los contenedores predominan los esféricos. En el campo coexisten todas las formas.
- 6 \* Predomina el tamaño medio pequeño. Aunque existen alargados, predominan los esféricos.
- 7 \* Buen tamaño y aspecto. Predominan los aovados-alargados. En uno de los bloques del campo existen muchos piriformes.
- 8 \* Predominan los aovados, pero también hay esféricos.
- 9 \* Predominan los aovados-alargados, aunque hay algunos esféricos. Tamaño medio grande.
- 10 \* Predomina la forma aovada-alargada, aunque también hay algunos esféricos y otros piriformes. Tamaño general bueno.
- 11 \* Si bien predominan los esféricos, también existen aovados y alargados. Tamaño pequeño.
- 12 \* Predomina la forma aovada-alargada. Tamaño grande. Muy buen aspecto.

**2.2. MANEJO DEL CULTIVO**

**2.2.1. Campos de ensayo**

Los campos de ensayo se eligieron en la partida del 'Miracle' del término municipal de Alboraia, posiblemente la partida y término más representativos del cultivo de la chufa. Durante 1987 y 1988 se cultivaron las chufas en un campo situado junto a la autopista A-7. Durante las campañas sucesivas (1989 y 1990) el cultivo se realizó en otro campo situado unos 500 m más al norte,

asimismo junto a la autopista mencionada. En este segundo campo se plantearon experimentos paralelos (p.ej. control de malas hierbas) (Pascual *et al.*, 1990).

En campañas sucesivas se ha podido contar con otros campos en otras partidas del término de Alborai, lo que ha permitido contrastar los resultados que se presentarán en la presente Tesis.

Durante las campañas segunda y sucesivas han constado las parcelas de ensayo de dos caballones para facilitar la recolección mecánica, puesto que la máquina cosechadora recoge y tamiza la tierra con tubérculos correspondiente a dos caballones.

Durante el segundo año tuvieron las parcelas de ensayo una longitud de 25 m, lo que suponía una superficie unitaria de 27,5 m<sup>2</sup>. En la tercera campaña fue la longitud de los caballones de 46,5 m, proporcionando así una superficie unitaria de las parcelas de ensayo de 51,15 m<sup>2</sup>.

El hecho de tener en el tercer año unas parcelas más largas facilitó enormemente la recolección, evitando la limpieza del tambor a mitad de campo al pasar de una parcela a otra con los mismos caballones y, por tanto, facilitando un importante ahorro de tiempo.

El diseño estadístico fue de 'bloques al azar'.

**Cuadro 16.** Número de bloques en los experimentos en campo

	año 1	año 2	año 3
nº bloques	3	4	4

**Análisis de los suelos utilizados**

Los suelos de los campos empleados se caracterizan por ser no salinos, de textura franco-arenosa, de pH algo elevado, contenido en caliza activa entre 4 y 5%, ligeramente bajo en materia orgánica, medio en fósforo y bajo en potasio.

En los cuadros 17 a 19 se presentan los datos de los análisis de tierras de los campos de ensayo.

**Cuadro 17.** Análisis de suelo. Previo a la primera campaña

textura - clasificación internacional	franco-arenosa
pH (1/2,5 suelo/agua)	7,55
materia orgánica oxidable	1,82
fósforo soluble en bicarbonato sódico (P) ppm	24
potasio extraído por acetato amónico (K) ppm	157
carbonatos totales expresados en caliza %	26,72
caliza activa %	4,58
conductividad eléctrica extracto 1/5 a 25 °C mmho.cm <sup>-1</sup>	0,522

**Cuadro 18.** Análisis de suelo. Previo a segunda campaña

color (tablas Munsell)	5 YR 5/3 marrón-rojizo
arena (diámetro de partículas 2,00-0,02 mm) %	83
limo (diámetro de partículas 0,02-0,002 mm) %	12,2
arcilla (diámetro de partículas <0,002 mm) %	4,8
textura - clasificación internacional	franco-arenosa
pH (1/2,5 suelo/agua)	8,20
materia orgánica oxidable %	1,27
fósforo soluble en bicarbonato sódico (P) ppm	35
potasio extraído por acetato amónico (K) ppm	144
carbonatos totales expresados en caliza %	28,20
caliza activa %	4,90
conductividad eléctrica extracto 1/5 a 25 °C mmho.cm <sup>-1</sup>	0,247

**Cuadro 19.** Análisis de suelo. Tras la tercera campaña

color (tablas Munsell)	7,5 YR 5/2 marrón
arena (diámetro de partículas 2,00-0,02 mm) %	81
limo (diámetro de partículas 0,02-0,002 mm) %	14
arcilla (diámetro de partículas <0,002 mm) %	5
clasificación por textura internacional	franco-arenosa
pH (1/2,5 suelo/agua)	8,0
materia orgánica oxidable %	1,11
fósforo soluble en bicarbonato sódico (P) ppm	29
potasio extraído por acetato amónico (K) ppm	120
carbonatos totales expresados en caliza %	25,6
caliza activa %	7,2
conductividad eléctrica extracto 1/5 a 25 °C mmho.cm <sup>-1</sup>	0,216

El cultivo en campo siguió las pautas usuales en la zona típica de cultivo, descritas, entre otros, por Castell (1970), Pascual (1981), Vayá (1981), Pascual y Maroto (1984c).

### **Desinfección del terreno**

Previamente a la campaña de 1988 (primer año considerado en la presente Tesis) se llevó a cabo la desinfección del campo de ensayos con bromuro de metilo, ya que se repetía el cultivo de chufa. No se realizó en la segunda tras haber elegido el segundo campo de ensayos aludido anteriormente. El precedente de cultivo en este campo fue patata. Tras la tercera campaña se desinfectó este segundo campo de ensayos.

Tras las desinfecciones se dieron riegos abundantes para lixiviar los restos de bromuro. Posteriormente se dejó secar el suelo hasta el estado de tempero, momento en el que se realizaron las labores preparatorias.

### **Plantación**

Como labores preparatorias se dieron dos pases cruzados con fresadora. La plantación se realizó manualmente debido a la reducida extensión de las parcelas experimentales. En años posteriores a los de referencia sí se ha podido utilizar la plantadora al poseer las parcelas una mayor superficie.

La plantación se realizó con el terreno en sazón. Las fechas de las plantaciones se ajustaron a las usuales en este cultivo y teniendo en cuenta, lógicamente, las fechas de riego previo del terreno, así como el tipo de cultivo precedente, la desinfección del terreno, en su caso, y las condiciones climatológicas.

**Cuadro 20.** Fechas de plantación en campo de los tubérculos

año	fecha
1	24-25.05.88
2	15.05.89
3	07.05.90

Se respetó la densidad de plantación típica de la zona. Ésta responde a una separación entre tubérculos de aproximadamente 10 cm y una distancia entre caballones de 55 cm.

**Control fitosanitario**

No se observó crecimiento de malas hierbas durante las primeras fases de desarrollo del cultivo en el caso de haberse realizado una desinfección previa del terreno con bromuro de metilo; en caso contrario, se evitó mediante aplicaciones de herbicidas de preemergencia, como la trifluralina aplicada en preplantación de la chufa mediante incorporación al terreno con tractor, o de postplantación con linurón, siempre a las dosis recomendadas por los fabricantes.

Asimismo, los pases con "entauladora" permitieron, además de conformar los caballones, evitar el desarrollo de malas hierbas que hubieran escapado a la acción de los herbicidas.

Las principales plagas del cultivo fueron los barrenadores (*Bactra* sp.), lepidópteros que en su fase larvaria atacan los cuellos de los brotes de chufa provocando la marchitez de los mismos (la época de mayor incidencia de esta plaga fue mayo-junio, coincidiendo con la fase de ahijamiento de la chufa). Se controlaron mediante aplicaciones de metil-clorpirifos y clorpirifos (2-3 pulverizaciones por campaña).

**Accidentes**

Los principales accidentes sufridos han sido el **encamado precoz** y el **secado de puntas de hojas**. Ambos fueron provocados fundamentalmente por la acción de los vientos. En el primer caso debido a la intensidad de los mismos y en el segundo debido al elevado contenido en sales de las brisas y vientos procedentes del mar. No se registraron incidencias de mayor importancia durante el período de estudio ni superiores a las observadas en parcelas de cultivo vecinas.

**Recolección**

La recolección de los tubérculos fue precedida en todas las campañas por la recolección manual de la masa foliar seca. De cada parcela se tomó posteriormente una muestra para ser analizada en laboratorio.

Los tubérculos fueron recolectados en los períodos típicos, a excepción de la segunda campaña en que tuvo que retrasarse la cosecha hasta febrero debido a las intensas lluvias registradas durante noviembre y diciembre. En el primer año se recolectaron manualmente debido al reducido tamaño de las parcelas experimentales, en los años sucesivos con ayuda de una cosechadora integral de chufas arrastrada.

**Cuadro 21.** Fechas de recolección en campo de los tubérculos

año	rec. parte aérea	rec. tubérculos
1	30.11.88	12.12.88
2	19-21.12.89	16.02.90
3	19-20.11.90	10.12.90

**2.2.2. Contenedores**

El manejo de las plantas en contenedores fue mucho más fácil, debido fundamentalmente al control personal y seguimiento individual de las mismas.

Los contenedores empleados para el cultivo controlado de las plantas de *C. esculentus* fueron de plástico negro, de 35 L de capacidad y 35 cm de Ø. El sustrato empleado fue una mezcla 1:1 (v/v) de arena silíceo y turba rubia comercial tipo *Sphagnum*. Algunos datos referentes a la composición de esta última son:

**Cuadro 22.** Composición de la turba empleada en contenedores

cenizas (máximo).....	20% m.s.
materia orgánica.....	80% m.s.
N orgánico.....	1%
C orgánico.....	52%
pH (H <sub>2</sub> O).....	4,0

A este sustrato se le adicionó fertilizante del tipo 15-15-15, a razón de 1,5 kg.m<sup>-3</sup>.

La plantación se ajustó en lo posible a las fechas adecuadas para el cultivo en campo. Se plantó un tubérculo por contenedor. Los tubérculos fueron siempre pesados y medidos en fresco antes de ser plantados.

La frecuencia de riego fue de dos veces por semana con agua procedente de las instalaciones propias de riego del Departamento.

Las ataques de barrenadores (*Bactra* sp.) y de *Agrotis* sp. se controlaron con tratamientos a base de metilclorpirifos, dimetoato, triazofos.

La incidencia de accidentes, como los descritos para el cultivo en campo, fue mínima.

La recolección se ajustó, asimismo, a las fechas adecuadas al cultivo en pleno campo, no teniendo en este caso las limitaciones climatológicas (lluvia), pues era factible, bien la recolección de los tubérculos con el sustrato húmedo aunque fuera algo más costoso, o bien trasladar los contenedores a otras instalaciones con condiciones de sequedad. Tal como se hizo en campo, se segó previamente la parte aérea, siendo posteriormente trasladada al laboratorio para su pesada y análisis.

**Cuadro 23.** Número de contenedores empleados en cada campaña

	año 1	año 2	año 3
nº contenedores	4	6	6

**Cuadro 24.** Fechas de plantación y recolección en contenedores de los tubérculos

año	plantación	rec. parte aérea	rec. tubérculos
1	17.05.88	1.12.88	a partir del 09.01.89
2	11.05.89	4-5.12.89	a partir del 09.01.90
3	11.05.90	11.12.90	a partir del 17.12.90





**Figura 7.** Cultivo de plantas de *C. esculentus* en campo. Campo experimental en Alboraiá (Valencia). Plantas desarrolladas



**Figura 8.** Cultivo de plantas de *C. esculentus* en contenedores en instalaciones de la U.P.V. Plantas jóvenes



**Figura 9.** Cultivo de plantas de *C. esculentus* en contenedores en instalaciones de la U.P.V. Plantas desarrolladas



**Figura 10.** Plantación mecanizada de los tubérculos de *C. esculentus* L. Campo experimental en Alboraiá (Valencia)



**Figura 11.** Recolección mecanizada de los tubérculos de *C. esculentus* L. Campo experimental en Alboraiá (Valencia)



**Figura 12.** Lavado de los tubérculos de *C. esculentus* L. Instalaciones de la U.P.V.

### **2.3. CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS**

Se estudiaron caracteres o parámetros sobre plantas y tubérculos que *a priori* contribuyeran a manifestar las características exigibles, según la U.P.O.V., a un cultivar, es decir, distinguibilidad del mismo, uniformidad y estabilidad (véase el apartado 1.5.1.).

Tales parámetros se han agrupado por su relación con:

- \* la morfología y fisiología de las plantas,
- \* la morfología de los tubérculos,
- \* las características productivas,
- \* la composición química de los tubérculos.

Se tuvo en cuenta que estos parámetros fueran, asimismo, factores representativos de la realidad agronómica trasladada al cultivo experimental y que permitieran tener una referencia, lo más fiable posible, del comportamiento frente al cultivo tradicional en la zona.

### **2.3.1. Morfología y fisiología de las plantas**

Los parámetros estudiados fueron:

- número de brotes por planta,
- altura de plantas,
- evolución a lo largo del ciclo de los dos parámetros anteriores,
- emisión de inflorescencias,
- evolución del encamado,

#### **Número de brotes por planta, altura de planta**

Se llevaron a cabo mediciones sobre las plantas que pudieran contribuir a la diferenciación morfológica de los clones estudiados. Se estudiaron así la **altura de las plantas** a lo largo del ciclo vegetativo y el **número de brotes** desarrollados a partir de un único tubérculo durante el mismo período. En el siguiente capítulo también se reflejan datos acerca de la altura máxima alcanzada por las plantas y al número máximo de brotes contabilizado. Estos últimos datos se obtuvieron en fechas inmediatamente anteriores al inicio del encamado de las plantas.

En cada parcela unitaria del campo de ensayo se seleccionaron al azar dos parejas de plantas (en los dos primeros años) y cuatro parejas de plantas (en el tercer año) para llevar a cabo estos controles. La altura se determinó con ayuda de una barra graduada anotando la lectura máxima, es decir, desde la base de la planta hasta el extremo de la hoja más larga. El número de plantas se determinó mediante conteo.

En la segunda campaña no se pudieron anotar en campo los datos referentes al número máximo de brotes, ya que el momento a partir del cual es imposible separar en campo los brotes correspondientes a cada planta sobrevino con bastante antelación al inicio del encamado.

#### **Emisión de inflorescencias**

Durante los tres años de ensayo estudiados en el presente trabajo se analizó la emisión de inflorescencias por parte de las plantas cultivadas en campo. El número de las mismas se determinó por conteo total en cada una de las parcelas de ensayo, expresando posteriormente los datos como "número de inflorescencias por hectárea".

Durante el primer año en que se efectuó este seguimiento se detectaron cifras bastante discordantes entre los diversos clones de *C. esculentus* var. *sativus*, e incluso dentro de un mismo clon, obteniéndose, tal como se puede apreciar en el cuadro 33 de los ANEJOS, numerosos valores nulos. Ello puede ser debido a la reducida superficie de las parcelas experimentales, de forma que no permiten extrapolar las cifras obtenidas. Por ello, no se ha considerado adecuado calcular el ANOVA correspondiente.

Con los datos de los tres años se pudo estudiar la evolución de la floración así como el número máximo de inflorescencias emitidas por parcela.

#### **Evolución del grado de encamado**

En el momento de detectarse el inicio del encamado en campo se inició un seguimiento global del mismo en todas las parcelas de ensayo. Periódicamente se anotó el grado de encamado atendiendo a una escala de 0 (nulo encamado) a 5 (máximo encamado).

**2.3.2. Morfología de los tubérculos**

Los caracteres morfológicos estudiados sobre los tubérculos se decidieron en base a la experiencia adquirida por el grupo de trabajo en cuyo seno se desarrolló la presente Tesis Doctoral, teniendo en cuenta lo que podría ser más representativo y factible controlar. Los factores en cuestión fueron:

- relación longitud/anchura (forma),
- longitud,
- anchura,
- peso fresco unitario,
- número de nudos.

En el caso del ensayo en campo se realizaron estos estudios de carácter morfológico sobre una muestra de tubérculos de cada parcela y, en el caso de los contenedores, sobre una muestra obtenida de cada uno de ellos. El tamaño de las muestras se determinó con ayuda de la fórmula (Snedecor y Cochram, 1978):

$$J \geq \frac{(Q_{ii(j-1)}^a)^2 \times S_0^2 \times F_{i(j-1),n_0}^b}{d^2} \tag{1}$$

siendo:

- J = tamaño de muestra (unidades)
- Q = rango 'studentizado' de Tukey
- F = F de Snedecor
- i = número de clones
- j = número de elementos
- d = grado de precisión en la medida
- a = β = 0,05
- S<sub>0</sub><sup>2</sup> = CMR
- n<sub>0</sub> = grados de libertad residuales

Para los parámetros indicativos del tamaño (peso fresco unitario) y de la forma (longitud y anchura, con los que posteriormente se calcula la relación l/a) se determinó el valor **J** correspondiente (cuadro 25), tomándose el mayor de los tres para realizar el experimento.

**Cuadro 25.** Tamaño de muestra J (tubérculos) determinada en cada campaña

	año 1	año 2	año 3
<b>peso fresco unitario</b>	156	174	130
<b>longitud</b>	99	138	164
<b>anchura</b>	32	43	35

Las muestras se tomaron siempre al azar. Éstas se lavaron y se tuvieron en maceración con agua hasta que alcanzaron el estado de máximo hinchado y peso constante. Posteriormente se volvieron a lavar y se dejaron secar sobre papel de filtro durante 1,5 h hasta lograr un completo secado de la superficie de los tubérculos. Durante el proceso de secado se efectuaron las mediciones de la **longitud** y de la **anchura** de cada tubérculo, con ayuda de un "pie de rey" y con una precisión de 0,001 cm, contándose simultáneamente el **número de nudos visibles**. Una vez transcurridas esas 1,5 h se procedió rápidamente a determinar el **peso fresco unitario** de los tubérculos con ayuda de una balanza de laboratorio con precisión de centésima de gramo. Los datos obtenidos se tabularon, registrando por cada tubérculo las determinaciones correspondientes a cada parámetro.

La **relación longitud/anchura** (l/a) se asumió como un índice directo de la forma del tubérculo. Según esta relación se estableció la siguiente escala (cuadro 26), modificando la propuesta por Morell (1983).

**Cuadro 26.** Clasificación de la forma de los tubérculos en función del valor de la relación l/a

rel. l/a	forma
< 1,3	redondeada
1,3 - 1,8	aovada
> 1,8	alargada

### **2.3.3. Características productivas**

Se estudiaron los siguientes parámetros de carácter productivo: **peso fresco de los tubérculos** (tras 2 h de secado), **peso seco** de los mismos, **peso seco de las hojas**. En el estudio de campo se han referido los resultados en kg/ha y en el estudio en contenedores en g/contenedor. Se ha calculado, en ambos casos la **relación peso seco de tubs./peso seco de hojas**. En el estudio en contenedores también se ha determinado el **número de tubérculos** producido a partir del tubérculo inicial plantado en cada maceta.

La producción de masa foliar se determinó en campo mediante la recolección manual de las hojas, posterior engavillado y pesado. En el caso de los contenedores se pesó el conjunto de hojas producidas en cada uno. Este parámetro se expresó como peso seco para compensar la influencia que, sin lugar a duda, ejercía la humedad ambiental sobre el peso fresco. El conocimiento de este parámetro tiene escaso interés en el cultivo normal, pero en nuestros estudios sí que es interesante con vistas a intentar encontrar posibles relaciones entre las producciones foliar y de tubérculos.

Los tubérculos obtenidos de cada parcela experimental se ensacaron por separado y, debidamente identificados, fueron lavados en instalaciones propias de la U.P.V. en la segunda y tercera campaña y en un lavadero tradicional de chufas en el primer año considerado, ya que no se disponía todavía de las instalaciones anteriormente citadas. Los tubérculos de cada parcela se pesaron a las 2 h (tiempo considerado normal en la venta tradicional) y a las 48 h tras el lavado, tiempo considerado suficiente para que se secaran exteriormente.

Los tubérculos de los contenedores se obtuvieron tras tamizar el contenido de cada maceta. Posteriormente fueron lavados y, tras un secado de 1,5 h sobre papel de filtro, fueron pesados. La diferencia de tiempos de secado en uno y otro caso es debida a los distintos tamaños de muestras a secar, siendo, evidentemente, menor en el caso de tubérculos de contenedores.

En ambos casos se obtuvo posteriormente el peso seco por cada parcela y por cada contenedor. Para ello se tomó, en el primer caso, una amplia muestra al azar por parcela y se secó en estufa tras determinar el número de tubérculos por muestra.

Para la obtención de los pesos secos, tanto de hojas como de tubérculos, se colocaron las muestras en estufa de desecación por corriente de aire a 105 °C durante 24 h.

### **2.3.4. Composición química de los tubérculos y de las horchatas**

Se ha estudiado la composición química de los tubérculos de los diferentes clones ensayados y sobre diversas horchatas obtenidas y liofilizadas en las diferentes campañas a partir de los mencionados tubérculos. Los parámetros estudiados son los considerados como más importantes en la bibliografía consultada (Valenzuela, 1946<sup>60</sup>; Alcalá, 1956<sup>61</sup>; Mokady y Dolev, 1970<sup>62</sup>; Stoller y Weber, 1975; Morell y Barber, 1980<sup>63</sup>; Morell, 1983; Addy y Ethesola, 1984; Linssen *et al.*, 1987<sup>64</sup>), en las que se hace referencia a análisis químicos de tubérculos y de horchata.

Los parámetros químicos estudiados cuantitativamente han sido:

- almidón,
- grasas,
- azúcares totales,
- proteínas,
- fibra,
- cenizas.

Todos los resultados obtenidos se han expresado como porcentajes sobre materia seca y se han seguido métodos oficiales de análisis, en algunos casos con ligeras modificaciones que se indican a continuación. Los análisis químicos se realizaron tras la tercera campaña, una vez puestos a punto los diversos métodos. Los estudios sobre horchatas se realizaron a partir de horchata liofilizada.

Durante la primera campaña de estudio analítico de las horchatas se tomaron en consideración únicamente 3 clones. Ello estuvo motivado por la dificultad práctica en la obtención del material a analizar, es decir, la horchata liofilizada, pues tanto la obtención de la horchata como la liofilización tenían que realizarse en instalaciones ajenas a la U.P.V., concretamente en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (I.A.T.A.), lo que limitó el estudio a las fechas en que se podían utilizar las instalaciones respectivas. Los resultados obtenidos aconsejaron analizar en los años sucesivos todos los clones ensayados en el campo.

De este modo se dispone de datos y de sus correspondientes análisis estadísticos referidos a los clones representativos de los tres grupos de plantas supuestamente diferentes en aquel año: tipo a - correspondiente a plantas de origen africano,  $\beta$  - plantas productoras de tubérculos redondeados y ? - plantas productoras de tubérculos de forma general aovada.

#### **2.3.4.1. Método de elaboración y tratamiento de las horchatas**

Se obtiene la horchata en base a un método tradicionalmente artesanal, pero hoy día industrializado en mayor o menor medida. Básicamente consiste en cuatro procesos: 1) selección, lavado y desinfección de los tubérculos de chufa; 2) triturado y maceración; 3) prensado y 4) tamizado.

La horchata así obtenida se denomina "horchata base". A ésta se le adiciona edulcorante, sacarosa en proporción del 10% al 15%, y otros componentes para darle su sabor característico (canela, limón), pasando a llamarse entonces "horchata comercial".

Las horchatas 'base', objeto del estudio, fueron obtenidas teniendo en cuenta las indicaciones y modificaciones dadas por Morell (1983) respecto al proceso de elaboración. Éste se fundamenta en los cuatro pasos indicados anteriormente y que se describen a continuación.

Los tubérculos fueron obtenidos a partir de las muestras correspondientes a los clones de *C. esculentus* a ensayar en cada campaña.

En primer lugar, se realizó con las muestras una separación en una salmuera (disolución de cloruro sódico al 20%) en la que flotaban, debido a su menor densidad, los tubérculos defectuosos. Todos los tubérculos fueron previamente remojados para evitar la existencia de burbujas de aire, removiéndolos posteriormente en la salmuera durante un corto intervalo de tiempo. Los tubérculos sanos fueron entonces lavados para eliminar los restos de sal durante una media hora en un tambor rotatorio. Se mantuvieron entonces durante unas dos horas a remojo para facilitar el hinchado de los tubérculos. Seguidamente fueron desinfectados los tubérculos por inmersión en una disolución de



hipoclorito sódico con el 2% de  $Cl_2$  durante 10 minutos. Una vez desinfectados se lavaron por segunda vez en el tambor rotatorio durante media hora.

Tras todo el proceso de selección, lavado y desinfección pasaron los tubérculos a un molino triturador centrífugo de crucetas. El molino disponía de una tolva de alimentación. Estaba accionado mediante un motor de 2 CV. Este proceso se vio facilitado al estar los tubérculos parcialmente hinchados y al realizarse añadiendo a la máquina durante el mismo un volumen de agua en proporción 3:1 con respecto a la masa de los tubérculos. El producto triturado se dejó macerar durante diez minutos, agitándose de cuando en cuando.

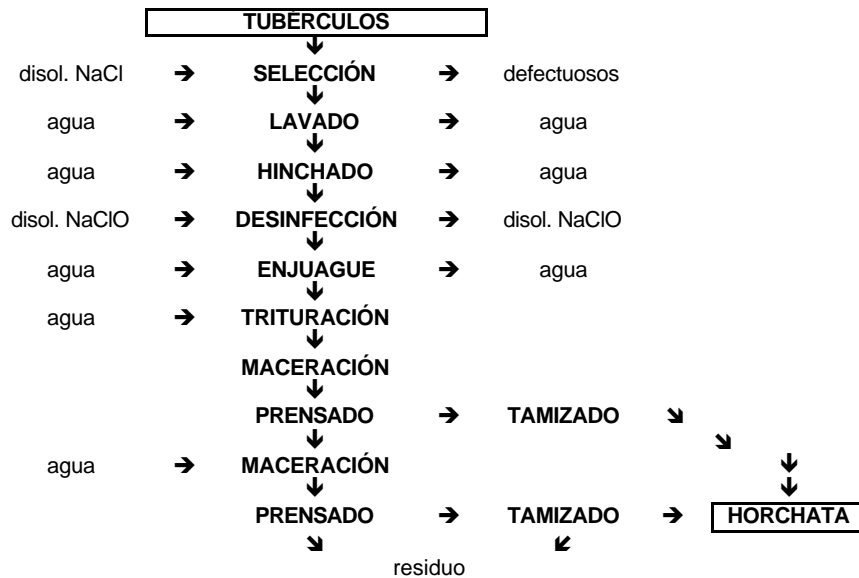
La pasta en maceración pasó entonces a la prensa continua con tornillo sin fin. La prensa dispuso de tolva de alimentación y fue también accionada por un motor de 2 CV. Se siguió el método denominado "extracción por cargas". Este consiste en prensar la pasta y tamizar (se empleó un tamiz de acero inoxidable; malla de 0,125 mm) el líquido resultante que pasa así a constituir parte de la horchata base. El rechazo del tamiz se añadió al de la prensa y éstos fueron sometidos a un segundo proceso de maceración durante otros diez minutos adicionando el mismo volumen de agua empleado durante la trituración. La pasta volvió a pasar por la prensa tamizándose de nuevo el líquido que pasó asimismo a constituir la horchata base.

Todos los elementos en contacto con la horchata de todos los aparatos e instrumentos utilizados fueron de acero inoxidable.

A la horchata base obtenida tras los dos procesos de prensado no se le adicionó ningún tipo de edulcorante pues se pretendía analizar el contenido de azúcares de la misma.

Los pasos indicados pueden esquematizarse de la siguiente forma:

**Cuadro 27.** Esquema de elaboración de la horchata (adaptado de Morell, 1983)



**Liofilización de la horchata**

Una vez elaboradas las diferentes horchatas para ser sometidas a análisis se llevaron, en un arcón congelador, hasta una temperatura de -40 °C. Para ello se vertió el líquido en unas bandejas rectangulares de aluminio acostilladas. Las bandejas medían 50x16x2,5 cm. El volumen total de

líquido por bandeja fue de 1,5 litros. Las bandejas acostilladas permiten una mejor transmisión de calor y, por tanto, un proceso de congelación más eficaz. La distancia entre costillas fue de 2 cm.

Una vez congeladas las horchatas fueron introducidas en un liofilizador piloto Leybold (modelo G-06) del I.A.T.A. Manejando presiones del orden de 0,5 mm de Hg de vacío y temperaturas de 35 °C se llevó a cabo la liofilización (Morell, 1983; Schwartz *et al.*, 1984).

Las horchatas liofilizadas fueron entonces envasadas en botes de vidrio de cierre hermético. Seguidamente se almacenaron en congelador a -18 °C, hasta realizar los diferentes análisis.

#### **2.3.4.2. Métodos de análisis químicos empleados**

##### **Preparación de las muestras**

Para analizar los tubérculos se tomaron muestras al azar correspondientes a cada parcela ensayada. Estas muestras se lavaron inicialmente con agua corriente, después con agua destilada y, posteriormente, se secaron en estufa de desecación por corriente de aire caliente a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Seguidamente se trituraron con un molinillo eléctrico refrigerado de laboratorio obteniendo un tamaño de partícula menor a las 100 mallas.

Una vez molidas las muestras se conservaron en botes de plástico de cierre hermético debidamente identificadas para su posterior análisis.

Las muestras de horchatas se tomaron directamente de los botes de cristal herméticos que las contenían en forma de producto liofilizado.

##### **Determinación de la humedad**

En crisoles de porcelana secos y tarados en balanza analítica se pesaron unos tres gramos de muestra (horchata liofilizada o tubérculos molidos) y se secaron en estufa de desecación por corriente de aire a 105 °C durante 24 h. Transcurrido ese período de tiempo se volvieron a pesar determinándose el porcentaje de humedad de las muestras a analizar.

##### **Determinación del contenido en almidón - Método sulfúrico-antrona**

Para la extracción y determinación del almidón se siguió el método descrito por McCready *et al.* (1950).

A 40 mg de muestra triturada, pesados en tubos de centrifuga, se añadieron 15 ml de etanol (80% v/v) en caliente. Los tubos se mantuvieron durante 10 min en un baño de agua a 100 °C, agitándolos ocasionalmente. El sobrenadante, después de centrifugar 10 min a 10.000 g, se recogió en un matraz Erlenmeyer y el precipitado se reextrajo 2 veces más del mismo modo, mezclándose los extractos.

Al precipitado de la última centrifugación en la extracción de azúcares se añadieron 15 ml de ácido perclórico (35% v/v), se agitó y se dejó reposar durante 12 h.

El extracto se aforó a un volumen conveniente con agua destilada lavando varias veces el tubo de la centrifuga, se filtró con papel Whatman nº 2 y una parte alícuota del filtrado se utilizó para la determinación del almidón.

5 ml de la disolución problema convenientemente diluída se depositaron en tubos con tapón de rosca. Los tubos se depositaron en un baño con hielo hasta que alcanzaron 0 °C, añadiéndose entonces con bureta 10 ml del reactivo antrona-sulfúrico (0,6 g de antrona en 300 ml de ácido sulfúrico 96% v/v frío). Los tubos se agitaron enérgicamente, se abrió el tapón de rosca 1/4 de vuelta

para permitir la salida de gases y, después de cerrados, se calentaron en un baño de agua hirviendo durante 7,5 min. A continuación se enfriaron en agua a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 630 nm.

Simultáneamente se realizó una curva patrón entre 0 y 50 µg de glucosa por tubo, interpolándose los valores de las muestras ensayadas en la misma.

Los resultados se expresaron como porcentaje de azúcares totales sobre sustancia seca, multiplicándose el resultado obtenido por 0,9 para compensar la pérdida de agua en la formación de enlaces.

#### **Determinación del contenido en azúcares - Método volumétrico**

Se siguió en este apartado el método volumétrico de Lane-Eynon (A.O.A.C., 1990), trabajando con muestras de tres gramos aproximadamente.

Las muestras se sometieron a un tratamiento con acetato de plomo y oxalato de sodio (15 ml de cada) seguido de un filtrado con bomba de vacío. Este tratamiento se repitió utilizando 5 ml de cada reactivo debido al alto contenido en sólidos no solubles de la disolución.

El método original no permite detectar los azúcares reductores. Por ello, se realizó una inversión previa de los azúcares añadiendo HCl concentrado (3 ml) y calentando posteriormente al baño María. Una vez alcanzada una temperatura de 65-70 °C se mantuvo la muestra durante 5 minutos en tales condiciones. Tras enfriar se neutralizó con NaOH llegando a un pH final de, aproximadamente, 9.

Al licor de Fehling se le adicionaron 5 ml de ferrocianuro potásico al 10% ( $K_4Fe(CN)_6$ ).

Los resultados vienen expresados en porcentaje sobre sustancia seca.

#### **Determinación del contenido en cenizas**

El contenido en cenizas se determinó según el método referenciado por la A.O.A.C. (1990). En crisoles de porcelana secos y tarados en balanza analítica se colocaron unos 0,5 gramos de muestra (horchata liofilizada o tubérculos molidos). Estos crisoles fueron sometidos a una combustión previa en una batería Kjeldahl. Posteriormente se sometieron a calcinación a 550 °C durante 5 h en un horno-mufla. Tras la adición de unas gotas de HCl 0,1 N agitando con una varilla de cristal se secaron bajo lámpara de IR. En el caso de que las cenizas no fuesen claramente de color blanco fueron nuevamente sometidos los crisoles a calcinación a 550 °C durante 2 h. Una vez finalizados estos procesos se procedió a la pesada de los crisoles determinando por simple cálculo de diferencias los contenidos de cenizas, expresándolos en porcentaje sobre sustancia seca.

#### **Determinación del contenido en grasa bruta**

El contenido en grasa bruta, tanto de la horchata liofilizada como de los tubérculos, se determinó por extracción Soxhlet con éter de petróleo según el método de la A.O.A.C. (1990) trabajando con muestras de tres gramos aproximadamente. El tiempo de extracción se fijó en 10 h debido al elevado contenido en grasas de las muestras.

Los resultados obtenidos se expresan igualmente como porcentajes sobre sustancia seca.

#### **Determinación del contenido en fibra bruta**

Para la determinación de la fibra bruta se aprovechó el residuo exento de grasa y seco de la anterior determinación. Se tomó 1 g de cada muestra y se sometió a una extracción siguiendo el

método de la A.O.A.C. (1990), utilizando un sistema automático Fibertec System M 1020 - Hot Extractor de Tecator. Se emplearon crisoles de vidrio de placa filtrante de porosidad 1.

Asimismo, se expresaron los resultados como porcentajes sobre sustancia seca.

#### **Determinación del contenido en proteína**

El contenido en nitrógeno, tanto de la horchata liofilizada como de los tubérculos molidos, se determinó por el semimicrométodo de Kjeldahl (A.O.A.C., 1990). El nitrógeno se transformó en proteína multiplicando por 6,25.

Se empleó un sistema semiautomático Kjelttec System - 1003 Distilling Unit de Tecator. Se valoró con una multibureta automática (Multi Bürette E485 de 20 ml de Metrohm-Herisau).

Se partió de 0,5 g de muestra que se llevó a un digestor tras adicionarle 4g de una mezcla de catalizadores ( $K_2SO_4$ ,  $CuSO_4$  y  $Se_{(s)}$  en la proporción 10/1/0,1 en peso), 10 ml de una mezcla ácida ( $H_3PO_4$  concentrado y  $H_2SO_4$  en una proporción 5:100 en volumen) y 10 ml de peróxido de hidrógeno de 110 volúmenes. Tras adicionar 50 ml de agua destilada se llevó a cabo la destilación con una unidad de destilación. La valoración se efectuó con ácido sulfúrico 0,05 N utilizando rojo de metilo como indicador.

El contenido en proteína se expresa en porcentaje sobre sustancia seca.

#### **2.3.5. Estudios complementarios**

Como complemento a los estudios efectuados sobre la morfología de las plantas y de los tubérculos, los diferentes parámetros productivos y sobre la composición química de los tubérculos y de las horchatas obtenidas a partir de los primeros, se iniciaron una serie de estudios sobre otros aspectos, como son: la **brotación de los tubérculos**, la **densidad estomática**, la **producción de semillas**, la **aceptación sensorial de las horchatas** y la búsqueda de **diferencias a nivel proteico** mediante la técnica de la electroforesis.

Estos estudios, junto con los indicados en otros apartados anteriores, permiten abrir nuevas líneas de investigación que puedan completar los estudios indicados en la presente Tesis Doctoral.

##### **2.3.5.1. Brotación de los tubérculos**

Se pretendió con este estudio la determinación de diferencias en los niveles de brotación de los diferentes clones de *C. esculentus* ensayados. Por motivos de manejo se limitó este estudio a cuatro clones básicos de tubérculos ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), africanos los clones  $a_i$  y locales los dos restantes.

Los ensayos, realizados por triplicado, se llevaron a cabo durante las campañas segunda y tercera.

Los tubérculos fueron colocados en contenedores de plástico (20 tubérculos por cada contenedor) con un substrato a base de turba rubia. Fueron ensayados en tres ambientes distintos:

- a) a  $T^a$  variable con régimen luminoso día/noche en laboratorio
- b) a  $T^a$  constante = 25 °C y sin luz (estufa)
- c) a  $T^a$  constante = 30 °C y sin luz (estufa)

En el primer caso se tuvieron las siguientes temperaturas medias día/noche según el ensayo:

- ensayo 1 (tubérculos del 2º año): 24/22 °C
- ensayo 2 (tubérculos del 3<sup>er</sup> año): 27/25 °C

Por cada combinación clon-ambiente se dispusieron tres contenedores. Durante el desarrollo de los ensayos se procuró que los mismos tuvieran en todo momento un nivel óptimo de humedad. Tras la plantación se llevó a cabo un control diario de todos los contenedores, aproximadamente a la misma hora del día (entre las 9 y las 11 horas). Los controles consistieron en detectar los tubérculos brotados, eliminándolos a continuación.

Cada ensayo se dio por finalizado cuando no brotó ningún tubérculo durante un plazo de siete días. La duración máxima del experimento fue, en todos los casos, de 17 días. A continuación se comprobó el estado de los tubérculos remanentes (sanos-con podredumbres).

#### **2.3.5.2. Determinación de la densidad estomática**

Tal como se ha indicado anteriormente se trabajó con clones de *C. esculentus* de diversa procedencia, a saber, locales pertenecientes a la var. botánica *sativus* y africanos. Vistas las características mostradas por los clones africanos en cuanto a los aspectos morfológicos, tanto de la planta como de los tubérculos, se pensó que pudieran, asimismo, presentar diferencias a nivel de la estructuras foliares como, por ejemplo, un mayor número de estomas por unidad de superficie foliar con respecto a los clones locales. Es por ello que se llevó a cabo un experimento para determinar posibles diferencias entre los clones ensayados.

Para poder realizar conteos de estomas en hojas se recurrió a la técnica propuesta por Hilu y Randall (1984) y por Crins y Ball (1989) para el estudio de la epidermis en hojas de plantas herbáceas.

El método consiste básicamente en la obtención de copias de la epidermis foliar. Se trabajó con cuatro clones característicos durante la tercera campaña considerada en la presente Tesis Doctoral ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Las hojas se lavaron y se tomó una sección central de cada una de ellas. Fijada ésta sobre una superficie de cristal se cubrió con laca de uñas transparente. Se dejaron secar las muestras durante unas dos horas y se separó cuidadosamente la copia transparente del original. Esta se fijó con una resina de montaje para microscopía (Entellan) sobre un portaobjetos. Posteriormente se observaron con lupa binocular las copias emplazadas sobre una trama milimétrica pudiendo contar los estomas por  $\text{mm}^2$  en el envés de las hojas.

De cada clon se eligieron al azar tres contenedores tomando por cada uno 5 hojas completamente desarrolladas para su estudio, realizándose dos conteos por cada hoja. De este modo se tuvieron 10 lecturas por cada contenedor y 30 por cada clon.

#### **2.3.5.3. Producción de semillas**

Apenas se pudieron obtener semillas a partir de las inflorescencias recogidas en campo. La inmensa mayoría de ellas había abortado. Con las pocas semillas recogidas ni siquiera se pudo plantear un ensayo de germinación, limitándose únicamente a fotografiarlas y describirlas.

#### **2.3.5.4. Ensayos sensoriales con horchatas**

Las horchatas que en la primera campaña fueron objeto de análisis sensorial (**aceptación y textura**) correspondieron a los tubérculos de los clones  $a$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  ensayados durante la misma.

De las dos campañas siguientes se sometieron a los análisis sensoriales indicados las horchatas correspondientes a los tubérculos obtenidos a partir de los clones  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .

Para la elaboración de las fichas de valoración de los dos aspectos citados se recurrió a las escalas propuestas por Morell (1983). Consistieron en una escala hedónica comprendida entre 1 (mínimo) y 9 (máximo) para la aceptación organoléptica y otra escala entre 1 y 4 para la consistencia o textura.

**Cuadro 28.** Escalas presentadas para las pruebas organolépticas (según Morell, 1983)

aceptación		textura	
característica	valor	característica	valor
me gusta extraordinariamente	9	clara o aguada	4
me gusta mucho	8	normal	3
me gusta moderadamente	7	mucho cuerpo	2
me gusta ligeramente	6	granuloso	1
ni me agrada ni me desagrada	5		
me desagrada ligeramente	4		
me desagrada moderadamente	3		
me desagrada mucho	2		
me desagrada extraordinariamente	1		

### **2.3.5.5. Estudios bioquímicos**

#### **2.3.5.5.1. Introducción**

Tal como se comentó en el apartado **1.5.2.**, los estudios bioquímicos son positivos en el caso de que contribuyan a la identificación de cultivares agrónomicamente interesantes. Por ello se plantearon algunos estudios sobre características bioquímicas con el fin de contrastar las diferencias halladas entre los diversos clones de *C. esculentus* cultivados durante el período de tres años considerado en la presente Tesis Doctoral mediante estudios de carácter morfológico, fisiológico, *etc.* ya comentados anteriormente. Estos estudios de características bioquímicas pudieran ser la cuantificación proteica global, el reconocimiento de bandas proteicas, caracterización de isoenzimas (Horak y Holt, 1986), *etc.*, optando, en nuestro caso, por la comparación de las bandas proteicas correspondientes a los diferentes clones mediante electroforesis, al ser un estudio de cómoda ejecución.

Con posterioridad a la realización de los trabajos experimentales de la presente Tesis Doctoral se han desarrollado nuevas técnicas más precisas como, por ejemplo, RFLP's (*Polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción*), PCR (*Reacción en cadena de la polimerasa*) y RAPD (*DNA polimórfico amplificado al azar*), de las que se está estudiando actualmente su posible aplicación en esta línea de investigación, aunque la complejidad de estos métodos limita su interés inmediato, pues este aspecto negativo contraviene los consejos de la U.P.O.V. para la caracterización de cvs. (véanse los apartados **1.5.1.** y **1.5.2.**).

#### **2.3.5.5.2. Método**

Se empezó trabajando con un número reducido de muestras de material vegetal, con el que realizar estudios electroforéticos. Las electroforesis se desarrollaron en gel de poliacrilamida y se trabajó con extractos de hojas jóvenes y de tubérculos. Previamente se cuantificó mediante el test de Bradford (1976) la proteína presente en hojas y, por tanto, el momento más apropiado para la obtención de extracto foliar, con el fin de obtener el mayor número posible de bandas con una máxima nitidez.

Este estudio se llevó a cabo con extracto de hojas jóvenes y tubérculos de las plantas cultivadas en la segunda campaña en el recinto de la U.P.V.

**Extracción de los sistemas proteicos**

Tanto al trabajar con hojas como con tubérculos se tomaron muestras de 1 g de tejido fresco. Las mismas se lavaron con agua bidestilada y se trituraron en un mortero a temperatura de 4 °C añadiendo fraccionadamente 1 ml de tampón (pH 7,4) en el caso de las hojas y 5 ml al trabajar con tubérculos, (cada 500 ml de tampón contenían 32,2 g de sacarosa, 50 ml de tricina 0,15 M, 50 ml de polivinilpirrolidona soluble al 10%, 10 ml de MgCl<sub>2</sub> 0,1 M, 50 ml KCl 0,2 M y 1,470 ml de 2-mercaptoetanol) y 3 µl de 2-mercaptoetanol por ml de tampón. Posteriormente se centrifugaron las muestras a 20.000 rpm durante 30 min en una centrifugadora Beckmann mod. J2-21.

En el caso de no poder utilizar el material inmediatamente tras su recogida, se congeló éste a -70 °C.

De cada sobrenadante se tomaron 700 µl y se le añadieron 250 µl de disolución tratamiento (compuesta por cada ml de: 0,5 ml tris-HCl 0,5 M - pH 8, 0,057 g SDS, 0,286 g glicerina y 0,143 ml 2-mercaptoetanol), más 50 µl de 2-mercaptoetanol.

Esta disolución se mantuvo en ebullición durante 4 min. Posteriormente se congelaron las muestras a -20 °C hasta su utilización en la electroforesis.

**Cuantificación del contenido de proteínas**

Previamente a la adición de la disolución tratamiento se realizaron diversas pruebas para detectar si el nivel de proteínas era el adecuado para llevar adelante la electroforesis. Para ello se siguió el método propuesto por Bradford (1976).

En el caso del estudio sobre hojas se tomaron muestras de 10 y de 16 días tras la brotación del tubérculo. Cada clon de muestra se sometió a dos tratamientos con relaciones v/m diferentes de tampón:muestra (1:1 y 3:1) y a su vez a dos tratamientos con diferentes relaciones v/v de disolución Bradford:sobrenadante. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro 29, indicando la casilla de resultados sombreada la mejor combinación, pues se detectó la mayor concentración de proteínas (\*\*\*\*\*).

**Cuadro 29.** Pruebas realizadas con el test de Bradford en hojas

edad hojas (d)	tampón (ml/g muestra)	conc. disol. Bradford (ml/ml sobrenadante)	
		5:0,1	3:0,3
10	1:1	**	*****
	3:1	-	****
16	1:1	*	***
	3:1	-	***

En el caso del estudio con tubérculos fue la relación tampón:muestra de 5:1 v/m y la proporción disolución Bradford:sobrenadante 5:0,1 v/v

La disolución Bradford se preparó con (para 1 L):

- \* 100 mg *Coomasie Blue*, bien disueltos en 50 ml etanol 95%
- \* 100 ml ácido fosfórico 85%
- \* agua destilada hasta un volumen de 1 L.

### **Separación por electroforesis de las proteínas**

La electroforesis se llevó a cabo en gel de poliacrilamida siguiendo, con ligeras modificaciones (no se trabajó con capa espaciadora) el método propuesto por Conejero y Semancik (1977).

Preparación de los geles:

#### **a) Gel de la capa de resolución:**

- \* 6,065 ml acrilamida-bis (30:0,8)%
- \* 3,25 ml tris-HCl 1,5 M (pH 8,8) con SDS 0,4%
- \* 3,685 ml agua destilada fría
- \* 110  $\mu$ l persulfato amónico 10% (preparado recientemente).

Se mezclaron homogéneamente y se desgasificó durante 7 min con ayuda de una bomba de vacío. Posteriormente se añadieron 6  $\mu$ l de TEMED (N,N,N',N' tetrametilen diamina).

#### **b) Gel de la capa de concentración:**

- \* 0,665 ml acrilamida-bis (30:0,8)%
- \* 1,250 ml tris-HCl 0,5 M (pH 8) con SDS 0,4%
- \* 3,085 ml agua destilada y fría
- \* 30  $\mu$ l persulfato amónico 10% (preparado recientemente).

Se homogenizó y desgasificó durante 7 min. Posteriormente se añadieron 5  $\mu$ l de TEMED.

La composición de la **disolución tampón de electroforesis** preparada para su utilización en el día, fue (para 700 ml):

- \* 20,16 g glycina
- \* 4,24 g tris-hidroximetilaminometano
- \* 0,7 g SDS.

En cada pocillo se colocaron 80  $\mu$ l de muestra. La electroforesis se efectuó en una cámara refrigerada a 4 °C, a una intensidad constante de 22 A durante 2 h.

Tras la electroforesis se tiñeron los geles durante 24 h, en continua y suave agitación, con una disolución conteniendo (para 300 ml):

- \* 75 ml isopropanol
- \* 36 ml ácido acético glacial
- \* 0,15 g *Coomasie brilliant blue G*.

El desteñido se realizó sumergiendo los geles en disoluciones acuosas de ác. acético 10% v/v e isopropanol 10% v/v.

### **2.3.6. Heredabilidad de los caracteres**

Para llevar a cabo este estudio se analizaron los datos de los tres años considerados en este trabajo. Con ello se evitó, en cierto grado, la influencia debida exclusivamente al ambiente. Por tanto, se tuvo que limitar, asimismo, el estudio a los seis clones de *C. esculentus* que fueron ensayados de forma continuada durante los tres años considerados.

Para cada uno de los factores se elaboraron los correspondientes análisis de la varianza (ANOVA) con ayuda del paquete estadístico STATGRAPHICS v. 5.0, con los factores 'clon' y 'año' o



'período'. En estos ANOVA se tuvo en cuenta la restricción a los seis tipos de plantas, ya indicada en el apartado precedente.

Con estos estudios interanuales se pudo calcular para cada carácter, ya sea de tipo morfológico o productivo, el valor de la heredabilidad para los 6 clones de *C. esculentus* en cuestión y para cada uno de los ambientes considerados: campo y contenedores.

Para determinar la significación de las varianzas de los efectos considerados y su estimación, en el caso de existir diferencias significativas, se utilizó el algoritmo de Franklin y Bennett (Scheffe, 1959) considerando todos los factores como aleatorios (**clon**, **año** o **período**, y **bloque**). Se pudo desarrollar así el cuadro 30 para el cálculo de las estimas de las varianzas debidas a cada uno de los factores.

La heredabilidad se determinó según la siguiente expresión:

$$H = \frac{s_c^2}{\sum s^2} \quad (2)$$

que proporciona únicamente una cota máxima de la heredabilidad al trabajar, en nuestro caso, con plantas de propagación vegetativa. En esta expresión es  $s_c^2$  la varianza entre genotipos y  $\sum s^2$  el sumatorio de todas las varianzas. Es decir, la fórmula nos proporciona la aportación relativa del genotipo a la variabilidad global observada entre los clones de chufa estudiados en las condiciones dadas.

**Cuadro 30.** Expresiones para las esperanzas de los cuadrados medios por el algoritmo de Franklin y Bennett

	C <sub>(i)</sub>	P <sub>(j)</sub>	B <sub>(y)</sub>	E.C.M.
e <sub>(ij)</sub>	1	1	1	s <sub>e</sub> <sup>2</sup>
(C x P) <sub>ij</sub>	1	1	n	s <sub>e</sub> <sup>2</sup> + ns <sub>cp</sub> <sup>2</sup>
C <sub>i</sub>	1	3	n	s <sub>e</sub> <sup>2</sup> + ns <sub>cp</sub> <sup>2</sup> + 3ns <sub>c</sub> <sup>2</sup>
P <sub>j</sub>	6	1	n	s <sub>e</sub> <sup>2</sup> + ns <sub>cp</sub> <sup>2</sup> + 6ns <sub>p</sub> <sup>2</sup>

C=clones, variando i de 1 a 6 B=bloques, n=valor de la media armónica M<sub>h</sub>  
P=períodos, j de 1 a 3 (años) E.C.M.=esperanzas de los cuadrados medios

La media armónica M<sub>h</sub> se calculó como:

$$M_h = \frac{3}{\sum \frac{1}{y}} \quad (3)$$

donde y son los bloques del ensayo en campo o los contenedores de cada año.

Las estimas de las varianzas se calcularon entonces como:

\* varianza del error:

$$\hat{s}_e^2 = CM_e \quad (4)$$

\* varianza del factor 'clon':

$$\hat{s}_c^2 = \frac{CM_c - \hat{s}_e^2 - n\hat{s}_{cp}^2}{3n} = \frac{CM_c - CM_{cp}}{3n} \quad (5)$$

\* varianza del factor 'período':

$$\hat{s}_p^2 = \frac{CM_p - \hat{s}_e^2 - n\hat{s}_{cp}^2}{6n} = \frac{CM_p - CM_{cp}}{6n} \quad (6)$$

\* varianza de la interacción 'clon'x'período':

$$\hat{S}_{cp}^2 = \frac{CM_{cp} - \hat{S}_e^2}{n} = \frac{CM_{cp} - CM_e}{n} \quad (7)$$

### **2.3.7. Análisis discriminantes**

Una vez recopilados los datos de todos los parámetros considerados se realizaron análisis discriminantes. Se ha buscado poder determinar qué tipo de caracteres ayuda, en mayor medida, a definir grupos entre los clones de *C. esculentus* sometidos a los presentes experimentos. Combinando estos resultados con los obtenidos para la heredabilidad se podría proponer los caracteres más interesantes para plantear estudios de mejora.

En una primera fase se estudió el comportamiento de los clones ensayados en cada campaña, considerando todos los parámetros relacionados con la morfología y fisiología de las plantas, la morfología de los tubérculos y las características productivas. Estos estudios se realizaron con los datos registrados tras el cultivo en campo y en contenedores. Con ellos se pretendió analizar la posibilidad de eliminar material vegetal que no aportara información diferenciada a la proporcionada por los restantes clones.

Con los clones considerados durante el tercer año de estudios se plantearon análisis discriminantes para el período de tres años tenido en cuenta en este trabajo, tanto por grupos de parámetros (véase los apartados 2.3.1. a 2.3.4.) como con el conjunto de todos ellos.

## **2.4. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES**

Para el tratamiento estadístico de los datos obtenidos se ha recurrido a los paquetes informáticos estadísticos STATGRAPHICS (versiones 5.0, 7.0 y 7p) y SPSS (versión 5.01 para WINDOWS).

Las gráficas se han obtenido con ayuda del programa HARVARD GRAPHICS (versión 3.0).

Con todos los datos registrados se realizaron los estudios estadísticos pertinentes, haciendo hincapié en los ANOVAS para cada parámetro, tanto año por año como para la serie de tres años considerada en la presente Tesis. En este último caso se trabajó con los seis clones de *C. esculentus* que tuvieron continuidad en el citado período de tres años: un clon africano con tubérculos aovados con tendencia a redondeados ( $\alpha_1$ ), un clon africano con tubérculos aovados con tendencia a alargados ( $\alpha_2$ ), dos clones locales con tubérculos redondeados ( $\beta$  y  $\mu$ ) y, finalmente, dos clones locales con tubérculos de forma aovada ( $\gamma$  y  $\delta$ ). La evolución de los datos se ha visualizado mediante gráficos.

Tras efectuar el ANOVA para cada cuadro de datos (con todos los datos individuales) se realizó la correspondiente comparación múltiple de medias aplicando el test de Duncan a un nivel de significación de 0,05, indicando las diferencias significativas en los correspondientes cuadros de los ANEJOS.

### **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS**

Los cuadros correspondientes a los resultados obtenidos en este apartado se encuentran en el anejo 2.

#### **3.1.1. Estudios anuales**

**Primer año** (Consúltense los cuadros 31 y 32)

En cuanto a los caracteres morfológicos estudiados sobre la parte aérea de las plantas se observó que, en el cultivo en campo, presentó el parámetro **número de brotes** por tubérculo inicial diferencias estadísticamente significativas entre el clon africano (*a*), con un valor medio mínimo, frente a los restantes clones locales ensayados.

En el cultivo en contenedores cabe reseñar que los clones *B*, *e* y *μ* (productores de tubérculos redondeados) presentaron los valores medios máximos; los restantes clones locales presentaron valores intermedios, destacando, por un lado, *?*, *?* y *?* por sus bajos valores y, por otro, *d* y *?* debido a su elevado número de brotes; finalmente, *a* (origen africano) presentó el menor valor medio, diferenciándose significativamente del resto de clones locales ensayados. Dentro de éstos destacó significativamente *?* por su bajo valor.

Al estudiar el carácter **altura de las plantas** se observó que los valores máximos los dieron *B*, *e* y *μ*, que fueron los clones que produjeron tubérculos de forma redondeada. Los restantes clones locales presentaron valores menores. *a* se halló en una posición intermedia.

Sin embargo, en el cultivo en contenedores fue *a* el que proporcionó el menor valor. Éste, junto con *?*, se diferenció significativamente del resto de clones ensayados, tal como ocurrió con el anterior parámetro estudiado.

El estudio de la **relación altura de planta/número de brotes** reveló que únicamente el tipo *a* destacó significativamente por su elevado valor, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los demás clones locales.

Los clones locales que produjeron tubérculos redondeados y el clon *d* mostraron los menores valores. Los demás se comportaron de forma intermedia.

Considerando el **número de inflorescencias** por unidad de superficie (parámetro únicamente determinado en el estudio en campo) fueron las plantas de origen africano (*a*) las que destacaron claramente, entre todas las ensayadas, por su elevado índice de floración. De las plantas locales destacó el clon *?*. En cambio, *?* no floreció. Los valores concretos de niveles de floración presentaron diferencias importantes entre bloques.

En cuanto al grado de **encamado** registrado en el cultivo en campo por las plantas en diversas fechas cabe reseñar que *a* mostró, en todo momento, valores bajos, siendo estas plantas las que registraron el mínimo encamado final. Los máximos valores los proporcionaron *?* y *?*. Entre los clones locales no se detectaron diferencias entre plantas productoras de tubérculos redondeados y productoras de tubérculos aovados.

**Segundo año** (Consúltense los cuadros 33 y 34)

Analizando en el cultivo en contenedores el **número de brotes** emitidos a partir de un único tubérculo inicial se pudo observar la aparición de diferencias significativas entre los clones africanos y

los clones autóctonos. Los primeros presentaron un número de brotes por tubérculo inicial muy reducido en comparación con los valores medios que se hallaron con los clones locales.

Al estudiar en campo la **altura de plantas** se observó una pauta diferente entre los clones foráneos ( $a_1$  y  $a_2$ ) y los clones autóctonos. Entre ambos tipos de clones se detectó una diferencia estadísticamente significativa. Los clones de origen africano presentaron, tanto en campo como en contenedores, los menores valores.

Analizando la **relación altura de plantas/número de brotes** en las plantas cultivadas en contenedores se constató que los clones  $a_1$  y  $a_2$  proporcionaron los máximos valores. En cuanto a los clones locales no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos (sí entre los africanos y los locales).

En el estudio de las **inflorescencias** emitidas por las plantas en el cultivo en campo en la segunda campaña se advirtió que no existieron diferencias significativas entre los clones autóctonos ( $\beta$  a  $\mu$ ). Sin embargo, sí que destacaron de forma estadísticamente significativa las plantas africanas ( $a_1$  y  $a_2$ ), con unos índices de floración muy superiores.

En cuanto a la evolución del **encamado** en campo cabe destacar que las plantas africanas presentaron un comportamiento claramente diferenciado desde el inicio del control del mismo: en todo momento presentaron unos valores inferiores, no llegando las plantas a encamarse totalmente en el momento que sí lo hicieron las plantas locales. Dentro de estas últimas se observó que las productoras de tubérculos redondeados ( $\beta$ ,  $d$ ,  $\mu$ ) comenzaron a encamarse con posterioridad a las productoras de tubérculos aovados. Sin embargo, en el momento de finalizar el control de este parámetro, fueron estas últimas las que presentaron menores valores.

#### **Tercer año** (Consúltense los cuadros 35 y 36)

Tanto en campo como en contenedores proporcionaron  $a_1$  y  $a_2$  los menores valores del parámetro **número de brotes** por tubérculo inicial plantado, llegando a ser en contenedores aproximadamente la tercera parte de los obtenidos con los otros clones ensayados. Los clones autóctonos, de los que los productores de tubérculos aovados destacaron por sus máximos valores, formaron grupos homogéneos en ambos ambientes, proporcionando valores muy superiores a los de los clones africanos. Las diferencias entre estas dos tipos de clones fueron estadísticamente significativas.

En cuanto a la **altura de las plantas** destacaron, en el cultivo en campo, los clones de origen africano por su menor altura y los clones autóctonos productores de tubérculos redondeados por su máxima altura, con valores superiores a 80 cm. Las diferencias entre los valores proporcionados por los clones africanos y los correspondientes a los clones con tubérculos redondeados fueron estadísticamente significativas.

En contenedores ocurrió algo muy diferente con las plantas africanas, ya que proporcionaron los máximos valores. Dentro del grupo de plantas autóctonas fueron las que produjeron tubérculos de forma aovada las que dieron los mínimos valores. Destacó, desde un punto de vista estadístico,  $a_1$  frente a todos los demás.

El estudio de la **relación altura de plantas/número de brotes** permitió identificar a los clones  $a_1$  como los que presentan los mayores valores de forma estadísticamente significativa (índices

superiores a 2 en campo y a 1 en contenedores). Los clones locales presentaron valores, en campo, cercanos al 50% de los registrados con las plantas africanas y, en el caso de contenedores, al 30%.

Con el parámetro **número de inflorescencias/ha** sólo se diferenciaron de forma estadísticamente significativa  $a_1$  y  $a_2$  frente al resto de clones ensayados. El resto de clones dieron niveles muy inferiores, detectándose en esta campaña una agrupación por clones: las plantas con tubérculos de forma redondeada ( $\beta$  y  $\mu$ ) proporcionaron niveles inferiores, mientras que los clones con tubérculos de forma aovada ( $\gamma$  y  $\delta$ ) dieron niveles superiores.

En cuanto a la evolución del **encamado** cabe destacar que  $a_1$  y  $a_2$  mostraron, en todo momento, valores inferiores a los de los clones locales. Pareció existir una tendencia por parte de los clones productores de tubérculos redondeados a presentar cierto retraso en la aparición del encamado.

### **3.1.2. Estudio conjunto del período considerado** (véase el apartado 2.4.)

En las figuras 18 a 25 de los **ANEJOS** se han representado los valores correspondientes a cada parámetro y año.

Las plantas africanas, ya sea el tipo  $a$  o los clones derivados  $a_1$  y  $a_2$ , mostraron en todo momento y en los dos ambientes los menores valores de **número de brotes** por tubérculo inicial con respecto a los clones locales, superando  $a_1$  a  $a_2$ .

Las plantas locales no mostraron un comportamiento uniforme a lo largo de los años estudiados y las medias globales no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí. Tanto en campo como en contenedores fueron los clones  $\gamma$  y  $\mu$  los que mostraron los valores máximos.

Hay que destacar que los valores registrados para las plantas africanas fueron similares en ambos ambientes, sin embargo, los clones locales casi duplicaron en el cultivo en contenedores los valores registrados en campo.

En cuanto a la **altura máxima** alcanzada por las plantas de clones locales ( $\beta$  a  $\delta$ ) destacaron las productoras de tubérculos redondeados por sus ligeramente mayores valores sobre las que produjeron tubérculos aovados. Sólo en el cultivo en campo se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de clones.

Las plantas africanas proporcionaron respuestas irregulares. En campo dieron los mínimos valores ( $\approx 80$  cm), significativamente diferentes de los valores medios de las plantas de tubérculos redondeados. Sin embargo, en el cultivo en contenedores sólo destacó el clon  $a_1$  del resto por su elevado valor.

En general, las alturas registradas en cultivo en contenedores fueron claramente inferiores a las del cultivo en campo, tendencia ésta inversa a la comentada con el parámetro número de brotes por tubérculo inicial. Este hecho fue más notable con los clones locales.

A la vista de los datos y gráficas referentes a la **relación altura/número de brotes** cabe señalar que destacaron en ambos ambientes los clones  $a_1$  y, dentro de éstos, el  $a_2$ , doblando en campo los valores correspondientes a los clones autóctonos y triplicándolos en el cultivo en contenedores. Éstos últimos no presentaron diferencias entre sí, pero se detectó que el clon  $\gamma$  tendió

a mostrar los mayores valores. En general, fueron los valores registrados en campo mucho mayores que en contenedores, especialmente en los clones autóctonos.

Los clones ensayados mostraron durante las dos últimas campañas (en especial durante la tercera) un comportamiento muy diferenciado por grupos en cuanto a la emisión de **inflorescencias**. Así, el grupo formado por los clones  $\alpha_i$  destacan por su elevadísimo índice de floración, significativamente diferente del resto de clones ensayados, con valores medios superiores a 40.000 inflorescencias por hectárea.

Con los clones locales, aunque no mostraron diferencias significativas entre sí, se observó una tendencia por parte de  $\beta$  y  $\mu$  (con tubérculos aovados) como mayores productores de inflorescencias que  $\beta$  y  $\mu$  (productores de tubérculos redondeados) en una relación aproximada de 2:1, siendo los valores dentro de cada grupo bastante similares.

Al estudiar el **encamado** se pudo advertir que las plantas africanas ( $\alpha_i$ ) presentaron unos menores valores de encamado final con respecto a los clones locales de plantas ensayados. Entre estas últimas no existieron diferencias apreciables, si bien cabría anotar que las plantas productoras de tubérculos redondeados parecían presentar una mayor resistencia inicial al encamado, no influyendo este hecho sobre el valor final alcanzado.

#### **3.1.3. Discusión**

El estudio de las plantas de los clones ensayados considerando los parámetros indicados puso de relieve que existieron diferencias tanto entre los clones como entre los ambientes de ensayo.

Así cabe destacar que en cuanto al número de brotes por tubérculo plantado fue muy superior en el cultivo en contenedores que en campo. Ello probablemente fue motivado, en el cultivo en contenedores, por el mayor espacio disponible para el desarrollo vegetal de cada planta y, en consecuencia, la menor competencia por el suelo y los nutrientes. En ambos ambientes fue el número de brotes muy inferior en los clones de origen africano que en los clones locales.

Las plantas africanas poseen un ciclo de desarrollo más corto que las plantas locales, tanto por brotar más tardíamente (como pusieron de relieve los datos indicativos de la evolución del número de brotes) como por agostarse las plantas antes que las de los clones autóctonos.

En el cultivo en campo destacaron las plantas por alcanzar mayor altura que en el cultivo en contenedores. De nuevo se deba, probablemente, este comportamiento a la mayor densidad de plantación en la modalidad de cultivo en campo. Las plantas compiten en este ambiente por la luz, viéndose obligadas a desarrollar lo máximo posible sus hojas.

En ambos sistemas de cultivo (campo y contenedores) se observó que las plantas africanas alcanzaban menor altura. Ello estuvo motivado, probablemente, por la menor duración de su ciclo, así como por la menor densidad de brotes en comparación con las plantas locales, no siendo, por tanto, tanta la competencia por la luz en las parcelas con plantas africanas.

Al considerar la relación entre la altura de plantas/número de brotes hay que destacar que hubo un comportamiento diferenciado, tanto según el ambiente de cultivo, como según el tipo de planta cultivada. Así, en campo se registraron valores más elevados de esta relación frente a los datos calculados en el cultivo en contenedores. Ello estuvo motivado por dos factores esencialmente: la mayor altura alcanzada por las plantas y, fundamentalmente, por el menor número de brotes

emitidos por planta en el cultivo en campo. Especialmente notable fueron los valores alcanzados por las plantas africanas, en las que fue, esencialmente, el menor número de brotes el que provocó tales índices elevados.

El número de inflorescencias por unidad de superficie fue muy elevado en las parcelas con plantas africanas. Dentro de las plantas locales destacaron las productoras de tubérculos aovados. Durante las tres campañas estudiadas se observó un paulatino incremento en el nivel de floración de las plantas obtenidas con los clones locales. Ello es, posiblemente, debido a la repetición del cultivo, tal como atestiguan las observaciones realizadas a nivel de campo. Así, por ejemplo, se tuvieron numerosas parcelas en el primer año de ensayos sin registrar inflorescencias. Dos causas pueden justificar tal observación: el no cultivo en la campaña precedente de las mencionadas parcelas con *C. esculentus* y, sobre todo, la reducida extensión de las parcelas.

Las plantas africanas se comportaron en este punto de forma diferente: siempre mostraron elevados índices de floración, se hubiese cultivado o no con chufas la parcela con anterioridad. Estos índices se vieron, además, reducidos al repetir el cultivo tal como indican los datos de la tercera campaña. Son plantas con un ciclo más corto, posiblemente mejor adaptadas a condiciones más severas, tanto del suelo como del clima, que las que afectan a las plantas valencianas, presentando una fisiología diferente que les lleva a florecer con una mayor precocidad y profusión.

El encamado también fue diferente en función del tipo de clon considerado. Las plantas africanas mostraron en todo momento unos menores índices de encamado. Ello resulta lógico si se recuerda la menor duración de su ciclo, así como los aspectos morfológicos que las caracterizan: plantas de menor altura, tallos más gruesos, hojas más anchas, de mayor espesor y más resistentes y con menor número de brotes. El grado medio de encamado fue disminuyendo a lo largo de los tres años estudiados. En el primer año se tuvieron parcelas de reducida superficie con una orientación norte-sur de las líneas de plantación, favoreciéndose en cierta medida la aparición de este accidente. Durante la segunda campaña se cultivaron parcelas de mayor superficie con orientación este-oeste, teniendo en este caso las plantas cierta protección frente a la acción del viento tanto por la autopista al este como por las mismas plantas. En la tercera campaña se anotaron los índices de encamado más bajos a pesar de que el período considerado del ciclo fue más largo. Ello se debió, además de a los factores ya comentados que actuaron en la campaña precedente, a la menor altura alcanzada por las plantas, así como a la ausencia de lluvias durante los meses veraniegos (en el año anterior se registraron intensas precipitaciones en septiembre, véase la figura 17).

### **3.2. MORFOLOGÍA DE LOS TUBÉRCULOS**

Los datos correspondientes a este apartado se hallan tabulados en el anejo 3. En los cuadros se han presentado los valores medios correspondientes a las mediciones de **longitud** y **anchura** de los tubérculos, pues ayudan a comprender las diferencias halladas entre los diferentes clones en cuanto al tamaño y la forma (relación longitud/anchura) de los tubérculos. Sin embargo, no se comentan los resultados correspondientes pues no contribuyen adicionalmente a la identificación de las diferencias entre los clones, suficientemente caracterizadas mediante los parámetros relación l/a y peso fresco unitario de los tubérculos.



### 3.2.1. Estudios anuales

#### Primer año (Consúltese el cuadro 37)

Al estudiar la forma de los tubérculos se obtuvieron dos tipos de valores para la **relación longitud/anchura**: los correspondientes a las menores relaciones proporcionadas por los clones  $\beta$  e  $\mu$ , con tubérculos de aspecto redondeado, y los proporcionados por los restantes clones, de mayor longitud y menor anchura. En campo se incluyó, en este segundo grupo, al tipo  $a$  con tubérculos de gran tamaño, que presentaron los máximos valores de longitud y anchura. En contenedores destacó  $a$  por su elevada relación longitud/anchura, cercana al valor 2. Las diferencias detectadas entre las agrupaciones comentadas fueron estadísticamente significativas.

Respecto al factor **peso fresco unitario** destacaron, por un lado, el tipo  $a$  de origen africano, con el mayor peso fresco medio ( $>1,5$  g) y, por otro, los clones  $\beta$  y  $e$  (tubérculos de forma redondeada) con los menores pesos. Tanto en el cultivo en campo como en contenedores se registraron valores muy similares para cada clon ensayado. Las diferencias entre los valores medios correspondientes a  $a$ ,  $\beta$  y  $e$  frente al resto de clones fueron estadísticamente significativas.

Por último, al estudiar en campo el carácter **número de nudos** fueron evidentes dos agrupaciones a la vista del orden relativo de los valores medios, destacando por su bajo número de nudos los tubérculos del tipo  $a$  y de los clones  $\beta$ ,  $e$  y  $\mu$  (formas redondeadas), frente a los restantes. En el caso del estudio en contenedores no existieron diferencias significativas entre los clones ensayados.

#### Segundo año (Consúltese el cuadro 38)

Al estudiar el carácter **relación longitud/anchura** se observaron claramente las tendencias de agrupación de los clones ensayados. Se constató que los clones  $\beta$ ,  $d$  y  $\mu$  (tubérculos redondeados) presentaron los menores índices;  $a_1$  (tubérculos cortos y de elevada anchura) una relación intermedia y los restantes clones, englobando a  $a_2$  (tubérculos que presentaron la mayor longitud) y los clones locales con tubérculos de forma aovada, índices máximos, llegaron a valores próximos a 1,7. Las diferencias entre las agrupaciones observadas fueron estadísticamente significativas, exceptuando  $?$  en el caso del cultivo en contenedores, ya que se comportó de forma intermedia entre las agrupaciones citadas.

A la vista de los análisis respecto al factor **peso fresco unitario** se pudieron diferenciar, de forma general y en ambos ambientes, los clones foráneos de los clones locales. Los primeros mostraron los mayores pesos medios, destacando, en el estudio en campo,  $a_2$  con el máximo valor. Los clones locales presentaron, por su parte, un comportamiento diferenciado entre  $\beta$ ,  $d$  y  $\mu$  (clones con tubérculos de forma redondeada con un peso menor) y  $?$ ,  $?$  y  $?$  (forma aovada de los tubérculos con un mayor peso medio). Generalmente, fueron todos los valores registrados en el cultivo en contenedores superiores a los obtenidos en campo, exceptuando al clon  $a_2$ . Las diferencias halladas entre los clones foráneos y los autóctonos fueron estadísticamente significativas y, en campo, entre los clones locales productores de tubérculos redondeados y los clones con tubérculos aovados.

Finalmente, el análisis del carácter **número de nudos** nos proporcionó una gradación relativamente clara por tipos de clones, especialmente en el cultivo en campo y no siendo las diferencias entre éstos estadísticamente significativas en el cultivo en contenedores. Se pudo apreciar

que los clones  $\beta$ ,  $d$  y  $\mu$  presentaron el menor número medio de nudos en el cultivo en campo, siendo los mayores valores los correspondientes a los clones con tubérculos de forma aovada o alargada, llegando a alcanzar valores próximos a 5.

**Tercer año** (Consúltese el cuadro 39)

Con respecto al carácter **relación longitud/anchura** se distinguieron varios tipos de clones: el formado por los clones locales  $\beta$  y  $\mu$  (tubérculos redondeados), que presentaron las menores relaciones -sobre todo en contenedores-, el formado por  $a_1$  (de tubérculos con la máxima anchura medida) con una relación intermedia cercana a 1,5, el formado por los clones locales  $\gamma$  y  $\delta$ , que en campo mostraron valores similares a  $a_2$ , pero en contenedores proporcionaron valores menores siendo, incluso, significativamente diferentes entre sí y, finalmente,  $a_2$  (cuyos tubérculos presentaron las máximas longitudes) con valores superiores a 2 en el cultivo en contenedores. Las diferencias entre las distintas agrupaciones fueron estadísticamente significativas.

Al estudiar el factor **peso fresco unitario** se observaron en campo cuatro grupos de valores:  $a_2$ , que presentó el mayor peso de sus tubérculos;  $\beta$  y  $\mu$ , con los mínimos pesos medios de los tubérculos y los restantes clones con valores intermedios, destacando significativamente, en este grupo,  $a_1$  con mayor peso medio que  $\gamma$  y  $\delta$ .

En contenedores no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias correspondientes a los tubérculos de los clones autóctonos. Sin embargo,  $a_1$  y  $a_2$  sí se distinguieron de forma significativa con respecto a los demás clones y entre sí. En general, superaron los valores observados a los registrados en campo, destacando los valores correspondientes a  $a_2$ .

Para finalizar, el análisis del carácter **número de nudos** en campo nos proporcionó una gradación relativamente clara por clones. Así, se pudo distinguir que los clones con tubérculos de forma redondeada ( $\beta$  y  $\mu$ ) presentaron el menor número promedio de nudos, siendo los mayores valores los correspondientes a los clones con tubérculos de forma aovada o tendentes a forma alargada, alcanzando valores próximos a 5.

**3.2.2. Estudio conjunto del período considerado** (véase el apartado 2.4.)

Tal como se observa en las figuras 26 a 35, los diferentes clones siguieron un comportamiento uniforme durante los tres años en estudio.

El parámetro **relación longitud/anchura** de los tubérculos permitió detectar diferencias muy claras entre los diferentes clones ensayados. Los clones locales con tubérculos redondeados ( $\beta$  y  $\mu$ ) se caracterizaron, como era de esperar, por unos valores muy bajos frente a los clones locales con tubérculos de forma aovada ( $\gamma$  y  $\delta$ ), siendo los valores generales algo inferiores en el cultivo en contenedores. Los valores correspondientes a  $a_2$  (tubérculos con la máxima longitud, sobre todo en el cultivo en contenedores) fueron muy similares a los de  $\gamma$  y  $\delta$  en el cultivo en campo, pero muy superiores en el cultivo en contenedores. En cuanto a  $a_1$ , también de origen africano y con tubérculos de elevada anchura, fueron prácticamente iguales los valores obtenidos en campo y en contenedores.

Los tubérculos de forma redondeada presentaron durante los tres años unos valores de **peso fresco unitario** más bajos que los tubérculos de forma aovada y, sobre todo, que los tubérculos de origen africano (clones  $a_1$  y  $a_2$ ), de gran tamaño. Estos últimos destacaron por sus elevados valores. Si bien en campo destacó  $a_2$  sobre  $a_1$  de forma significativa, en cultivo en contenedores no mostraron

pesos medios significativamente diferentes entre sí. Los tubérculos de forma aovada mostraron siempre el mismo comportamiento:  $\beta$  presentó pesos unitarios ligeramente superiores a los de  $\mu$  durante los tres años de estudio.

Los valores correspondientes al **número de nudos** por tubérculo fueron, en general, algo inferiores en los clones locales con tubérculos de forma redondeada ( $\beta$  y  $\mu$ ) que en los de forma aovada. Similar comportamiento se advirtió con los clones foráneos, donde  $a_2$  presentó unos valores ligeramente superiores a  $a_1$ .

En cuanto al factor **período** se observó que los tubérculos obtenidos en campo tras la cosecha del primer año presentaron valores superiores de longitud y anchura medias de los tubérculos (en todos los clones -  $\beta$  a  $\mu$ ), lo que se tradujo, asimismo, en un mayor peso medio.

En la tercera campaña en campo se registraron valores de tamaño (longitud y anchura) y de peso de los tubérculos muy inferiores a los de la campaña anterior, destacando los clones africanos ( $a_1$  y  $a_2$ ) que vieron disminuidos sus valores medios de peso unitario de los tubérculos en, aproximadamente, un 30% y los clones  $\beta$  y  $\mu$  (forma redondeada de los tubérculos) entre un 15 y un 20%. Sin embargo, el parámetro relación  $l/a$  registró en todos los clones un aumento, lo que indica que en todos los casos se registró un alargamiento relativo de los tubérculos. Ello provocó, en consecuencia, unos valores ligeramente más elevados del número de nudos por tubérculo en todos los clones analizados.

En contenedores se observó una evolución ascendente de los valores de peso unitario de los tubérculos en los clones  $\beta$  y  $\mu$  (forma redondeada de los mismos) y en los clones  $a_1$  y  $a_2$ . Sin embargo, la longitud y, en menor grado, la anchura de los mismos en el caso de  $\beta$  y  $\mu$  siguió una tendencia descendente. En general, descendió el valor de la relación  $l/a$  en el período estudiado. Lo contrario ocurrió con  $a_1$  y  $a_2$ , en los que la longitud y la relación  $l/a$  de los tubérculos sufre un incremento.  $\beta$  y  $\mu$  presentaron un comportamiento general de ascenso (dos primeros años) y descenso en la campaña posterior de los valores medios anuales. En cuanto al factor 'nudos' no se pudieron detectar diferencias significativas entre los diferentes años estudiados en ninguno de los clones ensayados.

#### **3.2.3. Discusión**

Se encontró tras el estudio de los clones ensayados unos comportamientos claramente diferenciados, lo que permitió considerar cuatro tipos clones: por un lado, dos tipos de clones autóctonos y, por otro, dos de origen africano ( $a_i$ ).

Todas las observaciones relativas a los tubérculos de origen local fueron coincidentes en el caso del estudio en campo y en el caso del cultivo en contenedores. El grupo autóctono se pudo clasificar, según los resultados obtenidos, en plantas productoras de tubérculos redondeados y de tubérculos aovados. Los primeros fueron más ligeros y con una relación longitud/anchura, que fue la que se tomó como indicador de la forma, menor (debido a ser más cortos y más anchos en términos generales) que la de los tubérculos de forma aovada, tal como cabía esperar. En cuanto al número de nudos visibles existió una tendencia por parte de los tubérculos de forma redondeada a presentar un menor número, consecuencia de esa menor longitud.

En cuanto a la planta de origen africano (a), cultivada en la primera campaña, mostró unos valores extremos en todos los parámetros estudiados. Así, se pudo constatar que se trataba de un tipo de plantas que producía tubérculos de gran tamaño y peso, con una forma claramente alargada. Estas plantas mostraron un comportamiento ligeramente diferente en su cultivo en contenedores frente al cultivo en campo. A la vista de los resultados, se decidió obtener dos clones distintos,  $a_1$  (representante de los contenedores 2 y 4 y con tubérculos con tendencia a presentar una menor relación longitud/anchura) y  $a_2$  (representante de los contenedores 1 y 3 con tubérculos tendentes a mostrar una relación l/a superior). Durante las dos campañas siguientes se evidenció como acertada la separación en estos dos clones. Ambos presentaron globalmente los mayores pesos unitarios, así como las mayores longitudes y anchuras de todos los clones ensayados. Sólo cabe anotar que fueron los tubérculos correspondientes a  $a_2$  los más pesados y con una mayor relación longitud/anchura que los de  $a_1$ . Estos últimos presentaron un valor medio de anchura superior, así como un número medio de nudos por tubérculo inferior. Los tubérculos del clon  $a_2$  tendieron inicialmente a presentar relaciones l/a muy elevadas correspondientes a una forma alargada, sin embargo, tras la selección llevada a cabo durante el período de estudio, presentaron unas relaciones l/a correspondientes a tubérculos de forma aovada.

En general, fueron los tubérculos obtenidos en campo más alargados y con un peso unitario menor que los obtenidos en contenedores, lo que concuerda con lo indicado por Pascual y Maroto (1984c) en el sentido de que los substratos de textura más ligera, como el utilizado en el cultivo en contenedores, favorecen un desarrollo de tubérculos más pesados y de forma menos alargada. En cambio, estas observaciones no son válidas para los clones foráneos que presentaron, en cuanto a la forma de sus tubérculos, un comportamiento diferente.

### **3.3. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS**

Los cuadros correspondientes se pueden consultar en el anejo 4.

#### **3.3.1. Estudios anuales**

**Primer año** (Consúltese el cuadro 40)

En el estudio correspondiente al **peso fresco de los tubérculos** (expresado en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) se pudieron distinguir dos tipos de clones en campo: por un lado, los productores de tubérculos de forma redondeada ( $\beta$ ,  $e$ ,  $\mu$ ) junto al tipo originario de África productor de tubérculos de gran tamaño (a) con las menores producciones; por otro, los restantes clones con tubérculos de forma aovada con rendimientos superiores a  $17.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Las diferencias entre estas dos agrupaciones fueron estadísticamente significativas.

En el caso del cultivo en contenedores únicamente cabe destacar que a registró el menor peso por contenedor de forma significativa frente a los restantes clones ensayados, mostrando, asimismo, ? valores significativamente bajos.

Con respecto al **peso seco de los tubérculos** se detectó, asimismo, una gradación por tipos de clones: el menor peso lo presentaron los tubérculos de forma redondeada ( $\beta$ ,  $e$  y  $\mu$ ), el mayor peso lo dieron los tubérculos de forma aovada y el tipo a se comportó de forma intermedia. Las diferencias entre las dos primeras agrupaciones fueron estadísticamente significativas.

El cultivo en contenedores proporcionó un resultado similar al visto con el peso fresco, volviendo a destacar a y ? por sus bajos pesos secos.

Destacaron en cuanto al **peso seco de hojas** los clones  $\beta$ , d, e y  $\mu$  por sus mayores valores. De estos cuatro citados, tres fueron los representantes del grupo de clones con tubérculos de forma redondeada ( $\beta$ , e y  $\mu$ ) y el cuarto (d) no fue uniforme en cuanto a la forma de sus tubérculos. En el extremo opuesto se tuvo a a con unos valores significativamente menores. Las diferencias entre estas agrupaciones fueron mas evidentes en el cultivo en contenedores, donde en el grupo formado por los clones con tubérculos aovados volvió a destacar ? de forma significativa por su menor producción de masa foliar, como ya lo hiciera con la producción de tubérculos.

Del estudio de la **relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas** se dedujo que  $\beta$ , e y  $\mu$  fueron los que presentaron los menores valores, aspecto éste esperado, pues ya se observó que los mismos clones fueron los menos productivos en cuanto a tubérculos y, al mismo tiempo, los que mayor masa aérea formaron.

El mínimo valor en el cultivo en contenedores lo proporcionó  $\mu$ , que, a su vez, fue el que mostró el máximo valor en cuanto a peso seco de las hojas. Los clones ? a ? proporcionaron valores relativamente elevados, siendo todos ellos productores de tubérculos de forma aovada.

En cuanto al **número de tubérculos** por contenedor solo cabe destacar el tipo a por su menor producción, dando únicamente 108 tubérculos como valor medio. Los clones autóctonos no mostraron un comportamiento diferente entre ellos, teniendo en cuenta la forma de sus tubérculos.

El factor 'bloque' en el cultivo en campo fue únicamente significativo en el caso del estudio del peso seco de la masa foliar y de la relación peso seco de los tubérculos/peso seco de hojas.

#### **Segundo año** (Consúltese el cuadro 41)

En el apartado correspondiente al **peso fresco de los tubérculos** se distinguieron, tanto en campo como en contenedores, los clones  $a_1$  y  $a_2$  con las mínimas producciones, los clones autóctonos de tubérculos de forma redondeada ( $\beta$ , d,  $\mu$ ) con unos valores de peso fresco intermedios y, finalmente, una tercera agrupación representada por los clones autóctonos productores de tubérculos de forma aovada (? , ? , ?), con pesos frescos máximos.

A excepción de ?, que se comportó en campo de forma intermedia entre las dos últimas agrupaciones citadas y de ? que lo hizo en contenedores entre la segunda y la tercera, las diferencias entre los grupos de clones comentados resultaron estadísticamente significativas.

Con respecto al **peso seco de los tubérculos** según clones se detectó, asimismo, una gradación por grupos similar a la observada con el parámetro anterior.

En el apartado dedicado al **peso seco de hojas** destacaron en primer lugar los clones con tubérculos redondeados ( $\beta$ , d,  $\mu$ ) por sus mayores valores, tanto en el cultivo en campo como en contenedores. En el extremo opuesto, es decir, en la agrupación de clones con los menores valores, se volvieron a encontrar los clones de origen africano. En una posición intermedia se tuvo a los clones con tubérculos de forma aovada. Se advierte que los grupos correspondientes a los clones con tubérculos de formas redondeadas y a los clones con tubérculos aovados mantuvieron posiciones inversas si consideramos el peso seco de la masa foliar en comparación con el peso seco de los tubérculos producidos.

El estudio de la **relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas** reveló que los clones productores de tubérculos redondeados ( $\beta$ ,  $d$  y  $\mu$ ) mostraron los mínimos valores, que fueron en los tres casos menores de 1, es decir, considerando los pesos secos, produjeron más masa foliar que tubérculos. El resto de clones proporcionaron valores superiores a 1, destacando  $a_1$  con el máximo valor.

En contenedores mostraron los clones productores de tubérculos de forma aovada los mayores valores. En todos los casos fueron superiores a la unidad.

El parámetro **número de tubérculos** por contenedor permitió también diferenciar entre clones autóctonos y clones foráneos.  $a_1$  y  $a_2$  presentaron los menores valores y los demás (autóctonos) valores muy superiores. Las diferencias entre las dos agrupaciones fueron estadísticamente significativas. Dentro del grupo de clones autóctonos destacó  $d$  por su menor valor respecto a los demás. A la vista del orden relativo se puede indicar que los clones con tubérculos aovados produjeron menos tubérculos que los clones con tubérculos de forma redondeada, con la excepción anteriormente citada de  $d$  (forma redondeada) que fue el que menos produjo de todos.

En el cultivo en campo fue significativo el factor 'bloque' en el caso de los parámetros relativos al peso de los tubérculos.

#### **Tercer año** (Consúltese el cuadro 42)

Tras analizar el **peso fresco de los tubérculos** obtenidos tras el cultivo en campo se observó cómo destacaba claramente un grupo que incluía a clones productores de tubérculos de forma aovada, proporcionando los valores productivos más elevados. Los dos representantes del tipo de chufa "aovado" se distinguieron significativamente de los clones  $a_2$  y  $\beta$ . Estos dos últimos clones dieron los valores productivos más bajos. Los restantes clones,  $a_1$  y  $\mu$ , se comportaron de forma intermedia.

En contenedores proporcionaron  $\mu$  y  $\beta$  (forma aovada de los tubérculos) mayores rendimientos que los clones locales con tubérculos de forma redondeada.  $a_1$  se comportó de forma intermedia entre los dos tipos de clones anteriormente citados. El mínimo peso medio lo ofreció  $a_2$ .

En cuanto al **peso seco de los tubérculos** producidos en campo se pudo observar una agrupación de los clones en cuanto a su nivel de producción similar a la comentada con el anterior parámetro. Así, se tuvo que  $a_1$  y  $a_2$  proporcionaron los menores pesos secos,  $\mu$  y  $\beta$  (forma aovada de los tubérculos) los mayores valores, comportándose las plantas productoras de tubérculos de forma redondeada ( $\beta$ ,  $\mu$ ) de forma intermedia.

Analizando este parámetro en contenedores se detectó que las diferencias entre los clones no fueron estadísticamente significativas, exceptuando  $a_2$  que presentó el mínimo peso seco medio por contenedor.

Al analizar los datos correspondientes al **peso seco de las hojas** se encontró que destacaron  $a_1$  y  $a_2$  con los pesos más bajos. Los pesos más elevados los proporcionaron  $\beta$  y  $\mu$ , en el cultivo en campo, comportándose los clones con tubérculos aovados de forma intermedia. Las diferencias estadísticamente significativas, en el cultivo en campo, se hallaron entre  $a_1$  y  $a_2$  frente a los clones  $\mu$ ,  $\beta$  y  $\mu$ . En contenedores fue  $a_2$  el único clon que presentó diferencias significativas frente al resto con un valor mínimo, no siendo destacables las halladas entre los valores de los clones locales.

En esta campaña fueron todos los valores de la **relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas** menores a la unidad en el estudio en campo y superiores a 2 en el cultivo en contenedores. Destacaron  $\beta$  y  $\mu$  por sus menores valores y los clones africanos por los máximos. Valores intermedios se registraron con los clones productores de tubérculos de forma aovada.

En cuanto al **número de tubérculos** producidos a partir de un único tubérculo inicial, parámetro estudiado únicamente en el cultivo en contenedores, destacaron por sus mínimos valores los clones  $a_1$  y  $a_2$ . Estos valores representaron aproximadamente la mitad de lo obtenido con los demás clones, de origen local. Las diferencias entre clones africanos y locales sí fueron significativas.

Sí que fue significativo el factor 'bloque' en campo en el caso de los parámetros referentes a producción de tubérculos y de hojas.

### **3.3.2. Estudio conjunto del período considerado** (véase el apartado 2.4.)

En las figuras 36 a 44 se hallan representados los valores considerados en este apartado.

Tras analizar los datos correspondientes al **peso fresco de los tubérculos** se observó un comportamiento por grupos de plantas: el primero, menos productivo, formado por los clones de origen africano ( $a_1$ ,  $a_2$ ), el segundo por los clones locales productores de tubérculos redondeados ( $\beta$ ,  $\mu$ ) y el tercero, con las máximas producciones, por los clones con tubérculos de forma aovada ( $\gamma$ ,  $\delta$ ). Las diferencias entre los grupos fueron estadísticamente significativas. Se observa que  $a_1$  fue ligeramente más productivo que  $a_2$ , relación detectada en los tres años estudiados y en ambos ambientes.

En general, no fueron óptimos los rendimientos alcanzados, pero sí similares a los rendimientos medios de la zona de cultivo (véase el cuadro 1). Así, los clones  $a_1$  proporcionaron valores inferiores a los registrados en el mencionado cuadro (aproximadamente un 15%), los clones  $\beta/\mu$  valores similares y los clones  $\gamma/\delta$  (tubérculos aovados) rendimientos muy superiores (aprox. un 25%).

Con los valores y gráfica correspondientes al **peso seco de los tubérculos** se pueden realizar similares observaciones a las indicadas para el peso fresco. Las relaciones entre clones y años se mantuvieron en general. Se observa que los rendimientos en kg/ha descendieron de forma evidente al repetir el cultivo en la misma parcela (tercer año). Así, aun cuando  $a_1$  y  $a_2$  apenas variaron en sus producciones, los clones productores de tubérculos redondeados lo hicieron en un 20% aproximadamente y, finalmente, los productores de tubérculos aovados ( $\gamma$  y  $\delta$ ) son los que más acusaron la repetición del cultivo con descensos cercanos al 30%.

En cuanto al **peso seco de las hojas** hay que señalar que volvieron a aparecer tres grupos de clones en ambos ambientes, siendo el formado por  $a_1$  y  $a_2$  los menos productivos. Los clones con tubérculos redondeados destacaron claramente sobre  $\gamma$  y  $\delta$ , proporcionando los máximos valores globales. Las diferencias entre los tres grupos fueron significativas, de forma más evidente en el cultivo en campo. La producción de masa foliar en kg/ha de peso seco presentó en todos los clones notables incrementos en la tercera campaña respecto a la anterior, destacando los clones africanos con valores cercanos al 50% y presentando los clones locales incrementos muy variables.

No pareció existir influencia del factor 'período' en base a los ANOVA realizados, únicamente hay que destacar el descenso de producción en campo del primer año a los siguientes. En el cultivo

en contenedores se observó que el comportamiento de los diferentes clones ensayados no fue uniforme durante el período estudiado: mientras  $a_1$  mostró unos valores superiores en la tercera campaña, respecto a los años anteriores, en cuanto al número de tubérculos producidos y a los rendimientos (tubérculos y hojas),  $a_2$  únicamente lo hizo con los rendimientos de tubérculos. En general, mostraron los demás clones mayores valores en el segundo año y valores similares en el primero y tercero (exceptuando a  $a_3$ , que registró menores valores de producción de tubérculos, tanto en peso como en número, en el tercer año).

Del estudio del parámetro **número de tubérculos** en el cultivo en contenedores se dedujo que los clones africanos produjeron comparativamente muchos menos tubérculos, lo que ocasionó directamente una menor producción, ni siquiera pudiendo ser compensada por los valores marcadamente superiores de los pesos unitarios de los tubérculos (véase el apartado **3.2.**). Los demás clones no presentaron en ningún año diferencias importantes entre ellos, exceptuando en la primera campaña, en la que  $a_3$  destacó marcadamente.

En cuanto a la **relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas** se constataron diferencias significativas entre las agrupaciones locales de tubérculos aovados y redondeados, siendo los valores superiores para los primeros y próximos a los obtenidos con los clones africanos. En campo fueron las relaciones cercanas o inferiores a 1, lo que indica que se produjeron más kg/ha de masa foliar que de tubérculos (en peso seco). En el cultivo en contenedores se observó un incremento de los valores, ya que las plantas produjeron (en peso seco) bastante más tubérculos que hojas.

### **3.3.3. Discusión**

De forma general se observó que entre los clones locales destacaron, en ambos ambientes, aquéllos con tubérculos aovados en cuanto a su producción de chufas, sin embargo, la producción de hojas fue menor que la de los clones con tubérculos redondeados.

La relación entre la producción de tubérculos y la producción de hojas fue generalmente superior en el cultivo en contenedores que en el cultivo en campo. Las plantas pueden desarrollarse más en contenedores, poseyendo más espacio para la tuberización sin existir competencia con plantas vecinas (en campo estaban separadas las plantas unos 10 cm dentro de cada línea y en contenedores disponían de una superficie de 35 cm de  $\varnothing$ ) ni por el agua, ni por los nutrientes.

Los clones africanos destacaron por ser los menos productivos en cuanto a hojas y tubérculos y por desarrollar el menor número de tubérculos por planta.

En cuanto a los niveles de producción cabría destacar que fue acusado el descenso en el rendimiento en la tercera campaña, provocado, probablemente, por la repetición del cultivo (no debió ser motivado por factores ambientales, ya que, tal como refleja el cuadro 1, los rendimientos medios obtenidos en la zona fueron similares a los de los años anteriores). El cultivo precedente a la segunda campaña de los presentes experimentos fue patata, lo que influiría en la consecución de unos mejores rendimientos, al no repetirse el cultivo de chufa y al quedar el terreno con unos buenos niveles de fertilidad debido al generoso abonado recibido por el cultivo de la patata. Durante la primera campaña considerada en este trabajo gozó el terreno de buenas condiciones, ya que, además de ser desinfectado el terreno con bromuro de metilo, durante el año anterior fue cultivado



con chufa en franjas y con parcelas unitarias con gran separación entre caballones, siendo, precisamente, esta superficie entre caballones la cultivada con chufa en esta primera campaña.

Los mayores niveles de porcentajes de materia seca de los tubérculos se obtuvieron tras la segunda campaña, en la que se tuvieron intensas lluvias en septiembre, noviembre y diciembre (véase la figura 17). Ello provocó un considerable retraso en la recolección de los tubérculos a causa de la elevada humedad del suelo, siendo, probablemente, este retraso la causa del aumento de la proporción de materia seca. Especialmente marcada fue la respuesta a esta situación por parte de los clones africanos, cuyo ciclo es más corto que el de los clones locales y, por tanto, mayor es el período de secado en condiciones de campo.

A pesar de procurar la mayor homogeneidad posible en cuanto al manejo de los bloques en campo (riego, orientación,...), se ha comprobado que han existido diferencias entre ellos, llegando a ser en algún caso significativas, al considerar los niveles productivos tanto de hojas como de tubérculos.

### **3.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TUBÉRCULOS Y DE LAS HORCHATAS**

Los cuadros correspondientes se han compilado en el anejo 5.

#### **3.4.1. Estudios anuales**

##### **Primer año** (Consúltese el cuadro 43)

En general, destacó el tipo africano a por su elevado contenido en **almidón** (tubérculos) y **proteínas** (los tubérculos dieron los valores máximos), mostrando, en cambio, bajos valores de sus contenidos en **grasas**, **azúcares** (tubérculos) y **fibra**.

En cuanto a los clones de origen local destacaron aquéllos con tubérculos redondeados por sus elevados niveles de **proteínas**, siendo, generalmente, los clones con tubérculos aovados los que mostraron los mayores niveles en **almidón** (tubérculos), **azúcares** y **fibra**. Sin embargo, los niveles de **grasas** y **cenizas** fueron muy variables sin poderse distinguir entre tipos de clones, lo que sí se pudo hacer al comparar los resultados de la horchata obtenida a partir de  $\beta$  y la obtenida a partir del clon  $\gamma$ , destacando la primera por sus contenidos en **grasas**, **proteínas** y **cenizas**.

##### **Segundo año** (Consúltese el cuadro 44)

Los clones africanos ( $a_i$ ) se caracterizaron, en general, por mostrar los valores extremos en cada uno de los tipos de análisis efectuados. Así, mostraron valores máximos en sus contenidos en **almidón** y **proteínas**. En cambio, fueron mínimos sus contenidos en **grasas** y **fibra**. En cuanto a su contenido en **cenizas** fue máximo en tubérculos, pero bajo en horchatas.

Considerando los clones locales se observaron tendencias, por parte de los productores de tubérculos aovados, a mostrar los niveles más bajos en cuanto a **fibra** y **proteínas**. Éstos presentaron, asimismo, una tendencia a mostrar valores elevados al analizar el **almidón** de los tubérculos, pero en el caso de las horchatas lo hicieron las obtenidas a partir de tubérculos redondeados.

**Tercer año** (Consúltese el cuadro 45)

Los clones foráneos  $a_i$  destacaron frente a los clones locales, de forma general, por sus elevados contenidos en **almidón**, **azúcares** y, en el caso concreto de  $a_1$ , en **cenizas**. En cambio, fueron bajos los niveles en **grasas** y **fibra**.

En cuanto a los clones locales cabe destacar que los productores de tubérculos redondeados mostraron valores generalmente superiores a los de tubérculos de forma aovada en los niveles de **grasas** y **cenizas**, siendo inferiores los contenidos de **azúcares** y **proteínas**.

El estudio sobre horchatas confirmó, aunque de forma menos clara, las observaciones realizadas sobre los tubérculos. Sólo en el caso de la **fibra** cabe resaltar los niveles inferiores registrados, frente a los detectados en tubérculos.

**3.4.2. Estudio conjunto del período considerado** (véase el apartado 2.4.)

Las figuras 45 a 56 recogen la información comentada a continuación.

Estudiando los seis clones que tuvieron continuidad durante el período de tres años considerado en la presente Tesis se observa que los clones africanos ( $a_i$ ) presentaron una tendencia general a mostrar valores extremos en casi todos los parámetros considerados. Así, fueron elevados, incluso máximos, los niveles de **almidón**, **proteínas** y **cenizas**. En cambio, fueron mínimos los contenidos en **grasas** y **fibra**.

Los clones locales mostraron valores muy variables año tras año, lo que no permite una agrupación de los mismos. Sí que parece evidente que los clones con tubérculos de forma redondeada mostraron una tendencia a presentar menores contenidos en **azúcares** y superiores en **grasas** con respecto a los clones productores de tubérculos aovados.

**3.4.3. Discusión**

Los resultados en este apartado dedicado a la composición química no han sido tan uniformes como en las anteriores secciones de estudio de características de los clones ensayados. Además, se observa una marcada variabilidad entre campañas, debido, probablemente, a los diferentes períodos de almacenamiento a los que fueron sometidos los tubérculos (véase el apartado 2.3.4.) y, en consecuencia, a la diferente evolución de los diversos componentes estudiados. Ello provocó la no consideración de unos valores medios para el período trianual, tal como se ha venido realizando en los anteriores apartados.

Aun así, se constata que los clones africanos mostraron unas características diferenciadas frente a los clones locales. Los primeros son clones con unos relativamente elevados contenidos en almidón, azúcares, cenizas y proteínas. Sin embargo, sus contenidos en grasas han sido, comparativamente, los mínimos.

Los clones locales con tubérculos redondeados se diferenciaron de los formadores de tubérculos aovados por poseer unos contenidos inferiores en azúcares pero algo superiores en fibra.

Durante los tres años estudiados se ha observado un incremento de los contenidos en azúcar. Ello se corresponde con la evolución natural en los tubérculos almacenados (en general, en cualquier producto vegetal almacenado) pasando el almidón a azúcares, ya que, como se ha indicado anteriormente (véase el apartado 2.3.4.), los tubérculos fueron sometidos a tiempos de almacenamiento más breves en las campañas sucesivas. Este hecho justifica, asimismo, que los

niveles porcentuales generales de contenidos en proteínas, fibra y cenizas sufrieran una evolución descendente campaña tras campaña, aunque en cada caso fuera diferente la intensidad de esa evolución. Al ser compuestos relativamente estables y al degradarse con mayor o menor intensidad otras sustancias, presentan una mayor proporción relativa en el producto almacenado durante un tiempo más prolongado.

Contrariamente a lo comentado, presentaron los niveles en grasas un aumento generalizado desde la primera hasta la última campaña estudiada, ya que las grasas sufren procesos de oxidación y degradación con el paso del tiempo de almacenamiento y, en consecuencia, su contenido va disminuyendo.

Con todos los parámetros estudiados se han observado niveles similares al comparar los resultados obtenidos con tubérculos con los registrados con las horchatas derivadas, con la única excepción de la fibra que proporcionó valores muy inferiores en horchatas que con tubérculos. Ello es lógico si recordamos el proceso de elaboración de las horchatas (véase el apartado **2.3.4.1.**) en el que la mayor parte de la fibra es eliminada durante el prensado. Los demás componentes son básicamente solubles, por lo que, tras todo el proceso de obtención de las horchatas, quedan en el producto final obtenido.

### **3.5. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS**

#### **3.5.1. Brotación de los tubérculos**

A la vista de las figuras 57 y 58 de los ANEJOS se puede afirmar que los diferentes clones de *C. esculentus* ensayados mostraron una respuesta positiva frente al incremento de la temperatura al considerar la brotación de los tubérculos. Así, a una temperatura constante de 30 °C se tuvieron brotaciones entre un 25% ( $\alpha_1$ ) y un 61% ( $\beta$ ), superiores que a temperatura constante de 25 °C. Una respuesta similar la dieron los clones locales ( $\beta$  y  $\gamma$ ) al pasar de temperatura constante de 25 °C a régimen de temperatura ambiental en laboratorio con oscilación día y noche en cuanto a luz y temperatura (véase el apartado **2.3.5.1.**).

Tres clones ( $\alpha_2$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) mostraron una evolución similar en su respuesta: mínima brotación a 25 °C (constante), mayor a régimen ambiente con temperaturas máximas entre 25 y 27 °C y máxima brotación a temperatura constante de 30 °C. Dentro de los clones locales fue  $\beta$  (tubérculos redondeados) el que mostró una respuesta más acentuada que  $\gamma$  (tubérculos aovados) frente al incremento de la temperatura de ensayo y, a su vez, la peor respuesta a la menor temperatura ensayada (25 °C).

En todo caso, mostraron los clones africanos menores valores de brotación a las temperaturas ensayadas, hecho asimismo constatado en el cultivo en campo.

En el cuadro 46.b) se han mostrado los incrementos de brotación de los diferentes experimentos, tomando como referencia el ensayo a temperatura constante de 25 °C (a la que se anotaron los menores índices de brotación). Se observa que los mayores incrementos se dan con el ensayo a temperatura constante de 30 °C, exceptuando el clon  $\alpha_1$  que se comportó mejor con el régimen a temperatura variable.

A un régimen de alternancia día/noche de luz y temperatura tardan más los clones en alcanzar sus valores máximos de porcentajes de brotación, tardando unos 15 días, frente a los poco más de 10 días en los regímenes a temperatura constante (véase el cuadro 47). El diferente comportamiento general de los tubérculos fue, posiblemente, motivado por los descensos nocturnos de la temperatura alcanzando valores menores a la del ensayo con temperatura constante de 25 °C.

Al observar las gráficas de la evolución temporal de la brotación de los tubérculos (cuadro 47 y figuras 59 a 61) se detecta que los clones locales mostraron una respuesta más intensa y, generalmente, más rápida frente a los clones foráneos. Estos últimos tuvieron una respuesta más rápida al cambiar de temperatura variable a constante y a medida que se aumentaba la misma. Sin embargo, los clones locales no mostraron una aceleración en la brotación al pasar de 25 °C a 30 °C, llegando a responder a esta última temperatura los clones africanos con mayor rapidez.

#### **3.5.2. Determinación de la densidad estomática**

Los resultados obtenidos se encuentran en el cuadro 48.

En cuanto a los clones sometidos a este estudio cabe destacar que se hallaron diferencias significativas entre los clones africanos, tal que  $a_1$  (tubérculos cortos) presentó unos valores inferiores a  $a_2$  (tubérculos alargados). Asimismo, se observa diferencias significativas entre los clones locales:  $\beta$  (tubérculos redondeados) fue el que presentó unos valores inferiores a  $\gamma$  (forma aovada de los tubérculos).

Por otro lado, se constató que aquellos clones con tubérculos grandes y alargados presentaron valores similares, tal como lo hicieron los clones con tubérculos redondeados entre sí, independientemente de su zona de origen.

El breve estudio realizado sobre la densidad estomática puso de relieve que el número de estomas por unidad de superficie de epidermis abaxial de *C. esculentus* presentaba cierta similitud a las registradas por la bibliografía consultada para plantas pertenecientes a la familia de las Poáceas, especialmente las del tipo  $C_4$ , como *Zea mays* (maíz) y *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) (véase el apartado 1.3.5.2.), si bien se constataron diferencias importantes con lo indicado por Wills (1987) para plantas de poblaciones americanas de *C. esculentus*.

#### **3.5.3. Ensayos sensoriales con horchatas**

A la vista de las puntuaciones otorgadas en cuanto a la aceptación y textura de las horchatas ensayadas (figuras 62 a 64) cabe destacar que ciertos parámetros de composición química aquí estudiados influyeron sobre la valoración.

Así, del estudio comparativo entre los parámetros químicos y organolépticos se deduce que sobre la aceptación influyó directamente, como cabía esperar, el contenido en grasas: a mayor contenido mayor aceptación. Por otro lado, los menores valores de textura o "cuerpo" estuvieron relacionados con unos mayores contenidos en almidón.

En general, se observó que el clon  $a_1$  presentó la menor aceptación de todas las horchatas ensayadas.

#### **3.5.4. Electroforesis**

En ninguno de los casos se detectaron diferencias a nivel de bandas proteicas, aunque sí a nivel de concentraciones. Ello se hizo más patente al realizar una segunda electroforesis con material

obtenido de tubérculos al considerar otros clones de *C. esculentus* ajenos a los estudiados, como, por ejemplo, uno perteneciente a la variedad botánica *esculentus*, cuyas bandas apenas fueron visibles.

Similares observaciones se hicieron al considerar la electroforesis realizada con hojas.

### **3.6. HEREDABILIDAD DE LOS CARACTERES**

En el cuadro 49 se han indicado las heredabilidades calculadas.

#### **3.6.1. Morfología y fisiología de las plantas**

Destacaron las heredabilidades calculadas para los parámetros **número de brotes por planta** (en el ensayo en contenedores) y, en el ensayo en campo, el **número de inflorescencias**. Los valores obtenidos fueron próximos al 70%. Cabe destacar, en ambos ambientes de ensayo, el valor prácticamente nulo calculado para la heredabilidad del parámetro **altura de plantas**.

#### **3.6.2. Morfología de los tubérculos**

De los caracteres morfológicos estudiados sobre los tubérculos cabe indicar los elevados valores obtenidos en ambos ambientes para la heredabilidad de la **longitud** y la **relación l/a**, es decir, la forma. En contenedores también destacó el valor calculado para el **peso**. En todos estos casos fueron los valores próximos o superiores al 70% y, en el caso concreto de la forma, próximos al 80%. Los menores valores se obtuvieron globalmente para el **número de nudos**.

#### **3.6.3. Características productivas**

Tras calcular los valores de la heredabilidad correspondientes a parámetros relacionados con aspectos productivos, se puede indicar que únicamente el **número de tubérculos** producidos a partir del tubérculo inicial (ensayo en contenedores) fue el que proporcionó, en nuestras condiciones experimentales, un valor relativamente elevado ( $H > 50\%$ ).

#### **3.6.4. Composición química de los tubérculos**

Del estudio de las heredabilidades de los parámetros relacionados con la composición química de los tubérculos sólo destaca el valor obtenido para el contenido en **almidón**, cercano al 40%. Los demás parámetros obtuvieron valores de H muy bajos, incluso nulos.

#### **3.6.5. Discusión**

Los valores más elevados de heredabilidad se obtuvieron en el estudio de los caracteres morfológicos de los tubérculos. Los más bajos se determinaron con los caracteres químicos de los mismos, resultado previsible debido a la importante influencia ambiental (diferentes tiempos de almacenamiento de las muestras analizadas).

En general, han sido los valores obtenidos en el estudio en contenedores más elevados que los obtenidos con el estudio en campo. Ello es lógico, si consideramos que la influencia de los factores ambientales se ve reducida en el cultivo controlado y sin competencia debida a otros individuos.

Estos resultados se hallan en consonancia con los obtenidos por Nuez y Cabrelles (1984), excepto en lo referente a la morfología de los tubérculos, ya que en los estudios realizados en esta Tesis Doctoral se han obtenido valores claramente superiores, lo que, por otra parte, resulta lógico debido al diferente material vegetal utilizado en ambos trabajos.

### **3.7. ANÁLISIS DISCRIMINANTES**

Consúltense los cuadros y figuras del anejo 8.

#### **3.7.1. Estudios anuales**

Se observa, en general, en las figuras 65 a 70 una clara formación de cuatro grupos de clones al considerar todos los parámetros estudiados de forma conjunta. Ello ha permitido ir reduciendo el número de clones estudiados, hasta quedarnos con el número definitivo de 6.

#### **3.7.2. Estudio conjunto del período considerado**

##### **Morfología y fisiología de las plantas**

A la vista del cuadro 50 y de la figura 71 se deduce que los clones foráneos ( $a_i$ ) mostraron los mejores porcentajes de asignación teórica y las agrupaciones gráficas más definidas.

Destaca especialmente  $a_2$ , por sus elevados porcentajes de asignación teórica de individuos. Los clones africanos se complementan mutuamente en la asignación de individuos.

##### **Morfología de los tubérculos**

Destacó el clon  $a_1$  por sus elevados porcentajes en la asignación teórica de valores, tanto en el estudio en campo (cuadro 51) como en contenedores (cuadro 52).

En ambas situaciones se observa una amplia complementariedad entre los clones locales  $\beta/\mu$  (tubérculos redondeados) y  $\gamma/\nu$  (tubérculos aovados) y entre los clones africanos.

##### **Características productivas**

En este apartado (cuadros 53/54 y figuras 74/75) se observaron evidentes discriminaciones de los diferentes clones, en concreto la separación entre clones africanos y clones locales y, dentro de estos últimos, entre los grupos  $\beta-\mu$  y  $\gamma-\nu$ .

##### **Composición química de los tubérculos**

Destacó  $a_1$  por su clara discriminación, existiendo una absoluta complementariedad entre los dos clones africanos (cuadro 55).

##### **Estudio conjunto**

Destacó el clon  $a_1$ , tanto en campo como en contenedores, alcanzando en la asignación teórica de valores y en esta última modalidad de estudio porcentajes del 100%, cifra asimismo, obtenida por los grupos de clones locales.

Se observa en las figuras 77 y 79, especialmente en la que refleja los resultados obtenidos de la experimentación en contenedores (figura 79), una total separación entre clones locales y africanos, obteniéndose cuatro agrupaciones de clones. Por ello, se plantearon unos análisis discriminantes adicionales considerando tales agrupaciones. Se obtuvieron en estos casos unos porcentajes de asignación correcta de individuos por grupos teóricos cercanos al 100%, es decir, claramente superiores que en los análisis por clones. Las figuras 78 y 80 evidencian marcadamente la existencia de las cuatro agrupaciones de clones mencionadas.

#### **3.7.3. Discusión**

La eliminación de clones llevada a cabo durante las campañas estudiadas (véase el apartado 2.1.) queda justificada a la vista de las figuras 65 a 70, correspondientes a los estudios anuales conjuntos, ya que han sido clones que no se han diferenciado significativamente de los demás ensayados.

En todos los estudios trianuales realizados ha sido el porcentaje relativo explicado por las funciones discriminantes 1 y 2 superior al 90%.

Hay que destacar que, en general y como cabía esperar, han sido los resultados obtenidos en cuanto a la correcta clasificación global de los individuos mejores en el estudio en contenedores que los obtenidos en el estudio en campo ("morfología de los tubérculos" y "características productivas"). Los máximos valores se obtuvieron al considerar todos los parámetros agrupadamente, llegando prácticamente al 100% en el estudio conjunto por grupos en contenedores.

### **3.8. CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Con los datos obtenidos en las campañas consideradas en este trabajo se ha elaborado el cuadro 60, donde se recogen los valores medios por grupos de clones según los diversos parámetros estudiados. Cada grupo incluye los clones que presentan características similares, es decir, cada grupo constituye un cultivar.

Cabe destacar el bajo número de brotes de las plantas pertenecientes a los clones africanos, que, además, destacaron por una elevadísima tasa de floración. Los tubérculos producidos por estos clones africanos destacaron por su elevado peso unitario. El clon  $\alpha_2$  produce tubérculos de gran tamaño y forma aovada-alargada. Los clones africanos proporcionaron menores rendimientos y produjeron menor número de tubérculos por tubérculo inicial.

El cultivar representado por los clones  $\beta/\mu$  se caracterizó, fundamentalmente, por el pequeño tamaño de sus tubérculos, así como por la forma característicamente redondeada de los mismos. Apenas floreció y su nivel productivo fue medio.

El cultivar  $\gamma/\nu$  produjo tubérculos de mayor peso unitario que el anteriormente comentado, siendo éstos de forma aovada. Floreció poco y su rendimiento fue elevado.

En cuanto a la composición de los tubérculos destacaron los elevados niveles de almidón de los clones africanos, que también presentaron los niveles más bajos de grasas y fibra. El cultivar  $\delta/\xi$  proporcionó los máximos niveles de azúcares.

## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES**



Los estudios realizados han permitido caracterizar los diversos clones seleccionados durante el período considerado. Asimismo, ha sido posible determinar qué tipo de parámetros pueden ser los más interesantes a la hora de seleccionar y caracterizar material vegetal de *C. esculentus*.

Desde el punto de vista de la heredabilidad y de su poder discriminante se proponen los siguientes parámetros:

- número de brotes por tubérculo,
- número de inflorescencias por unidad de superficie,
- peso unitario por tubérculo,
- longitud de tubérculo,
- relación longitud/anchura de tubérculo,
- número de tubérculos/tubérculo inicial.

Tanto el peso unitario como la longitud del tubérculo proporcionan información respecto al tamaño del mismo; la relación longitud/anchura indica la forma.

Todos los parámetros enumerados están relacionados con la "morfología de los tubérculos" y con las "características productivas", que son, precisamente, los tipos de parámetros que han facilitado una mejor discriminación de los clones ensayados. Esta discriminación ha sido más evidente en los ensayos realizados en contenedores, por lo que se deberían plantear los posibles estudios de tipificación morfológica mediante experimentación en un ambiente controlado (contenedores), pero sin olvidar los ensayos de campo que facilitan información acerca de los niveles de floración y, sobre todo, de producción, pues son éstos últimos datos los que definirán al material vegetal agrónomicamente interesante.

Del material inicial se han seleccionado 6 clones, concluyéndose, a la vista de los análisis discriminantes, que pueden agruparse en cuatro cultivares, dado que, por una parte  $\beta$  y  $\mu$  y, por otra,  $\gamma$  y  $\delta$  poseen características similares, que justifican su agrupación en un mismo cultivar.

Así, de cada cultivar, se pueden destacar las siguientes características generales:

-----

**a<sub>1</sub>:** \* bajo número de brotes por planta (40 - 50);  
\* elevada producción de inflorescencias (~ 45.000/ha);  
\* tubérculos de elevado peso unitario (0,8 - 1,1 g);  
\* tubérculos de forma aovada con una relación longitud/anchura cercana a 1,5;  
\* bajo número de tubérculos producido a partir del tubérculo inicial (~ 250);  
\* relativamente bajo rendimiento en tubérculos (~ 85% del rendimiento típico en la zona de cultivo).

-----

**a<sub>2</sub>:** \* bajo número de brotes por planta (~ 40);  
\* elevada producción de inflorescencias (~ 50.000/ha);  
\* elevado peso unitario del tubérculo (~ 1 g);  
\* tubérculos con una relación longitud/anchura muy elevada, entre 1,7 y 1,9 (forma aovada-alargada);  
\* bajo número de tubérculos producido a partir del tubérculo inicial (~ 230);

\* relativamente bajo rendimiento en tubérculos (~ 85% del rendimiento típico en la zona de cultivo).

-----  
**B/μ:** \* elevado número de brotes por planta, variando ampliamente entre 70 (campo) y 130 (contenedores);

\* muy bajo nivel de floración (~ 1.800 inflorescencias/ha);

\* bajo peso unitario de los tubérculos (0,6 - 0,7 g);

\* tubérculos de forma redondeada con muy baja relación longitud/anchura (1,1 - 1,3);

\* elevada producción de tubérculos por tubérculo inicial (~ 500);

\* rendimientos en tubérculos medios (similares a la media de los obtenidos en la zona de cultivo).

-----  
**?/?:** \* elevado número de brotes por planta, similar al tipo de clon anterior, entre 70 (campo) y 130 (contenedores);

\* bajo nivel de floración (~ 3.800 inflorescencias/ha);

\* peso unitario de los tubérculos medio (0,7 - 0,8 g);

\* tubérculos de forma aovada con elevada relación longitud/anchura (1,6 - 1,7);

\* elevada producción de tubérculos por tubérculo inicial (~ 500);

\* rendimientos en tubérculos elevados (~ 125% del rendimiento típico en la zona de cultivo).

-----  
Claramente diferentes han sido los clones de origen africano ( $a_1$  y  $a_2$ ) frente a los locales, tanto por las características anteriormente expuestas, como por su desarrollo vegetativo, brotando los tubérculos de los clones  $a_i$  irregularmente y con posterioridad a los tubérculos de los clones locales y siendo las plantas africanas las primeras en agostarse. Los clones  $a_i$  precisan de mayores temperaturas para la brotación de los tubérculos, presentando, asimismo, un ciclo vegetativo más corto que los clones locales. Este segundo aspecto, unido al gran tamaño de los tubérculos (lo que los hace atractivos al agricultor y al comerciante), podría resultar un factor interesante al considerar la expansión del cultivo de los clones foráneos, a pesar de que los rendimientos obtenidos son relativamente bajos.

En años posteriores a los analizados se ha trabajado con nuevo material vegetal foráneo (Costa de Marfil, Ghana,...), habiéndose comprobado que su comportamiento y sus características son bastante similares a las de clones ensayados en este trabajo.



**Figura 13.** Detalle de los tubérculos característicos correspondientes a los cuatro cultivares de *C. esculentus* definidos en la presente Tesis Doctoral

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ADDY, E.O. y ETESHOLA, E. 1984. Nutritive value of a mixture of tigernut tubers (*Cyperus esculentus* L.) and baobab seeds (*Adansonia digitata* L.). J. Sci. Food Agric. 35: 437-440
- ALCALÁ, A.; CASAS, A. y PRIMO, E. 1954. Estudio sobre la chufa (*Cyperus esculentus* L.). I. Composición de la horchata de chufas. X Cong. Int. de Industrias Agrarias. Madrid: 174-179
- ALCAYDE, E. 1990. El cultivo de la chufa en l'Horta Nord. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agricultura i Pesca. Fullet Divulgación 5: 36pp.
- A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA
- ARMSTRONG, T.F.; MEGGITT, W.F. y PENNER, D. 1973a. Yellow nutsedge control with alachlor. Weed Sci. 21: 354-357
- ARMSTRONG, T.F.; MEGGITT, W.F. y PENNER, D. 1973b. Absorption, translocation, and metabolism of alachlor by yellow nutsedge. Weed Sci. 21: 357-360
- BENDIXEN, L.E. 1970a. Validity of evaluating transformation of primary rhizomes in yellow nutsedge. Weed Sci. 18: 408-409
- BENDIXEN, L.E. 1970b. Altering growth form to precondition yellow nutsedge for control. Weed Sci. 18: 599-603
- BENDIXEN, L.E. 1973. Anatomy and sprouting of yellow nutsedge tubers. Weed Sci. 21: 501-503
- BERCHIELLI, D.L.; GILLIAM, C.H.; WEHTJE, G.R.; FARE, D.C. y HICKS, T.V. 1987. Control of yellow nutsedge in woody ornamentals. Alabama Agric. Exp. Sta. Res. Report Series 5: 26-27
- BHAN, V.M.; STOLLER, E.W. y SLIFE, F.W. 1970. Toxicity, absorption, translocation, and metabolism of 2,4-D in yellow nutsedge. Weed Sci. 18: 733-737
- BLACK, C.C.; GOLDSTEIN, L.D.; RAY, T.B.; KESTLER, D.P. y MAYNE, B.C. 1976. The relationship of plant metabolism to internal leaf and cell morphology and to the efficiency of CO<sub>2</sub> assimilation. En: BURRIS, R.H. y BLACK, C.C. (ed.) CO<sub>2</sub> metabolism and plant productivity. Univ. Park Pres. 431 pp.
- BRADFORD, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254
- CABRELLES, M<sup>ª</sup>T. 1981. Estudio de la variación en poblaciones de chufas (*Cyperus esculentus* L.) de Alboraya. Tesina. Facultad de Biológicas. Valencia. 105 pp.
- CASTELL, V. 1970. Cultivo de la chufa. Levante Agrícola 104: 33-35
- CAVANILLES, A.J. 1795. Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia. Imprenta Real de Madrid (facsimil de Artes Gráficas Soler, S.A., 1979, Valencia)
- CONEJERO, V. y SEMANCICK, J.S. 1977. Analysis of the protein in crude extracts by polyacrylamide slab gel electrophoresis. Phytopathology, 67: 1424-1426
- COSTA, J. 1979. Influencia del tubérculo en la susceptibilidad de *Cyperus esculentus* L. var. *esculentus* (juncia) a la atrazina. Ministerio de Agricultura. INIA. Madrid. Colección: Tesis Doctorales 13: 96 pp.
- COSTA, J. y APPLEBY, A.P. 1976. Response of two yellow nutsedge varieties to three herbicides. Weed Sci. 24: 54-58

- COSTE, H. 1900-1906. Flore descriptive et illustrée de la France. Vol III. Lb. Scient. Tech., Paris.
- CRINS, W.J. y BALL, P.W. 1989. Taxonomy of the *Carex flava* complex (*Cyperaceae*) in North America and northern Eurasia. I. Numerical taxonomy and character analysis. Canadian Journal of Botany 67: 1032-1047
- DE BOLÓS, O; VIGO, J.; MASALLES, R.M. y NINOT, J.M. 1990. Flora manual del Paísos Catalans. Ed. Pòrtic, Barcelona
- DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO HISPANO-AMERICANO. W.M. Jackson ed. Londres. Tomo VI: 1238-1239 y 1838
- E.L. 1978. Moth controls nutsedge weeds. Agricultural Res. 10: 11
- ELIAS, F. y RUIZ, L. 1977. Agroclimatología de España. M.A.P.A. Madrid
- FAHN, A. 1975. Plant anatomy. 2ª ed. Pergamon Press. 611 pp.
- FISCHER, B.B. 1987. Nutsedge control in orchards and vineyards. Univ. Calif. Coop. Ext. Runcina 32: 20 pp.
- FRICK, K.E.; WILLIAMS, R.D.; QUIMBY, P.C. jr. y WILSON, R.F. 1979. Comparative biocontrol of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) with *Bactra verutana* under greenhouse conditions. Weed Sci. 27: 178-183
- GARCÍA BAUDÍN, J.M. 1973. Notas sobre un parásito de la juncia (género *Cyperus*), nuevo en España. Anales del I.N.I.A. Serie Prot. Veg. 3: 359-366
- GARCÍA BAUDÍN, J.M.; ALBAJES, R. y SARASÚA, M.J. 1979. Trabajos preliminares de la cría artificial de *Bactra* sp., parásito de la juncia (género *Cyperus*). Anales del I.N.I.A. Serie Prot. Veg. 10: 127-135
- GARCÍA BAUDÍN, J.M.; GARRIDO, A. y ALBAJES, R. 1978. Notas sobre un lepidóptero, *Angustialus malacellus* Duponchet, que parasita al género *Cyperus*, posible plaga polífaga en España. Anales del I.N.I.A. Serie Prot. Veg. 8: 96-97
- GARCÍA OLMEDO, R.; VALLS, C. y DÍAZ, A. 1979. Estudio del aceite de los tubérculos de *Cyperus esculentus*, "chufa". I) Composición en ácidos grasos. Anal. Bromatol. XXXI: 339-347
- GARG, D.K.; BENDIXEN, L.E. y ANDERSON, S.R. 1967. Rhizome differentiation in yellow nutsedge. Weeds 15: 124-128
- GODINHO, I. 1984. Distribution et importance de *Cyperus esculentus* L. et *C. rotundus* L. au Portugal. Proc. EWRS 3rd Symp. on Weed Problems in the Mediterranean Area: 405-410
- HARDCASTLE, W.S. y WILKINSON, R.E. 1968. Response of purple and yellow nutsedge to dichlobenil. Weed Sci. 16: 339-340
- HAUSER, E.W. 1962. Establishment of nutsedge from space-planted tubers. Weeds 10: 209-212
- HILL, E.R.; LACHMAN, W.H. y MAYNARD, D.N. 1963. Reproductive potential of yellow nutsedge by seed. Weeds 11: 160-161
- HILU, K.W. y RANDALL, J.L. 1984. Convenient method for studying grass leaf epidermis. Taxon 33: 413-415
- HOLM, L. 1969. Weed problems in developing countries. Weed Sci. 17: 113-118
- HOLM, L.G.; PLUCKNETT, D.L.; PANCHO, J.V. y HERBERGER, J.P. 1977. The world's worst weeds, distribution and biology. The Univ. Press of Hawaii, Honolulu: 609 pp.

- HORAK, M.J. y HOLT, J.S. 1986. Isozyme variability and breeding systems in populations of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). *Weed Sci.* 34: 538-543
- HORAK, M.J.; HOLT, J.S. y ELLSTRAND, N.C. 1987. Genetic variation in yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). *Weed Sci.* 35: 506-512
- JANSEN, L.L. 1971. Morphology and photoperiodic response of yellow nutsedge. *Weed Sci.* 19: 210-219
- JUSTICE, O.L. y WHITEHEAD, M.D. 1946. Seed production, viability, and dormancy in the nutgrasses *Cyperus rotundus* and *C. esculentus*. *J. Agric. Res.* 73: 303-318
- KEELEY, P.E. y THULLEN, R.J. 1974. Yellow nutsedge control with soil-incorporated herbicides. *Weed Sci.* 22: 378-383
- KEELEY, P.E.; THULLEN, R.J. y MILLER, J.H. 1970. Biological control studies on yellow nutsedge with *Bactra verutana* Zeller. *Weed Sci.* 18: 393-395
- KEELING, J.W.; BENDER, D.A. y ABERNATHY, J.R. 1990. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) management in transplanted onions (*Allium cepa*). *Weed Technol.* 4: 68-70
- KELLEY, J.R. jr. 1990. Biomass production of chufa (*Cyperus esculentus*) in a seasonally flooded wetland. *Wetlands* 10: 61-67
- KILLINGER, G.B. y STOKES, W.E. 1951. Chufas in Florida. *Florida Agric. Exp. Sta. Bull.*: 419. 16 pp.
- KÜKENTHAL, G. 1936. En: Engler (ed.), *Das Pflanzenreich, Regni vegetabilis conspectus*, IV. 20. (Heft 101), *Cyperaceae-Scirpoideae-Cypereae*: 116-121
- LINSSEN, J.P.H.; COZIJNSEN, J.L. y PILNIK, W. 1989. Chufa (*Cyperus esculentus*): A new source of dietary fibre. *J. Sci. Food Agric.* 49: 291-296
- McCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V. y OWENS, H.S. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry* 22: 1156-1158
- MAIRE, R. 1957. *Flore de l'Afrique du Nord*. Vol. IV *Monocotyledonae*. Paris. 20-21
- M.A.P.A. 1995. Anuario de Estadística Agraria 1993
- MAROTO, J.V. y PASCUAL, B. 1984. Estudios sobre la respuesta productiva del cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.) a diferentes combinaciones de fertilización mineral. *Anales I.N.I.A. Serie Agrícola* 25: 55-65
- MAROTO, J.V. y PASCUAL, B. 1991. La chufa (*Cyperus esculentus* L.) y su cultivo. *Hortofruticultura* 6: 58-65
- MAROTO, J.V.; PASCUAL, B.; ALAGARDA, J. y LÓPEZ-GALARZA, S. 1984. Nuevos ensayos sobre la influencia de la fecha de plantación en la productividad del cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). *Agrícola Vergel* 36: 686-696
- MAROTO, J.V.; PASCUAL, B.; ALAGARDA, J. y LÓPEZ-GALARZA, S. 1986. Respuesta productiva a distintos abonados nitrogenados en el cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). ITEA, vol. extra 6: 105-110.
- MARTORELL, E. 1994. Producción de inflorescencias, semillas y poder germinativo de las mismas en diversos clones de chufa (*Cyperus esculentus* L.). Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T.A. Valencia. 112 pp.

- MATTHIESEN, R.L. y STOLLER, E.W. 1978. Tuber composition in yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) variants. *Weed Res.* 18: 373-377
- MEYER, B.S.; ANDERSON, D.B. y BÖHNING, R.H. 1965. Introduction to plant physiology. D. van Nostrand Co., Ltd. Londres. 541 pp.
- MIESNER, H. y ENZ, J. 1990. Ein gefährliches Ungras bedroht den Maisanbau. *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems* 22: 12-13
- MORELL, J. 1983. Desarrollo de una horchata de chufas enriquecida y estudio de las características físicas y químicas del tubérculo (*Cyperus esculentus* L.) y del nuevo producto comparado con la horchata normal. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Valencia. 226 pp.
- MULLIGAN, G.A. y JUNKINS, B.E. 1976. The biology of Canadian weeds. 17. *Cyperus esculentus* L. *Can. J. Plant Sci.* 56: 339-350
- NEGBI, M. 1992. A sweetmeat plant, a perfume plant and their weedy relatives: a chapter in the history of *Cyperus esculentus* L. and *C. rotundus* L. *Economic Botany* 46 (1): 64-71.
- NUEZ, F. y CABRELLES, M<sup>ª</sup>T. 1984. Variación en poblaciones de chufa (*Cyperus esculentus* L.) de Alboraya (Valencia). V Jornadas de Selección y Mejora de Plantas Hortícolas. Logroño. 386-397
- PARKER, R. 1988. Yellow nutsedge control. Central Irrigated Washington Weed Control Guide. EB 1488: 6 pp.
- PASCUAL, B. 1981. Estudio para la mejora de las técnicas de fertilización y cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.) en la provincia de Valencia. Tesis Doctoral. E.T.S.I.A. Valencia
- PASCUAL, B.; CASTELL-ZEISING, V.; LÓPEZ-GALARZA, S. y MAROTO, V. 1990. Ensayo de desyerbe químico en el cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.) I Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, Lisboa. 5: 326-331
- PASCUAL, B.; LÓPEZ-GALARZA, S.; ALAGARDA, J.; TOMÁS, J. y MAROTO, J.V. 1988. Tipificación agronómica de líneas clonales de chufa (*Cyperus esculentus* L.) cultivadas en Valencia. *Actas del III Congreso, S.E.C.H.*
- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1981a. Influencia de la fecha de plantación en la productividad de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). *Levante Agrícola* 239: 518-523
- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1981b. Influencia del suelo en el cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). *Agricultura* 592: 873-875 (+594: 39)
- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1982a. Basic study of the hypothetical dormancy of tubers from the Spanish cultivated populations of chufa (*Cyperus esculentus* L.). XX1st International Horticultural Congress. Abstracts vol. I: 1519
- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1982b. The productive response of the chufa crop (*Cyperus esculentus* L.) to different mineral fertilizer combination and determination of fertilizer extraction and its evolution over the chufa cycle. XX1st International Horticultural Congress. Abstracts vol. I: 1607
- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1984a. Ensayos de contenedores y en pleno campo sobre la influencia de la fecha de plantación del cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). *Anales del I.N.I.A. Serie Agrícola* 25: 79-86



- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1984b. Estudio básico sobre la hipotética latencia de los tubérculos de las poblaciones valencianas de chufa (*Cyperus esculentus* L.). Anales del I.N.I.A. Serie Agrícola 25: 67-77
- PASCUAL, B. y MAROTO, J.V. 1984c. Estudios agronómicos realizados en el cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). Ed. Patronato Prov. de Capacitación Agr. Dip. Prov. Valencia. 152 pp.
- PASCUAL, B.; MAROTO, J.V.; LÓPEZ-GALARZA, S.; CASTELL-ZEISING, V. y BONO, M.S. 1994. Fertilization, nutrition and productive response on chufa crop (*Cyperus esculentus* L.). XXIVth International Horticultural Congress (en prensa)
- PEYRÓ, R. y SERRA, J.A. 1984. Estudio analítico de la variación a lo largo del ciclo de cultivo del calcio, magnesio y principales micronutrientes en los distintos órganos de la planta de chufa y evaluación de las extracciones totales. En: Pascual, B. y Maroto, J.V. 1984. Estudios agronómicos realizados en el cultivo de la chufa (*Cyperus esculentus* L.). Ed. Patronato Provincial de Capacitación Agraria, Diputación Provincial de Valencia. 152 pp.
- SANCHEZ TAMÉS, R.; GESTO, M.D.V. y VIEITEZ, E. 1973. Growth substances isolated from tubers of *Cyperus esculentus* var. *aureus*. *Physiol. Plant.* 28: 195-200
- SCHULTZE -MOTEL, W. 1980. *Cyperus*. En HEGI: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. 3ª ed. vol. II, parte 1: 80-84
- SCHWARTZ, M.; COSTELL, E. y GASQUE, F. 1984. Efecto de los tratamientos de estabilización de la horchata de chufa (*Cyperus esculentus* L.) sobre su color y su viscosidad. *Rev. Agroquím. Technol. Alimentos* 24: 271-277
- SCHEFFE, H. 1959. The analysis of variance. Ed. J. Wiley & Sons, Inc. 477 pp.
- SERRALLACH, J. 1927. Die Wurzellknolle von *Cyperus esculentus* L. Tesis Doctoral. Frankfurt. 70 pp.
- SNEDECOR, G.W. y COCHRAN, W.G. 1978. Métodos estadísticos. CECSA, México. 704 pp.
- SOHEIR, M.E.; AMEEN, M.A. y FERIAL, M.A.S. 1986. Fatty acid composition of germinated and ungerminated yellow nutsedge oil. *Zagazig J. Agric. Res.* 13: 539-555
- STOLLER, E.W. 1973. Effect of minimum soil temperature on differential distribution of *Cyperus rotundus* and *C. esculentus* in the United States. *Weed Res.* 13: 209-217
- STOLLER, E.W.; NEMA, D.P. y BHAN, V.M. 1972. Yellow nutsedge tuber germination and seedling development. *Weed Sci.* 20: 93-97
- STOLLER, E.W. y WAX, L.M. 1973. Yellow nutsedge shoot emergence and tuber longevity. *Weed Sci.* 21: 76-81
- STOLLER, E.W.; WAX, L.M. y SLIFE, F.W. 1979. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) competition and control in corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 27: 32-37
- STOLLER, E.W. y WEBER, E.J. 1975. Differential cold tolerance, starch, sugar, protein and lipid of yellow and purple nutsedge tubers. *Plant Physiol.* 55: 859-863
- TAYLORSON, R.B. 1967. Seasonal variation in sprouting and available carbohydrate in yellow nutsedge tubers. *Weeds* 15: 22-24

- TER BORG, S.J.; DE NIJS, L.J. y VAN OENE, H. 1988. Intraspecific variation of *Cyperus esculentus* L. in the Netherlands; a preliminary report. VIIIème Coll. Int. sur la Biol., l'Ecol. et la System. des Mauvaises Herbes: 181-185
- TER BORG, S.J. y SCHIPPERS, P. 1992. Distribution of varieties of *Cyperus esculentus* L. (yellow nutsedge) and their possible migration in Europe. IIème Coll. Int. sur la Biol. des Mauvaises Herbes: 417-425
- THOMAS, P.E.L. 1967. A preliminary study on the dormancy of *Cyperus esculentus* tubers. PANS (C) 13: 329-333
- THOMAS, P.E.L. 1969. Effects of dessication and temperature on survival of *Cyperus esculentus* tubers and *Cynodon dactylon* rhizomes. Weed Res. 9: 1-8
- THULLEN, R.J. y KEELEY, P.E. 1975. Yellow nutsedge sprouting and resprouting potential. Weed Sci. 23: 333-337
- THULLEN, R.J. y KEELEY, P.E. 1979. Seed production and germination in *Cyperus esculentus* and *C. rotundus*. Weed Sci. 27: 502-505
- TUMBLESON, M.E. y KOMMEDAHL, T. 1961. Reproductive potential of *Cyperus esculentus* by tubers. Weeds 9: 646-653
- VALLS, C.; DÍAZ, A. y TORIJA, M.E. 1980. Estudio de los elementos minerales de los tubérculos de *Cyperus esculentus* (chufa). Anal. Bromatol. XXXII: 139-144
- VAN GROENENDAEL, J.M. y HABEKOTTE, B. 1988. *Cyperus esculentus* L. - biology, population dynamics and possibilities to control this neophyte. Z. PflKrankh. Pflschutz. Sonderh. XI: 61-69
- VAYÁ, J.L. 1981. Técnicas de producción de la chufa en Valencia. Ed. I.A.T.A. Valencia. 206 pp.
- VIDAL-VALVERDE, C.; BLANCO, I. y ROJAS-HIDALGO, E. 1982. Pectic substances in fresh, dried, dessicated and oleaginous Spanish fruits. J. Agric. Food Chem. 30: 832-835
- WILLKOMM, M. y LANGE, J. 1870. Prodomus - *Florae hispanicae*. Vol. I. Stuttgart
- WILLS, G.D. 1987. Description of purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*). Weed Technology 1: 2-9
- WILLS, G.D.; HOAGLAND, R.E. y PAUL, R.N. 1980. Anatomy of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). Weed Sci. 28: 432-437

## **ANEJOS**

**ANEJO 1. DATOS CLIMÁTICOS**

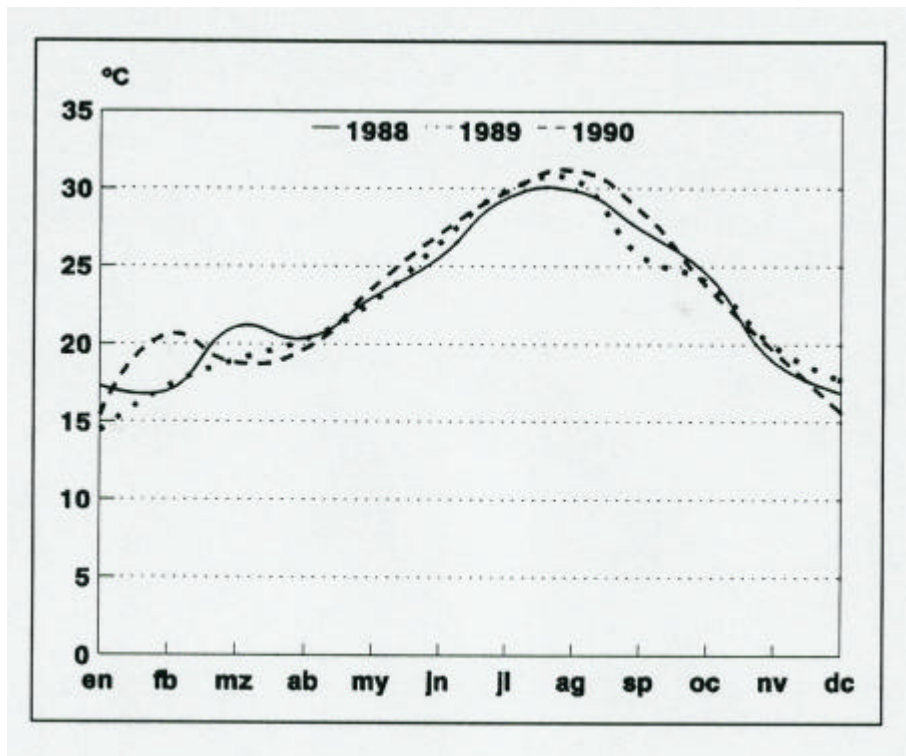


Figura 14. Evolución de las temperaturas máximas mensuales (1988 - 1990)

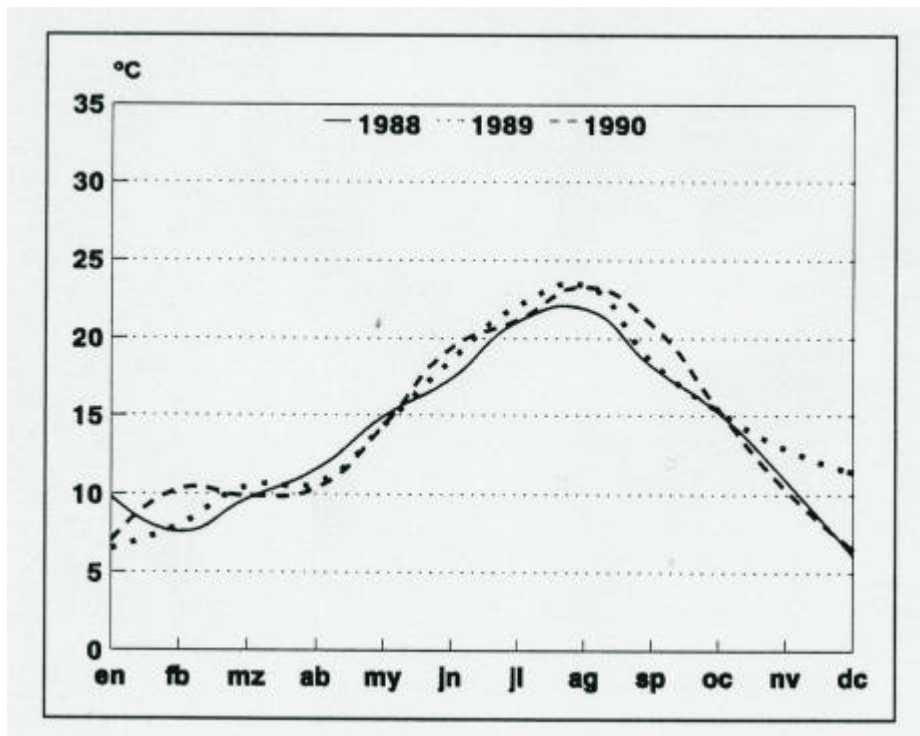


Figura 15. Evolución de las temperaturas mínimas mensuales (1988- 1990)

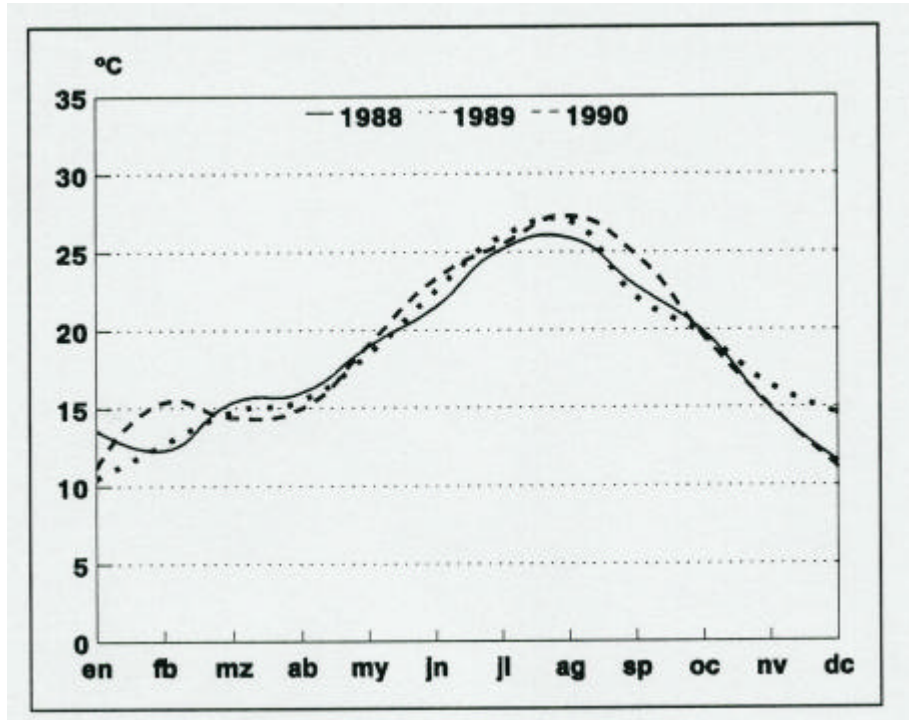


Figura 16. Evolución de las temperaturas medias mensuales (1988 - 1990)

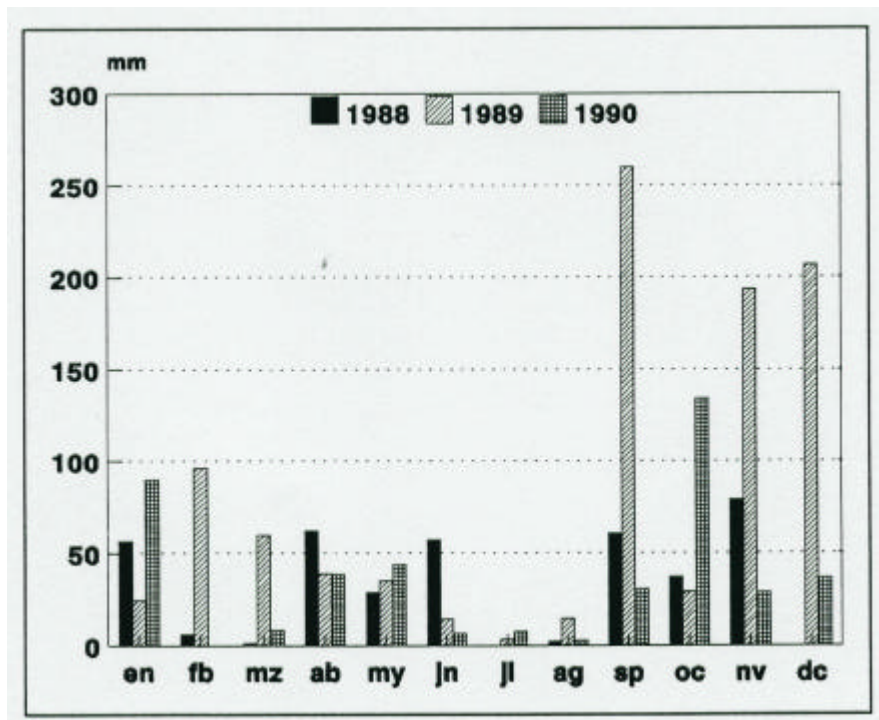


Figura 17. Evolución de las precipitaciones mensuales (1988 - 1990)

ANEJO 2. MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS

Cuadro 31. Año 1. Datos determinados sobre las plantas: número de brotes por tubérculo inicial, altura de la planta (en cm), relación altura planta/número brotes y número de inflorescencias (por ha)<sup>78</sup>

	campo (bloques)				contenedores					
	A	B	C	media	1	2	3	4	media	
<b>número de brotes por tubérculo inicial</b>										
a	34,5	17,3	33,0	28,3 c	37	40	25	42	36,0 f	
ß	48,5	53,3	38,3	46,7 b	138	142	124	128	133,0 ab	
?	43,5	55,3	65,5	54,8 ab	71	70	63	78	70,5 e	
d	5e,8	47,8	50,3	51,6 ab	132	120	127	149	132,0 abc	
e	84,3	42,8	64,0	55,5 ab	144	132	168	154	149,5 a	
?	43,0	65,8	50,5	53,1 ab	122	124	114	150	127,5 bc	
?	65,3	59,0	40,8	55,0 ab	116	104	106	80	101,5 d	
?	44,5	44,8	52,3	47,2 b	102	109	122	117	112,5 cd	
?	62,8	66,8	49,5	56,3 ab	93	78	123	90	96,0 d	
µ	56,0	61,8	82,8	60,2 a	156	152	123	172	150,8 a	
<b>altura de la planta (en cm)</b>										
a	75,3	76,3	71,3	74,3 abc	48	46	48	55	48,8 d	
ß	73,0	81,8	75,8	76,8 ab	69	63	66	67	66,3 abc	
?	67,5	77,3	75,0	73,3 abc	50	55	50	47	50,5 d	
d	65,0	75,5	75,0	71,8 bc	61	70	71	66	67,0 abc	
e	71,5	86,5	77,5	78,8 a	69	72	70	75	71,5 a	
?	76,5	69,3	74,0	73,3 abc	69	67	65	70	67,8 ab	
?	77,0	70,8	73,8	73,8 abc	60	57	63	66	61,5 c	
?	83,3	64,5	73,5	73,8 abc	60	62	66	58	61,5 c	
?	71,0	68,5	72,3	70,6 c	62	69	71	84	66,5 abc	
µ	81,0	71,8	77,3	76,7 ab	69	67	57	66	64,8 bc	
<b>relación altura planta/número brotes</b>										
a	2,41	4,61	2,53	3,19 a	1,24	1,15	1,92	1,31	1,41 a	
ß	1,81	1,61	2,12	1,78 b	0,50	0,44	0,53	0,52	0,50 c	
?	1,60	1,41	1,17	1,39 b	0,70	0,79	0,79	0,60	0,72 b	
d	1,22	1,59	1,55	1,45 b	0,46	0,58	0,56	0,44	0,51 c	
e	1,15	2,04	1,22	1,52 b	0,48	0,55	0,42	0,49	0,48 c	
?	1,82	1,14	1,49	1,48 b	0,57	0,54	0,57	0,47	0,54 bc	
?	1,27	1,22	1,90	1,46 b	0,52	0,58	0,59	0,83	0,62 bc	
?	1,97	1,53	1,58	1,69 b	0,59	0,57	0,54	0,50	0,55 bc	
?	1,47	1,15	1,91	1,51 b	0,67	0,88	0,58	0,71	0,71 b	
µ	1,54	1,17	1,29	1,33 b	0,44	0,44	0,46	0,38	0,43 c	
<b>inflorescencias/ha</b>										
a	27043	14582	1040	14215						
ß	4160	0	0	1387						
?	9361	0	0	3120						
d	1040	0	0	347						
e	2080	0	0	693						
?	2080	1040	0	1040						
?	0	2080	0	693						
?	0	0	0	0						
?	0	2080	0	693						
µ	1040	0	0	347						

<sup>78</sup> En las columnas de valores medios de las tablas de datos letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas a un nivel del 0,05, basándose en la comparación múltiple de medias aplicando el test de Duncan

**Cuadro 32.** Año 1. Evolución temporal del número de brotes por tubérculo inicial, de la altura de la planta (en cm) y del encamado (valores medios) en función de los días transcurridos desde la plantación

	campo			contenedores										
	número de brotes por tubérculo inicial													
días ?	41	52	63	15	22	28	37	42	49	58	64	72	84	100
a	16,7	24,2	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	6,5	9,5	31,3	36,0
ß	23,5	35,3	46,7	0,5	2,0	2,8	8,8	13,5	18,0	32,5	65,3	76,3	118,8	133,0
?	27,8	38,8	54,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0	7,0	15,0	53,8	70,5
d	25,2	37,8	51,6	2,3	2,3	8,0	15,0	22,8	36,5	61,3	75,8	89,5	123,0	132,0
e	31,6	40,4	55,5	2,3	2,3	7,5	18,3	25,3	39,5	62,5	87,0	112,8	141,8	149,5
?	33,3	44,3	53,1	1,5	3,3	5,8	15,5	23,3	34,8	52,8	64,5	80,3	117,3	127,5
?	30,4	42,8	55,0	0,8	2,3	4,3	12,3	15,0	21,5	28,3	54,3	64,5	97,8	101,5
?	25,6	37,3	47,2	1,3	2,0	5,8	14,0	19,0	23,0	42,0	64,0	81,3	106,5	112,5
?	26,8	41,1	56,3	0,5	2,5	4,8	13,0	18,5	21,8	32,3	63,3	81,3	90,3	96,0
µ	22,8	45,5	60,2	1,5	1,5	5,3	12,3	16,5	22,8	43,0	60,3	70,5	114,5	150,8
	altura de la planta (en cm)													
a	45,1	63,5	74,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	26,5	36,3	45,8	48,8
ß	37,5	59,1	76,8	0,8	16,3	22,3	26,3	28,3	31,5	35,0	45,0	53,0	58,8	66,3
?	40,2	58,8	73,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	12,3	20,5	29,8	41,0	50,5
d	35,5	56,1	71,8	9,3	16,8	21,3	26,5	28,3	34,3	41,3	48,3	52,0	60,5	67,0
e	38,5	60,5	78,8	5,0	12,0	18,0	26,0	29,3	35,0	42,8	49,3	54,8	67,3	71,5
?	35,1	57,9	73,3	5,5	17,3	22,8	25,8	26,5	29,8	37,5	46,3	50,5	60,5	67,8
?	32,8	56,4	73,8	1,6	5,8	12,0	18,0	20,5	23,8	31,8	38,0	42,8	53,0	61,5
?	35,5	58,5	73,8	1,3	6,5	12,0	21,3	23,8	28,3	34,5	43,8	47,0	52,0	61,5
?	32,3	55,5	70,6	0,5	8,8	14,0	19,8	24,5	29,3	34,0	42,8	49,0	54,8	66,5
µ	32,6	60,6	76,7	4,8	9,0	13,3	22,3	26,0	31,5	34,0	40,0	46,0	52,5	64,8
	encamado (campo)													
días ?	81	94	105											
a	2,0	2,8	3,2											
ß	2,0	3,3	3,9											
?	2,2	3,3	3,8											
d	2,2	3,7	4,1											
e	1,7	3,2	3,8											
?	2,3	3,4	4,2											
?	2,3	3,6	4,0											
?	2,5	3,6	4,1											
?	2,5	3,7	4,2											
µ	2,2	3,5	4,1											

**Cuadro 33.** Año 2. Datos determinados sobre las plantas: número de brotes por tubérculo inicial, altura de la planta (en cm), relación altura planta/número brotes y número de inflorescencias (por ha).

campo (bloques)					contenedores									
A	B	C	D	media	1	2	3	4	5	6	media			
					<b>número de brotes por tubérculo inicial</b>									
					a <sub>1</sub>	46	36	48	41	35	40	41,0	b	
					a <sub>2</sub>	34	24	37	43	37	46	36,8	b	
					β	106	124	128	132	142	131	127,2	a	
					?	156	133	121	121	115	116	127,0	a	
					d	-	98	110	143	92	131	120,5	a	
					?	121	95	122	111	120	158	121,2	a	
					?	124	137	97	118	128	99	117,2	a	
					μ	120	115	123	138	102	69	111,2	a	
					<b>altura de la planta (en cm)</b>									
a <sub>1</sub>	97,0	98,5	98,8	95,0	97,3	b	71	71	71	66	69	68	69,3	ab
a <sub>2</sub>	105,5	96,5	91,8	96,0	97,4	b	65	63	66	67	66	67	65,7	b
β	109,5	109,8	99,8	101,8	105,2	a	61	84	77	80	80	73	75,8	a
?	106,3	96,8	111,3	110,0	106,1	a	70	77	70	80	69	79	74,2	a
d	102,5	104,5	104,5	108,5	105,0	a	-	72	75	82	70	70	73,5	a
?	106,0	106,0	99,5	107,5	104,8	a	75	73	65	71	71	65	70,0	ab
?	103,8	107,3	114,0	107,5	108,1	a	75	80	68	72	77	65	72,8	a
μ	108,0	109,0	108,3	109,3	108,8	a	69	85	81	77	71	53	72,7	a
					<b>relación altura planta/número brotes</b>									
					a <sub>1</sub>	1,54	1,97	1,48	1,81	1,97	1,70	1,71	a	
					a <sub>2</sub>	1,91	2,63	1,78	1,56	1,78	1,46	1,85	a	
					β	0,58	0,68	0,60	0,61	0,58	0,56	0,60	b	
					?	0,45	0,58	0,58	0,66	0,80	0,68	0,59	b	
					d	-	0,73	0,68	0,57	0,76	0,53	0,86	b	
					?	0,62	0,77	0,53	0,64	0,59	0,41	0,59	b	
					?	0,80	0,58	0,70	0,61	0,60	0,66	0,63	b	
					μ	0,58	0,74	0,68	0,56	0,70	0,77	0,87	b	
					<b>inflorescencias/ha</b>									
a <sub>1</sub>	62322	39332	80871	35242	54439	a								
a <sub>2</sub>	35613	39322	88290	49709	53234	a								
β	1113	371	1855	1484	1206	b								
?	371	371	7790	2597	2782	b								
d	2597	1484	5935	2988	3246	b								
?	1855	1484	10387	1855	3895	b								
?	3710	371	2968	371	1855	b								
μ	1855	742	5935	371	2226	b								



**ANEJO 2. Morfología y fisiología de las plantas**

**Cuadro 34.** Año 2. Evolución temporal del número de brotes por tubérculo inicial, de la altura de la planta (en cm) y del encamado (valores medios) en función de los días transcurridos desde la plantación

		campo					contenedores															
		número de brotes por tubérculo inicial																				
días ?		27	33	41	63	77	8	11	13	16	18	20	22	25	27	29	33	40	48	55	69	77
a <sub>1</sub>		2,3	4,7	9,0	21,6	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	1,0	1,5	3,0	3,2	6,3	12,2	20,2	33,8	41,0
a <sub>2</sub>		2,4	5,1	8,6	24,1	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	2,2	3,5	9,2	15,3	29,7	36,8	
β		2,5	6,7	14,1	-	-	0,5	1,5	2,2	2,2	2,3	2,7	4,0	5,8	6,7	8,2	12,6	24,3	46,2	65,0	99,8	127,2
?		3,3	8,9	17,2	-	-	0,0	2,0	2,2	2,5	2,5	2,7	4,3	6,8	8,3	9,2	12,5	31,2	58,2	78,5	117,2	127,0
d		3,2	8,1	15,4	-	-	0,3	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	4,0	5,8	7,2	9,5	13,5	23,0	41,0	83,2	111,0	120,5
?		3,5	9,5	17,5	-	-	0,0	2,2	2,5	3,0	3,0	3,3	4,3	7,2	9,2	10,8	14,3	31,0	55,5	70,3	112,0	121,2
?		3,6	8,3	15,9	-	-	0,0	0,7	1,2	1,5	1,5	1,8	2,3	3,3	5,5	8,2	9,7	21,5	39,5	55,5	92,8	117,2
μ		2,8	7,8	15,4	-	-	0,0	1,5	1,8	2,3	2,3	2,3	3,7	5,2	6,2	9,5	18,8	36,5	51,0	94,3	111,2	
		altura de la planta (en cm)																				
a <sub>1</sub>		14,3	23,0	37,8	81,1	97,3	0,2	1,2	1,5	2,3	2,7	3,0	3,2	3,8	4,7	7,3	15,3	28,5	44,0	56,3	68,7	69,3
a <sub>2</sub>		14,2	21,6	38,7	92,4	97,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	10,2	25,0	38,5	52,3	64,3	85,7
β		14,1	21,6	33,7	85,3	105,2	0,5	4,2	8,2	10,0	12,2	14,0	16,0	17,5	19,3	19,7	23,7	37,3	49,8	80,2	71,8	75,8
?		15,0	22,3	35,4	88,0	106,1	0,0	2,5	4,8	8,8	10,5	12,7	14,2	16,7	17,7	18,7	24,0	37,7	50,2	58,8	69,7	74,2
d		13,8	20,8	34,1	83,1	105,0	0,5	2,5	4,7	9,0	10,8	12,5	14,2	16,3	17,5	18,5	22,7	30,3	40,5	57,3	70,0	73,5
?		13,1	20,1	31,4	81,1	104,8	0,0	2,2	4,0	8,0	10,2	11,5	13,2	15,5	17,0	17,7	22,7	36,2	46,0	54,0	68,5	70,0
?		12,5	19,6	32,6	83,1	108,1	0,0	1,0	2,5	5,8	6,7	8,5	9,3	10,7	11,5	12,7	19,2	31,5	43,7	53,2	68,3	72,8
μ		14,2	20,9	32,2	86,0	108,6	0,0	1,5	2,8	5,7	6,8	8,8	10,7	12,0	13,0	14,0	19,0	31,7	44,3	53,2	66,5	72,7
		encamado																				
días ?		77	86	93	100	109	114	125														
a <sub>1</sub>		0,5	0,8	0,9	1,4	1,6	1,6	2,9														
a <sub>2</sub>		0,6	0,8	0,9	1,4	1,6	1,6	3,1														
β		0,5	1,3	1,8	2,4	3,1	3,5	4,0														
?		1,3	1,5	1,9	2,4	3,0	3,1	3,6														
d		0,8	1,6	2,0	2,5	3,4	3,6	4,0														
?		1,1	1,3	1,8	2,3	3,0	3,3	3,5														
?		1,3	1,6	2,0	2,5	3,4	3,4	3,8														
μ		0,8	1,3	1,8	2,5	3,3	3,5	4,0														

**Cuadro 35.** Año 3. Datos determinados sobre las plantas: número de brotes por tubérculo inicial, altura de la planta (en cm), relación altura planta/número brotes y número de inflorescencias (por ha)

	campo (bloques)					contenedores								
	A	B	C	D	media	1	2	3	4	5	6	media		
<b>número de brotes por tubérculo inicial</b>														
a <sub>1</sub>	49,5	45,8	42,5	33,0	42,5	b	56	55	58	40	71	72	58,7	b
a <sub>2</sub>	40,3	40,4	31,0	45,5	38,6	b	38	40	52	48	39	52	44,8	b
β	83,1	101,8	83,4	96,5	90,6	a	146	140	153	115	100	134	131,3	a
?	94,6	101,3	88,8	87,0	93,9	a	164	156	125	165	144	134	148,0	a
?	56,4	83,8	98,9	103,8	83,3	a	151	215	125	95	137	127	141,7	a
μ	92,8	80,8	102,6	82,0	90,8	a	131	137	170	129	155	100	137,0	a
<b>altura de la planta (en cm)</b>														
a <sub>1</sub>	75,9	68,9	83,6	74,0	76,0	c	82	83	83	75	76	76	79,2	a
a <sub>2</sub>	75,8	75,8	75,9	72,8	75,5	c	72	70	74	64	71	60	68,5	b
β	74,6	88,8	82,5	88,8	83,1	a	62	66	64	71	70	68	66,8	bc
?	74,9	74,0	78,4	83,8	77,1	e	83	66	69	68	69	65	66,7	bc
?	69,6	80,8	84,1	78,8	78,4	bc	62	71	84	67	60	59	63,8	c
μ	79,1	76,8	88,3	80,0	81,3	ab	83	66	72	72	89	84	67,7	bc
<b>relación altura planta/número brotes</b>														
a <sub>1</sub>	1,93	1,74	2,26	2,31	2,06	a	1,46	1,51	1,43	1,88	1,07	1,06	1,40	a
a <sub>2</sub>	2,00	2,07	2,60	1,63	2,08	a	1,89	1,75	1,42	1,33	1,82	1,15	1,56	a
β	0,92	0,91	1,04	0,97	0,96	b	0,42	0,47	0,42	0,62	0,70	0,51	0,52	b
?	0,82	0,77	0,92	0,99	0,87	b	0,38	0,42	0,55	0,41	0,48	0,49	0,46	b
?	1,38	0,99	0,94	0,78	1,02	b	0,41	0,33	0,51	0,71	0,44	0,48	0,48	b
μ	0,87	0,98	0,97	1,00	0,95	b	0,48	0,48	0,42	0,56	0,45	0,64	0,50	b
<b>inflorescencias/ha</b>														
a <sub>1</sub>	16841	16841	55001	49945	34657	a								
a <sub>2</sub>	24724	61451	58047	38749	45742	a								
β	4837	3941	3941	781	3370	b								
?	2150	12899	6450	2137	5909	b								
?	8241	9495	10570	7286	8898	b								
μ	4658	2867	1075	3423	3008	b								

**ANEJO 2. Morfología y fisiología de las plantas**

**Cuadro 36.** Año 3. Evolución temporal del número de brotes por tubérculo inicial, de la altura de la planta (en cm) y del encamado (valores medios) en función de los días transcurridos desde la plantación

campo				contenedores															
				número de brotes por tubérculo inicial															
días ?	54	64	79	10	13	17	20	24	27	31	34	41	45	48	54	71	77	85	101
a <sub>1</sub>	23,6	33,4	42,5	0,2	0,5	0,5	0,8	1,2	1,3	1,7	2,0	2,8	5,0	5,8	8,8	20,0	24,8	47,7	58,7
a <sub>2</sub>	23,1	30,9	38,6	0,3	0,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,8	2,2	3,7	5,2	6,3	9,3	15,0	17,7	25,3	44,8
β	43,3	65,7	90,6	0,3	0,3	0,3	0,7	1,7	2,2	2,2	2,5	5,2	8,2	9,5	13,7	40,5	59,5	91,2	131,3
?	50,1	68,7	93,9	0,7	1,0	1,7	2,5	2,7	3,5	4,8	6,7	8,7	13,2	14,8	23,2	61,2	76,2	91,2	148,0
?	50,4	64,9	83,3	1,3	1,7	2,2	2,3	2,7	3,3	4,5	5,3	6,7	10,8	13,5	20,0	49,3	68,5	117,3	141,7
μ	45,2	63,8	90,8	0,3	1,0	1,2	1,2	2,0	2,3	2,7	3,2	4,7	8,0	8,7	15,0	42,2	63,3	116,3	137,0
				altura de la planta (en cm)															
a <sub>1</sub>	58,5	66,5	76,0	0,3	1,4	2,9	4,9	7,3	9,3	11,6	13,6	19,3	26,1	28,2	34,7	48,2	53,5	65,2	79,2
a <sub>2</sub>	62,1	68,0	75,5	0,8	2,8	8,4	8,3	9,6	11,1	13,3	15,2	21,2	28,0	30,2	35,5	48,2	53,7	59,7	68,5
β	59,7	70,0	83,1	0,7	1,6	2,3	3,0	6,1	9,3	13,3	15,2	19,8	25,0	28,8	30,2	42,0	48,0	56,7	66,8
?	58,1	66,9	77,1	1,4	4,0	7,6	10,4	12,9	15,3	18,3	19,8	22,1	27,2	28,7	34,3	43,8	47,7	51,5	66,7
?	58,7	66,7	78,4	1,8	4,7	8,0	9,3	10,5	11,5	13,8	15,7	19,8	25,8	28,0	32,2	41,3	46,3	51,2	63,8
μ	57,2	65,8	81,3	0,5	2,3	4,1	5,4	7,9	9,6	12,7	14,4	19,0	25,4	27,7	32,0	44,5	49,5	60,0	67,7
				encamado (campo)															
días ?	94	105	123	132	140														
a <sub>1</sub>	0,5	0,5	1,1	2,0	2,3														
a <sub>2</sub>	0,5	0,5	1,1	2,1	2,3														
β	0,9	1,3	2,1	3,0	3,1														
?	1,3	1,6	2,3	2,9	3,0														
?	1,1	1,5	2,1	2,9	3,0														
μ	1,1	1,3	1,9	2,9	2,9														

Estudio conjunto del periodo considerado

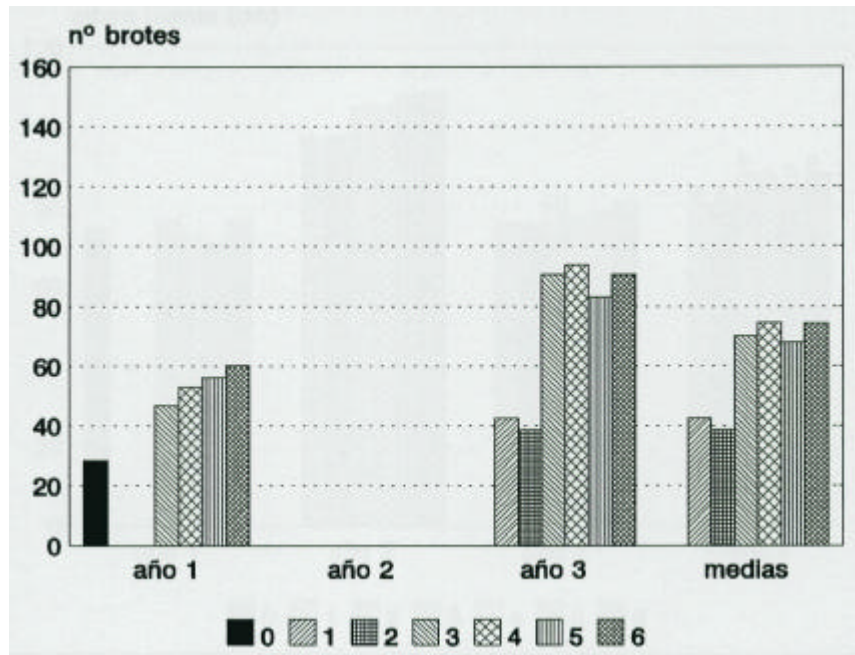


Figura 18. Campo. Histograma de medias correspondiente al número de brotes por tubérculo inicial<sup>79</sup>

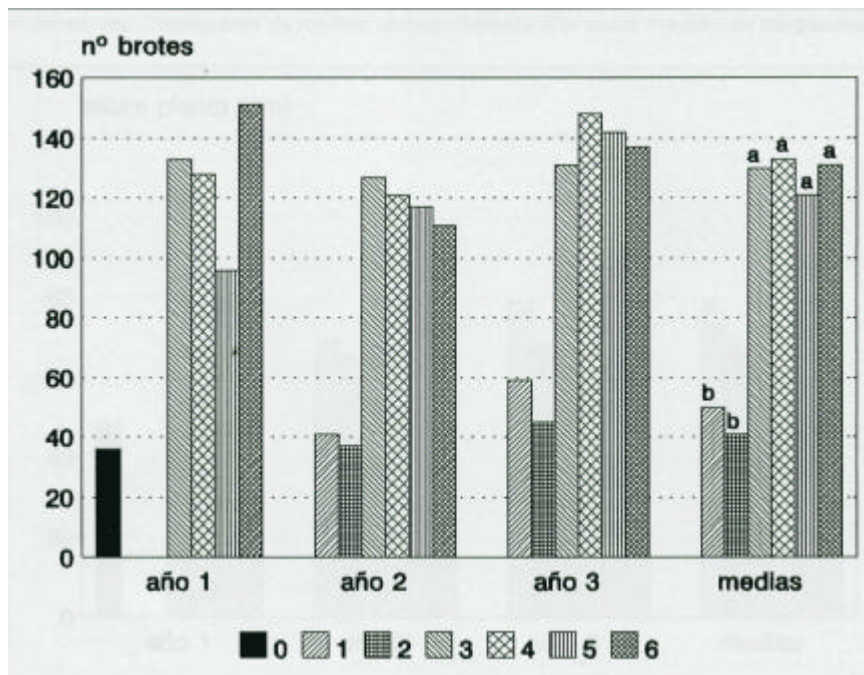


Figura 19. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al número de brotes por tubérculo inicial

<sup>79</sup> Debido a problemas con el manejo del programa de gráficos no se han podido visualizar las denominaciones de los diferentes clones aplicando el alfabeto griego. Por ello, se ha establecido la equivalencia entre la nomenclatura asignada a los clones y la que aparece en las leyendas de las gráficas de la forma siguiente:

a = 0; a<sub>1</sub> = 1; a<sub>2</sub> = 2; β = 3; ? = 4; ? = 5; μ = 6

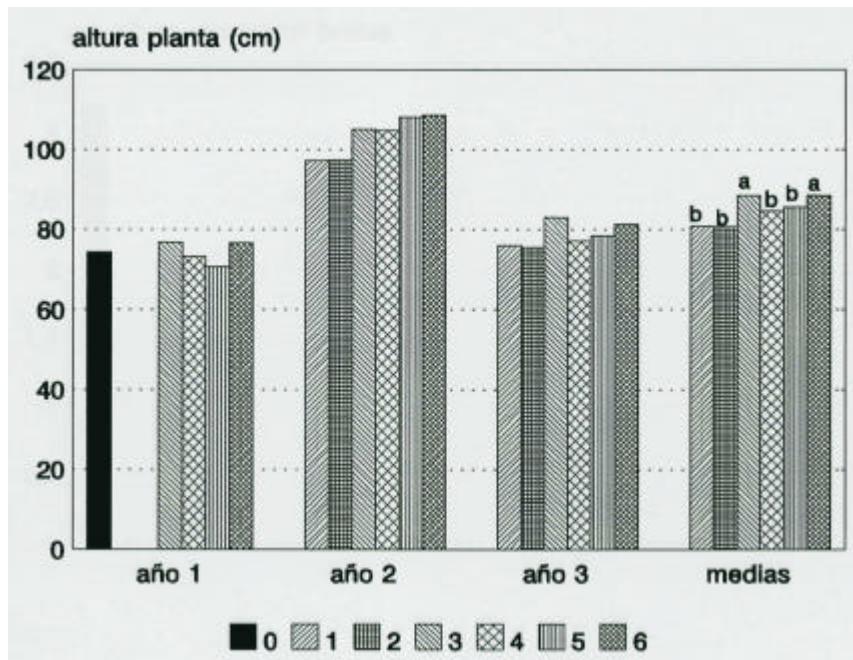


Figura 20. Campo. Histograma de medias correspondiente a la altura máxima de las plantas (en cm)

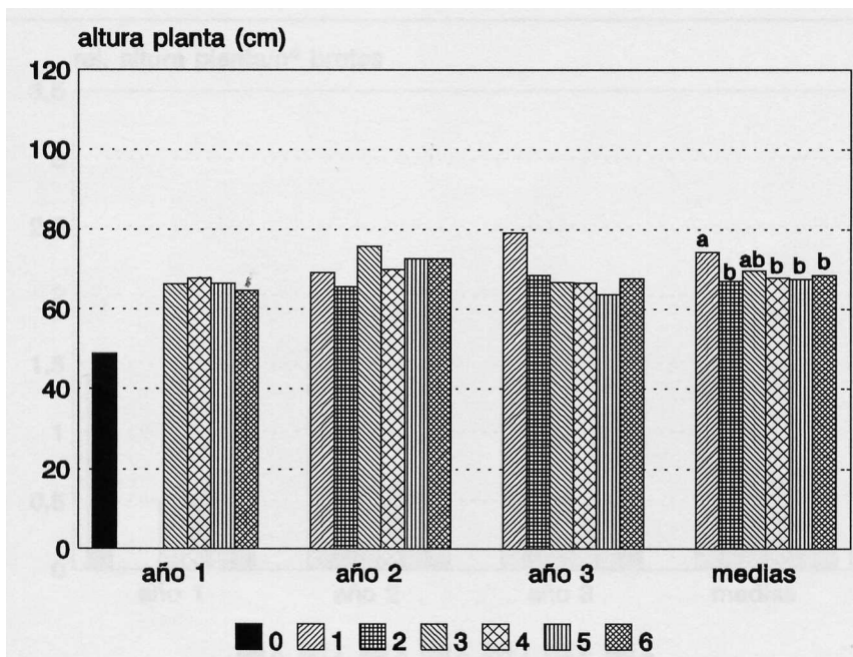


Figura 21. Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la altura máxima de las plantas (en cm)

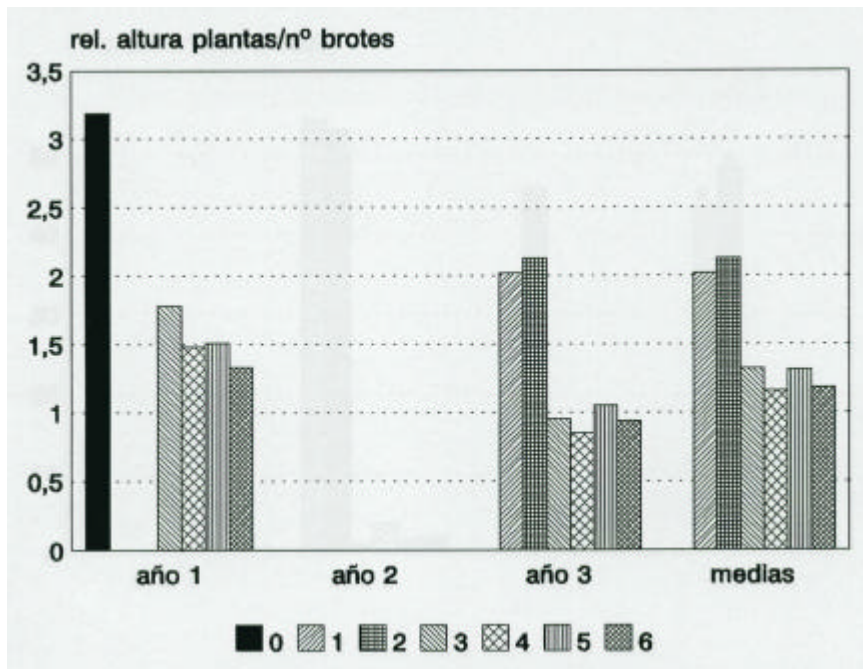


Figura 22. Campo. Histograma de medias correspondiente a la relación altura de planta/número de brotes

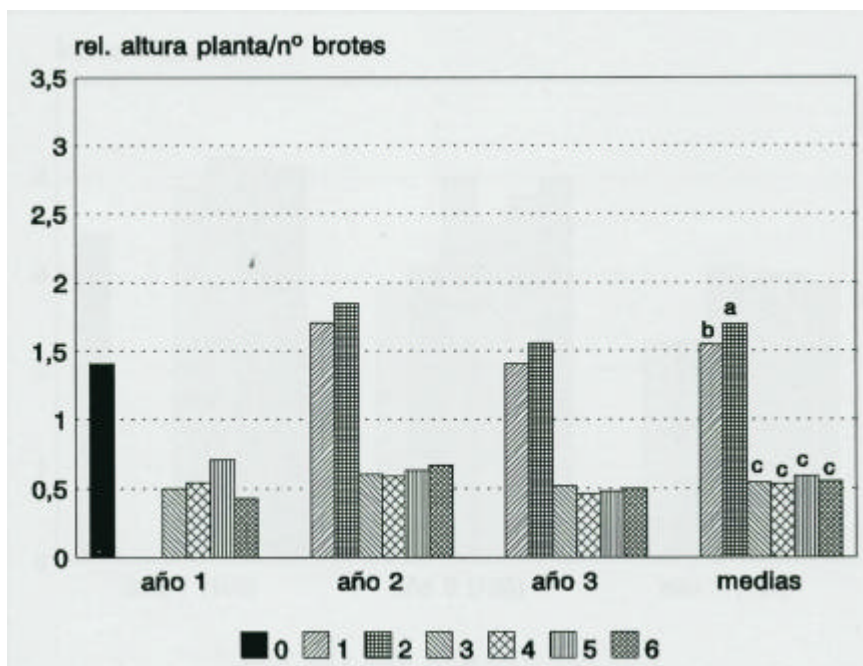


Figura 23. Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la relación entre la altura de planta/número de brotes

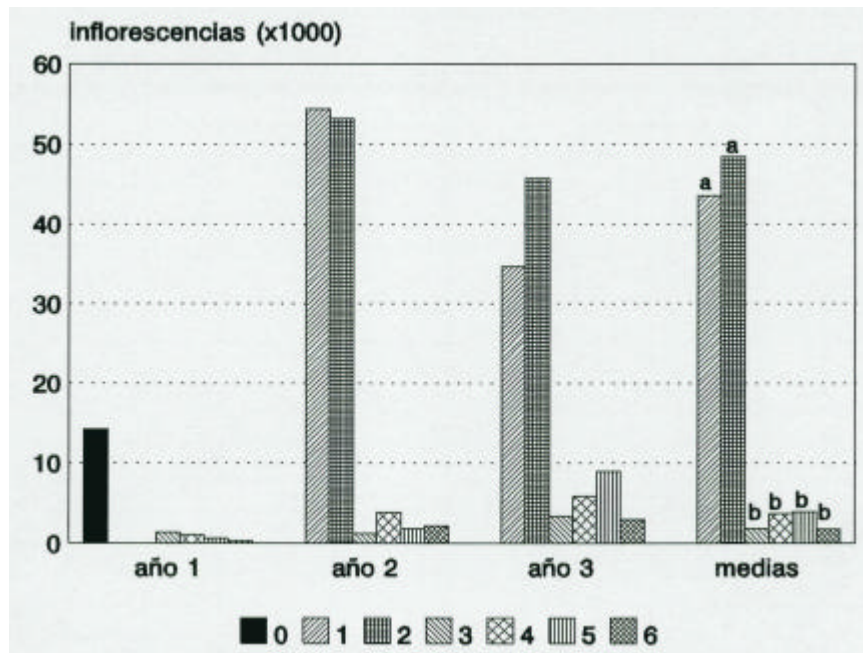


Figura 24. Campo. Histograma de medias correspondientes al número de inflorescencias/ha

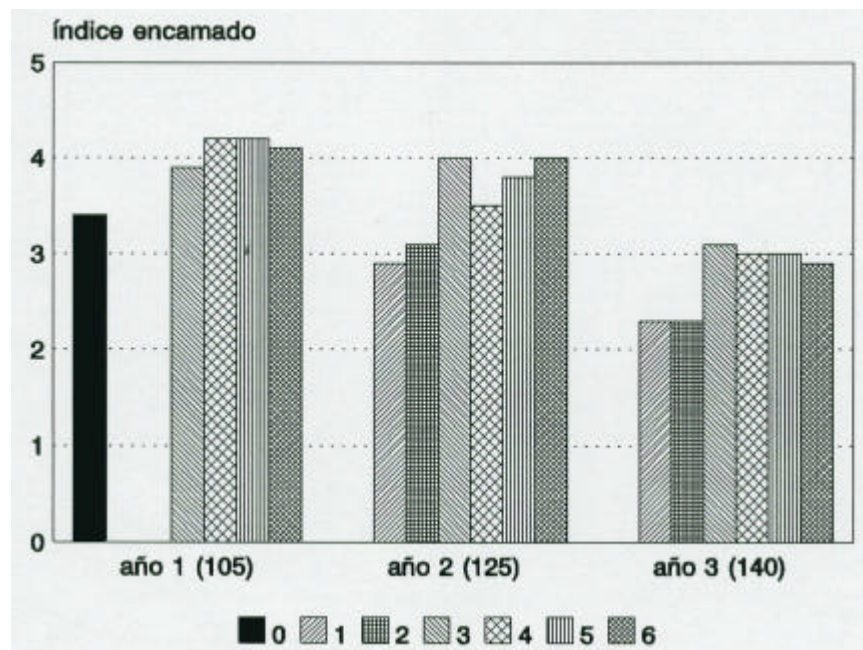


Figura 25. Campo. Histograma de medias correspondiente al encamado de las plantas (entre paréntesis "n° de días tras la fecha de plantación")

ANEJO 3. MORFOLOGÍA DE LOS TUBÉRCULOS

Cuadro 37. Año 1. Datos determinados sobre los tubérculos: relación longitud/anchura, longitud (en cm), anchura (en cm), peso fresco unitario (en g) y número de nudos

	campo (bloques)				contenedores						
	A	B	C	media	1	2	3	4	media		
<b>relación longitud/anchura</b>											
a	1,81	1,78	1,68	1,77	abc	2,02	1,89	2,10	1,73	1,94	a
β	1,11	1,11	1,09	1,10	e	1,15	1,18	1,11	1,20	1,16	f
?	1,82	1,87	1,71	1,82	a	1,56	1,36	1,52	1,49	1,48	d
d	1,73	1,78	1,60	1,73	bc	1,24	1,29	1,25	1,21	1,25	e
e	1,07	1,13	1,05	1,08	e	1,17	1,13	1,16	1,18	1,16	f
?	1,70	1,86	1,82	1,79	ab	1,57	1,62	1,60	1,49	1,57	c
?	1,75	1,77	1,79	1,78	abc	1,86	1,62	1,64	1,82	1,64	b
?	1,84	1,80	1,78	1,81	a	1,48	1,48	1,42	1,54	1,48	d
?	1,65	1,71	1,78	1,72	c	1,60	1,56	1,60	1,62	1,59	bc
μ	1,45	1,08	1,10	1,25	d	1,16	1,15	1,19	1,17	1,17	f
<b>longitud (en cm)</b>											
a	2,08	2,12	2,00	2,07	a	2,19	2,16	2,14	1,95	2,11	a
β	1,17	1,24	1,22	1,21	f	1,23	1,30	1,34	1,22	1,27	f
?	1,81	1,91	1,67	1,80	b	1,83	1,53	1,53	1,46	1,54	cd
d	1,71	1,88	1,60	1,74	c	1,39	1,46	1,34	1,41	1,40	e
e	1,17	1,23	1,17	1,19	f	1,24	1,20	1,23	1,38	1,25	f
?	1,87	1,77	1,76	1,74	cd	1,57	1,56	1,53	1,50	1,54	cd
?	1,74	1,73	1,88	1,72	cd	1,62	1,53	1,54	1,59	1,57	bc
?	1,80	1,75	1,73	1,76	bc	1,46	1,43	1,44	1,61	1,48	d
?	1,88	1,69	1,68	1,69	d	1,68	1,58	1,85	1,61	1,63	b
μ	1,50	1,25	1,26	1,36	e	1,29	1,28	1,29	1,28	1,28	f
<b>anchura (en cm)</b>											
a	1,17	1,20	1,20	1,18	a	1,10	1,17	1,02	1,13	1,10	a
β	1,07	1,12	1,12	1,10	b	1,07	1,11	1,21	1,02	1,10	a
?	1,00	1,03	0,99	1,00	cd	1,05	1,14	1,01	0,99	1,05	b
d	1,01	1,06	1,02	1,02	c	1,13	1,12	1,07	1,17	1,12	a
e	1,10	1,09	1,12	1,10	b	1,06	1,07	1,07	1,16	1,09	a
?	0,99	0,96	0,97	0,98	d	1,01	0,97	0,96	1,01	0,98	de
?	1,00	0,98	0,94	0,98	d	0,98	0,95	0,95	0,99	0,97	e
?	1,00	0,99	0,99	0,99	d	0,99	0,98	1,02	1,05	1,01	cd
?	1,03	1,00	0,95	0,99	d	1,06	1,02	1,03	1,00	1,03	bc
μ	1,06	1,16	1,15	1,11	b	1,11	1,11	1,09	1,09	1,10	a
<b>peso fresco unitario (en g)</b>											
a	1,65	1,71	1,59	1,64	a	1,76	1,74	1,66	1,59	1,69	a
β	0,87	0,85	0,80	0,77	e	0,70	0,85	0,87	0,81	0,76	d
?	1,03	1,12	0,90	1,01	b	1,03	1,07	0,97	0,91	0,99	b
d	0,95	1,13	0,90	1,00	bc	0,93	1,12	1,01	0,92	1,00	b
e	0,80	0,79	0,78	0,79	e	0,87	0,77	0,81	0,76	0,80	d
?	0,88	0,92	0,93	0,91	d	0,89	0,87	0,92	0,94	0,91	c
?	0,95	0,92	0,86	0,91	d	1,00	0,83	0,89	0,86	0,90	c
?	1,03	0,95	0,92	0,97	bcd	1,13	0,99	1,10	0,82	1,01	b
?	1,00	0,97	0,84	0,94	cd	0,93	1,00	0,96	0,84	0,93	bc
μ	0,91	0,93	0,90	0,91	d	0,87	0,90	0,92	0,88	0,89	c
<b>número de nudos</b>											
a	4,8	4,9	4,7	4,81	d	4,8	4,8	4,8	4,8	4,79	-
β	4,6	4,9	4,8	4,77	d	4,7	4,9	4,8	4,8	4,79	-
?	5,2	5,1	5,1	5,13	ab	4,9	4,9	4,6	4,6	4,75	-
d	5,2	5,2	5,2	5,22	a	4,9	4,9	4,7	4,9	4,81	-
e	4,6	4,7	4,9	4,74	d	4,8	4,8	5,0	4,8	4,83	-
?	5,1	5,0	5,1	5,08	bc	4,9	4,9	4,9	4,8	4,85	-
?	5,1	5,1	5,0	5,07	bc	4,9	4,9	4,8	4,8	4,81	-
?	5,0	5,0	4,9	4,96	c	4,9	4,7	4,7	4,9	4,76	-
?	5,0	5,3	5,1	5,14	ab	4,8	4,8	4,9	4,9	4,84	-
μ	4,8	4,7	4,9	4,80	d	4,7	4,8	5,0	4,9	4,83	-



**ANEJO 3. Morfología de los tubérculos**

**Cuadro 38.** Año 2. Datos determinados sobre los tubérculos: relación longitud/anchura, longitud (en cm), anchura (en cm), peso fresco unitario (en g) y número de nudos

	campo (bloques)					contenedores								
	A	B	C	D	media	1	2	3	4	5	6	media		
<b>relación longitud/anchura</b>														
a <sub>1</sub>	1,42	1,43	1,42	1,31	1,39	b	1,28	1,34	1,82	1,39	1,44	1,39	1,42	c
a <sub>2</sub>	1,74	1,69	1,79	1,53	1,89	a	1,70	1,88	1,77	1,56	1,61	1,65	1,70	a
β	1,17	1,22	1,18	1,22	1,20	e	1,10	1,16	1,15	1,15	1,17	1,12	1,14	d
?	1,66	1,85	1,66	1,70	1,67	a	1,56	1,52	1,64	1,57	1,60	1,72	1,63	b
d	1,30	1,30	1,33	1,30	1,31	c	-	1,10	1,10	1,08	1,14	1,14	1,10	d
?	1,65	1,68	1,85	1,68	1,67	a	1,52	1,65	1,68	1,58	1,83	1,74	1,66	ab
?	1,67	1,74	1,72	1,64	1,69	a	1,52	1,71	1,57	1,84	1,64	1,50	1,83	b
μ	1,20	1,32	1,28	1,23	1,25	d	1,12	1,12	1,13	1,21	1,12	1,20	1,15	d
<b>longitud (en cm)</b>														
a <sub>1</sub>	1,58	1,80	1,61	1,26	1,51	b	1,45	1,56	1,61	1,56	1,70	1,64	1,60	b
a <sub>2</sub>	1,91	1,78	1,93	1,56	1,79	a	1,75	2,02	1,75	1,73	1,69	1,61	1,75	a
β	1,16	1,09	1,17	1,11	1,13	e	1,18	1,33	1,19	1,19	1,29	1,24	1,22	c
?	1,49	1,50	1,49	1,48	1,49	b	1,50	1,59	1,84	1,59	1,81	1,75	1,63	b
d	1,19	1,23	1,23	1,15	1,20	d	-	1,27	1,31	1,27	1,25	1,22	1,25	c
?	1,43	1,49	1,49	1,43	1,46	c	1,47	1,62	1,62	1,53	1,53	1,67	1,59	b
?	1,53	1,55	1,53	1,38	1,50	b	1,53	1,78	1,58	1,58	1,65	1,54	1,62	b
μ	1,17	1,15	1,15	1,11	1,15	e	1,18	1,16	1,23	1,24	1,18	1,17	1,19	c
<b>anchura (en cm)</b>														
a <sub>1</sub>	1,12	1,13	1,14	0,97	1,09	a	1,14	1,17	0,99	1,12	1,18	1,19	1,13	a
a <sub>2</sub>	1,11	1,08	1,08	1,03	1,07	b	1,03	1,08	0,98	1,12	1,06	0,98	1,03	cd
β	1,00	0,90	1,00	0,92	0,95	c	1,07	1,16	1,04	1,04	1,10	1,11	1,08	b
?	0,91	0,93	0,91	0,88	0,91	e	0,97	1,05	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01	d
d	0,93	0,96	0,94	0,89	0,93	d	-	1,16	1,00	1,18	1,10	1,06	1,14	a
?	0,89	0,90	0,91	0,86	0,89	f	0,98	0,99	0,98	0,98	0,95	0,98	0,97	e
?	0,93	0,91	0,91	0,85	0,90	ef	1,01	1,00	1,02	0,99	1,01	1,03	1,01	d
μ	0,99	0,88	0,92	0,91	0,93	d	1,06	1,04	1,09	1,03	1,06	0,99	1,04	c
<b>peso fresco unitario (en g)</b>														
a <sub>1</sub>	1,04	1,05	1,09	0,60	0,95	b	0,94	1,05	0,85	1,01	1,18	1,18	1,04	a
a <sub>2</sub>	1,28	1,08	1,24	0,89	1,12	a	1,01	1,30	0,92	1,19	1,03	0,83	1,02	a
β	0,60	0,48	0,58	0,48	0,53	d	0,65	0,88	0,65	0,83	0,78	0,75	0,71	d
?	0,85	0,68	0,66	0,61	0,65	c	0,73	0,88	0,89	0,86	0,88	0,90	0,86	b
d	0,54	0,60	0,56	0,48	0,55	d	-	0,86	0,92	0,88	0,77	0,70	0,81	bc
?	0,61	0,65	0,65	0,56	0,62	c	0,75	0,83	0,80	0,77	0,72	0,81	0,78	c
?	0,72	0,68	0,87	0,54	0,65	c	0,82	0,93	0,84	0,76	0,90	0,83	0,85	b
μ	0,80	0,49	0,53	0,49	0,53	d	0,67	0,64	0,74	0,70	0,89	0,57	0,66	d
<b>número de nudos</b>														
a <sub>1</sub>	4,8	4,9	4,7	4,8	4,80	bc	4,8	4,9	4,7	4,9	4,6	5,1	4,83	cd
a <sub>2</sub>	4,8	4,8	4,9	5,0	4,87	b	4,7	4,9	4,7	5,0	4,8	4,9	4,82	d
β	5,0	4,6	4,7	4,7	4,74	cd	4,8	4,7	4,9	4,8	5,0	4,9	4,84	cd
?	5,2	4,9	4,8	5,0	4,96	a	5,0	5,0	4,9	5,2	4,9	5,2	5,04	a
d	4,7	4,8	4,7	4,7	4,73	d	-	4,8	5,0	5,1	5,0	4,8	4,93	bc
?	4,8	4,8	4,9	4,8	4,80	bc	4,8	5,0	4,7	4,9	4,8	4,9	4,88	bcd
?	5,0	4,8	4,8	4,8	4,86	b	5,1	4,9	4,9	4,9	4,9	5,2	4,97	ab
μ	4,8	4,7	4,6	4,8	4,71	d	4,7	4,7	5,0	4,8	4,8	5,0	4,83	cd

**ANEJO 3. Morfología de los tubérculos**

**Cuadro 39.** Año 3. Datos determinados sobre los tubérculos: relación longitud/anchura, longitud (en cm), anchura (en cm), peso fresco unitario (en g) y número de nudos

	campo (bloques)					contenedores								
	A	B	C	D	media	1	2	3	4	5	6	media		
<b>relación longitud/anchura</b>														
a <sub>1</sub>	1,48	1,46	1,49	1,56	1,54	b	1,48	1,41	1,51	1,49	1,47	1,50	1,49	d
a <sub>2</sub>	1,87	1,70	1,67	1,68	1,77	a	1,94	2,05	2,09	2,08	2,15	1,86	2,03	a
β	1,28	1,20	1,32	1,27	1,35	d	1,16	1,15	1,14	1,10	1,11	1,13	1,13	e
?	1,81	1,77	1,73	1,78	1,79	a	1,57	1,61	1,55	1,73	1,63	1,59	1,64	b
?	1,66	1,68	1,74	1,78	1,75	a	1,61	1,43	1,59	1,67	1,57	1,49	1,58	c
μ	1,24	1,26	1,35	1,50	1,41	c	1,11	1,10	1,08	1,12	1,15	1,13	1,12	e
<b>longitud (en cm)</b>														
a <sub>1</sub>	1,28	1,32	1,42	1,43	1,38	c	1,85	1,59	1,69	1,74	1,73	1,67	1,68	b
a <sub>2</sub>	1,57	1,63	1,59	1,59	1,61	a	1,87	1,97	2,07	2,01	2,04	1,88	1,96	a
β	1,08	1,06	1,14	1,07	1,14	d	1,26	1,27	1,26	1,15	1,28	1,14	1,22	d
?	1,42	1,49	1,48	1,52	1,48	b	1,46	1,54	1,47	1,56	1,51	1,44	1,50	c
?	1,42	1,45	1,45	1,50	1,47	b	1,47	1,31	1,50	1,82	1,54	1,36	1,49	c
μ	1,04	1,06	1,15	1,25	1,17	d	1,14	1,22	1,17	1,16	1,17	1,19	1,18	d
<b>anchura (en cm)</b>														
a <sub>1</sub>	0,88	0,91	0,96	0,93	0,91	a	1,11	1,14	1,12	1,17	1,18	1,13	1,13	a
a <sub>2</sub>	0,85	0,96	0,96	0,95	0,92	a	0,96	0,98	0,99	0,97	0,95	1,01	0,98	d
β	0,85	0,88	0,87	0,86	0,86	b	1,09	1,11	1,11	1,05	1,16	1,02	1,09	b
?	0,80	0,85	0,86	0,86	0,84	c	0,93	0,98	0,98	0,91	0,94	0,91	0,93	e
?	0,87	0,87	0,84	0,85	0,88	b	0,93	0,92	0,95	0,98	0,99	0,92	0,95	e
μ	0,85	0,84	0,87	0,85	0,84	bc	1,03	1,10	1,09	1,04	1,01	1,06	1,06	c
<b>peso fresco unitario (en g)</b>														
a <sub>1</sub>	0,53	0,58	0,71	0,66	0,62	b	1,08	1,06	1,14	1,26	1,25	1,12	1,15	a
a <sub>2</sub>	0,65	0,88	0,82	0,81	0,78	a	0,97	1,04	1,20	1,11	1,08	1,05	1,07	b
β	0,41	0,44	0,48	0,42	0,45	d	0,76	0,81	0,79	0,64	0,87	0,60	0,74	c
?	0,51	0,80	0,62	0,80	0,58	c	0,66	0,74	0,69	0,72	0,70	0,62	0,69	c
?	0,57	0,61	0,58	0,60	0,59	c	0,69	0,57	0,71	0,81	0,77	0,61	0,70	c
μ	0,40	0,40	0,47	0,48	0,44	d	0,64	0,78	0,72	0,66	0,63	0,71	0,88	c
<b>número de nudos</b>														
a <sub>1</sub>	4,9	4,8	4,9	4,9	4,87	c	4,9	4,8	4,6	4,8	4,8	4,9	4,79	ab
a <sub>2</sub>	5,0	4,8	5,0	5,0	4,95	b	4,6	4,8	5,0	4,9	4,8	4,7	4,79	ab
β	4,8	4,8	4,9	4,9	4,87	c	4,9	4,6	4,8	4,8	4,7	4,7	4,72	c
?	4,9	4,9	5,0	5,0	4,96	b	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,9	4,83	a
?	4,9	5,0	5,2	5,1	5,07	a	4,9	4,8	4,7	4,9	4,9	4,9	4,84	a
μ	4,8	4,8	4,7	4,9	4,81	c	4,6	4,8	4,7	4,7	4,6	4,8	4,70	c

**Estudio conjunto del periodo considerado**

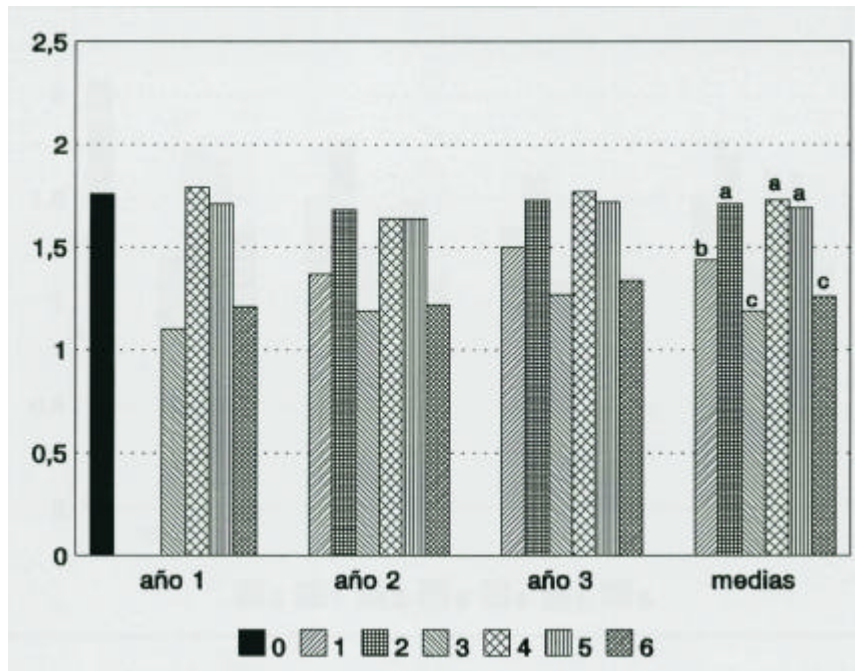


Figura 26. Campo. Histograma de medias correspondiente a la relación I/a

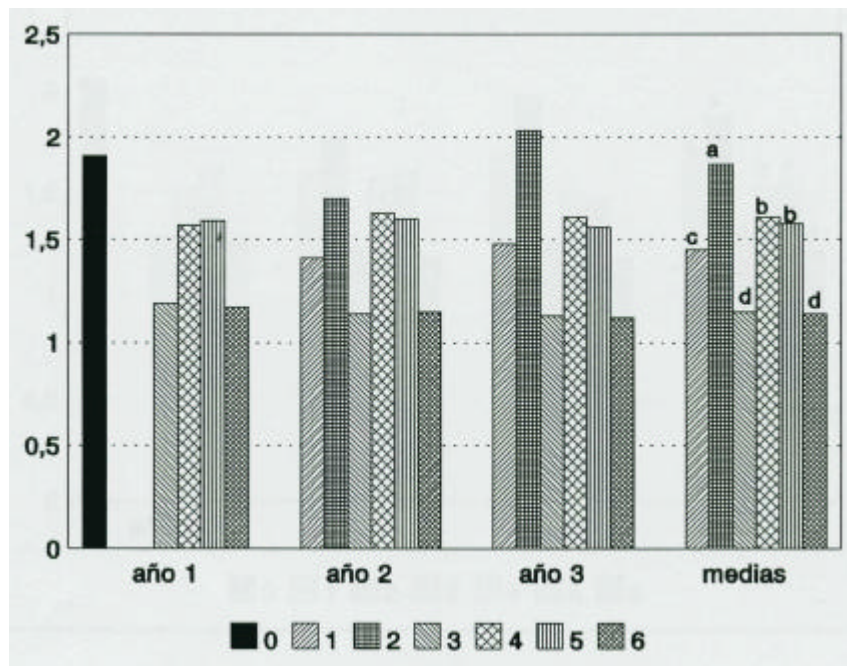


Figura 27. Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la relación I/a

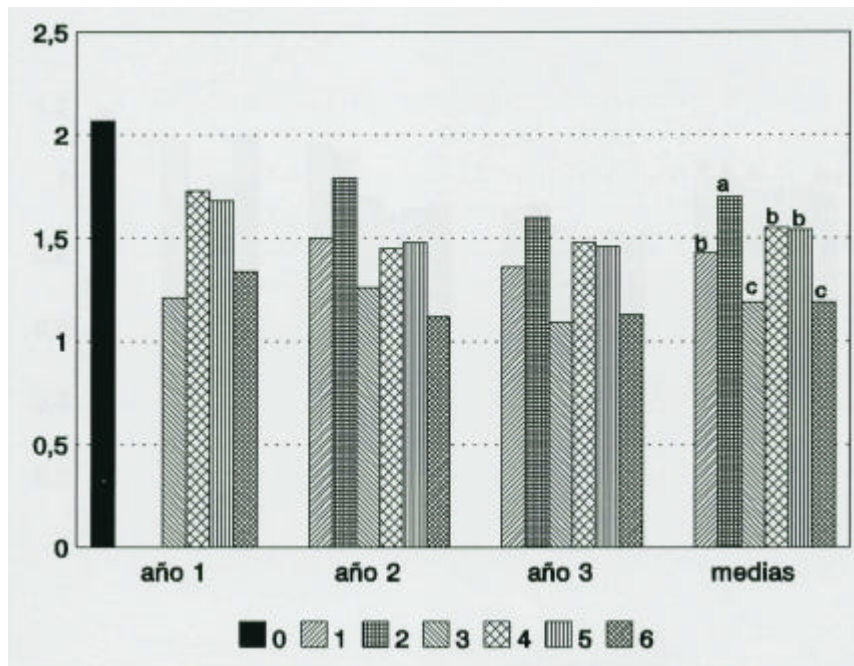


Figura 28. Campo. Histograma de medias correspondiente a la longitud (en centímetros)

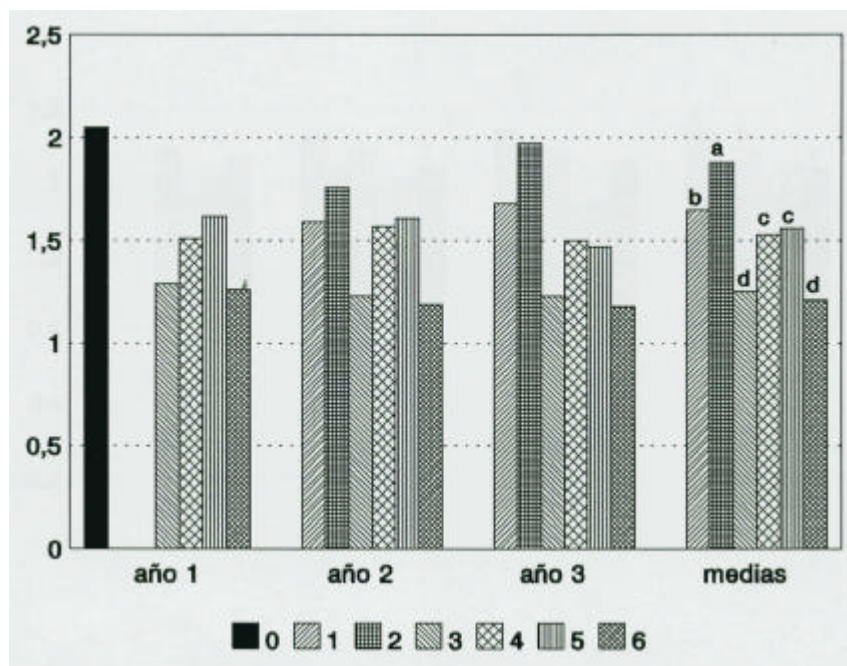


Figura 29. Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la longitud (en centímetros)

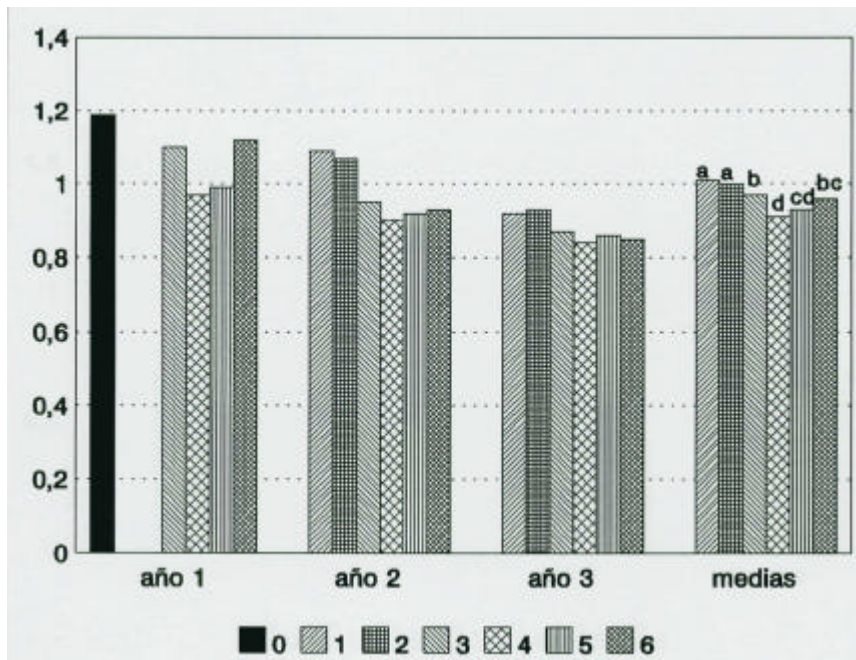


Figura 30. Campo. Histograma de medias correspondiente a la anchura (en centímetros)

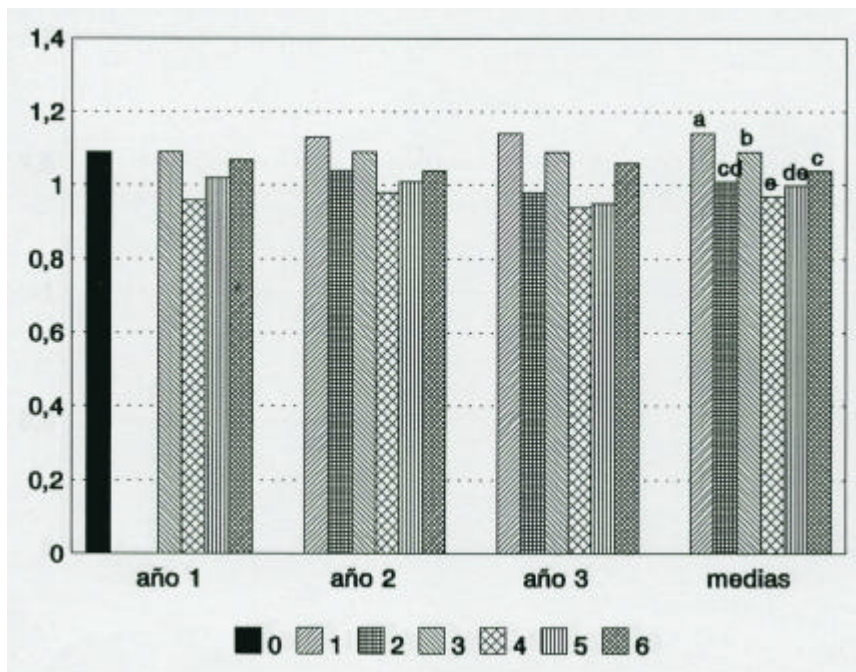


Figura 31. Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la anchura (en centímetros)

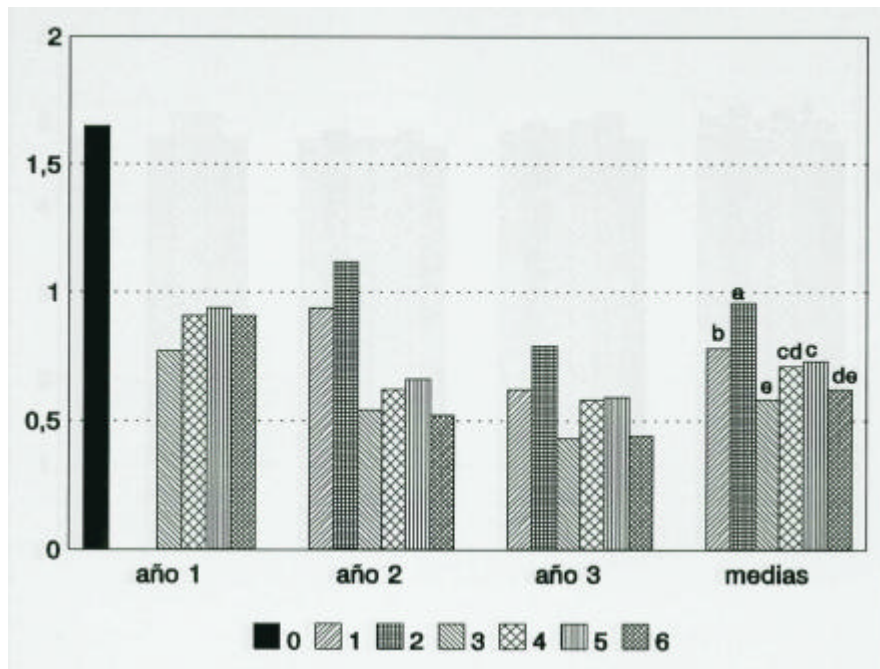


Figura 32. Campo. Histograma de medias correspondiente al peso fresco unitario (en gramos)

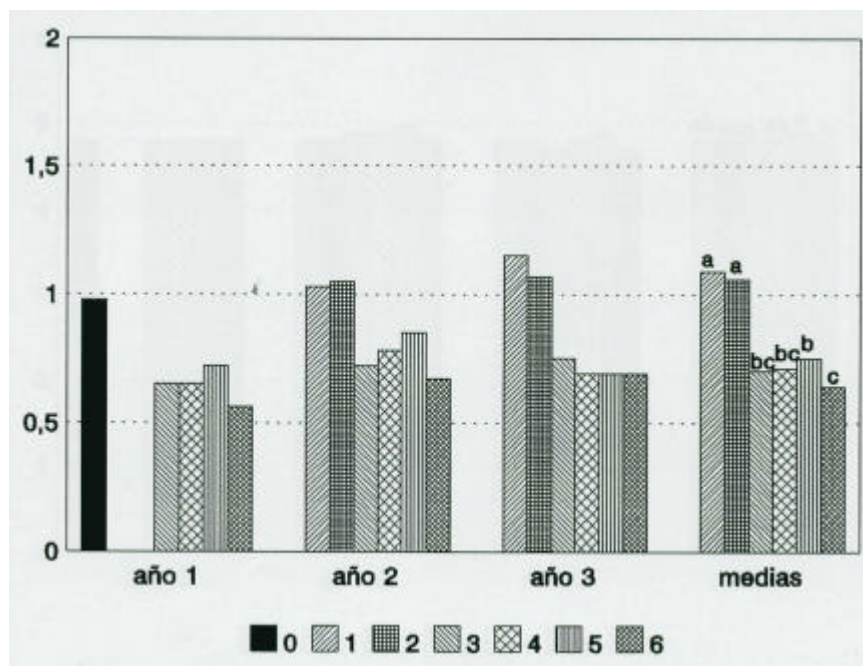


Figura 33. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso fresco unitario (en gramos)

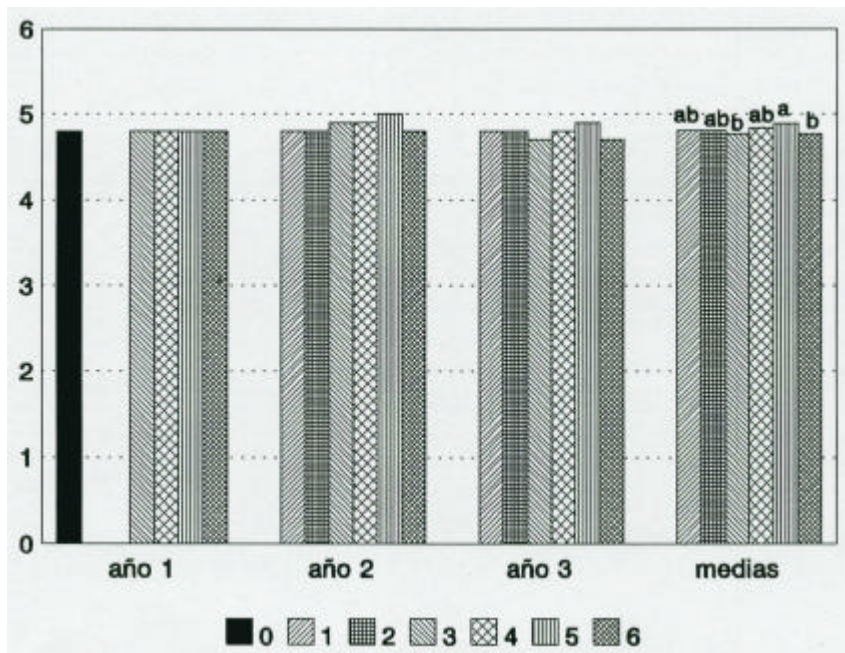


Figura 34. Campo. Histograma de medias correspondiente al número de nudos

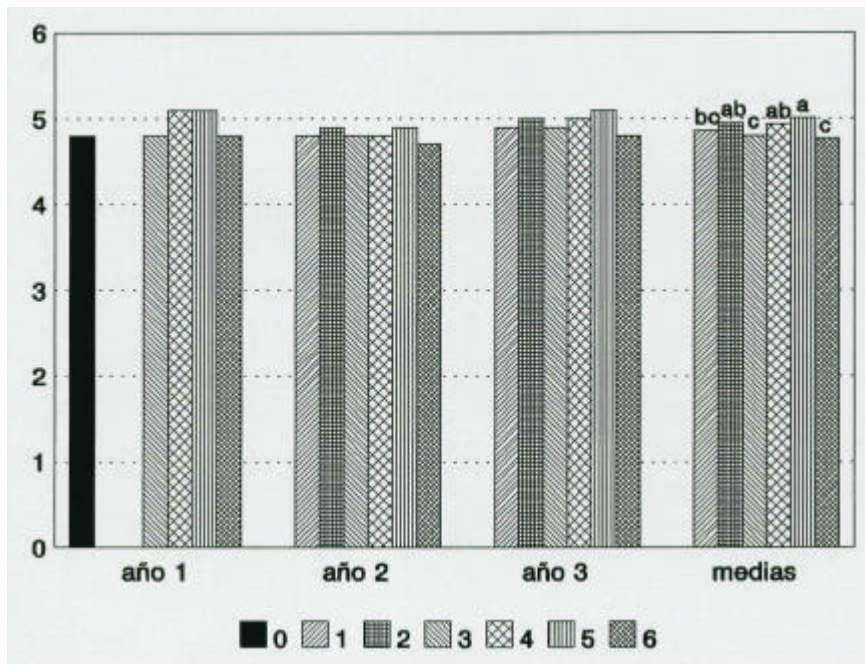


Figura 35. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al número de nudos

ANEJO 4. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS

Cuadro 40. Año 1. Características productivas: peso fresco de los tubérculos, peso seco de los tubérculos, peso seco de las hojas, relación peso seco tubérculos/peso seco hojas y número de tubérculos por contenedor<sup>80</sup>

	campo (bloques)				contenedores						
	A	B	C	media	1	2	3	4	media		
	<b>kg.ha<sup>-1</sup>?</b>				<b>g/cont. ?</b>						
	<b>peso fresco de los tubérculos</b>										
a	14144	15360	12088	13884,0	b	90,8	90,5	71,6	173,3	106,6	f
β	14327	14542	11797	13555,3	b	286,2	332,1	301,4	323,9	305,9	cd
?	17796	19386	16001	17727,7	a	156,3	205,8	172,8	209,1	186,0	e
d	15586	20290	16931	17602,3	a	252,0	351,5	349,5	497,3	362,6	abc
e	11894	12880	10158	11577,3	b	312,3	321,8	451,4	471,5	389,3	ab
?	19117	19009	17738	18621,3	a	279,4	361,0	399,0	583,0	405,6	a
?	19881	18878	18964	17907,7	a	287,1	310,3	357,5	308,1	315,8	bcd
?	19687	16157	17997	17947,0	a	292,6	365,4	299,5	379,2	334,2	abcd
?	19138	15737	17222	17365,7	a	276,4	275,2	345,9	293,0	297,6	cd
μ	14327	12777	14939	14014,3	b	299,1	273,4	228,2	235,2	259,0	de
m	16589,7	16281,8	15183,5								
	<b>kg.ha<sup>-1</sup>?</b>				<b>g/cont. ?</b>						
	<b>peso seco de los tubérculos</b>										
a	8196	8009	6788	7657,7	bc	51,0	50,9	40,2	97,4	59,9	f
β	7318	7284	5935	8845,7	cd	147,5	184,0	167,0	129,0	156,9	cd
?	8787	9075	7927	8596,3	ab	86,5	114,0	95,7	115,8	103,0	ef
d	7946	10299	8169	8804,7	ab	147,2	205,4	204,2	290,6	211,9	abc
e	6387	6748	5735	6290,0	d	173,5	178,7	250,7	261,9	216,2	ab
?	9547	9200	9014	9253,7	a	159,7	208,4	228,1	333,2	231,8	a
?	10217	8280	8818	9105,0	a	166,0	179,5	206,7	178,2	182,6	bcd
?	9397	8082	8696	8725,0	ab	169,7	211,9	173,7	219,9	193,8	abc
?	9544	7485	8747	8592,0	ab	158,7	158,0	198,1	168,1	188,7	bcd
μ	7198	6427	7831	7085,3	cd	185,3	151,1	128,2	130,0	143,2	de
m	8453,7	8088,9	7744,0								
	<b>kg.ha<sup>-1</sup>?</b>				<b>g/cont. ?</b>						
	<b>peso seco de las hojas</b>										
a	8878	9626	9365	9289,0	e	35,0	28,0	33,0	24,0	30,0	e
β	12659	14273	13528	13486,7	b	65,0	77,0	76,0	71,0	72,3	b
?	9888	10481	13402	11190,3	cd	43,9	50,8	37,8	42,2	43,8	d
d	11763	11997	14106	12622,0	bc	77,3	73,8	83,4	103,6	84,5	a
e	13407	13873	18072	15117,3	a	69,0	78,7	97,0	92,4	84,3	a
?	9795	10457	10563	10271,7	de	62,0	72,7	68,0	76,0	69,7	bc
?	10156	11363	12955	11191,3	cd	64,9	59,5	57,2	61,0	60,7	c
?	10371	10753	12834	11319,3	cd	57,1	65,4	56,9	63,6	60,8	c
?	9893	10872	10828	10464,3	de	64,5	55,0	63,2	58,0	60,2	c
μ	11602	11922	13847	12390,3	bc	88,7	83,2	96,0	81,5	87,4	a
m	10821,0	11561,7	12820,0								
	<b>relación peso seco tubérculos/peso seco hojas</b>										
a	0,92	0,83	0,72	0,83	ab	1,46	1,81	1,21	4,06	2,13	de
β	0,58	0,51	0,44	0,51	de	2,27	2,39	2,20	1,82	2,17	de
?	0,91	0,87	0,59	0,79	ab	1,97	2,24	2,54	2,74	2,38	cde
d	0,68	0,86	0,58	0,70	bc	1,90	2,78	2,45	2,80	2,49	bcd
e	0,48	0,49	0,32	0,43	e	2,51	2,27	2,58	2,83	2,55	bcd
?	0,97	0,88	0,85	0,90	a	2,58	2,84	3,35	4,38	3,29	a
?	1,01	0,73	0,73	0,82	ab	2,56	3,02	3,61	2,92	3,03	abc
?	0,91	0,75	0,68	0,78	ab	2,97	3,24	3,05	3,46	3,18	ab
?	0,96	0,69	0,82	0,83	ab	2,43	2,84	3,10	2,86	2,81	abcd
μ	0,62	0,54	0,56	0,57	cd	1,86	1,82	1,31	1,60	1,65	e
m	0,80	0,71	0,63								
	<b>número de tubérculos por contenedor</b>										
a	91	107	73	161	108	e					
β	404	582	452	476	479	c					
?	252	320	285	374	308	d					
d	475	558	667	809	627	ab					
e	556	521	794	733	651	a					
?	464	557	633	805	615	ab					
?	449	515	524	454	486	c					
?	458	568	443	554	508	bc					
?	441	389	434	388	417	cd					
μ	570	519	338	455	471	c					

<sup>80</sup> En las filas de valores medios de las tablas de datos letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas a un nivel del 0.05, basándose en la comparación múltiple de medias aplicando el test de Duncan.



**ANEJO 4. Características productivas**

**Cuadro 41.** Año 2. Características productivas: peso fresco de los tubérculos, peso seco de los tubérculos, peso seco de las hojas, relación peso seco tubérculos/peso seco hojas y número de tubérculos por contenedor

	campo (bloques)					contenedores						
	A	B	C	D	media	1	2	3	4	5	6	media
	<b>kg.ha<sup>-1</sup> ?</b>					<b>g/cont. ?</b>						
	<b>peso fresco de los tubérculos</b>											
a <sub>1</sub>	9385	12101	10754	7030	9817,5 d	142,5	270,3	162,0	276,7	226,6	229,2	217,9 e
a <sub>2</sub>	8636	9007	9860	11403	9726,5 d	217,9	219,3	226,8	255,0	227,0	149,9	216,0 e
β	12728	15180	12758	9653	12579,8 c	251,5	407,1	393,9	436,9	330,4	380,0	366,6 bc
?	9667	14301	16374	16853	14298,8 bc	372,5	410,4	421,7	470,7	382,3	451,3	418,2 a
d	13355	13681	14030	14123	13797,3 c	-	258,9	357,1	334,2	284,9	324,9	304,9 d
?	16382	18545	17220	13882	16507,3 ab	402,7	410,7	399,1	358,3	364,2	402,4	389,6 ab
?	15725	20006	18990	16219	17235,0 a	445,0	438,9	429,8	474,9	427,8	381,9	433,1 a
μ	11726	16452	14011	13303	13873,0 c	302,7	367,3	384,2	439,0	305,4	252,1	341,8 cd
m	12200,5 b	14909,1 a	13999,6 ab	12808,3 b								
	<b>kg.ha<sup>-1</sup> ?</b>					<b>g/cont. ?</b>						
	<b>peso seco de los tubérculos</b>											
a <sub>1</sub>	5378	6870	6158	4058	5616,0 d	74,2	140,8	84,4	144,1	118,1	119,4	113,5 e
a <sub>2</sub>	4858	5187	5801	6448	5573,0 d	118,3	119,0	123,1	138,4	123,2	81,4	117,2 e
β	6708	8628	7034	5154	6881,0 cd	139,8	226,3	219,0	242,9	183,7	211,2	203,8 bc
?	5112	7425	9681	9424	7905,5 bc	209,1	230,3	236,6	264,2	214,6	253,3	234,7 a
d	7178	7313	7408	7717	7404,0 c	-	142,7	196,8	184,2	157,0	179,1	168,1 d
?	9031	10133	9492	7697	9088,3 ab	225,3	229,8	223,3	200,5	203,8	225,1	218,0 ab
?	8663	11744	9205	9092	9676,0 a	242,4	239,1	234,1	258,7	233,0	208,0	235,9 a
μ	6384	9419	7947	7412	7790,5 bc	161,5	196,0	205,0	234,2	162,9	134,5	182,3 cd
m	8864,0	8339,9	7838,3	7125,0								
	<b>kg.ha<sup>-1</sup> ?</b>					<b>g/cont. ?</b>						
	<b>peso seco de las hojas</b>											
a <sub>1</sub>	4642	4443	3853	4237	4293,8 d	26,4	67,3	38,5	58,3	58,4	82,7	84,6 d
a <sub>2</sub>	3820	5486	4725	4984	4753,8 d	59,7	57,5	79,4	73,1	80,5	92,4	70,4 cd
β	8147	8432	9026	9781	8846,5 a	110,1	124,6	109,7	120,4	117,3	119,4	116,9 a
?	6489	8205	8452	6359	7376,3 bc	106,7	100,8	97,3	90,0	88,7	84,8	94,7 b
d	9713	9403	7694	9231	9010,3 a	-	74,4	86,6	73,4	85,1	105,2	84,3 bc
?	8366	8542	7319	6319	7138,5 c	79,3	64,1	82,4	83,0	63,1	93,7	74,3 c
?	7707	7386	7873	6803	7442,3 bc	82,8	76,1	68,9	87,9	65,9	85,9	74,4 c
μ	7843	7836	8758	9162	8399,8 ab	83,8	89,7	80,8	116,5	65,3	86,3	83,7 bc
m	6840,9	7466,6	7212,5	7109,5								
	<b>relación peso seco tubérculos/peso seco hojas</b>											
a <sub>1</sub>	1,16	1,55	1,60	0,96	1,32 a	2,81	2,09	2,19	2,56	2,09	1,44	2,24 bc
a <sub>2</sub>	1,27	0,95	1,23	1,29	1,18 ab	1,98	2,07	1,55	1,89	2,04	0,88	1,77 d
β	0,82	1,02	0,78	0,53	0,79 c	1,27	1,82	2,00	2,02	1,57	1,77	1,78 d
?	0,79	0,90	1,14	1,48	1,08 abc	1,96	2,28	2,43	2,94	2,42	2,99	2,54 b
d	0,74	0,78	0,96	0,84	0,83 c	-	1,92	2,27	2,51	1,84	1,70	2,07 cd
?	1,42	1,19	1,30	1,22	1,28 a	2,84	3,59	2,71	3,18	3,23	2,40	2,99 a
?	1,12	1,59	1,17	1,34	1,30 a	2,93	3,14	3,40	2,94	3,54	3,16	3,22 a
μ	0,81	1,20	0,91	0,81	0,93 bc	1,93	2,19	2,54	2,01	2,49	2,03	2,24 bc
m	1,02	1,15	1,14	1,08								
	<b>número de tubérculos por contenedor</b>											
a <sub>1</sub>	168	310	193	294	227	260	242	c				
a <sub>2</sub>	229	229	304	253	229	218	244	c				
β	389	650	672	761	635	814	620	a				
?	525	505	650	845	576	582	581	a				
d	-	411	503	474	484	606	484	b				
?	569	578	654	491	518	646	576	a				
?	645	601	544	657	584	528	593	a				
μ	530	647	613	800	517	550	610	a				

**ANEJO 4. Características productivas**

**Cuadro 42.** Año 3. Características productivas: peso fresco de los tubérculos, peso seco de los tubérculos, peso seco de las hojas, relación peso seco tubérculos/peso seco hojas y número de tubérculos por contenedor

	campo (bloques)					contenedores						
	A	B	C	D	media	1	2	3	4	5	6	media
	kg.ha <sup>-1</sup> ? peso fresco de los tubérculos					g/cont.?						
a <sub>1</sub>	9784	10527	11376	11041	10677,0 bc	344,6	348,5	285,0	206,2	275,3	352,0	301,9 abc
a <sub>2</sub>	10203	11830	10379	8394	10201,5 c	277,1	217,0	170,7	237,6	204,9	292,3	233,3 d
β	10018	11278	12679	7835	10452,5 c	303,1	238,5	280,7	251,9	278,5	302,0	272,4 c
?	11527	13232	12113	11807	12169,8 a	350,9	305,0	337,0	329,8	344,4	348,7	336,0 a
μ	11025	13129	13637	9966	11939,3 ab	349,9	361,5	243,8	289,2	305,9	315,5	310,9 ab
m	10794	10543	12502	9946	10946,3 abc	304,0	335,2	299,5	243,2	264,8	320,5	294,5 bc
	10555,2b	11756,5a	12114,3a	9831,5b								
	kg.ha <sup>-1</sup> ? peso seco de los tubérculos					g/cont.?						
a <sub>1</sub>	5220	5365	5984	5932	5625,3 bc	192,4	194,6	159,1	115,1	153,7	196,5	188,6 a
a <sub>2</sub>	5209	6306	5540	4590	5411,3 c	155,4	121,7	95,7	133,2	114,9	163,9	130,8 b
β	5495	6404	6869	4241	5752,3 abc	170,3	134,0	146,5	141,5	156,5	169,7	153,1 a
?	6365	6690	6451	6357	8465,8	180,1	158,6	173,0	169,3	176,8	179,0	172,5 a
μ	6057	6858	7265	5535	6428,8 ab	184,2	190,3	128,3	152,2	161,0	166,0	163,7 a
m	5862	5506	6831	5409	5902,0 abc	169,0	186,3	166,4	135,2	147,2	178,1	163,7 a
	5701,3 be	6188,2 ab	6490,0 a	5344,0								
	kg.ha <sup>-1</sup> ? peso seco de las hojas					g/cont.?						
a <sub>1</sub>	9736	6441	4645	5907	6682,3 c	65,5	60,5	51,9	42,1	70,4	72,1	60,4 a
a <sub>2</sub>	9331	5459	6474	5601	6716,3 c	51,9	41,4	40,5	42,5	40,0	47,5	44,0 b
β	11618	8910	8823	7151	9075,5 ab	67,9	54,1	74,7	58,3	59,1	72,3	84,4 a
?	9394	9655	8215	7751	8753,8 ab	62,0	62,0	63,1	77,1	85,9	58,3	84,7 a
μ	7667	7385	7451	8455	7734,5 bc	60,1	70,7	56,5	55,7	86,8	60,4	61,7 a
m	12539	8860	7326	9684	9602,3 a	66,0	67,2	64,4	54,8	55,6	66,9	62,5 a
	10047,5 a	7781,7 b	7122,3 b	7424,8 b								
	relación peso seco tubérculos/peso seco hojas											
a <sub>1</sub>	0,54	0,83	1,29	1,00	0,92 a	2,94	3,22	3,07	2,73	2,18	2,73	2,81 ab
a <sub>2</sub>	0,56	1,16	0,86	0,82	0,85 ab	3,00	2,94	2,36	3,14	2,87	3,45	2,96 a
β	0,47	0,72	0,80	0,59	0,65 b	2,51	2,48	1,98	2,43	2,65	2,35	2,39 c
?	0,68	0,69	0,79	0,82	0,74 ab	2,91	2,53	2,74	2,19	2,68	3,07	2,69 abc
μ	0,79	0,93	0,98	0,85	0,84 ab	3,06	2,69	2,27	2,73	2,41	2,75	2,65 abc
m	0,47	0,62	0,93	0,56	0,64 b	2,56	2,77	2,59	2,47	2,85	2,68	2,62 bc
	0,58 c	0,83 ab	0,94 a	0,4 bc								
	número de tubérculos por contenedor											
a <sub>1</sub>	325	293	262	173	225	312	265	c				
a <sub>2</sub>	252	198	150	229	197	286	218	c				
β	488	342	356	393	406	485	412	b				
?	515	443	498	488	523	521	498	a				
μ	504	544	348	388	449	487	453	ab				
u	478	508	502	382	479	475	471	a				

**Estudio conjunto del periodo considerado**

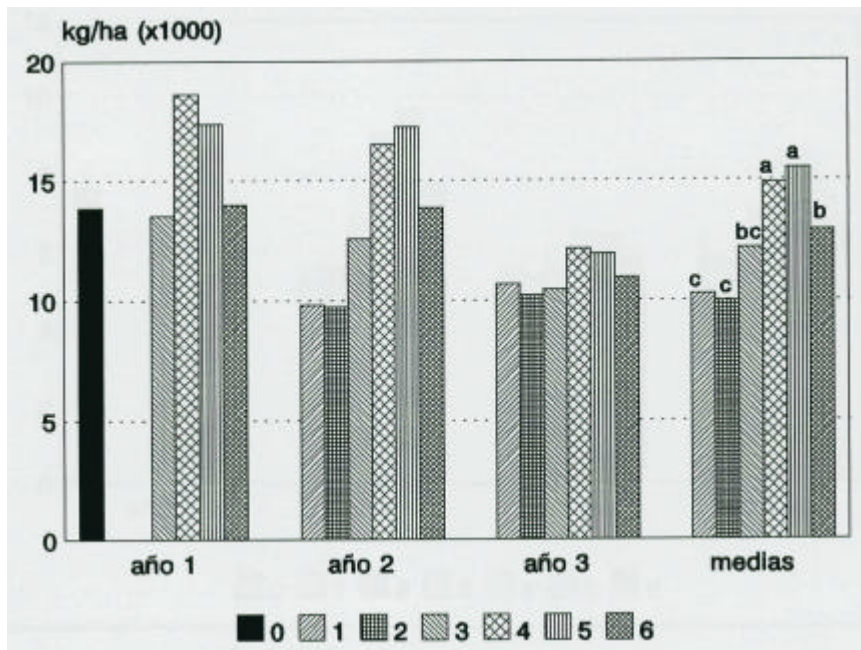


Figura 36. Campo. Histograma de medias correspondiente al peso fresco de los tubérculos (en kg/ha)

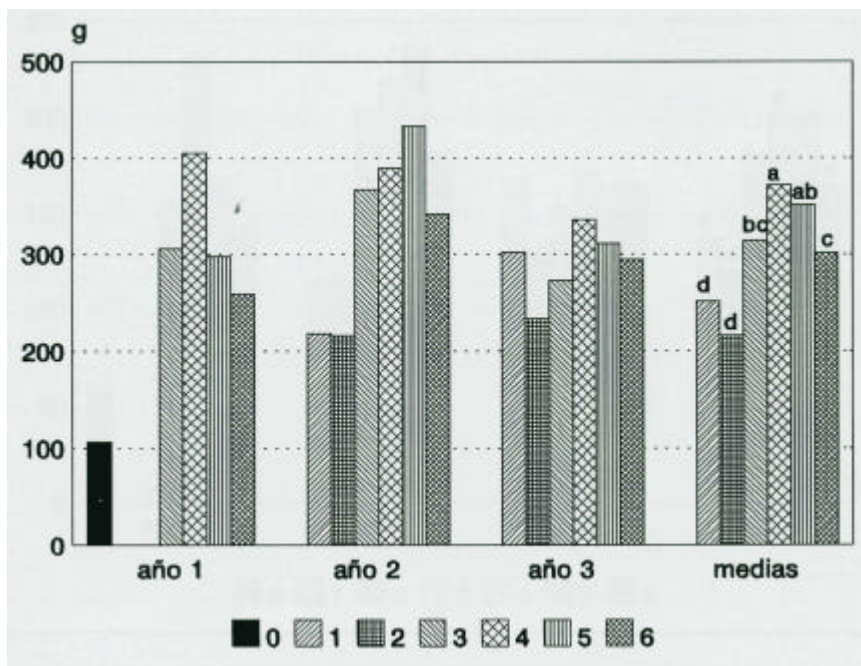


Figura 37. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso fresco de los tubérculos (en gramos/contenedor)

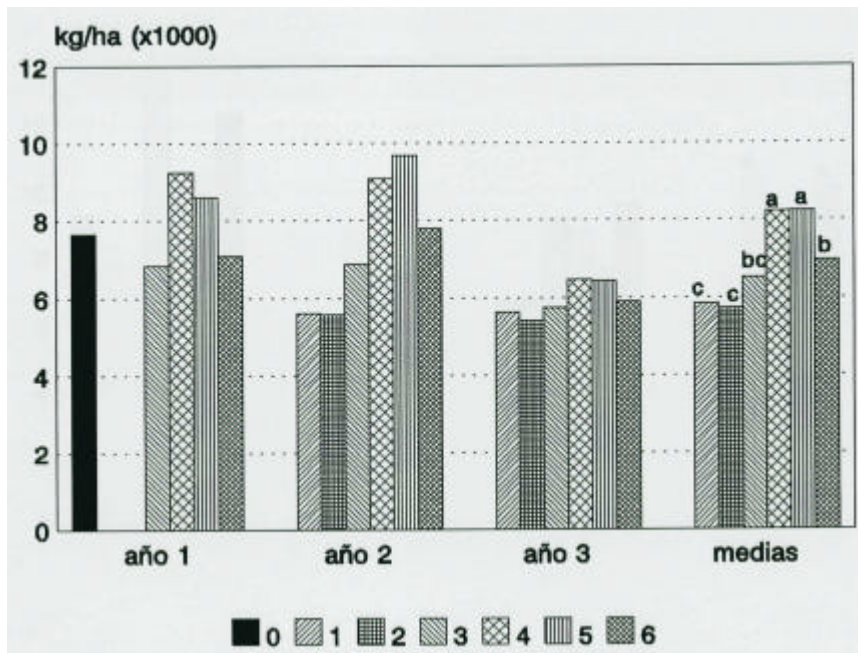


Figura 38. Campo. Histograma de medias correspondiente al peso seco de los tubérculos (en kg/ha)

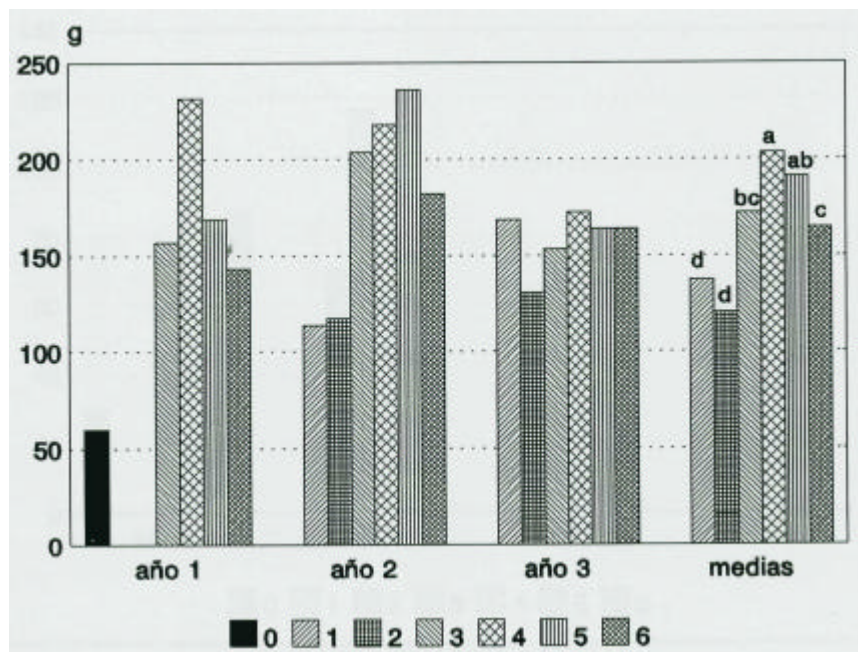


Figura 39. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso seco de los tubérculos (en gramos/contenedor)

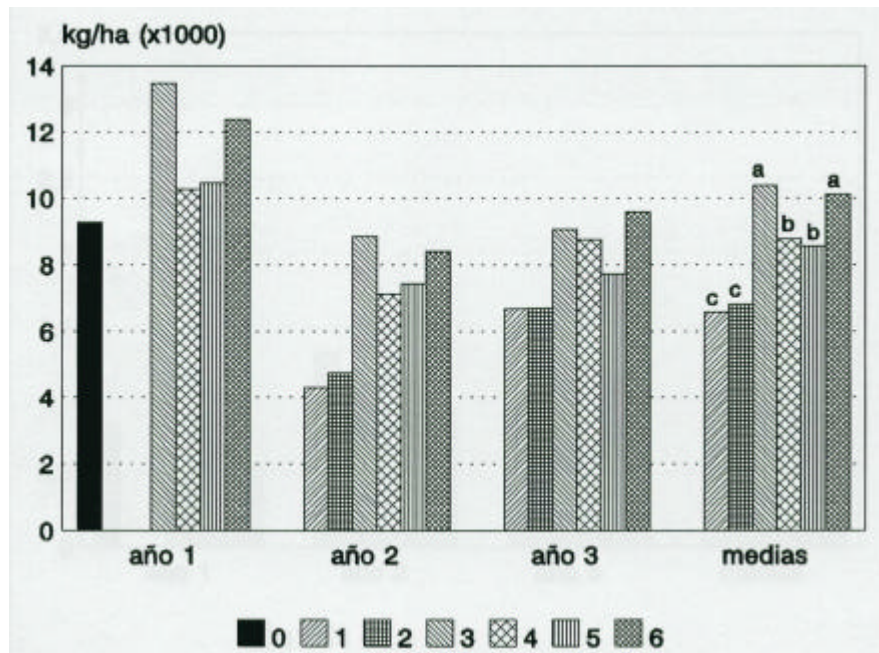


Figura 40. Campo. Histograma de medias correspondiente al peso seco de las hojas (en kg/ha)

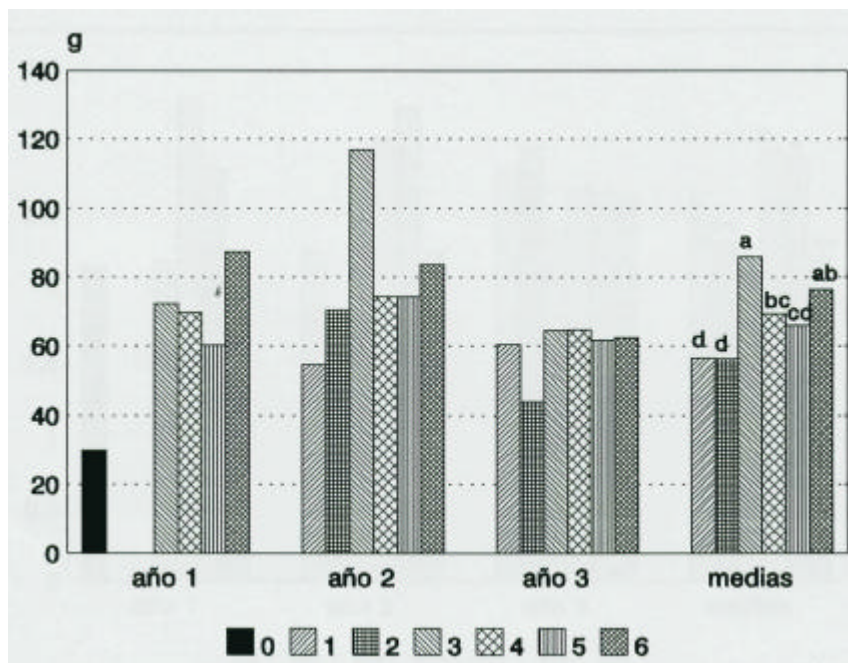


Figura 41. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al peso seco de las hojas (en gramos/contenedor)

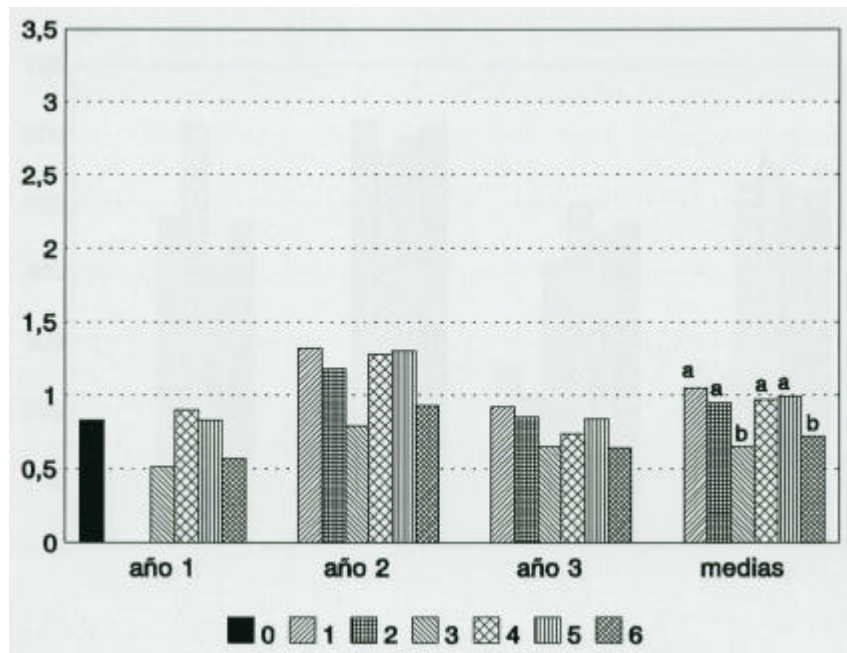


Figura 42. Campo. Histograma de medias correspondiente a la relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas

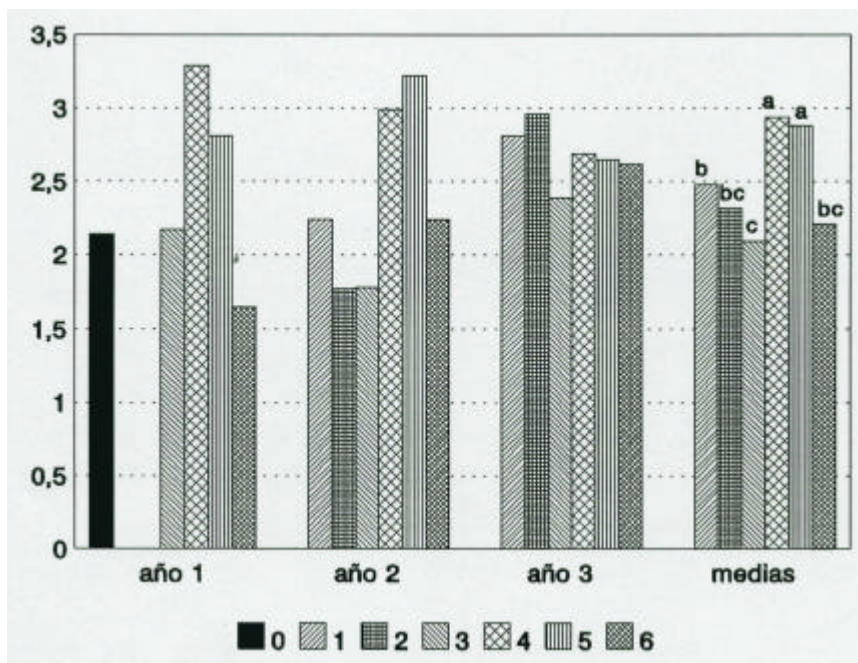


Figura 43. Contenedores. Histograma de medias correspondiente a la relación peso seco de tubérculos/peso seco de hojas

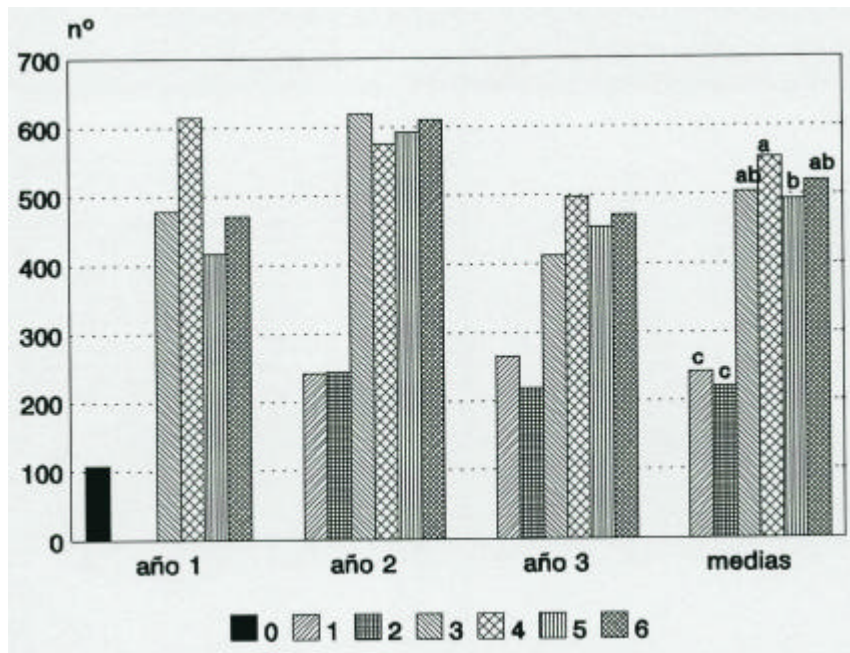


Figura 44. Contenedores. Histograma de medias correspondiente al número de tubérculos por contenedor

ANEJO 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TUBÉRCULOS Y DE LAS HORCHATAS

Cuadro 43. Año 1. Determinaciones químicas (en % de m.s.): almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra y cenizas. Medias por bloques

	tubérculos				horchatas			
	A	B	C	media	A	B	C	media
<b>almidón</b>								
a	28,64	28,28	28,88	27,93	a			
β	22,83	23,48	21,94	22,75	cd			
?	19,59	23,51	22,31	21,80	d			
d	25,96	24,48	21,52	23,99	bcd			
e	23,56	23,77	24,06	23,80	bcd			
?	24,73	23,83	27,69	25,42	abc			
?	27,66	27,83	25,83	27,11	a			
?	29,10	25,25	27,88	27,41	a			
?	26,44	24,08	26,73	28,75	ab			
μ	28,83	26,94	24,88	26,88	a			
<b>grasas</b>								
a	20,18	20,69	20,98	20,62	g	17,56	17,89	17,47
β	21,19	21,36	21,14	21,23	e	25,58	25,68	25,40
?	21,30	21,75	21,32	21,46	e			
d	22,97	22,93	22,95	22,95	c			
e	24,71	24,68	24,56	24,65	a			
?	22,43	22,33	22,47	22,41	d	21,15	20,96	21,30
?	21,43	21,17	21,01	21,20	e			21,14
?	23,67	23,72	23,89	23,69	b			
?	21,02	21,38	21,13	21,18	e			
μ	20,99	20,93	20,84	20,92	fg			
<b>azúcares</b>								
a	16,63	17,28	16,98	16,96	d	19,08	18,93	18,98
β	18,55	17,95	17,84	18,11	c	17,70	18,69	17,73
?	19,73	19,50	18,95	19,39	b			18,04
d	19,90	19,13	19,24	19,42	b			
e	15,75	15,39	15,11	15,42	e			
?	20,81	20,05	19,61	20,09	a	19,71	19,73	19,71
?	19,43	19,21	19,01	19,22	b			19,72
?	17,42	16,68	17,00	17,03	d			
?	19,67	19,90	20,36	19,98	a			
μ	17,00	16,89	16,80	16,76	d			
<b>proteínas</b>								
a	10,08	10,03	9,91	10,01	a	10,30	10,12	10,20
β	8,89	9,51	9,09	9,16	b	10,89	10,80	10,77
?	8,49	8,50	8,51	8,50	c			10,82
d	8,56	8,57	8,63	8,59	c			
e	9,77	9,78	9,81	9,79	a			
?	9,03	8,83	9,30	9,05	b	9,86	9,86	9,79
?	9,03	8,93	9,04	9,00	b			9,84
?	8,50	8,63	8,63	8,59	c			
?	8,43	8,43	8,40	8,42	c			
μ	9,27	9,21	8,69	9,06	b			
<b>fibra</b>								
a	6,38	6,52	7,54	6,81	ab	0,36	0,32	0,22
β	6,73	6,73	7,09	6,85	ab	0,35	0,52	0,23
?	6,79	6,78	7,06	6,88	ab			0,30
d	7,10	6,98	7,19	7,09	ab			-
e	6,51	6,43	6,98	6,64	b			
?	6,85	6,83	7,43	7,04	ab	0,38	0,36	0,43
?	7,48	7,98	6,89	7,45	a			
?	6,60	6,40	6,87	6,62	b			
?	7,28	6,76	6,75	6,93	ab			
μ	7,15	7,08	6,19	6,81	ab			
<b>cenizas</b>								
a	2,54	2,46	2,50	2,50	bc	3,08	3,09	3,14
β	2,44	2,43	2,44	2,44	cd	3,15	3,12	3,11
?	2,21	1,96	1,94	2,04	e			3,13
d	2,42	2,20	2,39	2,34	d			
e	2,04	2,08	2,10	2,07	e			
?	2,67	2,67	2,67	2,67	a	2,94	2,95	2,99
?	2,01	2,17	2,14	2,11	e			2,96
?	2,41	2,55	2,52	2,49	bc			
?	2,55	2,52	2,64	2,57	ab			
μ	2,56	2,56	2,55	2,56	abc			



**ANEJO 5. Composición química de los tubérculos y de las horchatas**

**Cuadro 44.** Año 2. Determinaciones químicas (en % de m.s.): almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra y cenizas. Medias por bloques

	tubérculos					horchatas						
	A	B	C	D	media	A	B	C	D	media		
<b>almidón</b>												
a <sub>1</sub>	34,19	29,95	32,27	32,44	32,21	ab	29,79	30,72	32,99	30,25	30,94	a
a <sub>2</sub>	39,70	30,61	30,66	35,26	34,06	a	27,04	27,38	29,89	27,28	27,90	b
β	29,19	29,42	30,81	32,75	30,49	bc	21,27	20,97	19,01	21,26	20,63	d
?	23,92	21,79	25,09	27,49	24,57	e	24,01	25,11	24,51	26,04	24,92	c
d	24,41	25,18	23,72	24,83	24,54	e	21,73	20,48	21,10	19,65	20,74	d
?	27,16	23,79	26,46	25,97	25,60	de	24,18	23,22	23,65	24,70	23,94	c
?	28,20	25,87	27,41	27,82	27,33	d	15,58	23,24	19,40	20,46	19,67	d
μ	28,97	29,05	27,74	28,83	28,15	cd	20,43	24,57	20,53	19,02	21,14	d
<b>grasas</b>												
a <sub>1</sub>	21,93	21,92	22,19	22,07	22,03	e	21,90	21,42	21,61	21,66	21,6S	f
a <sub>2</sub>	23,90	24,66	23,98	24,24	24,20	d	24,90	24,07	24,09	24,18	24,31	e
β	26,48	26,25	25,91	26,27	26,23	b	28,44	27,88	27,90	28,03	28,06	b
?	26,12	26,32	26,16	26,26	26,22	b	25,75	25,52	26,49	25,85	25,90	d
d	24,27	24,34	24,36	24,38	24,34	d	28,79	28,34	28,84	28,72	28,67	a
?	28,02	27,86	27,02	27,69	27,65	a	28,22	28,64	28,63	28,53	28,51	a
?	25,61	25,31	24,57	25,22	25,18	c	26,40	28,27	26,77	26,45	26,47	c
μ	25,48	25,46	25,64	25,58	25,54	c	28,51	26,14	26,88	26,54	26,51	c
<b>azúcares</b>												
a <sub>1</sub>	18,66	16,98	16,25	16,50	16,60	c	23,03	24,21	24,24	24,12	23,90	b
a <sub>2</sub>	17,16	17,10	16,32	16,73	16,83	c	24,13	23,78	23,47	23,75	23,78	b
β	16,06	15,43	16,07	15,72	15,82	d	23,97	23,63	23,19	23,25	23,51	b
?	16,44	16,85	16,60	16,50	16,60	c	24,59	25,49	25,29	25,25	25,16	a
d	18,95	18,37	19,26	18,73	18,83	a	24,19	23,02	24,52	24,28	24,00	b
?	16,81	16,89	16,98	16,76	16,86	c	22,56	21,72	22,90	22,62	22,45	c
?	18,03	18,44	17,49	17,85	17,95	b	25,38	25,15	28,36	25,48	25,59	a
μ	15,74	15,44	15,80	15,53	15,63	d	22,61	21,70	21,21	21,80	21,83	c
<b>proteínas</b>												
a <sub>1</sub>	9,21	9,43	9,29	9,38	9,33	a	10,80	10,78	11,45	11,04	11,02	a
a <sub>2</sub>	9,18	9,12	9,14	9,23	9,18	b	9,65	9,74	9,89	9,78	9,77	c
β	8,01	8,08	8,04	8,12	8,06	g	9,69	9,64	9,86	9,72	9,73	c
?	7,99	8,03	8,01	8,09	8,03	g	9,64	9,71	9,54	9,61	9,63	c
d	9,06	9,01	9,06	9,12	9,06	c	10,12	10,46	10,14	10,20	10,23	b
?	8,44	8,56	8,39	8,54	8,48	f	8,97	8,81	8,74	5,55	8,84	e
?	8,61	8,59	8,57	8,67	8,61	e	9,19	9,13	9,24	9,15	9,18	d
μ	8,96	8,84	8,90	8,98	8,92	d	9,63	9,54	9,68	9,59	9,61	c
<b>fibra</b>												
a <sub>1</sub>	5,45	5,74	5,58	5,61	5,60	e	0,56	0,56	0,29	0,49	0,48	d
a <sub>2</sub>	5,09	5,04	5,09	5,09	5,08	f	0,67	0,5	0,54	0,50	0,54	cd
β	6,70	7,07	6,35	6,73	6,71	ab	0,65	0,64	0,38	0,62	0,57	cd
?	6,44	6,44	6,74	6,56	6,55	bc	0,70	0,89	0,51	0,65	0,89	bc
d	6,90	6,84	6,90	6,90	6,89	a	0,52	0,80	0,60	0,72	0,66	bc
?	8,01	5,93	5,40	5,80	5,79	e	0,60	0,64	0,60	0,60	0,61	cd
?	6,31	6,48	5,70	6,18	6,17	d	0,90	1,20	0,60	0,94	0,91	a
μ	6,60	6,33	6,35	6,44	6,43	cd	0,95	0,69	0,80	0,76	0,80	ab
<b>cenizas</b>												
a <sub>1</sub>	2,00	1,75	1,55	1,85	1,89	a	2,22	2,42	2,48	2,39	2,38	b
a <sub>2</sub>	2,01	2,04	1,87	1,93	1,96	a	2,12	2,05	2,15	2,13	2,11	d
β	1,69	1,70	1,46	1,57	1,61	c	2,18	2,17	2,31	2,23	2,22	cd
?	1,59	1,64	1,62	1,57	1,61	c	2,52	2,63	2,70	2,60	2,61	a
d	1,73	1,60	1,72	1,63	1,67	bc	2,55	2,69	2,55	2,58	2,59	a
?	1,88	1,79	1,95	1,83	1,86	a	2,51	2,38	2,31	2,52	2,43	b
?	1,87	1,60	1,65	1,66	1,70	bc	2,35	2,33	2,36	2,38	2,35	bc
μ	1,77	1,81	1,69	1,67	1,74	b	2,44	2,22	2,42	2,18	2,32	bc

**ANEJO 5. Composición química de los tubérculos y de las horchatas**

**Cuadro 45.** Año 3. Determinaciones químicas (en % do m.s.): almidón, grasas, azúcares, proteínas, fibra y cenizas. Medias por bloques

	tubérculos					horchatas						
	A	B	C	D	media	A	B	C	D	media		
<b>almidón</b>												
a <sub>1</sub>	30,60	30,16	34,30	32,49	31,89	a	24,04	25,76	19,70	24,32	23,46	b
a <sub>2</sub>	33,84	35,67	33,96	30,98	33,61	a	22,95	21,15	26,28	24,60	23,75	b
β	29,20	27,70	29,01	29,00	28,73	b	22,14	18,54	20,22	21,94	20,71	bc
?	27,43	30,11	27,25	25,05	27,46	bc	22,36	15,59	17,55	20,01	18,88	c
?	27,53	29,85	29,00	28,61	28,25	bc	28,07	30,74	29,40	30,06	29,57	a
μ	27,58	26,04	27,85	24,29	26,44	c	27,58	27,44	28,02	26,94	27,50	a
<b>grasas</b>												
a <sub>1</sub>	24,60	25,45	25,19	25,39	25,18	d	29,45	29,80	29,74	29,70	29,67	c
a <sub>2</sub>	23,39	23,77	23,33	23,81	23,58	e	26,59	25,99	26,72	26,51	26,45	e
β	28,80	28,94	29,18	29,28	29,05	b	32,63	32,42	32,56	32,49	32,53	b
?	27,35	27,41	27,65	27,78	27,55	c	29,08	29,06	29,06	29,07	29,06	d
?	28,77	28,58	29,10	29,13	28,90	b	32,32	32,46	32,47	32,40	32,41	b
μ	30,15	30,44	29,80	30,44	30,21	a	33,92	33,92	33,99	33,94	33,94	a
<b>azúcares</b>												
a <sub>1</sub>	14,42	14,48	14,11	14,39	14,35	b	18,45	17,96	18,50	18,30	18,30	bc
a <sub>2</sub>	14,94	15,65	15,79	15,51	15,47	a	18,68	19,07	18,85	18,83	18,86	ab
β	11,70	11,74	11,69	11,76	11,72	d	18,38	17,00	15,97	16,10	16,36	d
?	14,74	14,79	13,95	14,55	14,51	b	17,43	18,25	18,31	18,22	18,05	c
?	13,44	13,29	12,98	13,29	13,25	c	19,83	18,48	19,62	19,34	19,27	a
μ	13,40	12,80	13,88	13,41	13,37	c	14,38	15,02	15,55	15,31	15,07	e
<b>proteínas</b>												
a <sub>1</sub>	7,71	8,05	8,13	7,93	7,96	a	8,81	8,48	8,50	8,43	8,56	c
a <sub>2</sub>	7,43	7,48	7,38	7,41	7,43	c	9,06	9,34	9,25	9,30	9,24	a
β	7,26	7,58	7,67	7,48	7,50	c	8,54	8,37	8,49	8,49	8,47	c
?	8,08	8,06	8,06	8,04	8,08	a	9,28	9,39	9,31	9,30	9,32	a
?	7,77	7,72	7,74	7,72	7,74	b	8,83	8,84	8,91	8,82	8,85	b
μ	7,75	7,63	7,73	7,88	7,70	b	8,88	8,94	8,79	8,83	8,86	b
<b>fibra</b>												
a <sub>1</sub>	6,02	5,42	5,55	5,70	5,67	ab	0,46	0,40	0,42	0,43	0,43	bc
a <sub>2</sub>	5,53	5,70	5,50	5,61	5,59	b	0,58	0,40	0,44	0,43	0,46	b
β	5,83	5,80	5,85	5,86	5,84	a	0,49	0,44	0,45	0,46	0,46	bc
?	5,92	5,54	6,13	5,90	5,87	a	0,56	0,65	0,60	0,54	0,59	a
?	5,42	5,34	5,28	5,38	5,38	c	0,36	0,27	0,36	0,30	0,32	d
μ	5,69	5,68	5,78	5,75	5,73	ab	0,22	0,36	0,48	0,39	0,36	cd
<b>cenizas</b>												
a <sub>1</sub>	1,82	1,70	1,76	1,80	1,77	a	2,09	2,17	2,07	2,08	2,10	b
a <sub>2</sub>	1,45	1,49	1,39	1,48	1,45	c	2,15	2,07	2,19	2,17	2,15	b
β	1,42	1,44	1,44	1,48	1,45	c	1,89	1,93	1,77	1,85	1,86	c
?	1,37	1,43	1,41	1,45	1,42	c	1,86	1,84	1,86	1,87	1,88	c
?	1,47	1,45	1,35	1,46	1,43	c	2,27	2,33	2,51	2,35	2,37	a
μ	1,48	1,46	1,89	1,59	1,56	b	2,31	2,29	2,23	2,32	2,29	a

Estudio conjunto del período considerado

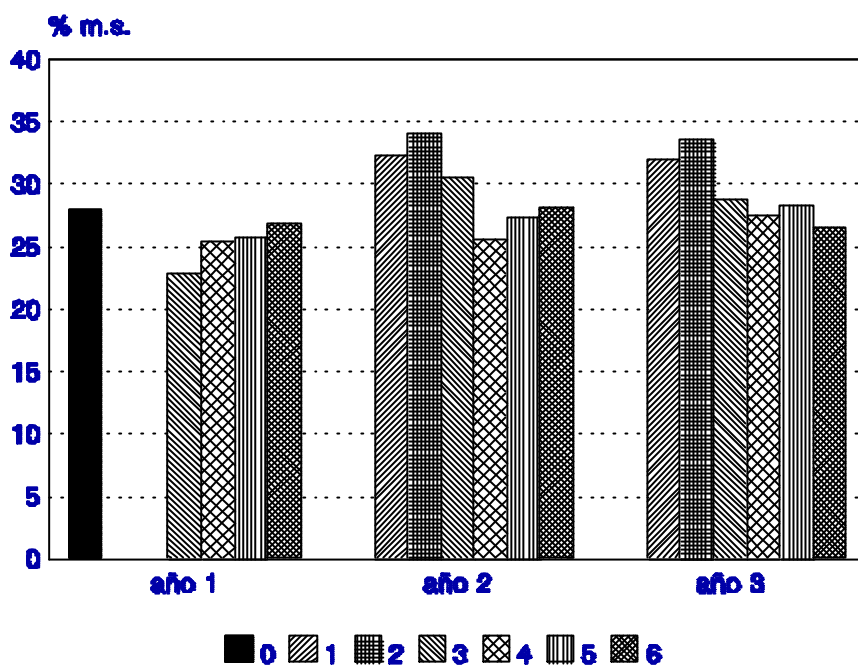


Figura 45. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en almidón (en % sobre m.s.)

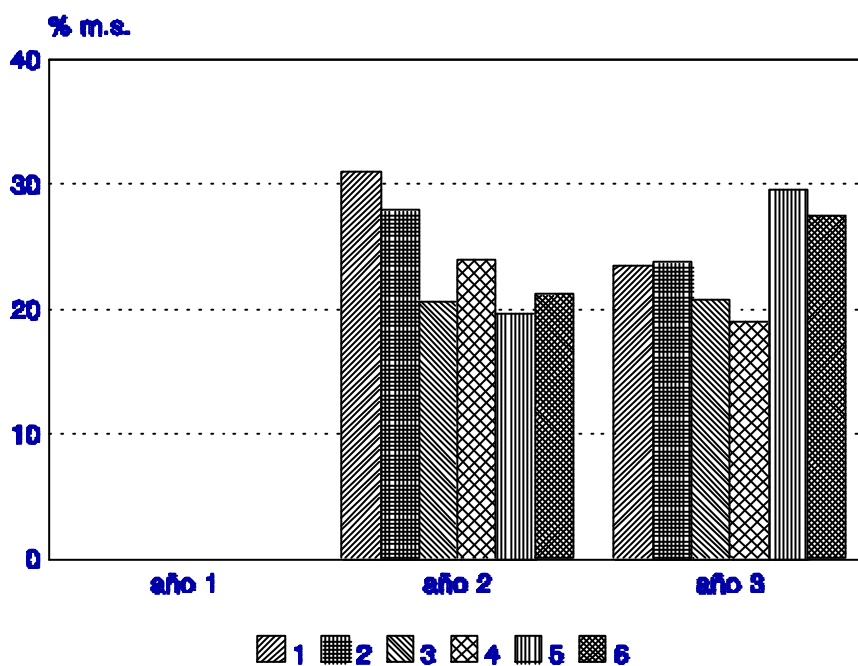


Figura 46. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en almidón (en % sobre m.s.)

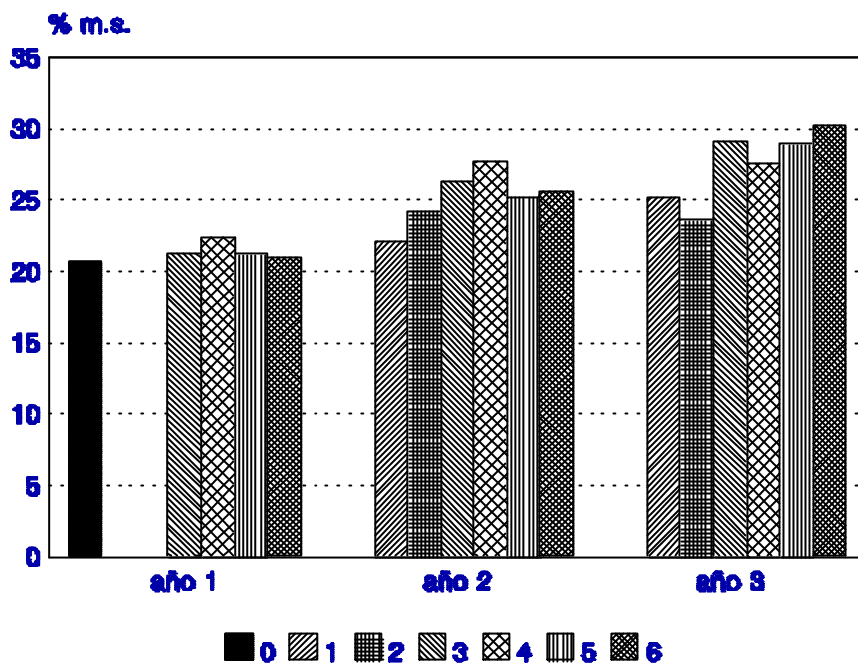


Figura 47. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en grasas (en % sobre m.s.)

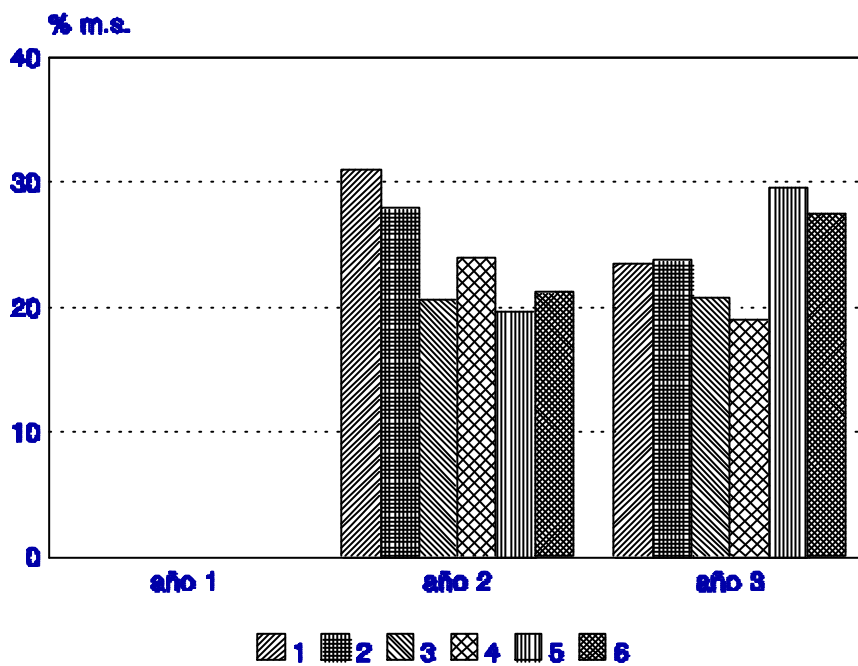


Figura 48. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en grasas (en % sobre m.s.)

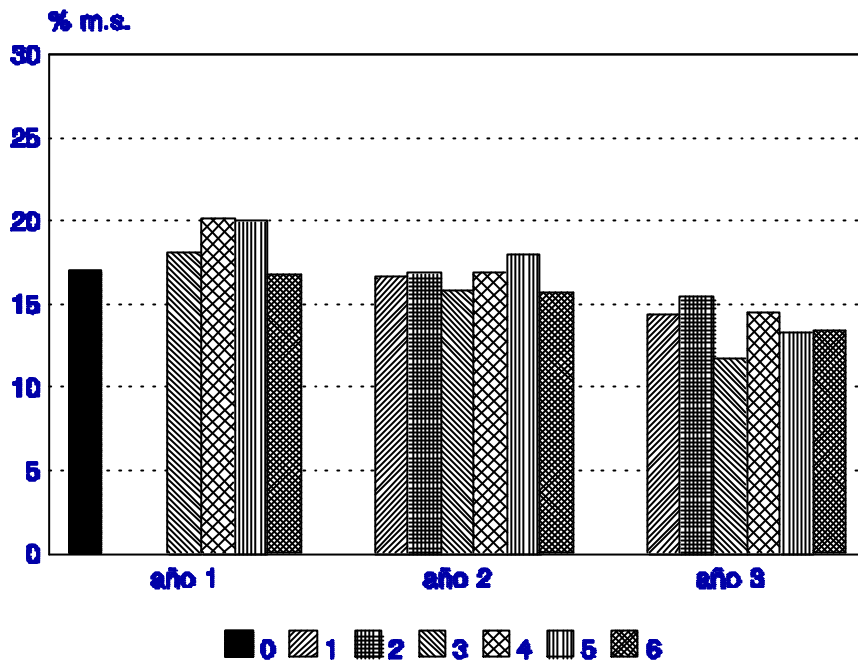


Figura 49. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en azúcares (en % sobre m.s.)

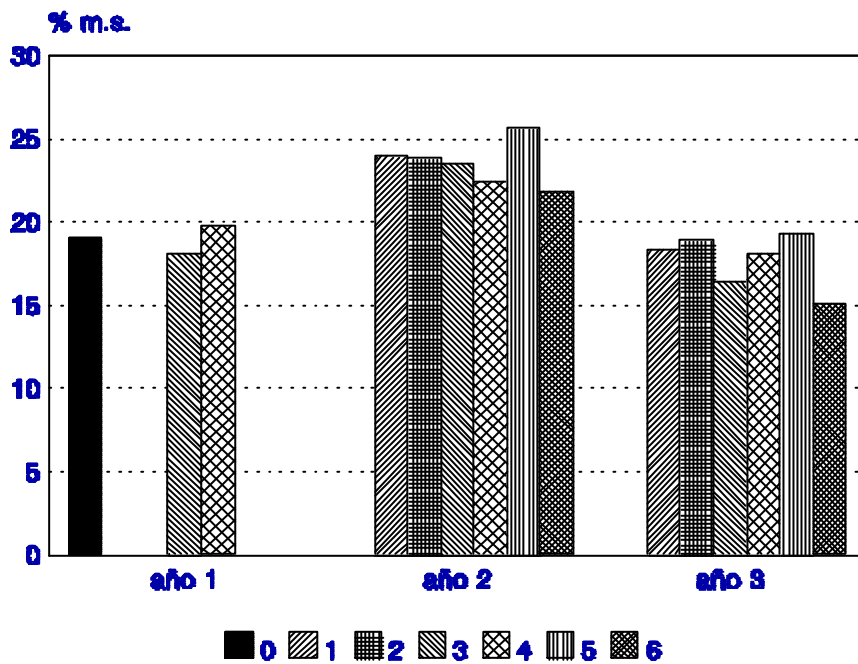


Figura 50. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en azúcares (en % sobre m.s.)

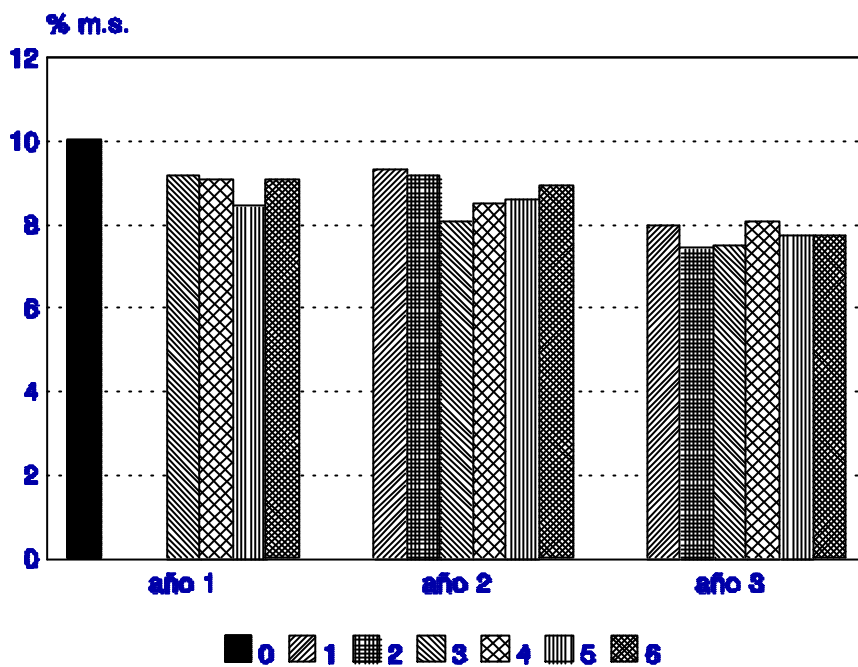


Figura 51. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en proteínas (en % sobre m.s.)

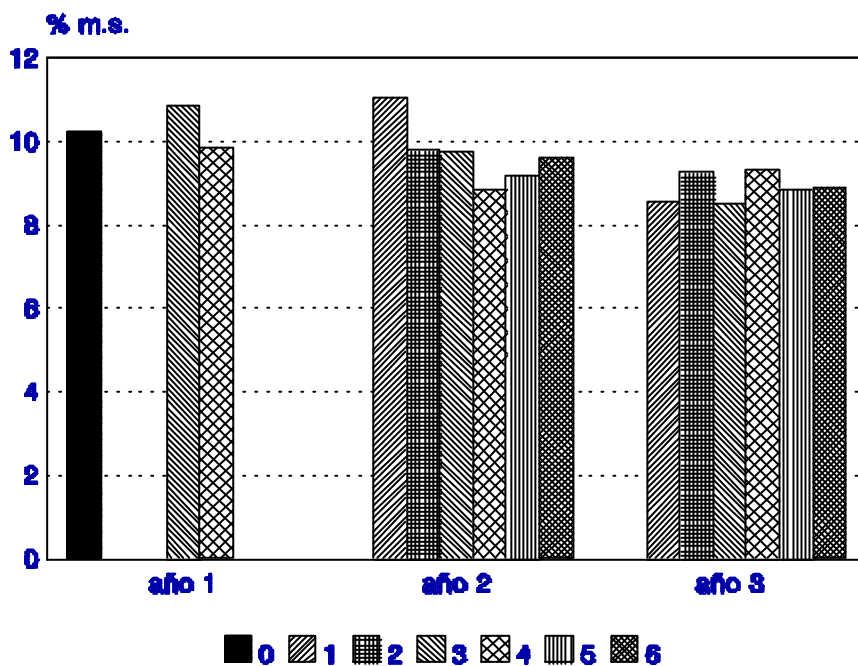


Figura 52. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en proteínas (en % sobre m.s.)

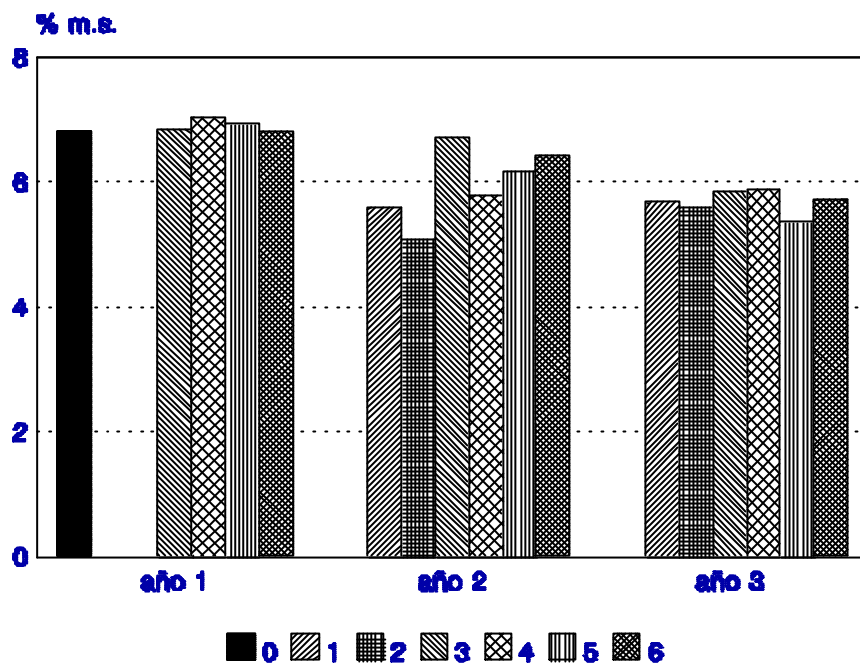


Figura 53. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en fibra (en % sobre m.s.)

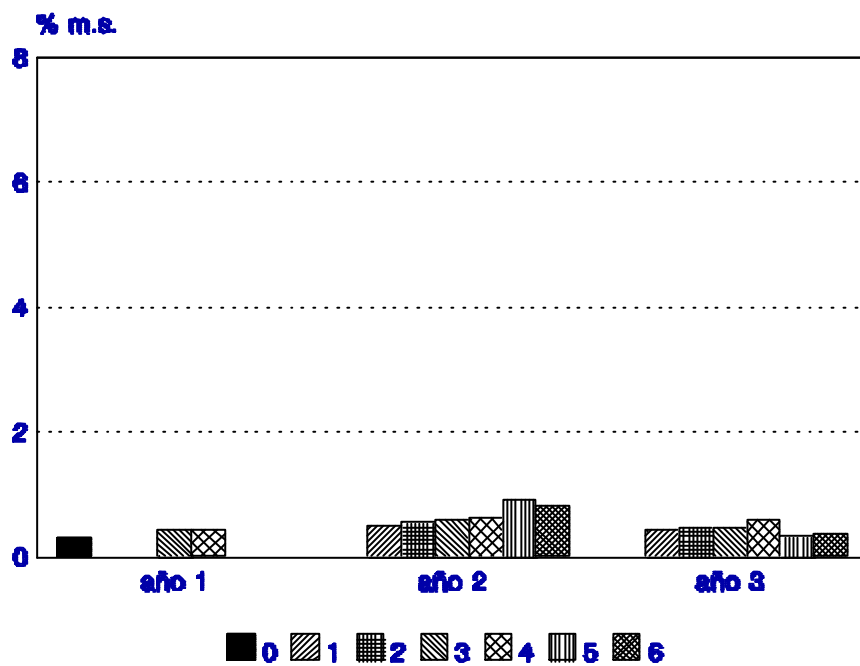


Figura 54. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en fibra (en % sobre m.s.)

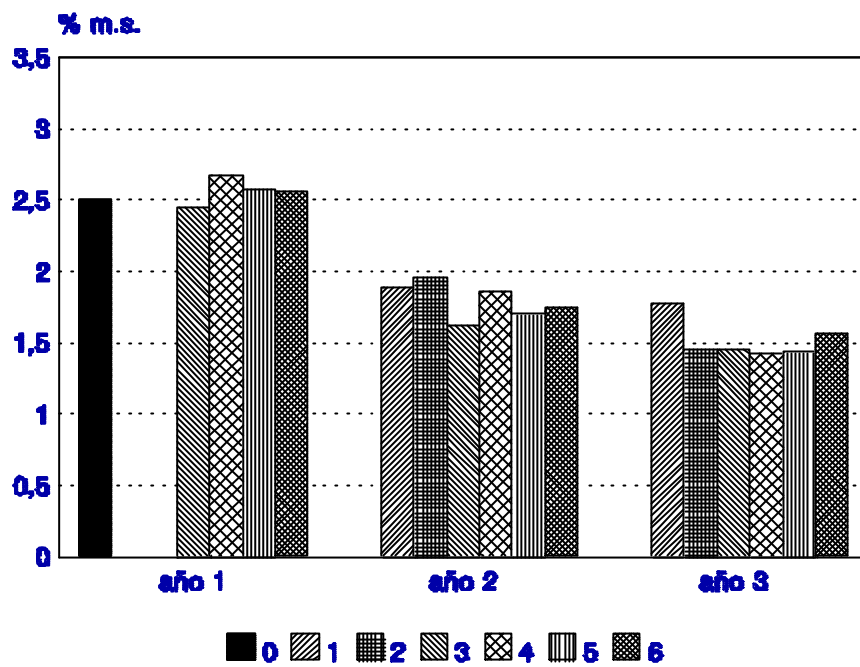


Figura 55. Tubérculos. Histograma de medias correspondiente al contenido en cenizas (en % sobre m.s.)

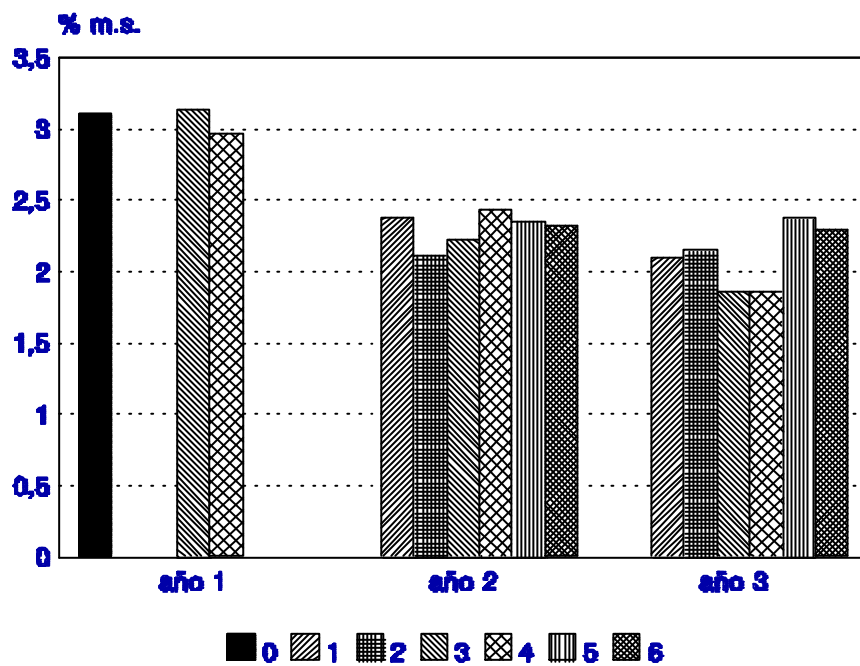


Figura 56. Horchatas. Histograma de medias correspondiente al contenido en cenizas (en % sobre m.s.)



**ANEJO 6. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS**

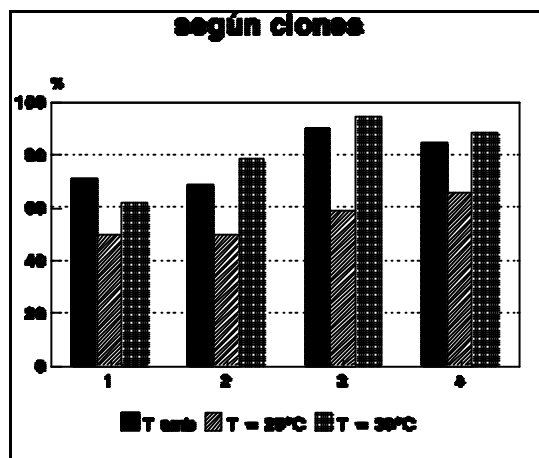
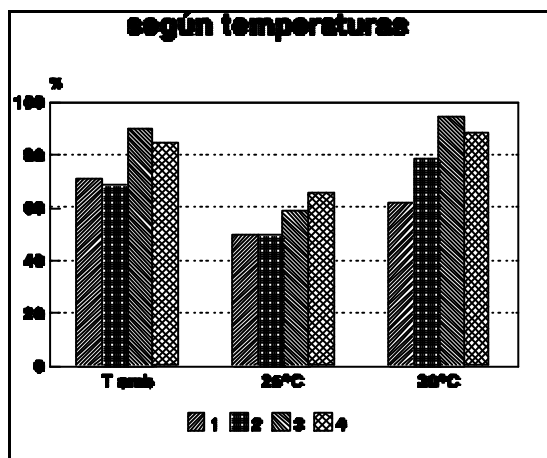
**Estudio de la brotación de los tubérculos**

**Cuadro 46.** a) Brotación de tubérculos a las diversas temperaturas ensayadas (en %)   
 b) Variaciones en la brotación de los tubérculos (en %), tomando como referencia los valores determinados para T = 25 °C

	a)			b)	
	variable	25 °C	30 °C	? a T amb	? a 30 °C
a <sub>1</sub>	70,8	49,2	61,7	43,9	25,4
a <sub>2</sub>	68,3	49,2	78,3	32,7	59,1
β	90,0	58,3	94,2	54,4	61,6
?	84,2	65,8	88,3	28,0	34,2

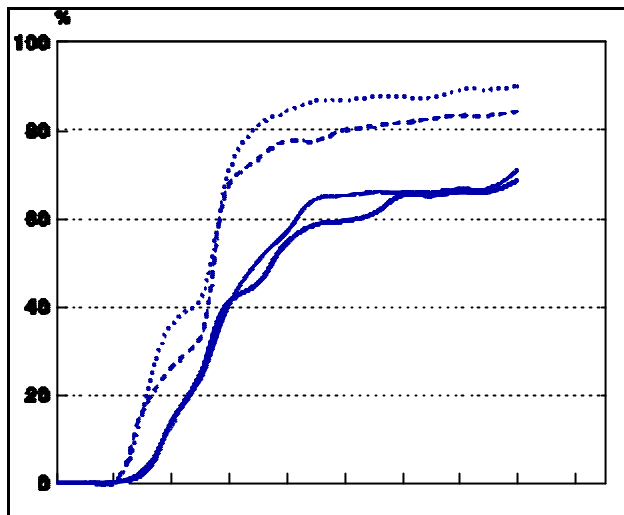
**Cuadro 47.** Número de días transcurridos hasta alcanzar el 50% y el 100% de brotación de los tubérculos viables

	T variable		T = 25 °C		T = 30 °C	
	50%	100%	50%	100%	50%	100%
a <sub>1</sub>	7	17	5	13	5	10
a <sub>2</sub>	7	17	6	14	5	12
β	7	15	6	11	4	11
?	7	15	6	12	4	12

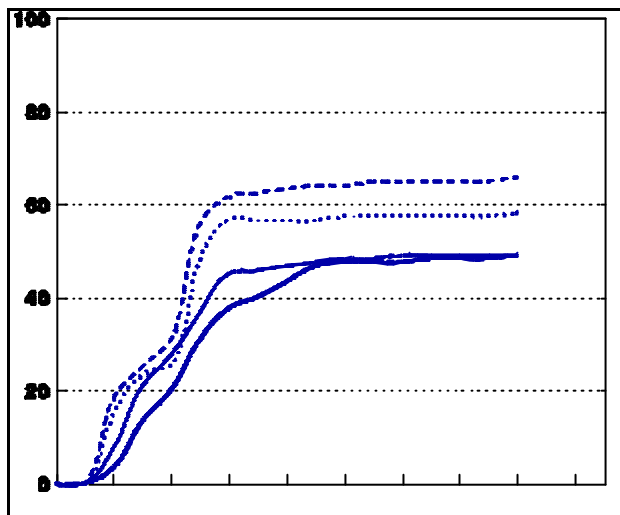


Figuras 57./58. Histogramas de medias correspondientes al cuadro 46. a)

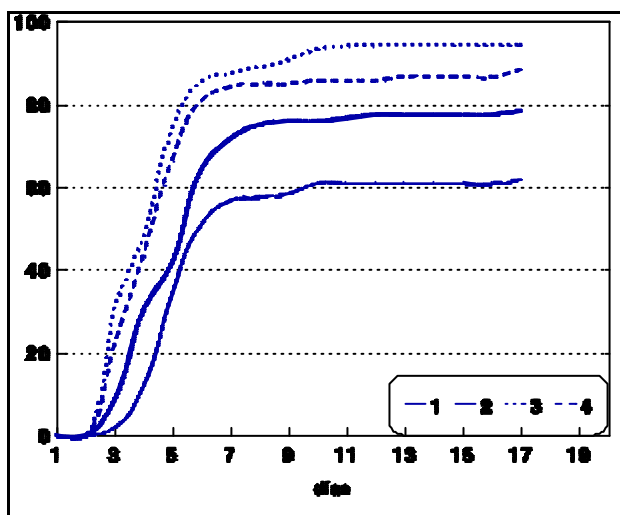
\* temperatura variable día/noche



\* temperatura constante = 25°C



\* temperatura constante = 30°C



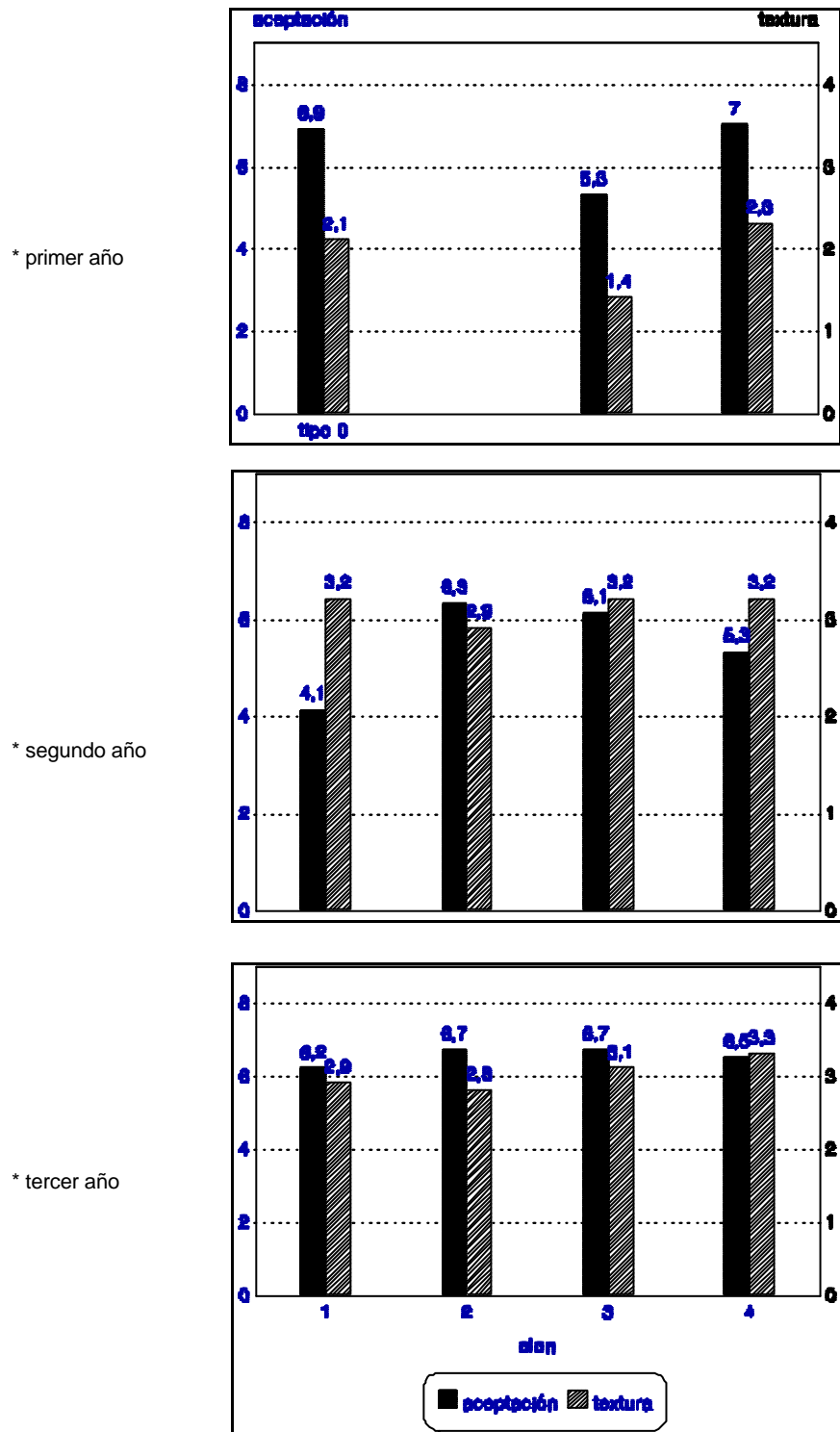
Figuras 59/60/61. Porcentajes acumulados de brotación

**Determinación de la densidad estomática**

**Cuadro 48.** Número de estomas por mm<sup>2</sup> en hojas de *C. esculentus*. Valores medios de 10 determinaciones por contenedor

	contenedores			media	
	1	2	3		
<b>a<sub>1</sub></b>	121,9	118,0	101,0	113,63	b
<b>a<sub>2</sub></b>	146,1	143,3	149,8	146,40	a
<b>β</b>	116,5	115,8	106,3	112,87	b
<b>?</b>	129,8	146,8	140,0	138,87	a

**Ensayos sensoriales con horchatas**



Figuras 62./63./64. Aceptación y textura

**ANEJO 7. HEREDABILIDAD DE LOS CARACTERES**

**Cuadro 49.** Valores hallados para la heredabilidad de los parámetros estudiados (en %)

	campo	conts.
<b>morfología y fisiología de las plantas</b>		
número brotes	-	75,24
altura plantas	0,0	1,41
nº inflorescencias	65,48	-
<b>morfología de los tubérculos</b>		
peso fresco unitario	45,22	68,35
longitud	70,45	77,68
anchura	25,49	45,33
relación long./anch.	84,96	77,51
nº nudos	31,38	4,53
<b>características productivas</b>		
p.f. tubérculos *	17,92	30,53
p.s. tubérculos **	21,78	22,26
p.s. hojas	20,99	13,63
nº tubérculos	-	52,06
<b>composición química de los tubérculos</b>		
almidón	36,53	-
grasas	9,38	-
azúcares	5,12	-
proteínas	0,0	-
fibra	3,04	-
cenizas	0,0	-

\* p.f. = peso fresco

\*\* p.s. = peso seco

**ANEJO 8. ANÁLISIS DISCRIMINANTES**  
**Estudios anuales conjuntos**

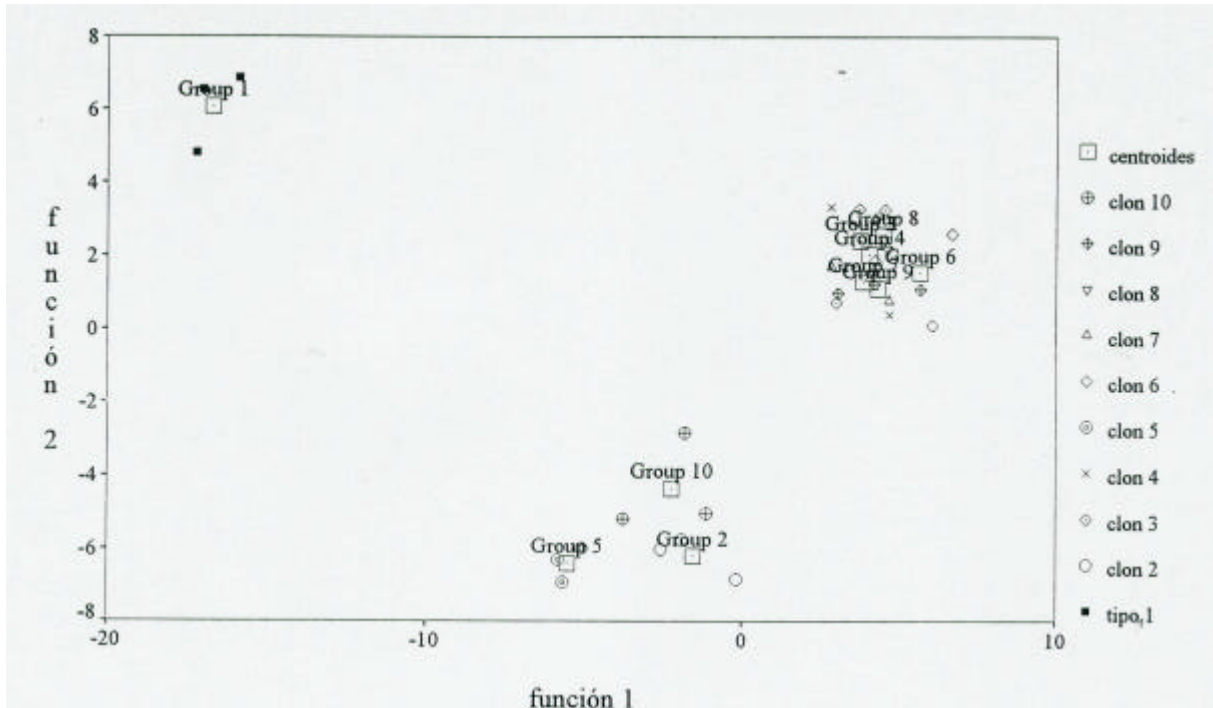


Figura 65. Año 1. Campo. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2)

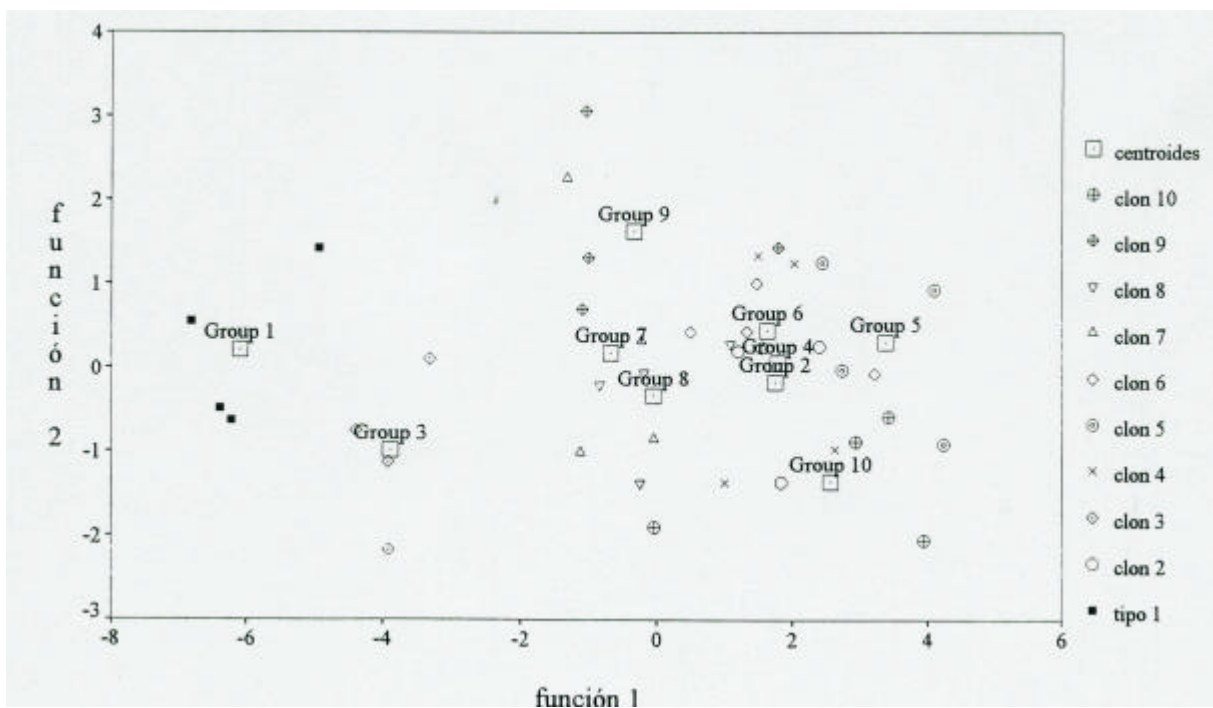


Figura 66. Año 1. Contenedores. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2)

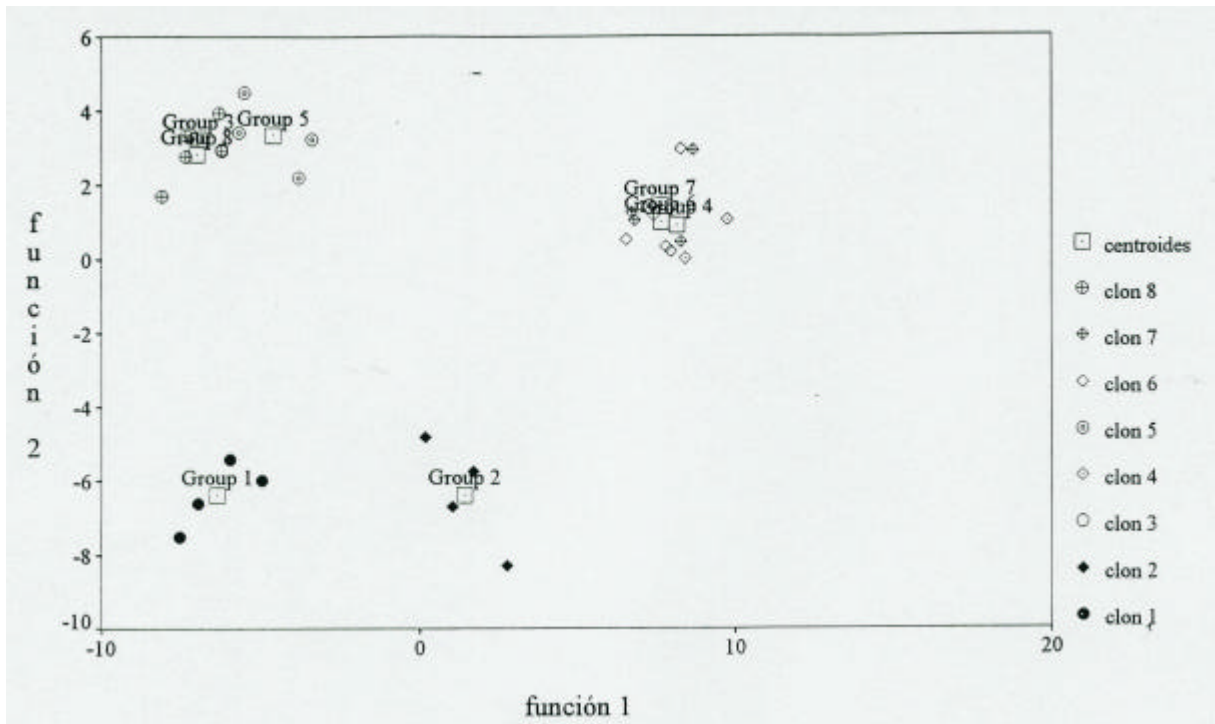


Figura 67. Año 2. Campo. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2)

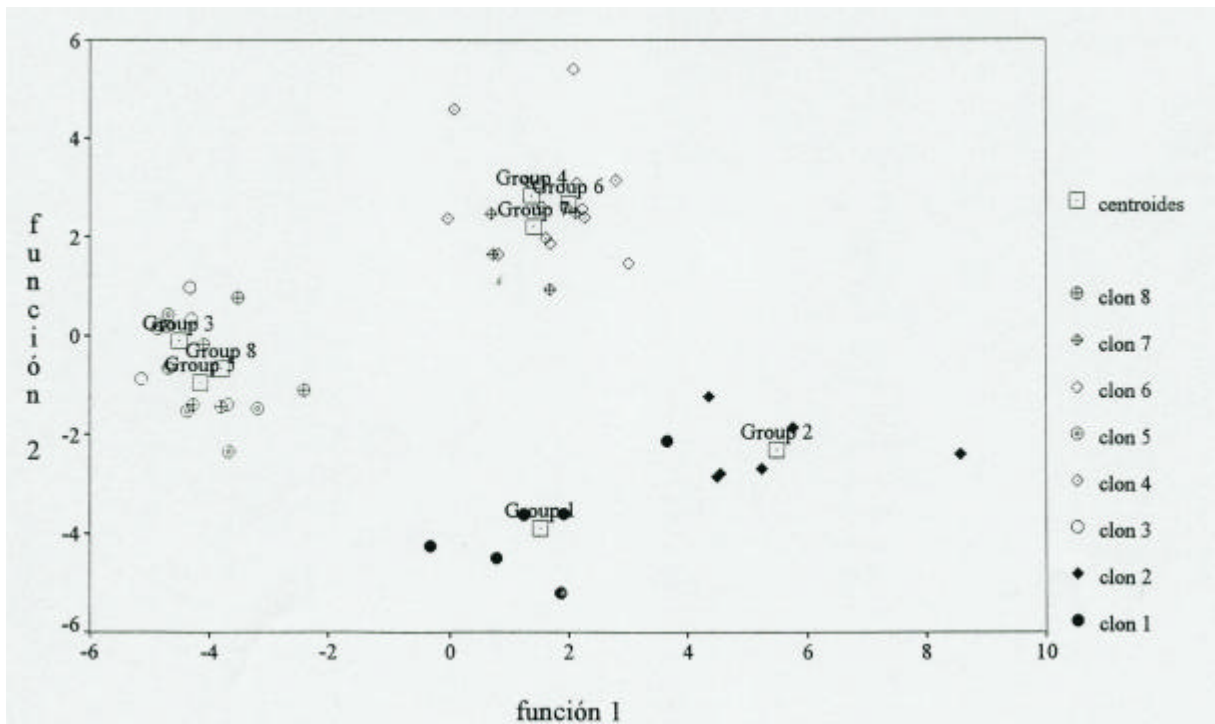


Figura 68. Año 2. Contenedores. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2)

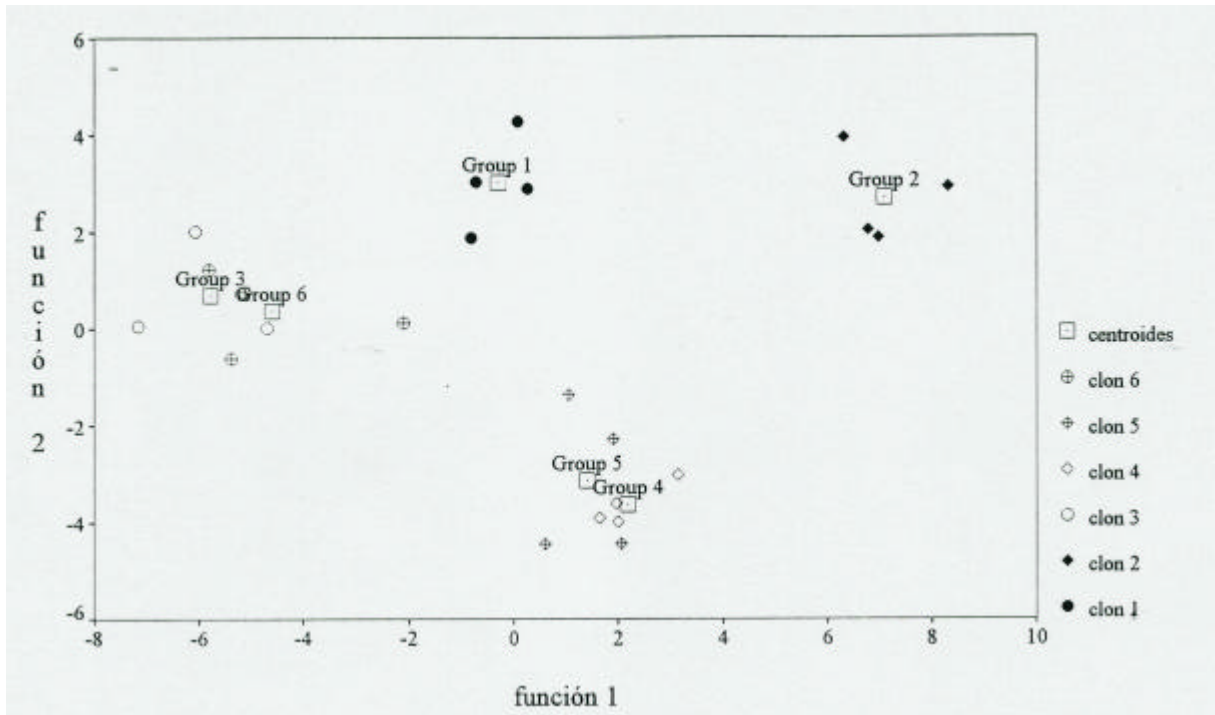


Figura 69. Año 3. Campo. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2)

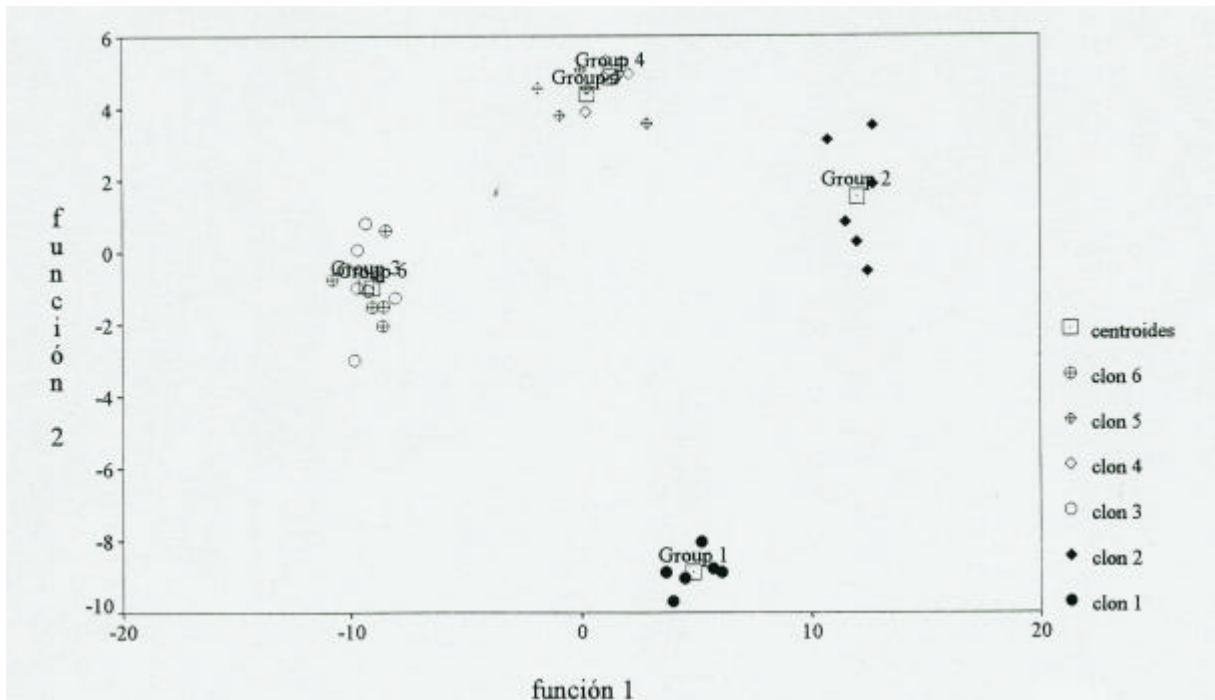


Figura 70. Año 3. Contenedores. Figura correspondiente al análisis conjunto (funciones discriminantes 1 y 2)

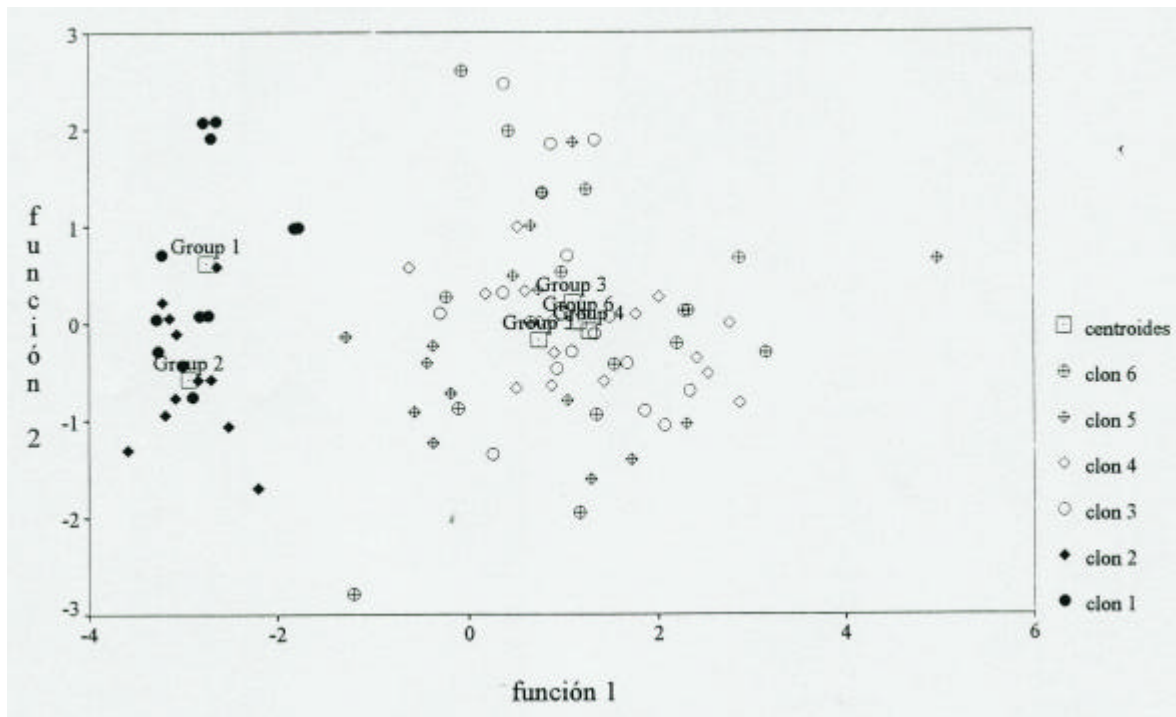


**Estudios trianuales según tipos de parámetros**

**Morfología y fisiología de las plantas**

**Cuadro 50.** Contenedores. Morfología y fisiología de las plantas. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica	alt num	coeficientes estandarizados		clasif. corr.	
				función 1	función 2		
1	96,40	0,8754		-0,18739	0,98886	40,91 %	
2	3,60	0,3302		1,00371	0,07432		
clon teórico (número, porcentaje)							
clon real	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β	?	?	μ	total
a <sub>1</sub>	8 66,7	4 33,3	0 0,0	0 0,0	0 0,0	0 0,0	12 100
a <sub>2</sub>	2 16,7	10 83,3	0 0,0	0 0,0	0 0,0	0 0,0	12 100
β	0 0,0	0 0,0	5 31,3	7 43,8	4 25,0	0 0,0	16 100
?	0 0,0	0 0,0	2 12,5	7 43,8	7 43,8	0 0,0	16 100
?	1 6,3	0 0,0	5 31,3	4 25,0	6 37,5	0 0,0	16 100
μ	0 0,0	1 6,3	4 25,0	7 43,8	4 25,0	0 0,0	16 100



**Figura 71.** Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 50. (funciones discriminantes 1 y 2)

Morfología de los tubérculos

Cuadro 51. Campo. Morfología de los tubérculos. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica	anch long nudos peso rel l/a	coeficientes estandarizados				
				función 1	función 2	función 3	función 4	función 5
1	92,44	0,9481		2,41183	4,01233	-1,02179	3,52899	2,26128
2	5,47	0,5874		-0,16157	0,00003	1,40980	0,50494	-1,35386
3	1,10	0,3096		-0,10718	0,39570	0,76674	-0,46545	0,42622
4	0,68	0,2487		-1,66692	-4,30732	-0,04558	-3,14545	-0,46091
5	0,30	0,1673		1,72425	0,92758	-0,99395	0,64882	0,82041

clon real	clon teórico (número, porcentaje)										clasif. corr.				
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β		?		μ		total						
a <sub>1</sub>	6	75,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	12,5	1	12,5	8	100	63,33 %
a <sub>2</sub>	1	12,5	4	50,0	0	0,0	1	12,5	2	25,0	0	0,0	8	100	
β	0	0,0	0	0,0	8	72,7	0	0,0	0	0,0	3	27,3	11	100	
?	0	0,0	1	9,1	0	0,0	8	72,7	2	18,2	0	0,0	11	100	
?	0	0,0	1	9,1	0	0,0	4	36,4	6	54,6	0	0,0	11	100	
μ	2	18,2	0	0,0	3	27,3	0	0,0	0	0,0	6	54,6	11	100	

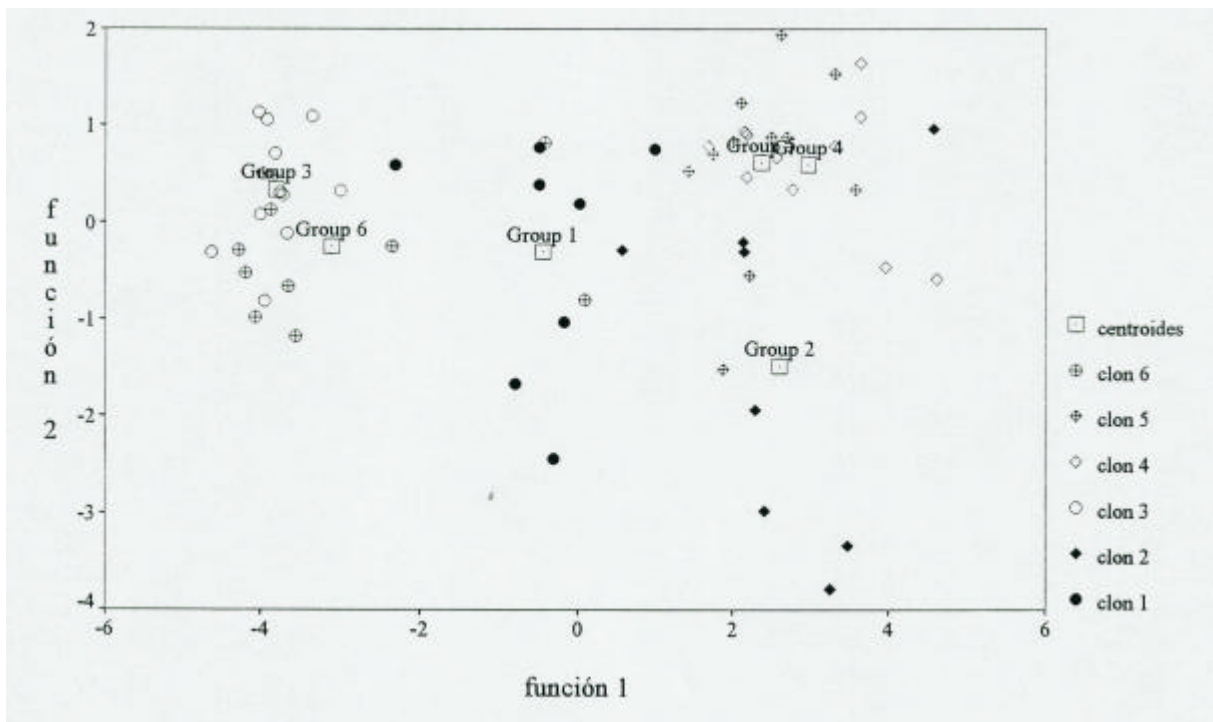


Figura 72. Campo. Figura correspondiente al cuadro 51. (funciones discriminantes 1 y 2)

Cuadro 52. Contenedores. Morfología de los tubérculos. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica	anch long nudos peso rel l/a	coeficientes estandarizados				
				función 1	función 2	función 3	función 4	función 5
1	75,28	0,9414		-0,05502	-0,00260	0,67297	1,22537	-0,00419
2	23,00	0,8392		0,07365	0,43602	0,91705	-1,71069	-1,47672
3	1,19	0,3312		0,01252	-0,32649	0,63276	-0,21206	0,72263
4	0,50	0,2217		0,26055	0,78855	-0,88079	0,15547	0,86673
5	0,03	0,0553		0,84657	-0,71683	-0,37576	1,68600	0,89186

clon real	clon teórico (número, porcentaje)										total	clasif. corr.			
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β	?	?	μ									
a <sub>1</sub>	11	91,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	8,3	0	0,0	12	100	75,00 %
a <sub>2</sub>	2	16,7	9	75,0	0	0,0	0	0,0	1	8,3	0	0,0	12	100	
β	0	0,0	0	0,0	10	62,5	0	0,0	0	0,0	6	37,5	16	100	
?	0	0,0	0	0,0	0	0,0	13	81,3	3	18,8	0	0,0	16	100	
?	0	0,0	1	6,3	0	0,0	5	31,3	10	62,5	0	0,0	16	100	
μ	0	0,0	0	0,0	3	18,8	0	0,0	0	0,0	13	81,3	16	100	

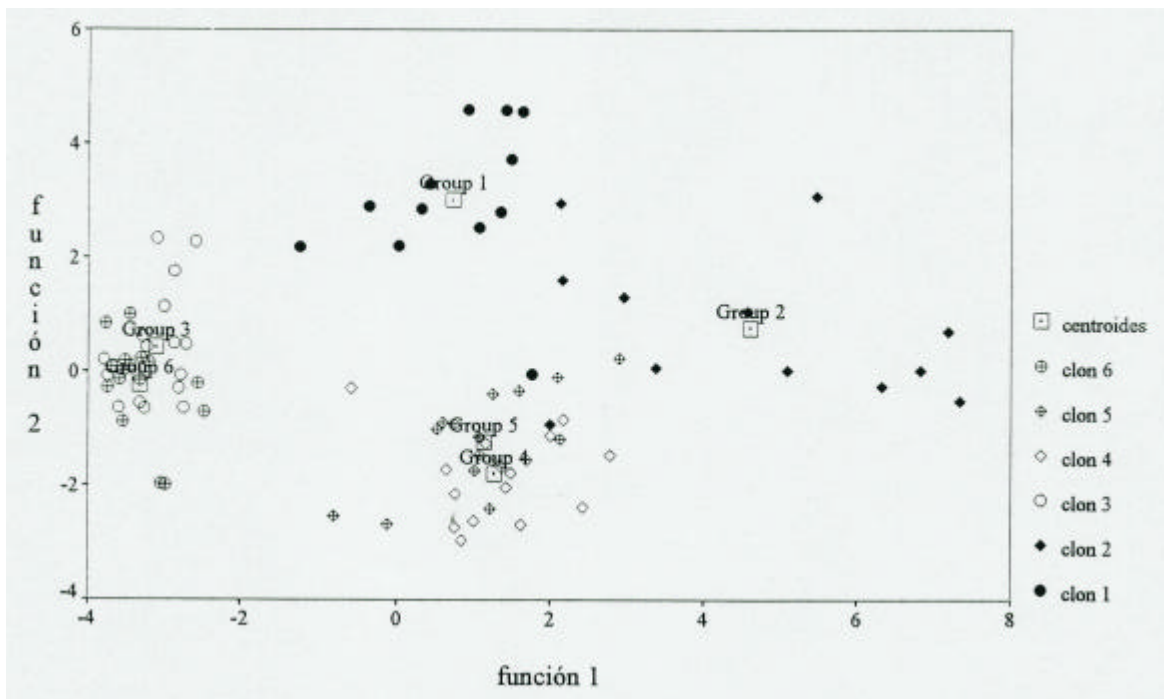


Figura 73. Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 52. (funciones discriminantes 1 y 2)

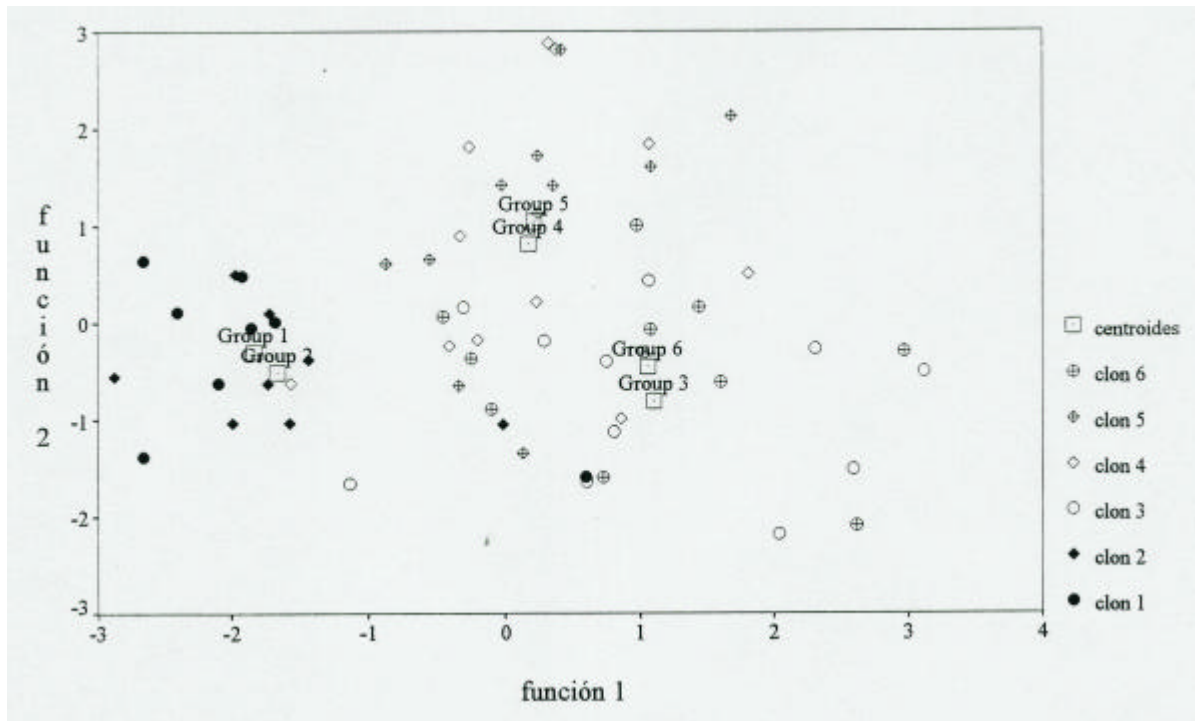
**Características productivas**

**Cuadro 53.** Campo. Características productivas. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica		coeficientes estandarizados			clasif. corr.
				función 1	función 2	función 3	
1	67,46	0,7786	tpesofres	-2,14679	2,50959	-3,23271	45,00 %
2	32,10	0,6503	tpesosec	2,46409	-1,57166	3,47259	
3	0,43	0,0989	hpesosec	1,23000	-0,60883	0,05656	

clon real	clon teórico (número, porcentaje)											
	a <sub>1</sub>		a <sub>2</sub>		β		?		μ		total	
a <sub>1</sub>	5	62,5	2	25,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0	8	100
a <sub>2</sub>	3	37,5	4	50,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0	8	100
β	0	0,0	1	9,1	6	54,6	1	9,1	0	0,0	3	27,3
?	0	0,0	1	9,1	1	9,1	4	36,4	5	45,5	0	0,0
?	0	0,0	1	9,1	1	9,1	5	45,5	4	36,4	0	0,0
μ	0	0,0	0	0,0	5	45,5	0	0,0	2	18,2	4	36,4



**Figura 74.** Campo. Figura correspondiente al cuadro 53. (funciones discriminantes 1 y 2)

Cuadro 54. Contenedores. Características productivas. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica	tpesofres tpeosec hpeosec tnum	coeficientes estandarizados			
				función 1	función 2	función 3	función 4
1	82,95	0,8859		-1,48820	2,10561	1,73525	-4,31320
2	14,96	0,6299		0,11006	-0,83753	-0,84493	4,68465
3	1,88	0,2764		-0,50393	-0,82677	0,92439	-0,00011
4	0,20	0,0939		2,24566	-0,31573	-0,77221	-0,05150

clon real	clon teórico (número, porcentaje)												total	clasif. corr.	
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β		?		?		μ						
a <sub>1</sub>	8	66,7	4	33,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	12	100	61,36 %		
a <sub>2</sub>	3	25,0	9	75,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	12	100			
β	0	0,0	1	6,3	7	43,8	0	0,0	3	18,8	5	31,3		16	100
?	0	0,0	0	0,0	1	6,3	8	50,0	6	37,5	1	6,3		16	100
?	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	31,3	10	62,5	1	6,3		16	100
μ	0	0,0	1	6,3	0	0,0	2	12,5	1	6,3	12	75,0		16	100

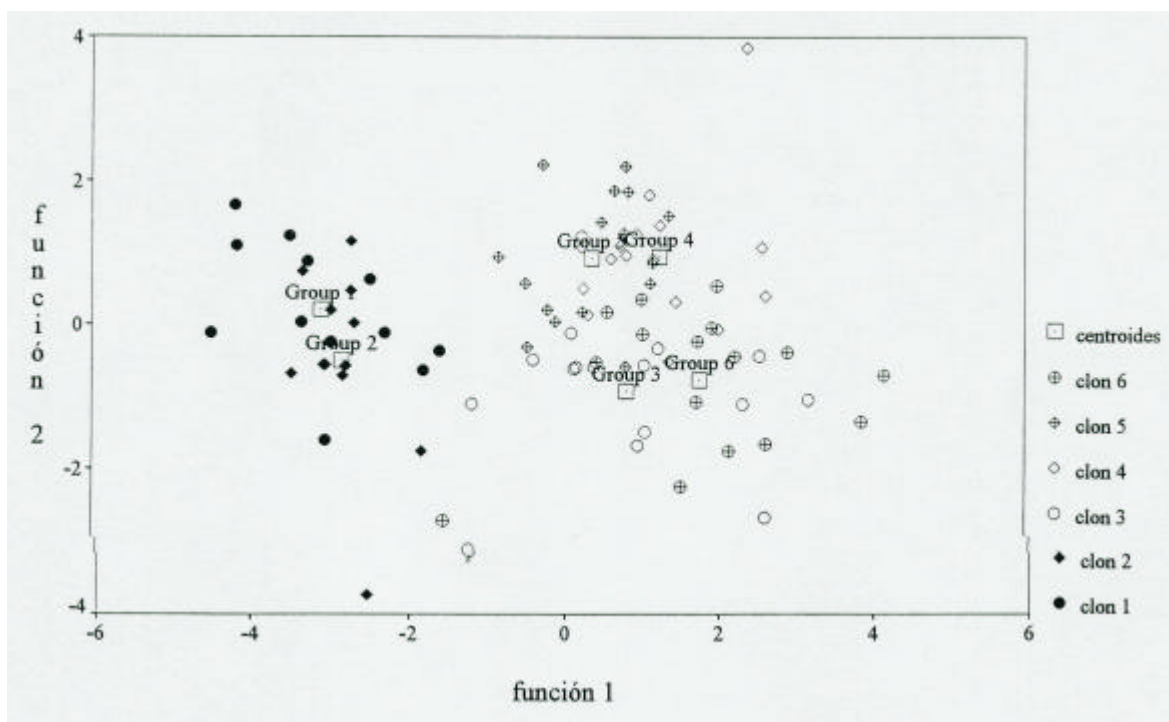


Figura 75. Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 54. (funciones discriminantes 1 y 2)

Composición química de los tubérculos

Cuadro 55. Campo. Composición química de los tubérculos. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica		coeficientes estandarizados								
				función 1	función 2	función 3	función 4	función 5				
1	81,17	0,9306	almidón azúcares cenizas fibra grasas proteínas	-0,68502	-0,23898	-0,06165	0,78039	0,22992				
2	16,43	0,7528		-0,79297	2,41588	-0,24106	0,34137	0,56641				
3	2,07	0,3759		0,28046	-0,28209	0,81495	0,91849	-1,21188				
4	0,30	0,1539		1,58895	-0,61922	-0,55288	0,38344	0,62331				
5	0,03	0,0505		1,67691	0,99716	0,73309	1,57445	0,04473				
				0,72525	-0,76871	1,00290	-0,07995	0,80111				
clon teórico (número, porcentaje)												
clon real	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β	?	?	μ	total	clasif. corr.				
a <sub>1</sub>	8	100	0	0,0	0	0,0	0	0,0	8	100	70,00 %	
a <sub>2</sub>	1	12,5	7	87,5	0	0,0	0	0,0	8	100		
β	0	0,0	0	0,0	6	54,5	1	9,1	3	27,3		
?	0	0,0	0	0,0	1	9,1	6	54,5	3	27,3		
?	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	27,3	8	72,7		
μ	1	9,1	0	0,0	0	0,0	3	27,3	0	0,0		
									7	63,6	11	100

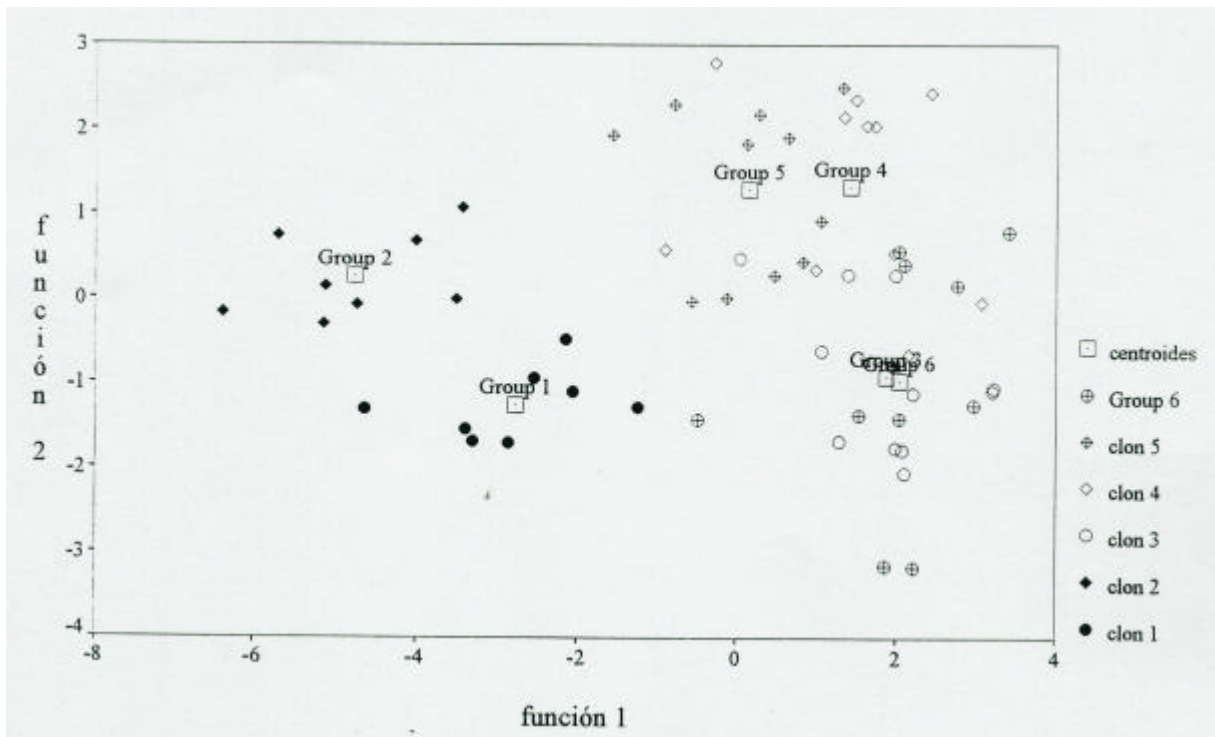
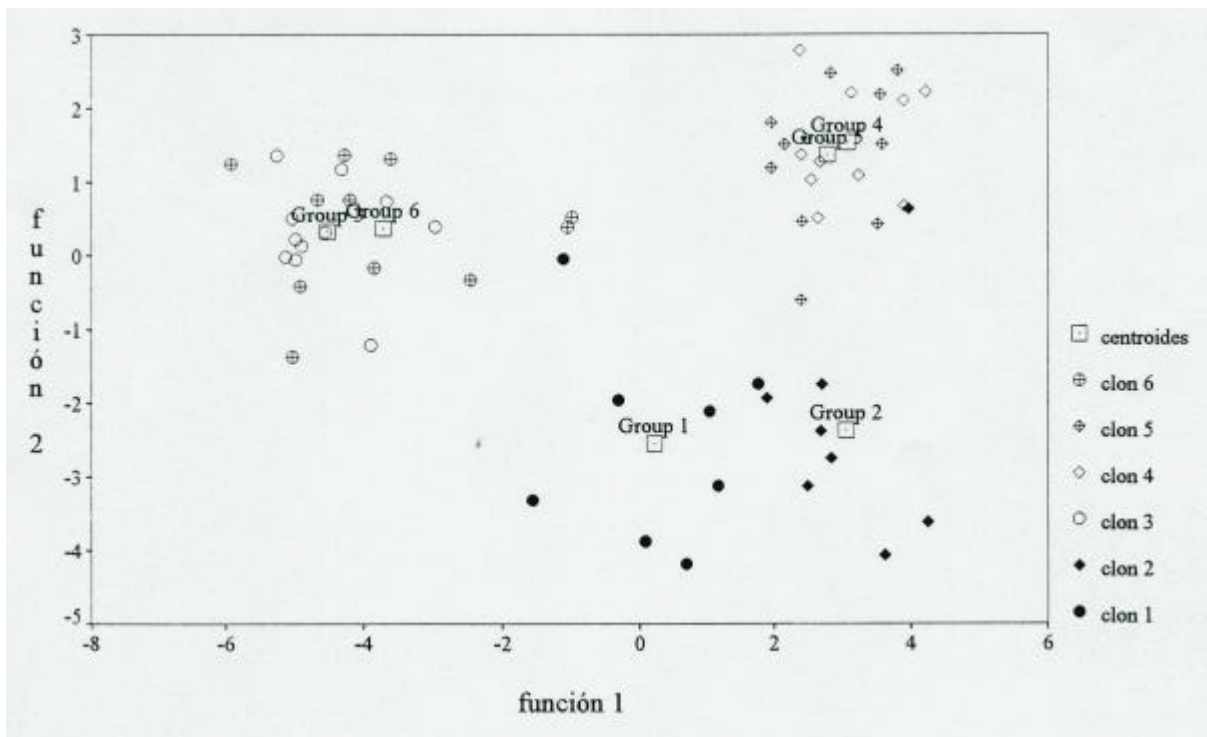


Figura 76. Campo. Figura correspondiente al cuadro 55. (funciones discriminantes 1 y 2)

**Estudios trianuales conjuntos**

**Cuadro 56.** Campo. Estudio conjunto. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica		coeficientes estandarizados											
				función 1	función 2	función 3	función 4	función 5							
1	77,53	0,9604	alt anch hpesosec long nudos peso rel l/a tpesofre tpesosec	-0,18021	0,65509	0,75463	-0,24180	0,55903							
2	17,67	0,8546		3,20893	0,06605	-4,17051	-0,12200	1,51113							
3	2,99	0,5606		-0,58389	0,80960	1,14999	0,10164	0,28985							
4	1,16	0,3882		-0,36820	0,00351	0,29702	0,63019	1,46152							
5	0,65	0,3011		0,19405	0,24676	-0,10715	1,21687	-0,18962							
				-2,13223	-0,79185	3,90041	-0,20300	-2,68003							
				1,89773	0,23977	-0,72650	-0,61229	0,02101							
				-0,55676	0,88227	-1,66264	-3,48355	1,62078							
				0,82612	-0,24640	1,13328	3,63649	-2,22004							
clon teórico (número, porcentaje)															
clon real	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β	?	?	μ	total	clasif. corr.							
a <sub>1</sub>	7	87,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	12,5	8	100	76,67 %		
a <sub>2</sub>	1	12,5	6	75,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	8	100			
β	0	0,0	0	0,0	9	81,8	0	0,0	0	0,0	2	18,2		11	100
?	0	0,0	0	0,0	0	0,0	8	72,7	3	27,3	0	0,0		11	100
?	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	18,2	9	81,8	0	0,0		11	100
μ	0	0,0	0	0,0	4	36,4	0	0,0	0	0,0	7	63,6		11	100



**Figura 77.** Campo. Figura correspondiente al cuadro 56. (funciones discriminantes 1 y 2)

Cuadro 57. Campo. Estudio conjunto. Análisis discriminante por grupos de clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica		coeficientes estandarizados							
				función 1	función 2	función 3					
1	77,95	0,9579	alt anch hpesosec long nudos peso rel l/a tpesofre tpesosec	-0,18700	0,64361	0,78043					
2	18,90	0,8542		3,28856	0,07374	-4,03255					
3	3,15	0,5568		-0,57938	0,80742	1,17157					
				0,23944	0,01240	0,44252					
				0,27359	0,28577	-0,05687					
				-2,31683	-0,80065	3,65883					
				1,87308	0,23774	-0,77440					
				-0,68392	0,78873	-1,72133					
				0,93257	-0,14190	1,15522					
grupo teórico (número, porcentaje)											
grupo real	1		2		3		4		total	clasif. corr.	
1	7	87,5	0	0,0	1	12,5	0	0,0	8	100	95,00 %
2	1	12,5	6	75,0	0	0,0	1	12,5	8	100	
3	0	0,0	0	0,0	22	100	0	0,0	22	100	
4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	22	100	22	100	

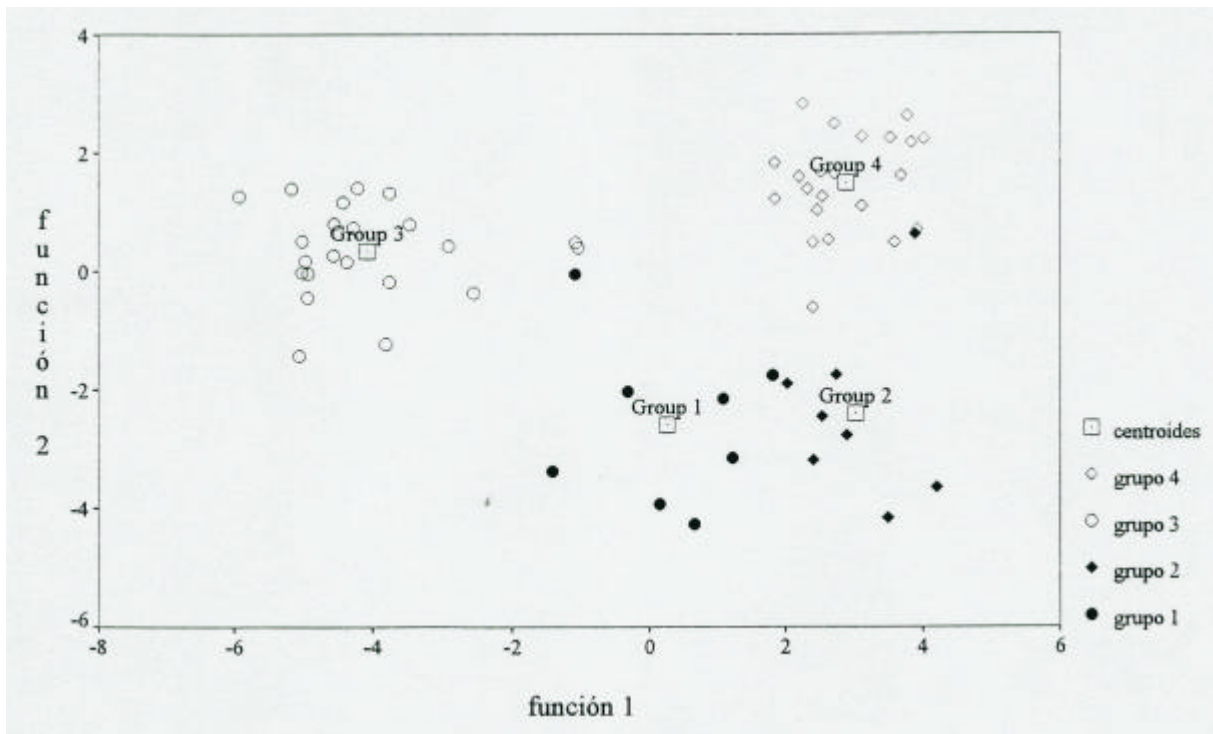


Figura 78. Campo. Figura correspondiente al cuadro 57. (funciones discriminantes 1 y 2)



Cuadro 58. Contenedores. Estudio conjunto. Análisis discriminante por clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica		coeficientes estandarizados				
				función 1	función 2	función 3	función 4	función 5
1	65,36	0,9591		-0,02369	-0,38282	0,30372	-0,18627	0,28420
2	29,70	0,9160	alt	-0,12878	0,03592	0,67618	0,81998	0,25429
3	3,63	0,6242	anch	0,39284	-0,28347	-0,39447	1,10360	-0,33525
4	0,98	0,3836	hpesosec	0,02850	-0,13714	0,53561	-0,73372	-1,50016
5	0,32	0,2311	long	-0,15540	0,29227	0,37236	-0,26639	-0,37592
			nudos	-0,50031	0,32042	0,22126	0,34679	0,00069
			num	0,25271	-0,47218	-0,77532	-0,10144	0,87968
			peso	0,62232	0,82367	-0,27031	0,96753	1,11071
			rel l/a	-1,02091	0,25964	-1,20955	-0,98543	0,46281
			tnum	1,12108	0,11069	3,32781	0,87239	-0,30323
			tpesofre	-0,52575	0,41014	-1,86777	-0,36056	0,25430
			tpesosec					
clon teórico (número, porcentaje)								
clon real	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β	?	?	μ	total	clasif. corr.
a <sub>1</sub>	12	100	0	0,0	0	0,0	12	100
a <sub>2</sub>	1	8,3	11	91,7	0	0,0	12	100
β	0	0,0	0	0,0	11	68,8	16	100
?	0	0,0	0	0,0	0	0,0	16	100
?	0	0,0	0	0,0	4	25,0	12	75,0
μ	0	0,0	0	0,0	0	0,0	15	93,8

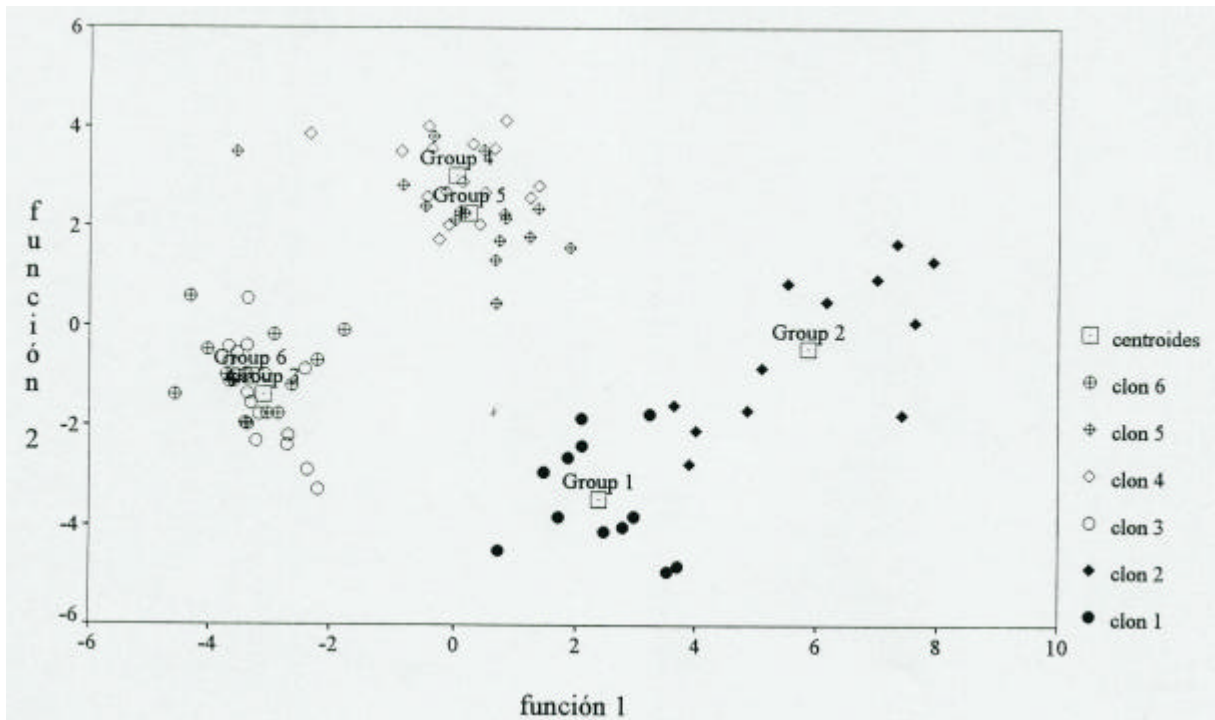


Figura 79. Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 58. (funciones discriminantes 1 y 2)

Cuadro 59. Contenedores. Estudio conjunto. Análisis discriminante por grupos de clones (3 años)

función discriminante	porcentaje relativo	correlación canónica	alt anch hpesosec long nudos num peso rel l/a tnum tpesofre tpesosec	coeficientes estandarizados		
				función 1	función 2	función 3
1	67,29	0,9573		-0,06006	-0,36204	0,37179
2	29,52	0,9099		-0,21422	0,12963	0,55233
3	3,19	0,5845		0,31662	-0,27326	-0,62452
				-0,01826	-0,01856	0,42189
				-0,14409	0,34076	0,33779
				-0,49841	0,37099	0,13630
				0,28817	-0,61648	-0,58301
				0,68086	0,71152	-0,27788
				-0,84716	0,11375	-0,92164
				0,84711	0,44021	2,95515
				-0,33433	0,20611	-1,68044

grupo teórico (número, porcentaje)									
grupo real	1	2	3	4	total	clasif. corr.			
1	12	100	0	0,0	0	0,0	12	100	98,86 %
2	1	8,3	11	91,7	0	0,0	12	100	
3	0	0,0	0	0,0	32	100	32	100	
4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	32	100	

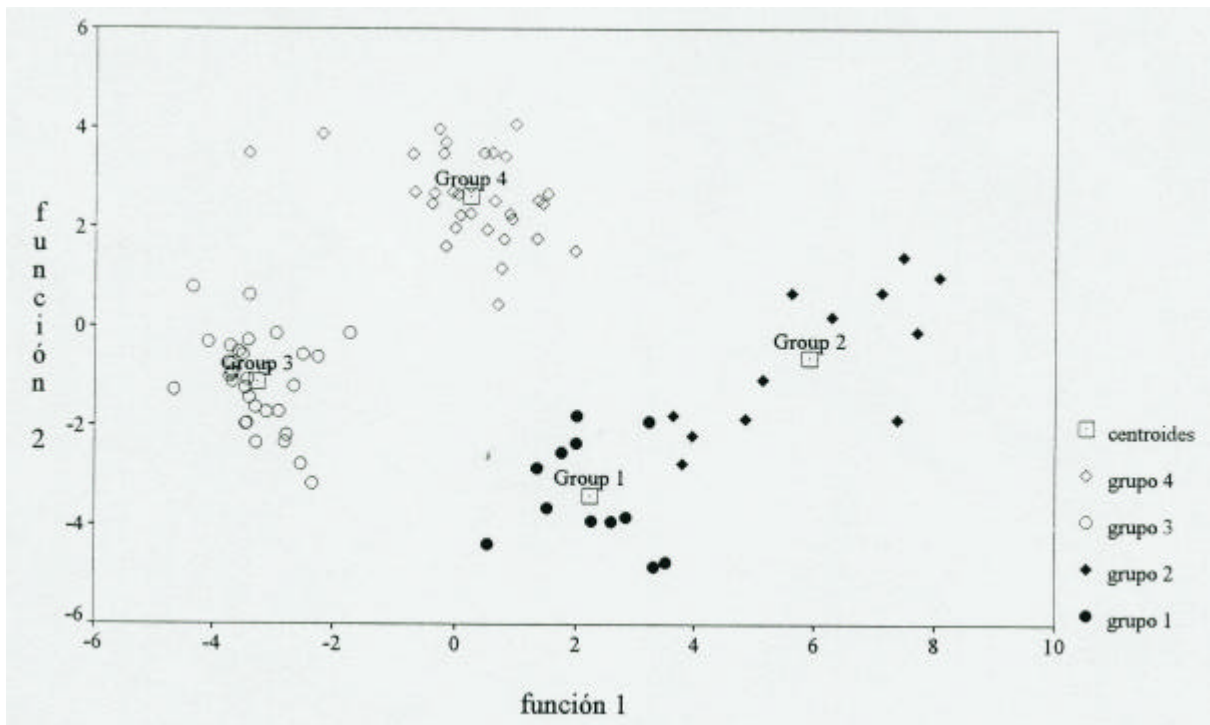


Figura 80. Contenedores. Figura correspondiente al cuadro 59. (funciones discriminantes 1 y 2)

ANEJO 9. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Cuadro 60. Características estudiadas sobre los diferentes clones de *C. esculentus*, agrupados atendiendo a los resultados obtenidos en los diferentes capítulos precedentes (cultivo en campo/contenedores)

	a <sub>1</sub>		a <sub>2</sub>		β/μ		?/?	
	campo	conts.	campo	conts.	campo	conts.	campo	conts.
<b>morfología y fisiología de las plantas</b>								
número brotes	42,5	49,9	38,6	40,8	72,3	130,3	71,3	126,8
altura planta (cm)	86,7	74,3	86,5	67,1	88,5	69,2	85,1	67,8
altura planta / número brotes	2,02	1,56	2,13	1,71	1,25	0,55	1,24	0,56
inflorescencias / ha (*)	44548	-	49488	-	1842	-	3797	-
<b>morfología de los tubérculos</b>								
relación longitud/anchura	1,47	1,46	1,73	1,87	1,27	1,14	1,74	1,62
▷ forma	aovada		aovada-alargada		redondeada		aovada	
longitud (cm)	1,45	1,64	1,70	1,86	1,19	1,22	1,54	1,56
anchura (cm)	1,00	1,13	1,00	1,01	0,96	1,08	0,91	0,98
peso fresco unitario (g)	0,79	1,10	0,95	1,05	0,59	0,73	0,70	0,80
nudos por tubérculo	4,84	4,81	4,91	4,81	4,79	4,78	4,97	4,87
<b>características productivas</b>								
p.f. tubs. (kg.ha <sup>-1</sup> - g/cont.)	10247,3	259,9	9964,0	224,7	12622,0	307,6	15587,9	361,3
p.s. tubs. (kg.ha <sup>-1</sup> - g/cont.)	5620,7	141,1	5492,2	118,7	6728,4	168,4	8231,8	197,3
p.s. hojas (kg.ha <sup>-1</sup> - g/cont.)	5488,1	57,5	5735,1	57,2	10259,1	81,1	8675,0	67,6
p.s. tubs. / p.s.hojas	1,12	2,4	1,02	2,37	0,69	2,15	0,98	2,91
número de tubérculos (**)	-	253,5	-	231	-	512	-	523,5

(\*) campo

(\*\*) contenedores

Cuadro 61. Composición química de los tubérculos (% m.s.)

	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	β/μ	?/?
almidón	32,05	33,84	27,30	26,57
grasas	23,60	23,89	25,57	25,44
proteínas	8,65	8,31	8,39	8,41
azúcares	15,48	16,15	15,27	17,08
fibra	5,64	5,34	6,41	6,18
cenizas	1,83	1,71	1,89	1,94