



TGP/8/1

ORIGINAL: Inglés

FECHA: 21 de octubre de 2010

**UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS OBTENCIONES VEGETALES**  
GINEBRA

Documento conexo  
a la  
Introducción general al examen de la  
distinción, la homogeneidad y la estabilidad y a la  
elaboración de descripciones armonizadas de las obtenciones vegetales  
(documento TG/1/3)

**DOCUMENTO TGP/8**  
**DISEÑO DE ENSAYOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN EL EXAMEN DE LA**  
**DISTINCIÓN, LA HOMOGENEIDAD Y LA ESTABILIDAD**

adoptado por el Consejo  
en su cuadragésima cuarta sesión ordinaria  
el 21 de octubre de 2010

<u>ÍNDICE</u>	<u>PÁGINA</u>
INTRODUCCIÓN .....	5
PARTE I: DISEÑO DE ENSAYOS DHE Y ANÁLISIS DE DATOS .....	6
1. DISEÑO DE ENSAYOS DHE.....	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Ciclos de cultivo .....	7
1.2.1 Introducción .....	7
1.2.2 Ciclos de cultivo independientes .....	7
1.3 Lugar de ejecución de los ensayos.....	8
1.3.1 Finalidad.....	8
a) Reducir al mínimo la duración general del examen.....	8
b) Ensayo de reserva .....	8
c) Diferentes condiciones agroclimáticas .....	8
1.3.2 Utilización de información procedente de múltiples lugares.....	9
a) Ensayos adicionales.....	9
b) DHE examinadas basándose en datos correspondientes a los mismos caracteres examinados en lugares diferentes .....	9
1.4 Condiciones para efectuar el examen .....	9
1.5 Diseño de los ensayos.....	10
1.5.1 Introducción .....	10
1.5.2 Número de plantas en el ensayo .....	10
1.5.3 Disposición de los ensayos.....	10
1.5.3.1 Introducción .....	10
1.5.3.2 Parcelas individuales .....	13
1.5.3.3 Parcelas con repeticiones (análisis estadístico) .....	13
1.5.3.3.1 Introducción.....	13
1.5.3.3.2 Parcelas con repeticiones para el análisis estadístico de datos de plantas individuales.....	13
1.5.3.3.3 Aleatoriedad.....	14
1.5.3.3.4 Diseño en bloques aleatorizados incompletos.....	17
1.5.3.3.5 Diseño para realizar comparaciones entre pares de variedades determinadas .....	19
1.5.3.3.6 Otros aspectos estadísticos del diseño de ensayos .....	19
1.5.3.3.6.1 Introducción .....	19
1.5.3.3.6.2 Hipótesis en las que se basa el ensayo .....	19
1.5.3.3.6.3 Determinación del tamaño de muestra óptimo.....	21
1.5.3.3.7 Elementos del ensayo en la aplicación de análisis estadísticos.....	22
1.5.3.3.7.1 Introducción .....	22
1.5.3.3.7.2 Parcelas y bloques.....	23
1.5.3.3.7.3 Asignación de variedades a las parcelas.....	24
1.5.3.3.7.4 Tamaño, forma y configuración de las parcelas .....	24
1.5.3.3.7.5 Independencia de las parcelas .....	25
1.5.3.3.7.6 Disposición de las plantas en la parcela o tipo de parcela para la observación .....	25
1.5.3.4 Ensayos aleatorios “a ciegas” .....	25
1.6 Modificación de los métodos.....	25
2. VALIDACIÓN DE DATOS Y SUPOSICIONES.....	26
2.1 Introducción.....	26
2.2 Validación de datos .....	26
2.3 Suposiciones subyacentes del análisis estadístico y su validación .....	28
2.3.1 Suposiciones subyacentes del análisis estadístico basado en el análisis de la varianza.....	29
2.3.1.1 Introducción.....	29
2.3.1.2 Observaciones independientes.....	29
2.3.1.3 Homogeneidad de las varianzas.....	29
2.3.1.4 Observaciones con distribución normal.....	31
2.3.1.5 Aditividad de los efectos de bloque y de variedad .....	31
2.3.2 Validación de las suposiciones subyacentes del análisis estadístico .....	32
2.3.2.1 Introducción.....	32
2.3.2.2 Repasar los datos .....	33
2.3.2.3 Elaborar gráficos .....	33

3.	ELECCIÓN DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EXAMINAR LA DISTINCIÓN .....	38
3.1	Introducción.....	38
3.2	Métodos estadísticos aplicables a dos o más ciclos de cultivo independientes .....	38
3.2.1	Introducción .....	38
3.3	Resumen de los métodos estadísticos elegidos de examen de la distinción.....	40
3.4	Requisitos para los métodos estadísticos de evaluación de la distinción.....	41
PARTE II: TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL EXAMEN DHE.....		42
1.	LA METODOLOGÍA GAIA.....	42
1.1	Algunas razones para sumar y ponderar las diferencias observadas.....	42
1.2	Cálculo de la distancia fenotípica GAIA .....	43
1.3	Información detallada sobre la metodología GAIA.....	43
1.3.1	Ponderación de los caracteres.....	43
1.3.2	Ejemplos de utilización .....	45
1.3.2.1	Determinación de la “distinción calificada” .....	45
1.3.2.2	Otros ejemplos de utilización .....	45
1.3.3	Cálculo de la distancia fenotípica GAIA.....	46
1.3.4	Programa informático GAIA.....	47
1.3.5	Ejemplo basado en los datos de <i>Zea mays</i> .....	48
1.3.5.1	Introducción.....	48
1.3.5.2	Análisis de las notas .....	49
1.3.5.3	Análisis de resultados de electroforesis.....	50
1.3.5.4	Análisis de mediciones .....	52
1.3.5.5	Mediciones y escala del 1 al 9 para el mismo carácter .....	54
1.3.6	Ejemplo de análisis efectuado con GAIA.....	55
2.	FÓRMULA PARENTAL DE LAS VARIEDADES HÍBRIDAS .....	58
2.1	Introducción.....	58
2.2	Requisitos del método .....	58
2.3	Examen de la originalidad de una nueva línea parental.....	59
2.4	Comprobación de la fórmula .....	60
2.5	Homogeneidad y estabilidad de las líneas parentales .....	60
2.6	Descripción del híbrido .....	60
3.	CRITERIO COMBINADO INTERANUAL DE DISTINCIÓN (COYD).....	61
3.1	Resumen de requisitos para la aplicación del método .....	61
3.2	Resumen .....	61
3.3	Introducción.....	62
3.4	El método COYD .....	62
3.5	Utilización del método COYD .....	63
3.6	Adaptación del COYD en circunstancias especiales .....	63
3.6.1	Diferencias interanuales en la gama de expresión de un carácter.....	63
3.6.2	Ensayos con un número reducido de variedades: el COYD de largo plazo .....	64
3.6.3	Cambios destacados de un año a otro en el carácter de una variedad.....	65
3.7	Aplicación del COYD .....	65
3.8	Referencias .....	65
3.9	Métodos estadísticos del COYD.....	68
3.9.1	Análisis de la varianza.....	68
3.9.2	Análisis de regresión conjunta modificado (MJRA) .....	68
3.9.3	Comparación del COYD con otros criterios .....	69
3.10	Programa informático del COYD.....	70
3.11	Sistemas utilizados para la aplicación del COYD .....	78
4.	EL MÉTODO 2×1% .....	81
4.1	Requisitos para la aplicación del método .....	81
4.2	El criterio (método) 2×1% .....	81
5.	PRUEBA JI CUADRADO DE PEARSON APLICADA A CUADROS DE CONTINGENCIA.....	82
6.	PRUEBA EXACTA DE FISHER .....	86
6.1	Examen de la distinción.....	86
7.	SISTEMA DE COMPARACIÓN.....	89
7.1	Requisitos para la aplicación del método .....	89
7.2	Método de comparación .....	89
8.	MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD SOBRE LA BASE DE LAS PLANTAS FUERA DE TIPO .....	90
8.1	Población estándar fija.....	90

8.1.1	Introducción .....	90
8.1.2	Uso del método para evaluar la homogeneidad de un cultivo .....	90
8.1.3	Cuestiones que han de tenerse en cuenta si se decide utilizar este método .....	92
8.1.4	Ejemplos.....	93
8.1.5	Introducción a los cuadros y figuras.....	98
8.1.6	Método aplicado a un examen único .....	99
8.1.7	Método aplicado a más de un examen único (anual).....	100
	8.1.7.1 Introducción.....	100
	8.1.7.2 Prueba combinada .....	100
	8.1.7.3 Examen en dos etapas.....	100
	8.1.7.4 Ensayos secuenciales.....	102
8.1.8	Observación sobre el equilibrado de los errores de tipo I y los errores de tipo II .....	102
8.1.9	Definición de los términos y símbolos estadísticos .....	102
8.1.10	Cuadros y figuras .....	104
9.	CRITERIO COMBINADO INTERANUAL DE HOMOGENEIDAD (COYU) .....	111
9.1	Resumen de requisitos para la aplicación del método .....	111
9.2	Resumen .....	111
9.3	Introducción.....	112
9.4	El criterio COYU.....	112
9.5	Utilización del método COYU .....	113
9.6	Aspectos matemáticos .....	114
9.7	Decisiones tempranas en un ensayo de tres años.....	117
9.8	Ejemplo de cálculos del método COYU.....	117
9.9	Aplicación del COYU .....	119
9.10	Programa informático para el COYU .....	119
	9.10.1 Programa informático DUST .....	119
9.11	Sistemas utilizados para la aplicación del COYU .....	123
10.	EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD A PARTIR DEL MÉTODO DE LA VARIANZA RELATIVA .....	126
10.1	Utilización del método de la varianza relativa.....	126
10.2	Umbral para diferentes tamaños de muestra.....	126
10.3	Uso práctico de la prueba de la varianza relativa .....	127
10.4	Ejemplo del método de la varianza relativa.....	127
10.5	Relación entre la varianza relativa y el desvío estándar relativo .....	128

## **INTRODUCCIÓN**

La finalidad del presente documento es proporcionar orientación sobre el diseño de ensayos y análisis de datos e información sobre determinadas técnicas utilizadas para el examen DHE. La estructura del presente documento es la siguiente:

**PARTE I: DISEÑO DE ENSAYOS DHE Y ANÁLISIS DE DATOS:** proporciona orientación sobre el diseño de ensayos, la validación de datos, y las suposiciones que deben cumplirse para la realización del análisis estadístico.

**PARTE II: TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL EXAMEN DHE:** proporciona información detallada sobre determinadas técnicas citadas en los documentos TGP/9, “Examen de la distinción”, y TGP/10, “Examen de la homogeneidad”, cuando se considere necesario facilitar más orientación.

En el esquema del procedimiento de examen de la distinción que aparece en la sección 1, “Introducción”, del documento TGP/9, “Examen de la distinción”, se resumen de las partes del procedimiento de examen de la distinción para la que son pertinentes el diseño de ensayos y las técnicas descritos en el presente documento.

## **PARTE I: DISEÑO DE ENSAYOS DHE Y ANÁLISIS DE DATOS**

### **1. DISEÑO DE ENSAYOS DHE**

#### **1.1 Introducción**

1.1.1 Las Directrices de Examen, en su caso, proporcionan orientación para efectuar el examen. Se ha elaborado una serie de Directrices de Examen, y se añaden otras continuamente, de las que figura una lista actualizada en el documento TGP/2, “Lista de Directrices de Examen aprobadas por la UPOV”, y en el sitio Web de la UPOV ([http://www.upov.int/es/publications/tg\\_rom/](http://www.upov.int/es/publications/tg_rom/)). No obstante, la UPOV recomienda el siguiente procedimiento con el fin de proporcionar orientación sobre el examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad en caso de que no hayan establecido Directrices de Examen.

#### Experiencia en el examen DHE de otros Miembros de la Unión

1.1.2 Se invita a la oficina examinadora a consultar el documento TGP/5, “Experiencia y cooperación en el examen DHE”, (<http://www.upov.int/es/publications/tgp/>) y la base de datos GENIE (<http://www.upov.int/genie/es/>) para determinar si otros Miembros de la Unión ya han llevado a cabo exámenes DHE.

1.1.3 Si se cuenta con experiencia a ese respecto, se invita a los expertos a ponerse en contacto con los Miembros de la Unión en cuestión y a armonizar sus procedimientos de examen en la medida de lo posible, de conformidad con los principios establecidos en la Introducción General. Como próximo paso, se invita a los Miembros de la Unión en cuestión a informar a la UPOV acerca de la existencia del procedimiento de examen armonizado, con arreglo a las medidas dispuestas en el documento TGP/5, “Experiencia y cooperación en el examen DHE”, o, si corresponde, recomendar a la UPOV que elabore Directrices de Examen para la especie de que se trate.

#### Procedimientos para el examen DHE de nuevas especies o conjuntos de variedades

1.1.4 Si otros miembros de la Unión no disponen de experiencia práctica sobre el examen DHE relativo a las especies o conjuntos de variedades de que se trate, los expertos deberán elaborar sus propios procedimientos de examen.

1.1.5 Al elaborar dichos procedimientos, se insta a las oficinas a seguir los principios establecidos en la Introducción General (documento TG/1/3), y en las orientaciones para la elaboración de Directrices de Examen contenidas en el documento TGP/7, “Elaboración de las Directrices de Examen”. Se proporciona orientación adicional en el documento TGP/13, “Orientaciones para nuevos tipos y especies”.

1.1.6 El procedimiento de examen deberá documentarse, de conformidad con los requisitos de las Directrices de Examen, en la medida que lo permitan la experiencia y la información disponibles.

1.1.7 De conformidad con la orientación de la Introducción General y del documento TGP/7, esta sección se ajusta a la estructura de la sección 3, “Método de examen”, de las Directrices de Examen de la UPOV.

## **1.2 Ciclos de cultivo**<sup>1</sup>

### **1.2.1 Introducción**

1.2.1.1 Una consideración clave relativa a los ensayos en cultivo es determinar el número pertinente de ciclos de cultivo. En tal sentido, la sección 4.1.2 del Anexo I: Plantilla de los documentos TG del documento TGP/7 indica:

#### “4.1.2 Diferencias consistentes

Las diferencias observadas entre variedades pueden ser tan evidentes que no sea necesario más de un ciclo de cultivo. Asimismo, en algunas circunstancias, la influencia del medio ambiente no reviste la importancia suficiente como para requerir más de un único ciclo de cultivo con el fin de garantizar que las diferencias observadas entre variedades son suficientemente consistentes. Una manera de garantizar que una diferencia en un carácter, observada en un ensayo en cultivo, sea lo suficientemente consistente es examinar el carácter en al menos dos ciclos de cultivo independientes.”

1.2.1.2 Las Directrices de Examen de la UPOV, en su caso, especifican el número recomendado de ciclos de cultivo. Al formular la recomendación, los expertos que redactan las Directrices de Examen de la UPOV tienen en cuenta factores como el número de variedades que habrán de compararse en el ensayo en cultivo, la influencia del entorno en la expresión de los caracteres, y el grado de variación intravarietal, teniendo en cuenta la forma de propagación de la variedad; por ejemplo, si es una variedad de multiplicación vegetativa, autógena, alógama o híbrida.

1.2.1.3 Si la UPOV no ha establecido Directrices de Examen particulares para una especie u otro grupo o grupos concretos, el examen debería llevarse a cabo de conformidad con los principios establecidos en la Introducción General, en particular, las recomendaciones que figuran en el Capítulo 9, “Ejecución del examen DHE en ausencia de Directrices de Examen” (véanse los párrafos 1.1.1 al 1.1.7).

### **1.2.2 Ciclos de cultivo independientes**

1.2.2.1 Según se indica en la sección 1.2.1.1, una “manera de garantizar que una diferencia en un carácter, observada en un ensayo en cultivo, sea lo suficientemente consistente es examinar el carácter en al menos dos ciclos de cultivo independientes”.

1.2.2.2 En general, la evaluación de la independencia se basa en la experiencia de los expertos.

1.2.2.3 Cuando un carácter se observa en un ensayo en cultivo en dos ciclos de cultivo independientes, también se observa generalmente en dos plantaciones o siembras separadas. No obstante, en algunos cultivos perennes, como en árboles frutales, los ciclos de cultivo se manifiestan en forma de un único ensayo observado en dos años consecutivos.

---

<sup>1</sup> Véase el Capítulo 3.1 de las Directrices de Examen (documento TGP/7: Anexo I: Plantilla de los documentos TG).

1.2.2.4 Cuando se plantan o siembran ensayos de cultivos a campo o en invernadero en años consecutivos, se consideran ciclos de cultivo independientes.

1.2.2.5 Cuando los dos ensayos en cultivo se realizan en el mismo lugar y el mismo año, pueden considerarse dos ciclos de cultivo independientes si transcurre un tiempo suficiente entre una y otra plantaciones. En el caso de ensayos cultivados en invernaderos u otros ambientes altamente controlados, dos ciclos de cultivo se consideran independientes si el tiempo transcurrido entre las dos siembras no es “demasiado corto”.

1.2.2.6 Cuando dos ciclos de cultivo se realizan en el mismo año y simultáneamente, si hay una distancia suficiente o una diferencia suficiente entre las condiciones de cultivo de uno y otros lugares, puede considerarse independientes.

1.2.2.7 La finalidad de contar con ciclos de cultivo independientes es que si la diferencia observada en un carácter es consecuencia de una diferencia de genotipo entre variedades, entonces esa diferencia debería observarse si las variedades se comparan de nuevo en un entorno similar pero en un ciclo de cultivo independiente.

### **1.3 Lugar de ejecución de los ensayos<sup>2</sup>**

#### **1.3.1 Finalidad**

1.3.1.1 El documento TGP/7, “Elaboración de las Directrices de Examen”, (véase la sección 3.2 del Anexo I: Plantilla de los documentos TG) aclara que “Normalmente los ensayos deberán efectuarse en un sólo lugar”. No obstante, por ejemplo, puede considerarse pertinente realizar ensayos en más de un lugar para los fines siguientes:

a) *Reducir al mínimo la duración general del examen*

1.3.1.2 Por ejemplo, pueden realizarse ensayos de forma sistemática en más de un lugar para poder contar con más de un ciclo de cultivo independiente en el mismo año, según se explica en la sección 1.2.2.6. Podría reducirse así la duración general del período de examen y agilizarse la toma de decisiones.

b) *Ensayo de reserva*

1.3.1.3 Las autoridades pueden designar un lugar de ensayo primario, pero organizar un ensayo adicional, de reserva, en un lugar independiente. En general, se utilizarían únicamente los datos del ensayo realizado en el lugar primario, pero cuando fallase ese se dispondría del ensayo de reserva para evitar perder los resultados de un año, siempre que no hubiera una interacción significativa entre variedades y lugares.

c) *Diferentes condiciones agroclimáticas*

1.3.1.4 Para cultivar tipos diferentes de variedades pueden requerirse condiciones agroclimáticas diferentes. En tales casos, el obtentor deberá especificar el tipo de la variedad candidata, para permitir su distribución al lugar de ensayo apropiado. La sección 1.3.2.2, “Ensayos adicionales”, describe la situación en la que una variedad debe cultivarse en un

---

<sup>2</sup> Véase el Capítulo 3.2 de las Directrices de Examen (documento TGP/7: Anexo I: Plantilla de los documentos TG)

entorno particular para examinar determinados caracteres, por ejemplo la resistencia al frío. No obstante, en tales casos cada variedad se ensayará en un único lugar.

### 1.3.2 Utilización de información procedente de múltiples lugares

1.3.2.1 Cuando el ensayo se realiza en más de un lugar, es importante establecer reglas relativas a la toma de decisiones acerca del uso de los datos de los lugares diferentes para la evaluación de la DHE y para el establecimiento de descripciones de variedades. Pueden darse las posibilidades siguientes:

*a) Ensayos adicionales*

1.3.2.2 En el documento TGP/7 “Elaboración de las directrices de examen” se explica que, además del ensayo en cultivo principal, pueden efectuarse otros exámenes para el estudio de determinados caracteres (véase la sección 3.6 del Anexo 1: Plantilla de los documentos TG del documento TGP/7). Por ejemplo, pueden llevarse a cabo ensayos adicionales para examinar caracteres particulares; por ejemplo, ensayos en invernadero para determinar la resistencia a enfermedades, ensayos en laboratorio para determinar constituyentes químicos, etc. En tales casos, los datos relativos a caracteres particulares pueden obtenerse en un lugar diferente al del ensayo en cultivo principal.

*b) DHE examinadas basándose en datos correspondientes a los mismos caracteres examinados en lugares diferentes*

1.3.2.3 Para reducir al mínimo la duración general del examen cuando se recomiendan dos ciclos de cultivo independientes (véase la sección 1.3.1 a)), puede utilizarse un segundo lugar de cultivo para comprobar la consistencia de una diferencia observada en el primer lugar. Tales casos se producirán normalmente cuando la evaluación de la distinción se realiza mediante “notas” (véanse las secciones 5.2.1.1 b) y 5.2.3 del documento TGP/9); podría considerarse, en tales casos, que la evaluación de la distinción se basó en el primer lugar.

1.3.2.4 En los casos en que la evaluación de la distinción se basa en el análisis estadístico de los datos de un ensayo en cultivo obtenidos en dos o más ciclos de cultivo independientes (véanse las secciones 5.2.1.1 c) y 5.2.4 del documento TGP/9) puede considerarse deseable combinar los datos de lugares diferentes, en lugar de los correspondientes a años diferentes, con objeto de reducir al mínimo la duración general del examen o para poder utilizar datos de un ensayo de reserva. La utilidad de tal enfoque dependería de las características del cultivo de que se trate (véase la sección 1.2). En particular, se debería poner atención cuidadosa en comprobar si se cumplen las suposiciones necesarias. A este respecto, debe señalarse que el análisis del criterio COYD se realizó con datos correspondientes a años diferentes y no con datos de lugares diferentes.

## **1.4 Condiciones para efectuar el examen**<sup>3</sup>

El documento TGP/7, “Elaboración de las Directrices de Examen”, explica que “Se deberán efectuar los ensayos en condiciones que aseguren un desarrollo satisfactorio para la expresión de los caracteres pertinentes de la variedad y para la ejecución del examen”. Se

---

<sup>3</sup> Véase el Capítulo 3.3 de las Directrices de Examen (documento TGP/7: Anexo 1: Plantilla de los documentos TG)

proporcionará orientación específica, en caso pertinente, en las Directrices de Examen pertinentes.

## **1.5 Diseño de los ensayos**<sup>4</sup>

### **1.5.1 Introducción**

En general, el examen DHE se basa principalmente en un ensayo en cultivo. Pueden realizarse ensayos en cultivo adicionales para el examen de caracteres particulares o aspectos particulares relativos a la DHE; por ejemplo, hileras de espigas para el examen de la homogeneidad, o ensayos en parcela adicionales con plantas en diferentes estados de desarrollo, como árboles jóvenes y maduros. Además, puede haber caracteres, como la resistencia a enfermedades, que deban ser examinados mediante pruebas adicionales. La finalidad de las explicaciones de las secciones siguientes es proporcionar orientación sobre los principios aplicados para la realización de ensayos en cultivo.

### **1.5.2 Número de plantas en el ensayo**

El número de plantas en el ensayo depende de varios factores, como la estructura genética de la variedad, la forma de reproducción de las especies, las características agronómicas y la “viabilidad” del ensayo. Los principales criterios para determinar el número de plantas son la variabilidad intra- e intervarietal, y el método de evaluación de la distinción y la homogeneidad.

### **1.5.3 Disposición de los ensayos**

#### **1.5.3.1 Introducción**

1.5.3.1.1 El tipo de disposición de los ensayos estará determinado por los métodos que hayan de utilizarse para evaluar la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Los métodos que han de utilizarse para evaluar la distinción se explican en la sección 5.2.1 del documento TGP/9, “Examen de la distinción”:

#### **“5.2.1 Introducción**

5.2.1.1 Cabe resumir de la manera siguiente los métodos para evaluar la distinción sobre la base del ensayo en cultivo:

- a) Comparación visual por pares en el ensayo en cultivo (véase la Sección 5.2.2);
- b) Evaluación mediante notas/ registros únicos por variedad (“notas”): la evaluación de la distinción se basa en el nivel de expresión de los caracteres de la variedad (véase la Sección 5.2.3);
- c) Análisis estadístico de los datos del ensayo en cultivo la evaluación de la distinción se basa en el análisis estadístico de los datos obtenidos a partir del ensayo en cultivo. Para este método es necesario que para un carácter haya un número suficiente de registros por variedad.  
(véase la Sección 5.2.4).

---

<sup>4</sup> Véase el Capítulo 3.4 de las Directrices de Examen (documento TGP/7: Anexo 1: Plantilla de los documentos TG)

5.2.1.2 La elección del método o combinación de métodos para evaluar la distinción, que está influida por las características de multiplicación de la variedad y el tipo de expresión del carácter, determinará el método de observación y el tipo de registro (VG, MG, VS o MS). En el cuadro de la Sección 4.5 se resumen las situaciones más corrientes. [ ... ].”

1.5.3.1.2 Los métodos que han de utilizarse para evaluar la homogeneidad se explican en la sección 2.5.1 del documento TGP/10, “Examen de la homogeneidad”:

“2.5.1 El tipo de variación en la expresión de un carácter en una variedad determina la manera en que se utiliza el carácter para determinar la homogeneidad en el cultivo. En los casos en que es posible “visualizar” las plantas fuera de tipo, se recomienda el método de las plantas fuera de tipo para evaluar la homogeneidad. En los demás casos, se utiliza el método de los desvíos estándar. Por lo tanto, la homogeneidad de una variedad podrá determinarse mediante el método de las plantas fuera de tipo únicamente, los desvíos estándar únicamente o mediante el método de las plantas fuera de tipo para algunos caracteres y los desvíos estándar para otros. Esos casos se estudian nuevamente en la Sección 6.”

1.5.3.1.3 El texto estándar adicional (ASW), Diseño de la parcela, del documento TGP/7, “Elaboración de las directrices de examen”, establece los siguientes tipos de ensayos DHE:

ASW 5 (Plantilla de los documentos TG: Capítulo 3.4.2) – Diseño de la parcela

a) *Parcelas individuales*

“Cada ensayo deberá tener por finalidad la obtención de al menos {...} [plantas]/[árboles]”

b) *Plantas aisladas y parcelas en hilera*

“Cada ensayo deberá tener por finalidad la obtención de al menos {...} plantas aisladas y {...} metros de parcela en hilera.”

c) *Parcelas con repeticiones*

“Cada ensayo deberá tener por finalidad la obtención de al menos {...} plantas, que se dividirán en {...} repeticiones.”

Las plantas aisladas y las parcelas en hilera constituyen ensayos diferentes y, en particular, no constituyen parcelas repetidas (véase la sección 1.5.3.3).

1.5.3.1.4 Los ensayos en parcelas individuales son adecuados cuando se evalúa la distinción mediante comparación visual por pares, o mediante notas o registros únicos por variedad (véase la sección 4.3.2.3 del documento TGP/9) y cuando se evalúa la homogeneidad mediante las plantas fuera de tipo. Son ejemplos comunes las variedades ornamentales y frutales de multiplicación vegetativa.

1.5.3.1.5 Las parcelas con repeticiones son adecuadas cuando la evaluación de la distinción requiere, para al menos algunos caracteres, el cálculo de un valor medio de la variedad mediante observación o medición de grupos de plantas (véase la sección 4.3.2.4 del documento TGP/9). En tales casos, la homogeneidad se evalúa, en general, sobre la base de las plantas fuera de tipo. Son ejemplos comunes las plantas agrícolas autógamias (por ejemplo, los cereales).

1.5.3.1.6 Las parcelas con repeticiones son adecuadas cuando se requieren registros de varias plantas o partes de plantas individuales para analizar estadísticamente los datos de las plantas individuales, con el fin de evaluar su distinción, al menos en lo que respecta a algunos caracteres (normalmente caracteres cuantitativos) (véase la sección 4.3.3 del documento TGP/9). En tales casos, la homogeneidad se evalúa, para los caracteres pertinentes, en general, mediante el desvío estándar. Son ejemplos comunes de este caso las variedades alógamas.

1.5.3.1.7 El cuadro siguiente resume los tipos comunes de diseño de ensayos en función del método de examen de la distinción y la homogeneidad:

		<b>HOMOGENEIDAD</b>	
		Método de las plantas fuera de tipo	Desvío estándar
<b>DISTINCIÓN</b>	Comparación visual por pares (VG)	Parcelas individuales (véase la sección 1.5.3.2)	
	Notas / registros únicos por variedad (VG/MG)	Parcelas individuales (véase la sección 1.5.3.2)	
	Valor medio de la variedad  Análisis estadístico de datos de registros de un grupo de plantas [Parcelas con repeticiones para el análisis de datos de registros de grupos] (MG/MS)	Parcelas con repeticiones	
	Análisis estadístico de los datos de plantas individuales (MS)		Parcelas con repeticiones (véase la sección 1.5.3.3.3)

MG: medición única de un grupo de plantas o partes de plantas

MS: medición de varias plantas o partes de plantas individuales

VG: evaluación visual mediante una única observación de un grupo de plantas o partes de plantas

VS: evaluación visual mediante observación de varias plantas o partes de plantas individuales

(Véanse los documentos TGP/9 “Examen de la distinción”, sección 4 “Observación de caracteres” y TGP/7, Anexo 1-Plantilla de los documentos TG, ASW 7 b)).

1.5.3.1.8 Ocasionalmente, como en las circunstancias descritas en la sección 6.4 del documento TGP/9, puede ser pertinente realizar ensayos aleatorios “a ciegas”. En tales casos, pueden utilizarse parcelas o partes de plantas existentes tomadas del ensayo (por ejemplo, las “Parcelas con variedades distribuidas de forma aleatoria” y las “Partes de plantas de las variedades” mencionadas en la sección 6.4.4 del documento TGP/9). En otros casos, deberán sembrarse plantas específicamente para el ensayo aleatorio “a ciegas”; por ejemplo, parcelas en las que se siembran, en un orden aleatorio pero conocido, plantas de las dos variedades que han de distinguirse. En este caso, estas parcelas mixtas forman, físicamente, una parte del ensayo a campo. Otra posibilidad es que el ensayo aleatorio “a ciegas” tome la forma de una mezcla de macetas con las dos variedades en un invernadero, que se considera también una extensión del ensayo. La disposición de estos ensayos aleatorios “a ciegas” se describe en la sección 1.5.3.4.

### 1.5.3.2 Parcelas individuales

Este diseño de ensayo conlleva que habrá una parcela individual para cada variedad incluida en el ensayo, y la distinción y homogeneidad se evaluarán en la misma parcela.

### 1.5.3.3 Parcelas con repeticiones (análisis estadístico)

#### *1.5.3.3.1 Introducción*

Cuando se requiere más de un único registro por variedad para evaluar la distinción, se utilizan las parcelas con repeticiones. Para el análisis estadístico pueden utilizarse valores medios de las variedades calculados a partir de los datos de un grupo de plantas, o pueden utilizarse los datos de plantas individuales

#### *1.5.3.3.2 Parcelas con repeticiones para el análisis estadístico de datos de plantas individuales*

1.5.3.3.2.1 Cuando la evaluación de la distinción y la homogeneidad se base en el análisis estadístico de datos de plantas individuales, el ensayo comprenderá varias parcelas. Las parcelas se agruparán, en general, en repeticiones tales que cada repetición contenga una parcela de cada variedad. La asignación de variedades a las parcelas se realizará de forma aleatoria (véase la sección 1.5.3.3.3). Cabe citar los siguientes ejemplos de diseños de ensayos utilizados cuando se efectúa tal análisis estadístico:

- Diseño completamente aleatorizado y diseño en bloques aleatorizados completos (véase la sección 1.5.3.3.3)
- Diseño en bloques aleatorizados incompletos (véase la sección 1.5.3.3.4)
- Diseño para realizar comparaciones entre pares de variedades determinadas (véase la sección 1.5.3.3.5)

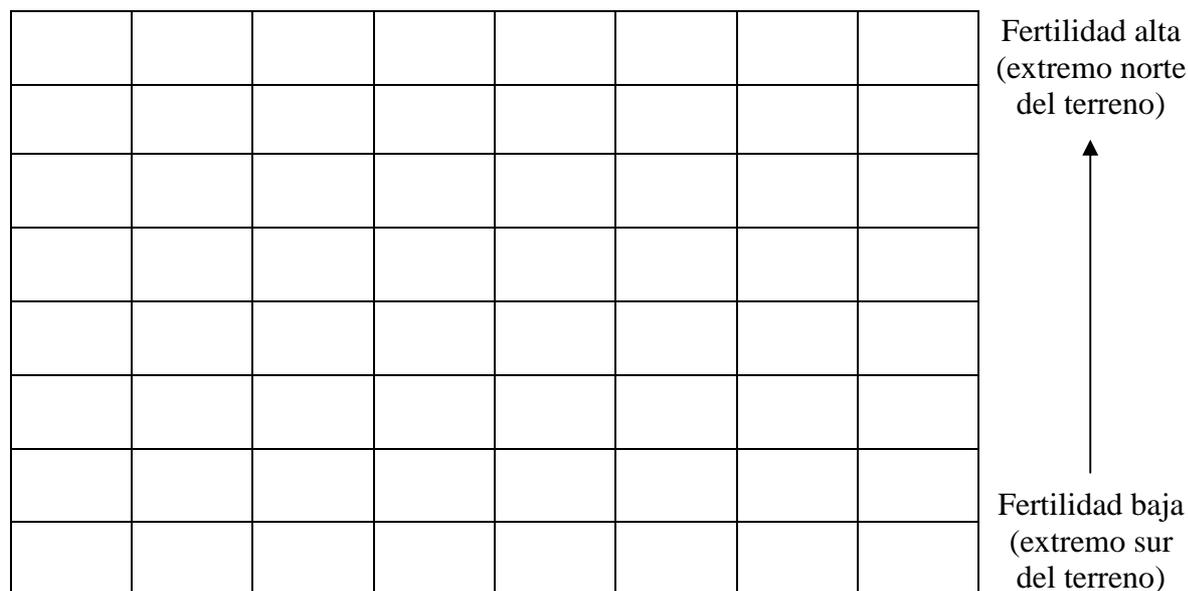
1.5.3.3.2.2 La distinción puede evaluarse efectuando análisis estadísticos de los datos de todos los caracteres o efectuando análisis estadísticos de los datos de algunos caracteres (en particular, de los caracteres cuantitativos) y mediante comparación visual por pares para otros caracteres (en general caracteres cualitativos y pseudocualitativos) o mediante notas / registros únicos por variedad, según corresponda.

1.5.3.3.2.3 La homogeneidad puede evaluarse mediante la desviación estándar para todos los caracteres, o mediante la desviación estándar para algunos caracteres y mediante las plantas fuera de tipo para otros caracteres, según corresponda (véase la sección 6.4 del documento TGP/10/1).

### 1.5.3.3.3 Aleatoriedad

1.5.3.3.3.1 Si se va a realizar un ensayo en cultivo con parcelas repetidas de cada variedad, deberá decidirse si las parcelas repetidas deben agruparse en bloques y cómo deben alinearse las parcelas dentro de un bloque; es decir, deberá definirse el diseño del experimento, el cual determina el modo de controlar la variación local, no deseada o inconveniente y, por consiguiente, la precisión con la que pueden evaluarse la distinción y la homogeneidad. Hay que tener en cuenta además que la variación procede de fuentes diferentes, y el modo en que esto puede afectar a la elección de los tamaños de muestra, que, de nuevo, afecta a la precisión. La precisión es importante porque afecta, a su vez, a la toma de decisiones. Si las decisiones se basan en datos relativamente imprecisos, hay una posibilidad apreciable de que se tomen decisiones inadecuadas o equivocadas, según se explica a continuación.

1.5.3.3.3.2 En el diseño de un experimento es importante elegir una superficie de terreno que sea tan homogénea como sea posible, para reducir al mínimo la variación entre parcelas cultivadas con la misma variedad, es decir, la variación aleatoria. Supongamos que contamos con un terreno en el que sabemos que la mayor variabilidad es en la dirección norte-sur; por ejemplo, como en la figura siguiente:



1.5.3.3.3.3 Analicemos un ejemplo en el que se han de comparar entre sí cuatro variedades, en un experimento realizado en este terreno en el que cada una de las variedades se asignan a cuatro parcelas diferentes. Es importante asignar las variedades a las parcelas de forma aleatoria. Si las variedades se ordenan de forma sistemática, no todas se cultivarán necesariamente en las mismas condiciones (véase la figura siguiente).

Var. A	Var. A	Var. A	Var. A	Var. B	Var. B	Var. B	Var. B	Hilera de fertilidad más alta
Var. C	Var. C	Var. C	Var. C	Var. D	Var. D	Var. D	Var. D	

Si la fertilidad de la tierra disminuye de norte a sur del terreno, las plantas de las variedades A y B habrán crecido en parcelas más fértiles que las otras variedades. La comparación de las variedades se ve afectada por una diferencia en la fertilidad de las parcelas. Se dice que las diferencias entre variedades se “confunden” con las diferencias de fertilidad.

1.5.3.3.4 Para evitar errores sistemáticos, es aconsejable aleatorizar la asignación de las variedades a las diferentes parcelas del terreno. Una posible aleatoriedad completa de las cuatro variedades en las dieciséis parcelas podría haber dado lugar a la disposición siguiente:

Var. C	Var. A	Var. A	Var. B	Var. C	Var. D	Var. B	Var. C	Hilera de fertilidad más alta
Var. C	Var. A	Var. D	Var. A	Var. D	Var. B	Var. D	Var. B	

1.5.3.3.5 Sin embargo, si analizamos el diseño comprobamos que la variedad C aparece tres veces en la hilera superior (de fertilidad alta) y únicamente una vez en la segunda hilera (de fertilidad más baja). En el caso de la variedad D, la situación es la contraria. Como sabemos que hay un gradiente de fertilidad, este diseño sigue sin ser bueno, aunque es mejor que el primer diseño sistemático.

1.5.3.3.6 Cuando sabemos que hay determinadas fuentes sistemáticas de variación, como el gradiente de fertilidad de los párrafos anteriores, podemos tener esa información en cuenta y definir “bloques” de parcelas. Los bloques deben formarse de tal modo que la variación en cada bloque sea mínima. Con el gradiente considerado, podemos elegir dos bloques de una hilera cada uno, o bien cuatro bloques, dos en cada hilera, con cuatro parcelas cada uno. En ensayos de mayor tamaño (con más parcelas) el mejor diseño será casi siempre el segundo, ya que aunque el mayor gradiente es entre hileras, también habrá alguna variación dentro de las hileras.

Bloque I				Bloque II				Hilera de fertilidad más alta
Var. A	Var. C	Var. D	Var. B	Var. A	Var. C	Var. D	Var. B	
Var. B	Var. C	Var. A	Var. D	Var. C	Var. A	Var. D	Var. B	Hilera de fertilidad más baja
Bloque III				Bloque IV				

Otra forma de reducir el efecto de cualquier gradiente que pudiera haber entre columnas es establecer parcelas con la mitad de anchura, pero que se extienden a dos hileras; es decir, utilizando parcelas largas y estrechas:

Bloque I				Bloque II				Bloque III				Bloque IV			
Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
A	C	D	B	A	C	D	B	B	C	A	D	C	A	D	B

En los dos diseños anteriores, la variabilidad norte-sur no afectará a las comparaciones entre variedades.

1.5.3.3.3.7 En un diseño en bloques aleatorizados completos el número de parcelas por bloque coincide con el número de variedades. Todas las variedades están presentes en cada bloque una vez y ocupando un orden aleatorio. La ventaja de un diseño en bloques aleatorizados completos es que la desviación estándar entre parcelas (variedades), una medida de la variación aleatoria, no contiene variación debida a diferencias entre bloques. El motivo principal para la asignación aleatoria es que garantiza la ausencia de sesgo en los resultados y, por consiguiente, que son representativos de las variedades que se comparan. En otras palabras, los valores medios de las variedades reflejarán, en promedio, los efectos verdaderos de las variedades, y no estarán incrementados ni disminuidos por haber sido asignados a parcelas inherentemente mejores o peores. Una característica interesante de la aleatoriedad es que hace que las observaciones de parcelas individuales “se comporten” como observaciones independientes (aunque pueden no serlo en realidad). El diseño en bloques no suele conllevar costo adicional alguno, de modo que se recomienda organizar las parcelas en bloques.

1.5.3.3.3.8 El anterior diseño en bloques se basa en las diferencias de fertilidad, pero podrían haberse utilizado como base para el diseño en bloques varias otras fuentes sistemáticas de variación. Aunque el grado de heterogeneidad del terreno no siempre es evidente y, por consiguiente, no siempre se sabe cómo ordenar los bloques, suele ser buena idea crear bloques por otros motivos. Si las posibles diferencias debidas a diferentes sembradoras, diferentes observadores, o diferentes días de observación se asignan aleatoriamente a las parcelas, sus efectos se incluyen en la desviación estándar residual. Sin embargo, si todas las parcelas dentro de cada bloque utilizan la misma sembradora, el mismo observador, el mismo día de observación, etc., estos efectos pueden eliminarse de la desviación estándar residual.

1.5.3.3.3.9 Las técnicas de cultivo pueden influir en la elección de la forma de las parcelas. Puede ser más fácil cultivar algunos cultivos en parcelas largas y estrechas que en parcelas cuadradas. Suele considerarse que las parcelas largas y estrechas se ven más afectadas por las variedades de las parcelas adyacentes que las parcelas cuadradas. El tamaño de las parcelas deberá elegirse de forma que se cuente con un número de plantas suficiente para la toma de muestras. En algunos cultivos, puede ser necesario también contar con plantas (o zonas) de guarda, para evitar grandes efectos de competencia. No obstante, las parcelas demasiado grandes requieren más terreno y con frecuencia aumentarán la variabilidad aleatoria entre parcelas. El cultivo de variedades físicamente similares próximas entre sí (por ejemplo, variedades de altura similar) puede reducir también la competencia entre parcelas adyacentes. Si no se sabe nada sobre la fertilidad de la zona, las disposiciones con bloques compactos (es decir, casi cuadrados) serán con frecuencia las más adecuadas, porque cuanto mayor sea la

distancia entre dos parcelas más diferentes serán habitualmente. En los dos diseños anteriores, los bloques pueden ubicarse del modo indicado, o pueden ubicarse “unos encima de otros” (véase la figura siguiente). Esto, habitualmente, no modificará en gran medida la variabilidad entre parcelas, a no ser que una de las disposiciones obligue al experto en los cultivos a utilizar un suelo más heterogéneo.

Var. A	Var. C	Var. D	Var. B	Bloque I	Hilera de fertilidad más alta
Var. A	Var. C	Var. D	Var. B	Bloque II	
Var. B	Var. C	Var. A	Var. D	Bloque III	
Var. C	Var. A	Var. D	Var. B	Bloque IV	Hilera de fertilidad más baja

#### 1.5.3.3.4 Diseño en bloques aleatorizados incompletos

1.5.3.3.4.1 Si el número de variedades es muy alto (>20-40), puede ser imposible construir bloques completos suficientemente homogéneos. En tal caso, puede ser conveniente formar bloques más pequeños, que contengan cada uno únicamente una fracción del número total de variedades. Estos diseños se llaman diseños en bloques incompletos. Pueden encontrarse en la literatura científica varios tipos de diseños en bloques incompletos; por ejemplo, diseños en bloques incompletos compensados y diseños en bloques incompletos parcialmente compensados, como los diseños reticulares y los diseños por filas y columnas. Uno de los tipos de diseño más conocidos para ensayos de variedades es un diseño reticular. Los diseños reticulares generalizados (también llamados “diseños  $\alpha$ ”) son muy flexibles y pueden incorporar cualquier número de variedades y una gran gama de tamaños de bloques y número de repeticiones. Una de las características de los diseños reticulares generalizados es que los bloques incompletos constituyen una repetición completa. Esto significa que estos diseños serán al menos tan buenos como los diseños en bloques aleatorizados completos, ya que el análisis puede basarse en un modelo reticular o en un modelo en bloques aleatorizados completos. Debe darse preferencia al modelo reticular si se cumplen las condiciones. La determinación del tamaño óptimo de los sub-bloques es función de diferentes factores, como la variabilidad del suelo y las diferentes susceptibilidades de los caracteres a dicha variabilidad. No obstante, si no hay información disponible, por ejemplo del primer ensayo, el número aplicable de sub-bloques puede calcularse como un número entero cercano a la raíz cuadrada del número de variedades; por ejemplo, para 100 variedades se necesitarían 10 sub-bloques.

1.5.3.3.4.2 Los bloques incompletos deben construirse de modo tal que sea posible comparar todas las variedades de forma eficiente. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de diseño  $\alpha$ :

Bloque I	Sub-bloque I	Var. F	Var. E	Var. O	Var. S
	Sub-bloque II	Var. M	Var. H	Var. J	Var. T
	Sub-bloque III	Var. B	Var. C	Var. D	Var. G
	Sub-bloque IV	Var. L	Var. A	Var. R	Var. N
	Sub-bloque V	Var. Q	Var. K	Var. P	Var. I

Bloque II	Sub-bloque I	Var. D	Var. P	Var. F	Var. A
	Sub-bloque II	Var. R	Var. E	Var. J	Var. B
	Sub-bloque III	Var. N	Var. G	Var. Q	Var. H
	Sub-bloque IV	Var. K	Var. S	Var. M	Var. C
	Sub-bloque V	Var. O	Var. I	Var. T	Var. L

Bloque III	Sub-bloque I	Var. D	Var. T	Var. E	Var. Q
	Sub-bloque II	Var. B	Var. M	Var. A	Var. I
	Sub-bloque III	Var. C	Var. F	Var. L	Var. H
	Sub-bloque IV	Var. R	Var. G	Var. K	Var. O
	Sub-bloque V	Var. P	Var. J	Var. N	Var. S

En el ejemplo anterior, se prevé cultivar 20 variedades en un ensayo con tres repeticiones. En el diseño, los 5 sub-bloques de cada bloque forman una repetición completa. Así, cada repetición contiene todas las variedades mientras que cualquier par de variedades aparece una vez o ninguna en el mismo sub-bloque. Nota: en ciertas publicaciones, los “bloques” y “sub-bloques” se llaman “super-bloques” y “bloques”.

1.5.3.3.4.3 El diseño en bloques incompletos es adecuado sobre todo para ensayos en los que no hay caracteres de agrupamiento. Si hay caracteres de agrupamiento entonces puede ser ventajoso, en ensayos con muchas variedades, realizar alguna modificación, como el uso de los caracteres de agrupamiento para formar ensayos independientes en lugar de un ensayo único: véase la sección 2.3, Agrupamiento de variedades sobre la base de los caracteres, del documento TGP/9/1.

### 1.5.3.3.5 Diseño para realizar comparaciones entre pares de variedades determinadas

1.5.3.3.5.1 Cuando se necesita realizar una comparación rigurosa entre dos variedades mediante análisis estadístico, puede ser oportuno cultivarlas en parcelas adyacentes. Para establecer un diseño orientado a optimizar las comparaciones entre determinados pares de variedades, puede aplicarse una teoría similar a la aplicada en los diseños por bloques subdivididos. Al definir el diseño, los pares de variedades se tratan como factor de asignación a parcelas completas y la comparación entre las variedades de cada par como factor de asignación a subparcelas. Como cada parcela completa consta únicamente de dos subparcelas, las comparaciones entre pares de variedades serán (mucho) más precisas que si se utilizara un diseño en bloques aleatorizados.

1.5.3.3.5.2 Por ejemplo, para comparar cuatro pares de variedades (A-B, C-D, E-F y G-H) con gran precisión puede utilizarse el diseño siguiente de 12 parcelas completas con 2 subparcelas cada una:

Par 1; variedad A	Par 3; variedad E	Par 4; variedad H
Par 1; variedad B	Par 3; variedad F	Par 4; variedad G
Par 3; variedad F	Par 2; variedad D	Par 1; variedad A
Par 3; variedad E	Par 2; variedad C	Par 1; variedad B
Par 4; variedad G	Par 1; variedad B	Par 2; variedad C
Par 4; variedad H	Par 1; variedad A	Par 2; variedad D
Par 2; variedad D	Par 4; variedad H	Par 3; variedad E
Par 2; variedad C	Par 4; variedad G	Par 3; variedad F

En este diseño, cada columna es una repetición. Cada una de las columnas, se divide luego en cuatro bloques incompletos (parcelas completas), que contienen dos subparcelas cada uno. Los cuatro pares de variedades se asignan de forma aleatoria a los bloques incompletos en cada repetición y, dentro de cada bloque incompleto, las variedades se ordenan de forma aleatoria. Se aumenta la precisión de la comparación entre variedades del mismo par sacrificando la precisión de la comparación entre variedades de pares diferentes.

### 1.5.3.3.6 Otros aspectos estadísticos del diseño de ensayos

#### 1.5.3.3.6.1 Introducción

1.5.3.3.6.1.1 Esta sección describe algunos conceptos de interés en el diseño de ensayos en cultivo para evaluar la distinción o la homogeneidad (o ambas) mediante el análisis estadístico de los datos de ensayos en cultivo.

#### 1.5.3.3.6.2 Hipótesis en las que se basa el ensayo

1.5.3.3.6.2.1 Cuando la evaluación de la distinción o la homogeneidad vaya a basarse en el análisis estadístico de datos de ensayos en cultivo, la finalidad del ensayo en cultivo es proporcionar valores medios precisos y no sesgados de los caracteres de cada variedad y también juzgar la variabilidad intravarietal mediante el cálculo de la desviación estándar. Las evaluaciones de la distinción de variedades se basan en los valores medios de los caracteres. El tipo de variación en la expresión de un carácter en una variedad determina la manera en que se utiliza el carácter para determinar la homogeneidad en el cultivo. En los casos en que es posible “visualizar” las plantas fuera de tipo, se recomienda el método de las plantas fuera

de tipo para evaluar la homogeneidad. En los demás casos, se utiliza el método de los desvíos estándar.

1.5.3.3.6.2.2. En la evaluación de la distinción y de la homogeneidad se acepta o se rechaza, mediante una prueba estadística, una hipótesis nula ( $H_0$ ). Rechazarla equivale a aceptar una hipótesis alternativa ( $H_1$ ). En el cuadro siguiente se muestran las hipótesis nula y alternativa para la toma de decisiones relativas a la distinción y la homogeneidad:

	Hipótesis nula ( $H_0$ )	Hipótesis alternativa ( $H_1$ )
<i>Distinción</i>	Las dos variedades no son distintas con respecto al carácter evaluado	Las dos variedades son distintas
<i>Homogeneidad</i>	La variedad es homogénea con respecto al carácter evaluado	La variedad no es homogénea

1.5.3.3.6.2.3 Cada evaluación se realiza calculando, a partir de las observaciones, por medio de una fórmula, un estadístico de contraste. Si el valor absoluto del estadístico de contraste es mayor que su valor crítico establecido, la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) y se dice que el contraste es significativo. Si el estadístico de contraste no es mayor que su valor crítico establecido, la hipótesis nula ( $H_0$ ) se acepta. La elección del valor crítico con el que se compara el estadístico de contraste se explica más adelante.

1.5.3.3.6.2.4 Obsérvese que si se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) relativa a la distinción, se concluye que la variedad candidata es distinta.

1.5.3.3.6.2.5 En cambio, si se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) relativa a la homogeneidad, la variedad candidata se considera no homogénea.

1.5.3.3.6.2.6 El estadístico de contraste se basa en una muestra de plantas, sometidas a ensayo en condiciones de cultivo que constituyen una muestra de las condiciones posibles, de modo que si el procedimiento se repitiera en otro momento, se obtendría un valor diferente del estadístico de contraste. Debido a esta variabilidad inherente, cabe la posibilidad de llegar a una conclusión diferente que la que se alcanzaría si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente. Pueden producirse dos tipos de “errores estadísticos” de este tipo. Consideremos, en primer lugar, conclusiones erróneas de este tipo relativas a la distinción:

- Se concluye, basándose en el estadístico de contraste, derivado del ensayo DHE, que dos variedades son distintas, si bien no lo serían si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente. Este tipo de error se conoce como error de tipo I y su riesgo se denota con la letra  $\alpha$ .
- Se concluye, basándose en el estadístico de contraste, derivado del ensayo DHE, que dos variedades no son distintas, si bien sí lo serían si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente. Este tipo de error se conoce como error de tipo II y su riesgo se denota con la letra  $\beta$ .

<b>Conclusión si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente</b>	<b>Conclusión basada en el estadístico de contraste</b>	
	Las variedades no son distintas (la $H_0$ es verdadera)	Las variedades son distintas (la $H_1$ es verdadera)
Las variedades son distintas (la $H_1$ es verdadera)	Resultado diferente: error de tipo II, con probabilidad $\beta$	Mismo resultado
Las variedades no son distintas (la $H_0$ es verdadera)	Mismo resultado	Resultado diferente: error de tipo I, con probabilidad $\alpha$

1.5.3.3.6.2.7 Del mismo modo, al evaluar la homogeneidad basándose en un estadístico de contraste, derivado del ensayo DHE, es posible concluir que una variedad no es homogénea, cuando sí lo sería si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente; es decir, cometer un error de tipo I ( $\alpha$ ). En cambio, un error de tipo II ( $\beta$ ) es la conclusión, basada en un estadístico de contraste, de que una variedad es homogénea cuando no lo sería si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente. El cuadro siguiente muestra los dos tipos de errores estadísticos que pueden producirse al evaluar la homogeneidad:

<b>Conclusión si el ensayo pudiera repetirse indefinidamente</b>	<b>Conclusión basada en el estadístico de contraste</b>	
	La variedad es homogénea (la $H_0$ es verdadera)	La variedad no es homogénea (la $H_1$ es verdadera)
La variedad es homogénea (la $H_0$ es verdadera)	Mismo resultado	Resultado diferente: error de tipo I, con probabilidad $\alpha$
La variedad no es homogénea (la $H_1$ es verdadera)	Resultado diferente: error de tipo II, con probabilidad $\beta$	Mismo resultado

1.5.3.3.6.2.8 El riesgo de cometer un error de tipo I puede controlarse fácilmente mediante la elección del valor de  $\alpha$ , que determina el valor crítico con el que se compara el estadístico de contraste. El valor de  $\alpha$  se conoce también como “poder” o “potencia” y como “nivel de significación” de la prueba. El riesgo de cometer un error de tipo II es más difícil de controlar, ya que depende, por ejemplo en el caso de la distinción, de la magnitud de la diferencia real entre las variedades, del valor elegido de  $\alpha$  y de la precisión de la prueba, que está determinada por el número de repeticiones y por la variabilidad inherente de las mediciones. El experto en los cultivos puede reducir el riesgo de cometer un error de tipo II aumentando la precisión, por ejemplo aumentando el número de repeticiones, reduciendo la variabilidad aleatoria mediante la elección del número de plantas por parcela (o tamaño de muestra), controlando la variación local, no deseada o inconveniente mediante la elección cuidadosa del diseño del experimento, y mejorando el modo en que se realizan las mediciones u observaciones, reduciendo así el error del observador.

#### 1.5.3.3.6.3 Determinación del tamaño de muestra óptimo

1.5.3.3.6.3.1 La precisión de una prueba no depende sólo del tamaño de muestra. La precisión de una prueba basada en las observaciones de un experimento depende asimismo, en el caso, por ejemplo, de caracteres cuantitativos, de al menos tres fuentes de variación:

- la variación entre plantas individuales en una parcela, es decir, el componente “intraparcelario” o “de las plantas” de la varianza: una mezcla de diferentes fuentes

de variación, como plantas diferentes, momentos de observación diferentes, errores de medición diferentes

- la variación entre las parcelas de un bloque, es decir el componente “interparcelario” o “de las parcelas” de la varianza
- la variación causada por el entorno, es decir, la variación en la expresión de caracteres de año a año (o de lugar a lugar)

1.5.3.3.6.3.2 Para calcular el tamaño de muestra óptimo para un carácter cuantitativo es necesario conocer las desviaciones estándar de las mencionadas fuentes de variación, las diferencias esperadas entre las variedades que deberían ser significativas, el número de variedades y el número de bloques del ensayo. Además, es necesario determinar las probabilidades de los errores de tipo I ( $\alpha$ ) y de tipo II ( $\beta$ ). El cálculo del tamaño de muestra óptimo para cada carácter permite determinar el tamaño de muestra óptimo para el ensayo para todos los caracteres cuantitativos. El error de tipo II es en ocasiones más importante que el error de tipo I, en particular para la evaluación de la homogeneidad. En algunos casos, el error de tipo II podría ser mayor que el 50 %, lo que podría considerarse inaceptable.

1.5.3.3.6.3.3 La precisión de los valores medios de las variedades en un experimento de año o un ciclo depende del número de repeticiones, el número de plantas por parcela, y el diseño del experimento. Cuando estos valores medios se utilizan en el análisis interanual o intercíclico, por ejemplo, para el COYD, su precisión sólo es beneficiosa indirectamente, porque la desviación estándar en ese análisis se basa en la interacción entre las variedades y los años o ciclos. Además, si las diferencias interanuales o intercíclicas entre las variedades son muy grandes, la precisión de las medias de cada experimento tiene relativamente poca importancia.

1.5.3.3.6.3.4 Las Directrices de Examen de la UPOV, en su caso, recomiendan un tamaño de muestra adecuado para el ensayo en su conjunto, teniendo en cuenta los factores antes descritos.

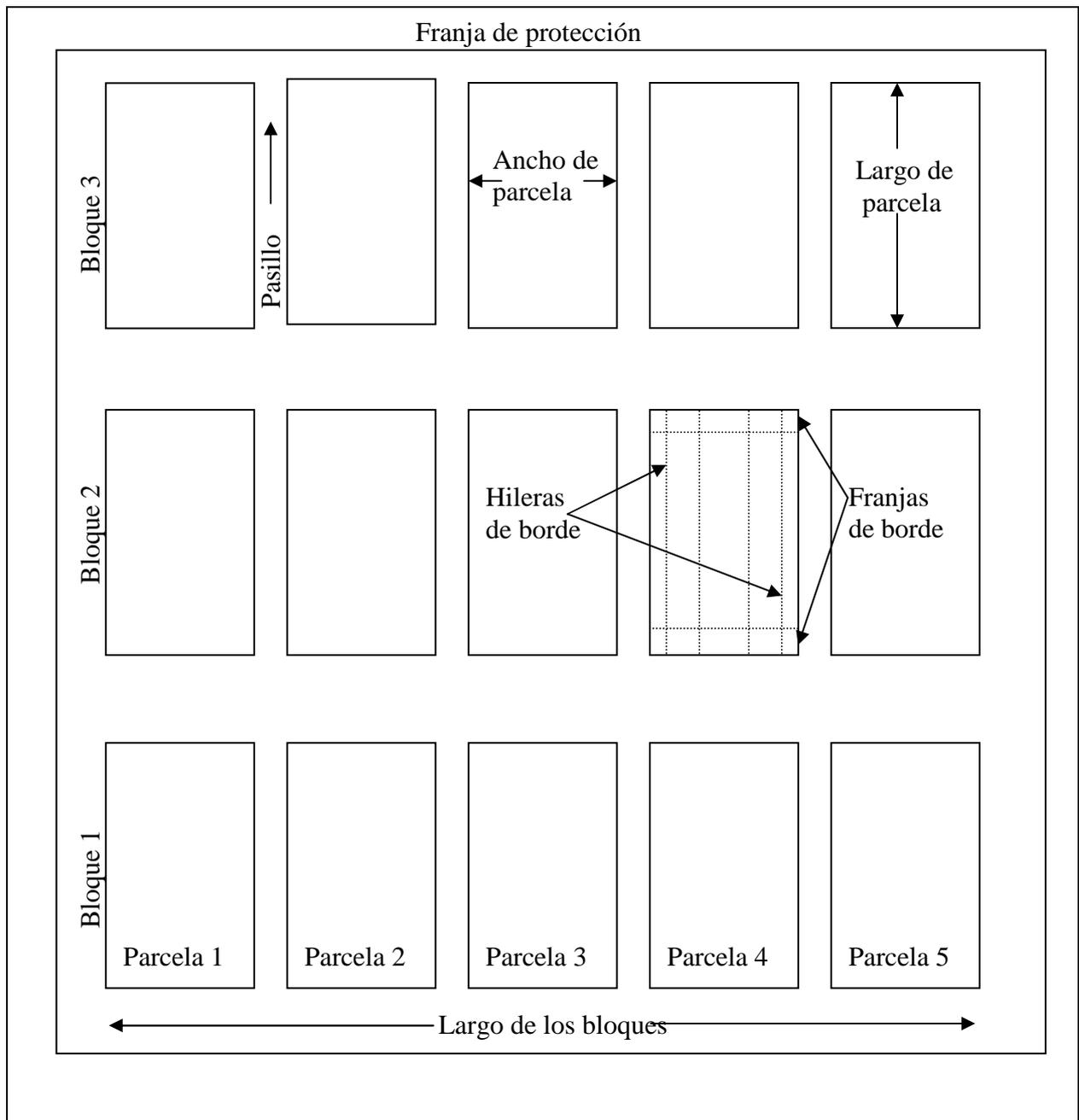
#### *1.5.3.3.7 Elementos del ensayo en la aplicación de análisis estadísticos*

##### *1.5.3.3.7.1 Introducción*

1.5.3.3.7.1.1 Al decidir la disposición del ensayo, es importante tener en cuenta la variación local de las condiciones, para lo cual es preciso decidir: el tamaño y la forma de las parcelas, su alineamiento, la presencia de hileras de barrera y de franjas de borde y de protección.

1.5.3.3.7.1.2 Para evaluar la distinción, es preciso realizar observaciones no sesgadas de los caracteres. En algunos casos, es necesario disponer hileras y franjas de borde para reducir al mínimo el sesgo ocasionado por la interferencia entre parcelas, es decir, la interferencia entre plantas de parcelas diferentes, y otros efectos característicos de zonas de borde, como el sombreado y la humedad del suelo. Asimismo, con frecuencia se disponen franjas de protección en el borde del lugar de ensayo para limitar las posibles influencias externas que pudieran favorecer a una parcela con respecto a otra. Cuando se observan los caracteres de las plantas en una parcela, es habitual excluir las hileras y franjas de los bordes de la parcela.

1.5.3.3.7.1.3 La figura siguiente puede resultar útil para proporcionar algunas explicaciones sobre los componentes particulares de los ensayos:



#### 1.5.3.3.7.2 Parcelas y bloques

Una parcela es la unidad experimental a la que se asignan las variedades. Una parcela contiene plantas de la misma variedad. Según el tipo de ensayo en cultivo, una parcela puede ser una superficie de terreno, o un grupo de macetas con plantas. Un bloque es un grupo de parcelas a las que se asignan variedades. Un ensayo en cultivo puede contener un único bloque o más de uno.

#### *1.5.3.3.7.3 Asignación de variedades a las parcelas*

1.5.3.3.7.3.1 La asignación de variedades a las parcelas dependerá de varios factores, en particular del método seleccionado para evaluar la distinción (véase la sección 1.5.3.1.1) y la homogeneidad (véase la sección 1.5.3.1.2).

1.5.3.3.7.3.2 Cuando la distinción se evalúa mediante análisis estadístico de los datos de un ensayo en cultivo, debe aplicarse una aleatorización completa o parcial, en función del diseño del ensayo, ya que garantiza que la asignación no es subjetiva. La asignación aleatoria garantiza que, en promedio, los efectos de otros factores que influyen en los caracteres de las plantas, como las condiciones del suelo, se anularán previsiblemente entre sí al comparar los valores medios de las variedades.

1.5.3.3.7.3.3 Las secciones 1.5.3.2 y 1.5.3.3.1 a 1.5.3.3.5 proporcionan información adicional sobre los diferentes modos de asignar variedades a parcelas y bloques.

#### *1.5.3.3.7.4 Tamaño, forma y configuración de las parcelas*

1.5.3.3.7.4.1 La sección 3, “Método de examen”, de las Directrices de Examen proporciona información sobre la duración, lugar de ejecución y diseño de los ensayos, el número de plantas o partes de plantas que se ha de examinar y los ensayos adicionales que pueden realizarse para evaluar los caracteres pertinentes. Las Directrices de Examen pueden indicar el tipo de registro que se requiere para evaluar la distinción: un registro único de un grupo de plantas o partes de plantas (G), o registros correspondientes a varias plantas o partes de plantas individuales (S). La homogeneidad, sin embargo, se evalúa en la muestra completa objeto de examen mediante el “método basado en las plantas fuera de tipo” o mediante el “método de los desvíos estándar” (véase la sección 3 del documento TGP/10). Éstos determinarán el tamaño de muestra, es decir, el número de plantas que deben observarse, y, por consiguiente, el tamaño mínimo efectivo de la parcela. Al decidir el tamaño efectivo de la parcela, se debe dejar margen para las hileras o franjas de borde que sean necesarias.

1.5.3.3.7.4.2 El tamaño y la forma de las parcelas dependen también de las condiciones del suelo y otras circunstancias como el equipo de riego o la maquinaria de siembra y recolección. La forma de las parcelas puede definirse como la razón entre su longitud y su anchura. Esta razón puede ser importante para mitigar la variación de las condiciones en el bloque (por ejemplo, las ocasionadas por la variación del suelo).

1.5.3.3.7.4.3 Las parcelas cuadradas tienen la menor longitud total de los bordes (perímetro). Desde el punto de vista teórico, la forma cuadrada es óptima para reducir al mínimo la interferencia de fenotipos diferentes. El agrupamiento de las variedades puede ayudar también a reducir al mínimo esta interferencia.

1.5.3.3.7.4.4 Desde el punto de vista tecnológico, se prefieren las parcelas estrechas y largas. La relación óptima de longitud a anchura está entre 5:1 y 15:1, y depende del tamaño de las parcelas y del número de variedades. Cuanto mayor sea el número de variedades en un bloque, más estrechas serán las parcelas, pero no deben ser tan estrechas que la competencia entre parcelas resulte problemática.

#### *1.5.3.3.7.5 Independencia de las parcelas*

1.5.3.3.7.5.1 Uno de requisitos más importantes para evaluar la distinción y la homogeneidad mediante análisis estadístico de los datos del ensayo en cultivo es la independencia de las unidades experimentales.

1.5.3.3.7.5.2 La independencia de las parcelas significa que las observaciones realizadas en una parcela no se ven afectadas por las circunstancias de otras parcelas. Por ejemplo, si se plantan variedades de porte alto junto a variedades de porte menor, las altas podrían perjudicar a las bajas y podría haber una influencia positiva en el sentido opuesto. En tal caso, para evitar esta dependencia, puede plantarse una hilera adicional de plantas a ambos lados de la parcela, es decir, hileras y franjas de borde. Otra posibilidad para reducir al mínimo esta influencia es cultivar juntas variedades con características físicas similares.

#### *1.5.3.3.7.6 Disposición de las plantas en la parcela o tipo de parcela para la observación*

Las Directrices de Examen de la UPOV pueden especificar el tipo o tipos de parcela para el ensayo en cultivo (por ejemplo, plantas aisladas; parcelas en hilera, parcelas en líneas, etc.) adecuadas para examinar la distinción así como la homogeneidad y la estabilidad.

#### 1.5.3.4 Ensayos aleatorios “a ciegas”

1.5.3.4.1 Parte de un ensayo puede consistir en parcelas sembradas específicamente para la realización de ensayos aleatorios “a ciegas”, como parcelas que contienen plantas de las dos variedades que han de distinguirse, sembrándose las plantas en un orden aleatorio pero conocido, o bien una mezcla de macetas con las dos variedades en un invernadero. Una de las dos variedades es la variedad candidata y la otra es la variedad con la que está en disputa la distinción de la variedad candidata. La realización de ensayos aleatorios “a ciegas” se basa en el principio de presentar las plantas ante un juez, a veces el obtentor, a quien se pide que distinga, planta por planta, la variedad candidata de la otra.

1.5.3.4.2 Para ello, las plantas deben presentarse o sembrarse en un orden aleatorio, pero tal que el responsable del ensayo sepa diferenciar una variedad de otra; el juez evalúa cada planta, y el responsable del ensayo cuenta el número de veces que identifica correctamente las diferentes variedades. Para reforzar el carácter “ciego” del ensayo, se presenta un número diferente de plantas de cada una de las dos variedades, por ejemplo 51 de la variedad candidata y 69 de la otra, en lugar de 60 de cada. Dado que las diferencias pueden manifestarse en diferentes etapas del crecimiento de las plantas, el juez puede evaluarlas en más de una ocasión.

## **1.6 Modificación de los métodos**

Las modificaciones de los métodos de examen DHE pueden afectar significativamente a las decisiones. En consecuencia, debe procurarse garantizar la coherencia de las decisiones para modificar los métodos.

## **2. VALIDACIÓN DE DATOS Y SUPOSICIONES**

### **2.1 Introducción**

Es importante que los datos sean correctos, es decir, que no contengan errores, tanto si son notas obtenidas mediante observación visual (V) (véase la sección 4.2.1 del documento TGP/9) como mediante medición (M) (véase la sección 4.2.2 del documento TGP/9), y tanto si generan un registro único de un grupo de plantas (G) (véase la sección 4.3.2 del documento TGP/9) como si generan registros correspondientes a varias plantas o partes de plantas individuales (S) (véase la sección 4.3.3 del documento TGP/9) para su análisis estadístico. La sección “Validación de datos” describe el modo en que los datos pueden validarse o comprobarse. Pueden someterse a estas comprobaciones preliminares todos los datos, tanto si se analizan posteriormente mediante métodos estadísticos como si no.

### **2.2 Validación de datos**

2.2.1 Esta sección trata sobre la validación de los datos para garantizar que no contienen errores (evidentes).

2.2.2 Para evitar errores en la interpretación de los resultados, siempre deben inspeccionarse los datos para comprobar su coherencia lógica y que no contradicen la información anterior sobre los intervalos en los que probablemente se mantengan los valores de los diversos caracteres. La inspección puede hacerse manualmente (por lo general, visualmente) o de forma automática. Cuando se utilizan métodos estadísticos, la validación de las suposiciones puede también usarse como comprobación de que los datos no contienen errores (véase la sección 2.3.2.1.1.).

2.2.3 El cuadro 1 muestra un extracto de algunos registros correspondientes a 10 plantas de una parcela de guisantes forrajeros. Para el carácter “Semilla: forma” (PQ), se determinan visualmente notas valoradas en una escala conforme al criterio siguiente: 1 (esférica), 2 (ovoide), 3 (cilíndrica), 4 (romboide), 5 (triangular) o 6 (irregular). Para el carácter “Semilla: color negro del hilo” (QL), se determinan visualmente notas valoradas en una escala conforme al criterio: 1 (ausente) o 9 (presente). Para el carácter “Tallo: longitud” (QN) se realizan mediciones, en centímetros, y se sabe, de la experiencia anterior, que la longitud será, en la mayoría de los casos, de 40 a 80 cm. El carácter “Estípulas: longitud” se mide en milímetros y será, en la mayoría de los casos, de 50 a 90 mm. El cuadro muestra 3 tipos de errores que se producen ocasionalmente al registrar valores manualmente: para la planta 4, el valor registrado del carácter “Semilla: forma”, 7, no está entre las notas permitidas y debe, por consiguiente, tratarse de un error, quizá debido a la lectura equivocada de un “1” escrito a mano. Se observa una situación similar en la planta 8: el valor (8) del carácter “Semilla: color negro del hilo” no está permitido y debe ser un error. El valor del carácter “Tallo: longitud” de la planta 6 está fuera del intervalo esperado, lo que podría deberse a un cambio del orden de las cifras, de forma que se ha introducido el valor 96 en lugar de 69. El valor del carácter “Estípulas: longitud”, 668 mm, es, claramente erróneo, y quizá se haya debido a la introducción accidental de la cifra 6 dos veces. En todos los casos, es preciso realizar un examen cuidadoso para averiguar qué valores son los correctos.

Cuadro 1: Extracto de una hoja de registro de datos de guisantes forrajeros

Planta n.º	Semilla: forma (UPOV 1) (PQ)	Semilla: color negro del hilo (UPOV 6) (QL)	Tallo: longitud (UPOV 12) (QN)	Estípulas: longitud (UPOV 31) (QN)
1	1	1	43	80
2	2	1	53	79
3	1	1	50	72
4	7	1	43	668
5	2	9	69	72
6	1	1	96	72
7	1	1	51	70
8	2	8	64	63
9	1	1	44	62
10	2	1	49	62

2.2.4 La representación gráfica de los caracteres puede ayudar a validar los datos. Por ejemplo, el examen de las distribuciones de frecuencia de los caracteres puede señalar pequeños grupos de observaciones discrepantes. También, en el caso de los caracteres cuantitativos, el examen de diagramas de dispersión de pares de caracteres que es probable que estén muy relacionados puede permitir detectar observaciones discrepantes muy eficazmente.

2.2.5 Pueden utilizarse también otros tipos de representación gráfica para validar la calidad de los datos. El llamado diagrama de cajas es una forma eficiente de representar resumidamente datos cuantitativos. En este tipo de diagrama, cada grupo (parcela o variedad) se representa mediante una caja. En el caso representado, se utilizan datos del carácter “Hoja: longitud” (en mm) de un experimento cuya disposición comprende 3 bloques de 26 parcelas con 20 plantas por parcela. En cada bloque, se asignaron aleatoriamente 26 variedades diferentes de colza a las 26 parcelas. En la figura 1 se representan, de forma conjunta, los 60 valores del carácter “Hoja: longitud” de cada una de las 26 variedades. (Si hay diferencias grandes entre bloques, puede elaborarse un diagrama de cajas mejorado en el que se representan las diferencias con respecto al promedio de la parcela). La caja muestra el intervalo que comprende la mayoría (habitualmente el 75%) de las observaciones individuales. Los valores mediano y medio se representan, respectivamente, mediante una línea horizontal que atraviesa la caja y un símbolo. En los extremos de la caja se dibujan líneas verticales que indican el intervalo de observaciones posibles no comprendidas en la caja, pero dentro de una distancia razonable (habitualmente 1,5 veces la altura de la caja). Por último, las observaciones más extremas se muestran individualmente. En la figura 1 se ve que una observación de la variedad 13 es claramente mucho mayor que el resto de las observaciones de esa variedad. También se ve que las hojas de la variedad 16 son de gran longitud y que hay unas 4 observaciones relativamente alejadas de la media. También pueden observarse en la figura la variabilidad y la simetría de la distribución. En efecto, puede verse que la variabilidad de la variedad 15 es relativamente grande y que la distribución de esta variedad presenta una ligera desviación, ya que la media y la mediana están relativamente alejadas.

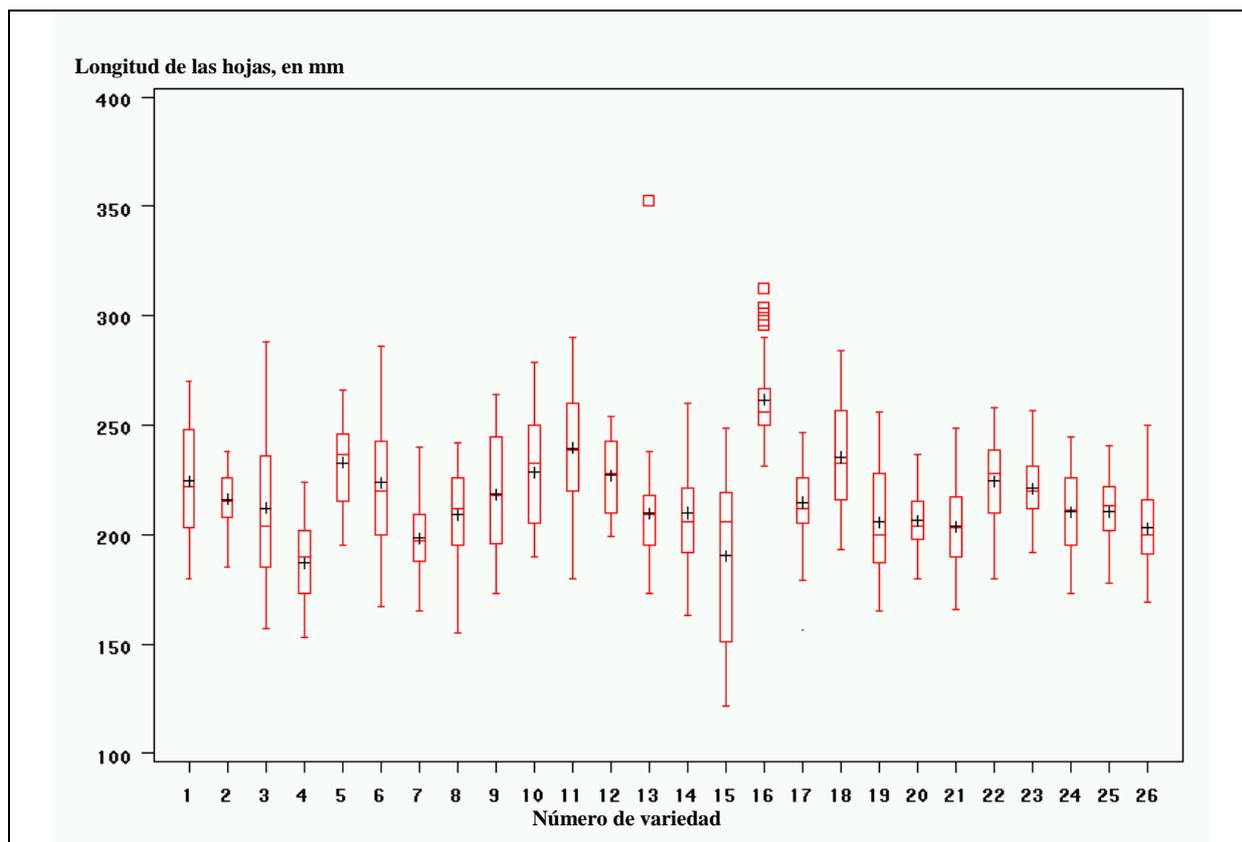


Figura 1. Diagrama de cajas de la longitud de las hojas de 26 variedades de colza

2.2.6 Cuando se encuentran observaciones discrepantes, es importante tratar de averiguar a qué se deben las desviaciones. En algunos casos, quizá sea posible regresar al terreno y comprobar si la planta o la parcela ha sido dañada por factores externos (por ejemplo, conejos) o si se ha producido un error de medición. En el segundo caso, el error se puede corregir. En otros casos, puede ser necesario consultar las notas previas (u otras mediciones de la misma planta o parcela) para averiguar el motivo de la discrepancia. Por lo general, únicamente deben eliminarse observaciones cuando haya motivos sólidos.

### **2.3 Suposiciones subyacentes del análisis estadístico y su validación**

Si los datos van a someterse a un análisis estadístico, deben cumplirse, al menos aproximadamente, las suposiciones subyacentes de la teoría en la que se basan los métodos estadísticos. Esta sección describe las suposiciones en las que se basan los métodos de análisis estadístico más comúnmente utilizados en el examen DHE. La sección siguiente trata sobre la validación de las suposiciones que deben cumplirse para realizar el análisis estadístico: describe el modo en que pueden evaluarse.

Los métodos aquí descritos para la validación de las suposiciones subyacentes de los métodos estadísticos se refieren a los análisis de un solo experimento (bloques aleatorizados). No obstante, para el análisis de datos de varios experimentos realizados en varios años se aplican los mismos principios, pero en lugar de analizarse las medias de parcelas, los análisis se realizan con las medias anuales de las variedades, y los bloques equivalen entonces a años.

## 2.3.1 Suposiciones subyacentes del análisis estadístico basado en el análisis de la varianza

### *2.3.1.1 Introducción*

2.3.1.1.1 En primer lugar, es fundamental que el ensayo en cultivo o experimento haya sido diseñado adecuadamente e incluya la aleatorización. Las suposiciones más importantes de los métodos de análisis de la varianza son:

- observaciones independientes
- homogeneidad de las varianzas
- aditividad de los efectos de bloque y de variedad para un diseño en bloques aleatorizados
- distribución normal de las observaciones (valores residuales)

2.3.1.1.2 Cabe también mencionar que no debería haber errores en los datos; no obstante, no es necesario establecerlo como suposición, en primer lugar, porque ya se aborda en la sección anterior sobre la validación de datos y, en segundo lugar, porque si hay errores (por lo menos si son graves) quedarán invalidadas las suposiciones anteriores, ya que las observaciones no tendrán una distribución normal y sus varianzas serán diferentes (no serán homogéneas).

2.3.1.1.3 La importancia de las suposiciones mencionadas aquí es máxima cuando para el contraste de hipótesis se utilizan métodos estadísticos basados en el método de mínimos cuadrados. Cuando estos métodos estadísticos se utilizan únicamente para estimar los efectos (valores medios), las suposiciones son menos importantes y la suposición de distribución normal de las observaciones no es necesaria.

### *2.3.1.2 Observaciones independientes*

Esta suposición es muy importante. Significa que ningún registro puede depender de otros registros del mismo análisis (la dependencia entre observaciones puede estar incorporada en el modelo, pero no está incorporada en los métodos COYD y COYU, ni de los demás métodos incluidos en el documento TGP/8). La dependencia puede deberse, por ejemplo, a la competencia entre parcelas adyacentes, a la falta de aleatorización o a una aleatorización incorrecta. Se proporciona información adicional sobre la independencia de las observaciones en la sección 1.5.3.3.7, “Elementos del ensayo en la aplicación de análisis estadísticos”, de la parte I.

### *2.3.1.3 Homogeneidad de las varianzas*

La expresión “homogeneidad de las varianzas” significa que la varianza de todas las observaciones debería tener idéntica, exceptuando las diferencias debidas a la variación aleatoria. Típicamente, hay dos tipos de desviaciones con respecto a la suposición de homogeneidad de las varianzas:

- i) La varianza depende de la media; por ejemplo, la desviación estándar es mayor cuanto mayor sea el valor de la media. En este caso, se puede con frecuencia realizar una transformación de los datos tal que en la escala transformada sus varianzas pueden ser aproximadamente homogéneas. Algunas transformaciones típicas de los caracteres son: la transformación logarítmica (en la

que el desvío estándar es aproximadamente proporcional a la media), la transformación de la raíz cuadrada (en la que la varianza es aproximadamente proporcional a la media, por ejemplo, los recuentos), y la transformación angular (en la que la varianza es baja en ambos extremos de la escala y mayor en la parte media, típica para porcentajes).

ii) La varianza depende, por ejemplo, de la variedad, el año o el bloque. Si la dependencia de la varianza de tales variables es tal que no tiene relación con el valor medio, no es posible lograr la homogeneidad de las varianzas mediante transformación. En tales casos puede ser necesario usar métodos estadísticos más complejos compatibles con la existencia de varianzas desiguales, o bien excluir el grupo de observaciones con varianzas anormales (si son pocas las observaciones cuyas varianzas son anormales). Para ilustrar la gravedad de la heterogeneidad de las varianzas, imagínese un ensayo con 10 variedades, en el que las variedades A, B, C, D, E, F, G y H tengan todas varianzas de 5, mientras que las variedades I y J tengan una varianza de 10. En el cuadro 2 se muestra la probabilidad real de detectar diferencias entre estas variedades cuando sus medias son en realidad iguales. En el cuadro 2, las comparaciones entre variedades se basan en la varianza combinada, como se hace normalmente en el análisis de las varianzas (ANOVA) tradicional. Si se comparan con un nivel de significación del 1%, la probabilidad de que dos variedades con una varianza de 10 sean significativamente diferentes una de otra es casi 5 veces mayor (4,6%) de lo que debería ser. Por otro lado, la probabilidad de detectar diferencias significativas entre dos variedades con una varianza de 5 disminuye hasta 0,5%, cuando debería ser del 1%. Es decir, se hace demasiado difícil detectar diferencias entre dos variedades con varianzas pequeñas y demasiado fácil detectarlas entre variedades con varianzas grandes.

Cuadro 2. Probabilidad real de detectar una diferencia significativa entre dos variedades idénticas cuando se da por cierta la suposición de homogeneidad de las varianzas pero no se cumple (las variedades A a la H tienen una varianza de 5 y las variedades I y J tienen una varianza de 10.)

Comparaciones, nombres de variedades	Nivel de significación de la prueba formal	
	1%	5%
A y B	0,5%	3,2%
A e I	2,1%	8,0%
I y J	4,6%	12,9%

### 2.3.1.4 Observaciones con distribución normal

La distribución de los valores residuales debe ser aproximadamente normal. El valor residual es la parte de una observación no explicada tras ajustar los datos a un modelo; es decir, es la diferencia entre la observación y la predicción del modelo. En una distribución normal ideal los datos se distribuyen de forma simétrica alrededor de la media y adoptan la forma de campana característica (véase la figura 2). Si la distribución de los valores residuales no es aproximadamente normal, el nivel de significación real puede ser distinto del nominal. La desviación del nivel de significación puede ser en uno u otro sentido dependiendo del tipo de desviación de la distribución real de los valores residuales con respecto a la distribución normal. No obstante, el incumplimiento de la suposición de normalidad no suele ser tan grave como los incumplimientos de las dos suposiciones anteriores.

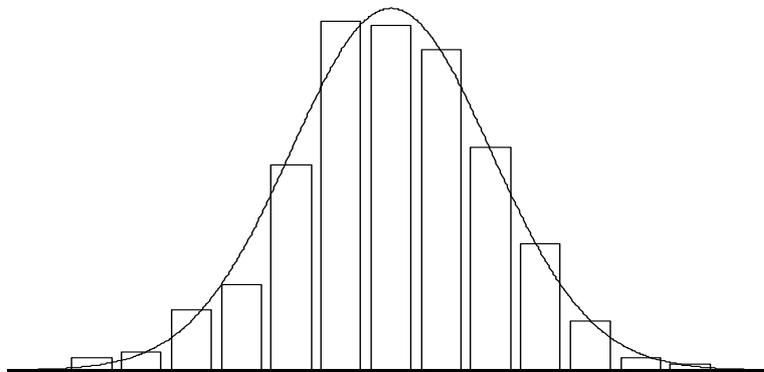


Figura 2. Histograma de datos con distribución normal en el que se muestra la curva ideal de una distribución normal

### 2.3.1.5 Aditividad de los efectos de bloque y de variedad

2.3.1.5.1 Se supone que los efectos de los bloques y las variedades son aditivos porque el error es la suma de la variación aleatoria y la interacción entre bloques y variedades. Esto significa que el efecto de una variedad determinada es el mismo en todos los bloques. La aditividad de los efectos se ilustra en el cuadro 3, en el que se muestran los promedios por parcelas de datos artificiales (de longitud de hoja en mm) para dos experimentos pequeños con tres bloques y cuatro variedades. En el experimento I, los efectos de los bloques y las variedades son aditivos porque las diferencias entre dos variedades cualesquiera son las mismas en todos los bloques: por ejemplo, las diferencias entre la variedad A y la B son de 4 mm en los tres bloques. En el experimento II, los efectos no son aditivos: por ejemplo, las diferencias entre la variedad A y la B son 2, 2 y 8 mm en los tres bloques.

Cuadro 3. Valores medios artificiales por parcelas de longitud de hoja en mm de dos experimentos que muestran efectos de bloques y variedades aditivos (izquierda) y efectos de bloques y variedades no aditivos (derecha)

Experimento I				Experimento II			
Variedad	Bloque			Variedad	Bloque		
	1	2	3		1	2	3
A	240	242	239	A	240	242	239
B	244	246	243	B	242	244	247
C	245	247	244	C	246	244	243
D	241	243	240	D	241	242	241

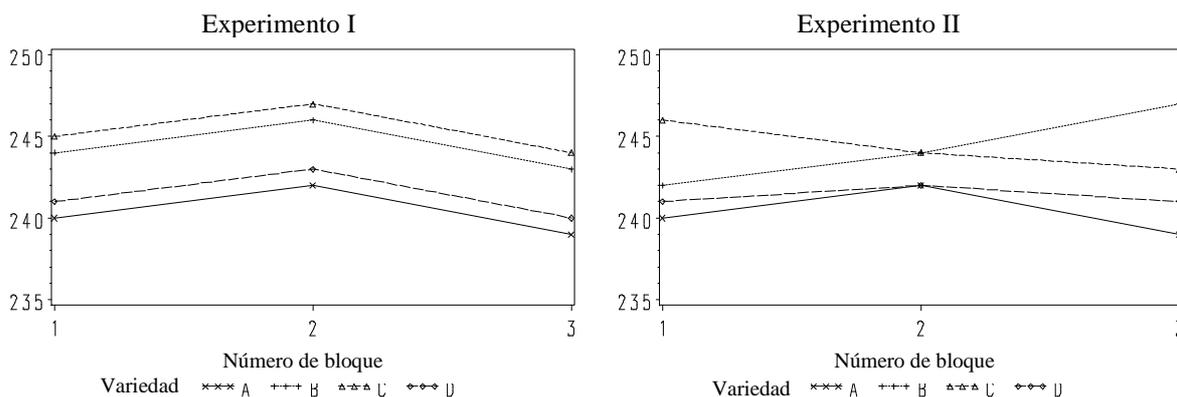


Figura 3. Valores medios artificiales por parcelas de dos experimentos que muestran efectos de bloques y variedades aditivos (izquierda) y efectos de bloques y variedades no aditivos (derecha), con los mismos datos que en el cuadro 3.

2.3.1.5.2 En la figura 3 se muestra una representación gráfica de los mismos datos: se representan los valores medios frente a los números de bloque y se unen mediante líneas rectas las observaciones correspondientes a las mismas variedades. También se podrían haber representado los valores medios frente a los nombres de las variedades y haber unido las observaciones de los mismos bloques (y esta opción puede ser preferible, sobre todo si se deben mostrar muchas variedades en la misma figura). La suposición de aditividad se cumple si las líneas de las variedades son paralelas (obviando la variación aleatoria). Como sólo hay un dato para cada variedad y bloque, no es posible distinguir los efectos de la interacción de los debidos a la variación aleatoria. De modo que, en la práctica, la situación no es tan sencilla y clara como aquí se muestra, porque los efectos pueden quedar enmascarados por la variación aleatoria.

## 2.3.2 Validación de las suposiciones subyacentes del análisis estadístico

### 2.3.2.1 Introducción

2.3.2.1.1 La finalidad principal de la validación es comprobar que se cumplen las suposiciones subyacentes del análisis estadístico. No obstante, sirve también como comprobación secundaria de que los datos no contienen errores.

2.3.2.1.2 Para validar las suposiciones se utilizan diferentes métodos, entre los que cabe citar los siguientes:

- repasar los datos para comprobar las suposiciones
- elaborar gráficos o figuras para comprobar las suposiciones

- realizar pruebas estadísticas formales para los diferentes tipos de suposiciones. Pueden encontrarse en la literatura especializada varios métodos para contrastar la existencia de valores atípicos, la homogeneidad de las varianzas, la aditividad y la normalidad. Estos métodos no se mencionan aquí, en parte porque muchos de ellos dependen de suposiciones que no afectan gravemente a la validez de los métodos COYD y COYU y en parte porque el poder estadístico de tales métodos depende en gran medida del tamaño de muestra (esto significa que es posible que no se detecten incumplimientos graves de las suposiciones en conjuntos pequeños de datos, mientras que incumplimientos pequeños y poco importantes pueden ser estadísticamente significativos en conjuntos grandes de datos).

### 2.3.2.2 *Repasar los datos*

En la práctica, este método sólo es aplicable cuando únicamente hay que examinar unas pocas observaciones. Para conjuntos grandes de datos, este método es demasiado laborioso, es tedioso y el riesgo de pasar por alto datos sospechosos aumenta conforme avanza el repaso. Además, mediante este método es muy difícil juzgar la distribución de los datos y el grado de homogeneidad de las varianzas.

### 2.3.2.3 *Elaborar gráficos*

2.3.2.3.1 Pueden elaborarse diferentes tipos de gráficos útiles para los diferentes aspectos que deben validarse. Muchos de estos gráficos consisten en diferentes tipos de representaciones gráficas de los valores residuales (las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo estadístico).

2.3.2.3.2 La representación gráfica de los valores residuales frente a los valores predichos puede utilizarse para juzgar la dependencia de la varianza con respecto a la media. Si no hay dependencia, las observaciones deberían estar aproximadamente ubicadas (sin desviación sistemática) en una banda horizontal simétrica alrededor del cero (figura 4). En casos en los que aumenta la varianza respecto de la media, las observaciones adoptarán una forma parecida a la de un embudo con el vértice apuntando hacia la izquierda. Las observaciones de datos atípicos, que pueden ser errores, aparecerán en forma de observaciones que se escapan claramente de la banda horizontal formada por la mayoría de las demás observaciones. En el ejemplo mostrado en la figura 4, no parece haber observaciones atípicas (la observación de la esquina inferior izquierda, cuyo valor residual es alrededor de -40 mm puede, a primera vista, parecerlo, pero hay varias observaciones con valores positivos del mismo orden). Es importante señalar a este respecto que un valor atípico no es necesariamente un error y que un error no se mostrará necesariamente como valor atípico.

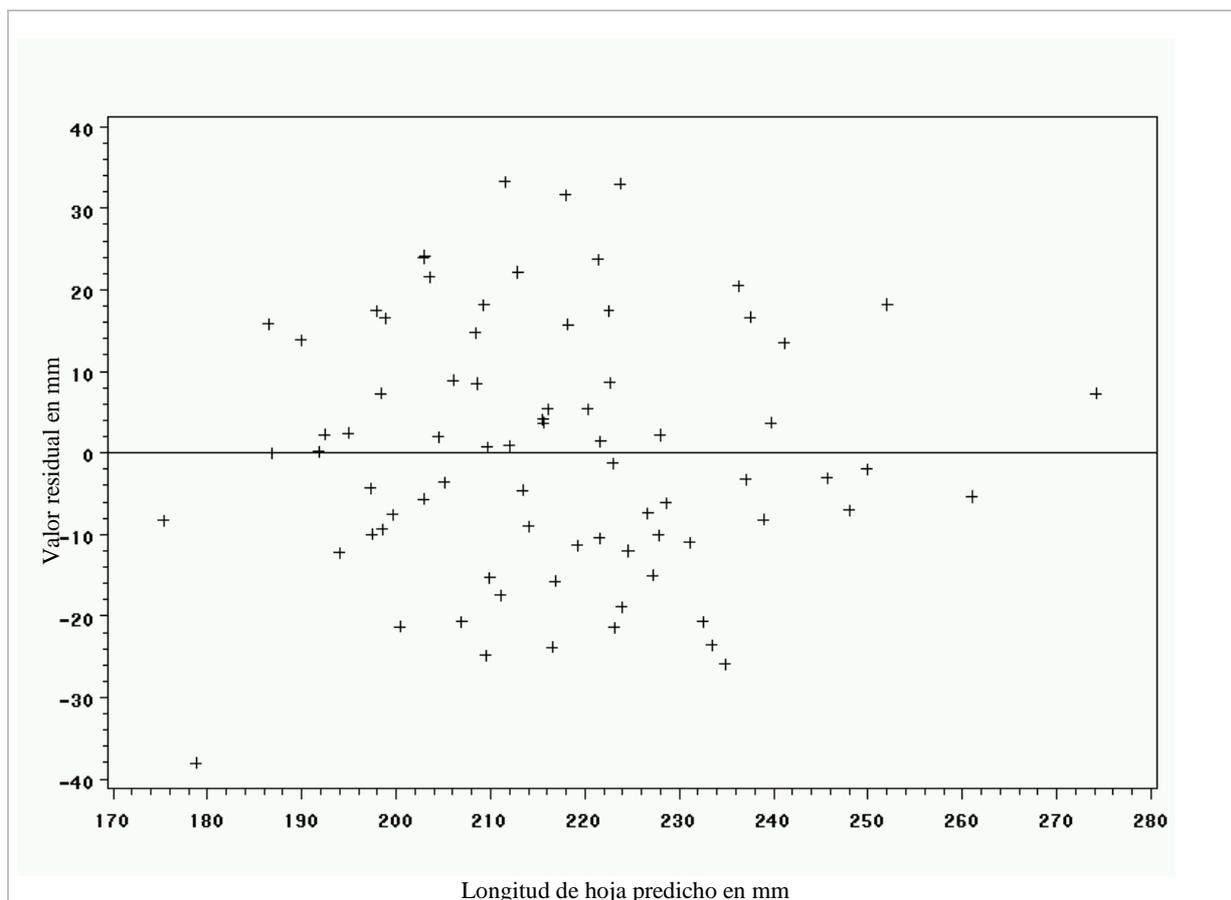


Figura 4. Representación gráfica de los valores residuales frente a los valores predichos por parcela de longitud de hoja en 26 variedades de colza en 3 bloques

2.3.2.3.3 Los valores residuales pueden también utilizarse para dibujar un histograma, como el de la figura 2, mediante el que puede evaluarse la suposición sobre la distribución.

2.3.2.3.4 Puede representarse la amplitud (valor máximo menos valor mínimo) o la desviación estándar de los datos de cada parcela frente a otras variables como los valores medios de las parcelas, el número de variedad o el número de parcela. Estos gráficos (figura 5) pueden ser útiles para detectar variedades con una variación extremadamente grande (todas las parcelas de la variedad muestran valores grandes) o parcelas en las que la variación es extremadamente grande (quizá ocasionada por una sola planta). Se ve claramente que la amplitud de una de las parcelas de la variedad 13 es mucho mayor que la de las otras dos parcelas. Además, la amplitud de una de las parcelas de la variedad 3 parece ser relativamente grande.

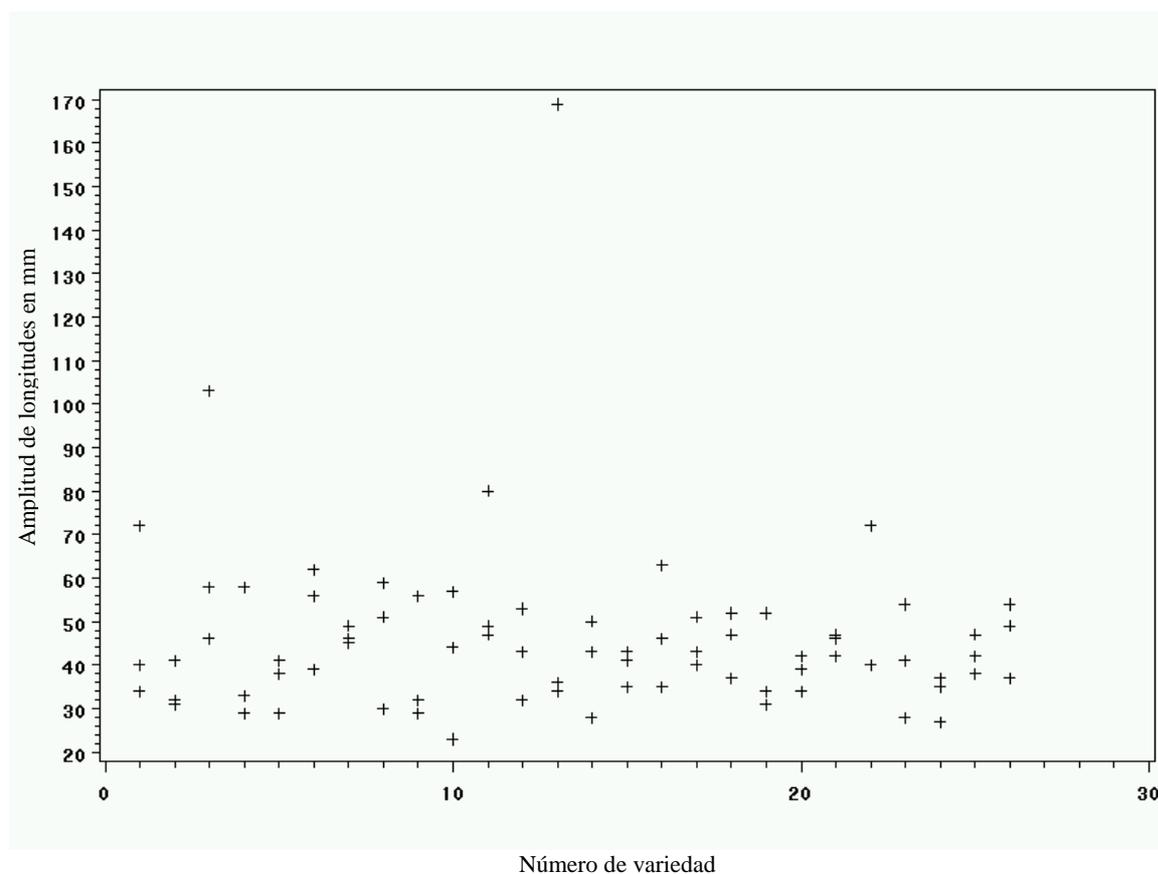


Figura 5. Diferencias entre los valores mínimo y máximo de 20 longitudes de hoja de variedades de colza cultivadas en 3 parcelas frente al número de variedad

2.3.2.3.5 Un gráfico de los promedios por parcelas (o promedios ajustados por variedades) frente al número de parcela puede utilizarse para averiguar si el valor del carácter depende de la ubicación de la planta en el terreno (figura 6). Para ello, desde luego, es preciso que las parcelas se numeren de forma tal que los números indiquen la ubicación relativa. El ejemplo de la figura 6 muestra claramente una tendencia de ligera disminución de la longitud de hoja al aumentar el número de parcela. No obstante, en este caso, la mayor parte de la tendencia a lo largo de la superficie utilizada para el ensayo se explicará por las diferencias entre bloques (las parcelas 1 a 26 forman el bloque 1, las parcelas 27 a 52 el bloque 2 y las parcelas 53 a 78 el bloque 3).

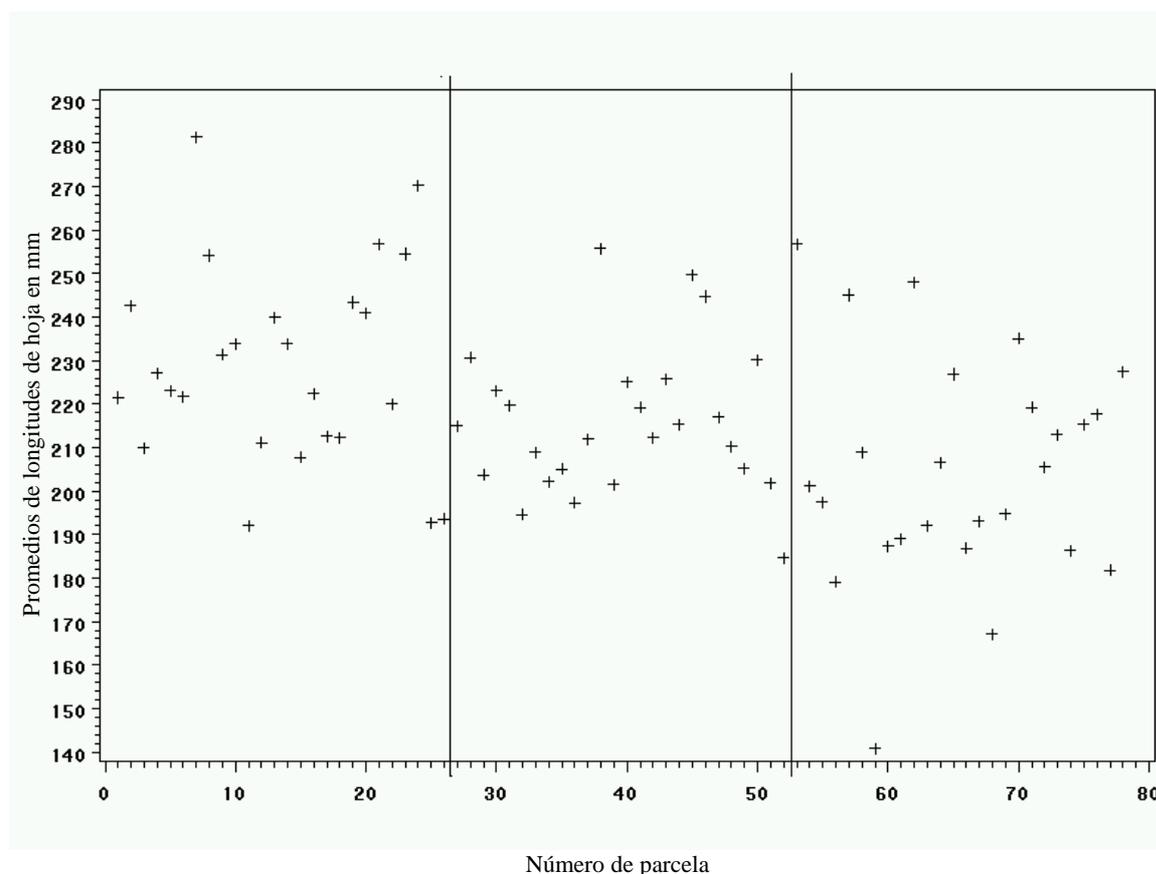


Figura 6. Promedios por parcelas de 20 longitudes de hoja frente a los números de las parcelas

2.3.2.3.6 Los promedios de las parcelas también pueden usarse para generar un gráfico en el que puede comprobarse visualmente la aditividad de los efectos de bloque y variedad (véase la figura 3).

2.3.2.3.7 Representación gráfica de la curva normal de errores (figura 7). Este tipo de gráfica se utiliza para evaluar en qué medida la distribución de la variable se ajusta a una distribución normal. La variable seleccionada se representa en un diagrama de dispersión frente a los “valores esperados de la distribución normal”. La curva normal de errores se construye de la siguiente forma. En primer lugar, se ordenan los valores residuales (desviaciones con respecto a las predicciones). A partir de estos valores ordenados, el programa calcula los valores esperados de la distribución normal, llamados en lo sucesivo valores de  $z$ , que se representan en el eje de abscisas (eje X) del gráfico. Si la distribución de los valores residuales observados (representados en el eje de ordenadas, eje Y) es normal, todos los valores deberían formar una línea recta. Si la distribución de los valores residuales no es normal, se desviarán de dicha línea. En este gráfico también pueden ponerse de manifiesto los valores atípicos. Si los datos están, en general, desajustados y parecen presentar una tendencia clara (por ejemplo la forma de una S) alrededor de la línea, puede ser necesario realizar algún tipo de transformación de la variable.

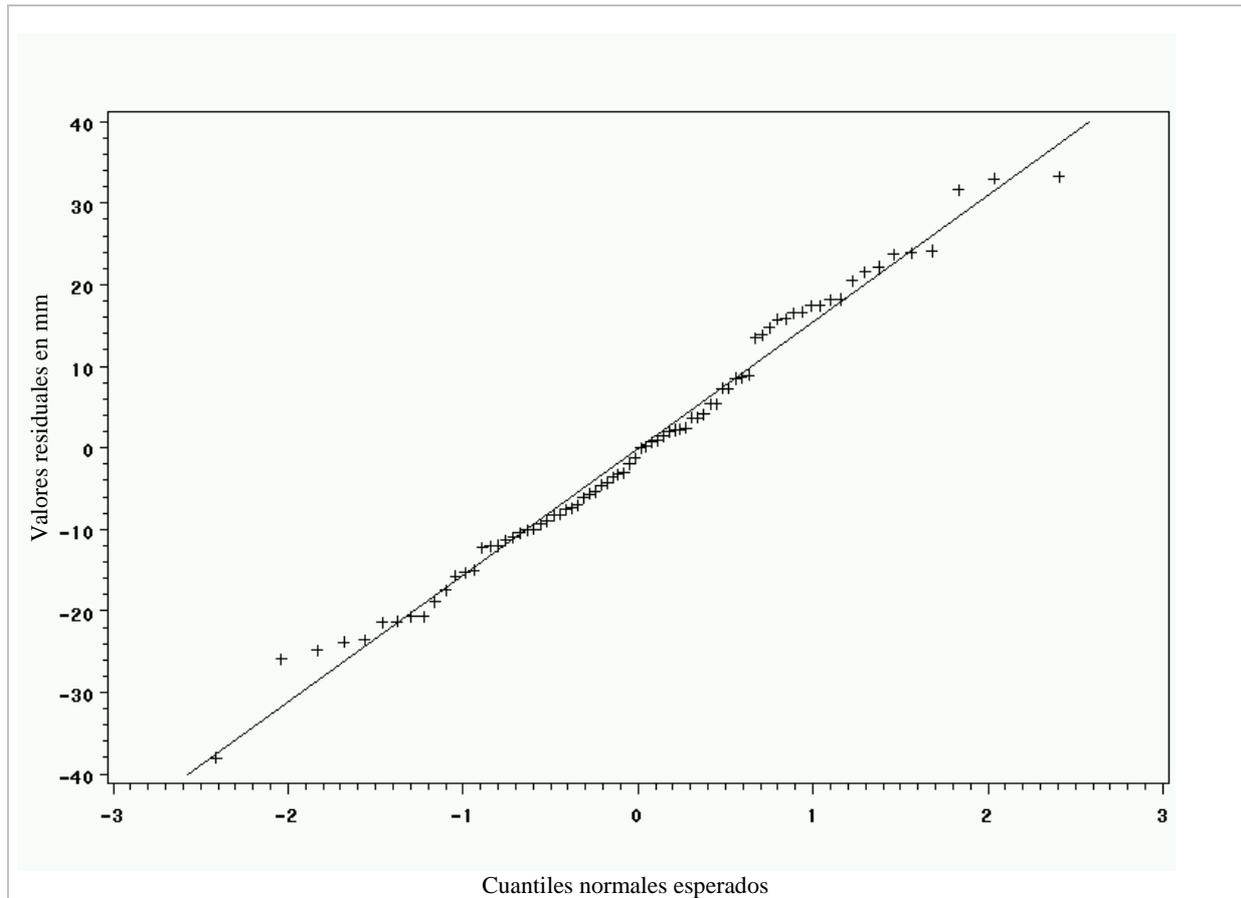


Figura 7. Curva normal de errores de los valores residuales de la longitud de hoja de 26 variedades de colza en 3 bloques

### **3. ELECCIÓN DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EXAMINAR LA DISTINCIÓN**

#### **3.1 Introducción**

3.1.1 Esta sección expone algunas consideraciones generales acerca de la elección de métodos estadísticos adecuados para la evaluación de la distinción. Contiene una descripción de los factores que influyen en la elección del método y, como la prueba estadística utilizada por cada método es una parte fundamental del mismo, incluye una descripción breve de pruebas estadísticas, de factores que influyen en su selección y algunas observaciones sobre su utilidad en situaciones particulares.

3.1.2 Los métodos estadísticos suelen utilizarse para evaluar la distinción de caracteres cuantitativos medidos de variedades alógamas cuando los datos del ensayo en cultivo de una variedad están sujetos a variación. Debido a esta variación, se necesitan criterios de distinción basados en métodos estadísticos para distinguir las diferencias varietales genuinas de la variación por azar, y tomar así decisiones sobre si la variedad candidata es distinta con un determinado nivel de confianza en que la decisión es la correcta.

3.1.3 La variación puede producirse, por ejemplo, de planta a planta, de parcela a parcela y de año a año. Para poder garantizar que las diferencias observadas entre variedades son suficientemente uniformes puede bastar un único ciclo de cultivo o puede necesitarse más de un ciclo de cultivo, dependiendo de los niveles o las magnitudes de la variación debida a estas fuentes diferentes que se observan en una especie. La sección 1.2 de la parte I de este documento informa sobre los ciclos de cultivo.

#### **3.2 Métodos estadísticos aplicables a dos o más ciclos de cultivo independientes**

##### **3.2.1 Introducción**

3.2.1.1 Se han desarrollado varios métodos estadísticos diferentes para evaluar la distinción cuando hay al menos dos ciclos de cultivo independientes. La elección de qué método usar depende en parte de la especie y en parte de si se cumplen los requisitos relativos al ensayo y a los datos de los diferentes métodos estadísticos. Cuando esos requisitos no se cumplen, como cuando sólo existe una sola variedad o un número muy pequeño de variedades conocidas de un taxón, de modo que no es posible realizar un ensayo grande, pueden aplicarse otros métodos adecuados.

3.2.1.2 Los métodos estadísticos adecuados para evaluar la distinción cuando hay al menos dos ciclos de cultivo independientes tienen en común los principios siguientes:

- Se utilizan pruebas estadísticas de las diferencias entre las medias de las variedades para determinar si las diferencias entre variedades en la expresión de sus caracteres son significativas.
- Las diferencias deben mantenerse de unos ciclos de cultivo a otros. Este requisito puede ser parte de la prueba estadística, como en el método COYD, o no serlo, como en el método 2×1% y en el método de comparación.

En aras de la concisión, se utilizará a continuación la palabra “año”, aunque será, para los fines que nos ocupan, equivalente a la expresión “ciclo de cultivo independiente”.

3.2.1.3 Son ejemplos de métodos estadísticos adecuados los siguientes:

- a) Los métodos COYD y COYD de largo plazo de evaluación de la distinción, que han sido desarrollados por la UPOV para analizar datos de dos o más años de ensayos en cultivo con al menos un número mínimo de variedades o bien datos de ensayos suficientes de años anteriores. Se determina si las diferencias son suficientemente uniformes aplicando una prueba estadística de dos colas basada en la diferencia mínima significativa (DMS) para determinar si las diferencias entre las medias interanuales de las variedades son significativas. Los métodos COYD y COYD de largo plazo y los requisitos para su uso se describen detalladamente en la sección 3 de la parte II del documento TGP/8.
- b) El método 2×1% para evaluar la distinción, que también ha sido desarrollado por la UPOV para analizar datos de dos o más años de ensayos en cultivo. La diferencias se evalúan en cada año mediante una prueba estadística de dos colas basada en la DMS para comparar las medias intranuales de las variedades. Para determinar si las diferencias entre dos variedades son suficientemente uniformes, se establece el requisito de que sean significativamente diferentes en la misma dirección al nivel del 1% en ambos años, o, si los ensayos se realizan en tres años, en al menos dos de los tres años. El método 2×1% y su comparación con el método COYD se describe detalladamente en la sección 4 de la parte II del documento TGP/8.
- c) El sistema de comparación para evaluar la distinción fue desarrollado para analizar datos de más de un ciclo de cultivo. Los ensayos son realizados por el obtentor en el primer ciclo de cultivo y examinados por la autoridad examinadora en el segundo ciclo de cultivo (véase la sección 2 “Ejemplos de preparativos para el examen DHE” del documento TGP/6 “Preparativos para el examen DHE”). Para evaluar si las diferencias son suficientemente coherentes, se aplica una prueba estadística (por ejemplo, la prueba de la diferencia mínima significativa, la prueba de rango múltiple, la prueba ji cuadrado o la prueba exacta de Fisher) que determina si las diferencias en el segundo ciclo de cultivo son significativas y concuerdan con la “dirección de las diferencias” declarada por los obtentores en el primer ciclo de cultivo. La elección de la prueba estadística depende del tipo de expresión del carácter en cuestión. En la Sección 7, Parte II, del documento TGP/8 se ofrece más información sobre el sistema de comparación.

3.2.1.4 Cabe señalar que, en el contexto de la coherencia y la armonización, los métodos estadísticos pueden dar resultados diferentes.

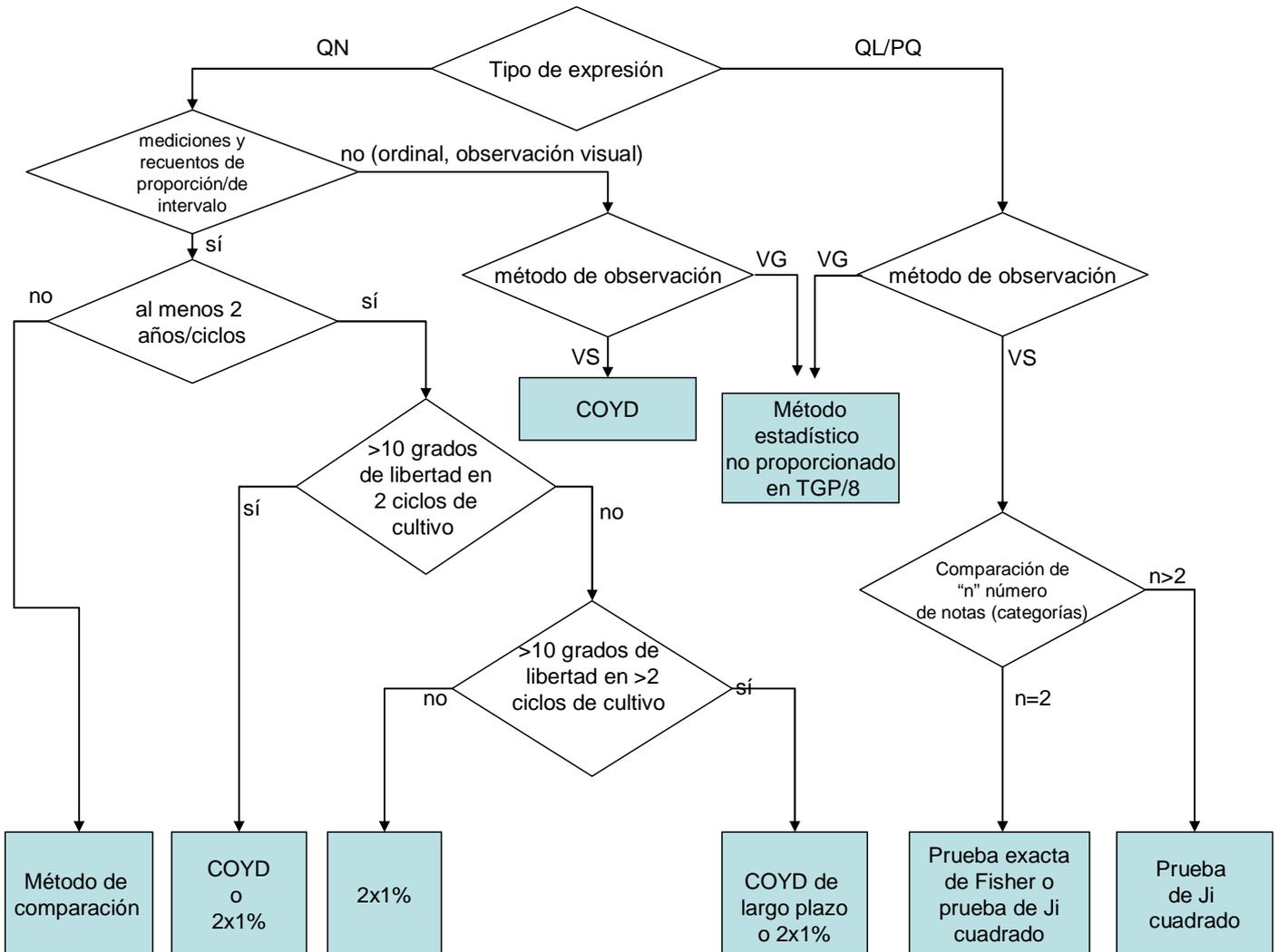
**3.3 Resumen de los métodos estadísticos elegidos de examen de la distinción**

3.3.1 Métodos elegidos que se utilizan en el examen DHE

Requisitos para los métodos estadísticos de evaluación de la distinción						
	Método de observación	Número mínimo de años/ciclos de cultivo	Número mínimo de grados de libertad	Hipótesis contrastada	Tipo de carácter	Otros
<b>COYD*</b>	MS/VS	2	20 en dos años/ciclos de cultivo	Diferencia o no entre las medias de las variedades	QN	-
<b>COYD* de largo plazo</b>	MS/VS	2	20 (utilizando datos de más de 2 años/ciclos de cultivo)	Diferencia o no entre las medias de las variedades	QN	-
<b>2x1 %</b>	MS	2		Diferencia o no entre las medias de las variedades	QN	-
<b>Mét. de comparación</b>	<b>Ji cuadrado</b>	-	-	Hipótesis acerca de la diferencia basada en hechos o principios conocidos previamente	PQ/QN	Comparación de 2 o más variedades con respecto a un carácter Expresiones asignadas a dos o más categorías El valor de cada categoría es mayor que cinco
	<b>Prueba exacta de Fisher</b>	-	-	Hipótesis acerca de la diferencia basada en hechos o principios conocidos previamente*	PQ/QN	Comparación de 2 variedades con respecto a un carácter Expresiones asignadas a dos categorías El valor de cada categoría es menos que 10

\* En determinadas circunstancias también serán aplicables los métodos \*MG y VG.

**3.4 Requisitos para los métodos estadísticos de evaluación de la distinción**



Podría haber otros métodos estadísticos adecuados para la evaluación de la distinción que no se han incluido en el diagrama.

[Sigue la parte II]

## **PARTE II: TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL EXAMEN DHE**

### **1. LA METODOLOGÍA GAIA**

El método GAIA ha sido desarrollado para optimizar los ensayos, evitando el cultivo de algunas de las variedades de la colección de variedades. Se basa en el cálculo de una distancia fenotípica entre cada par de variedades, siendo esta distancia la suma de las distancias de cada carácter individual observado. El fundamento del método radica en la posibilidad que se da al experto en el cultivo de expresar su confianza en las diferencias observadas, asignando pesos a las diferencias para cada carácter observado.

La metodología GAIA se utiliza principalmente tras un primer ciclo de cultivo para detectar las variedades de la colección de variedades que pueden excluirse del ciclo o ciclos de cultivo posteriores porque poseen “distinción calificada” (véase la sección 1.3.2.1 de la parte II del documento TGP/8/1) con respecto a todas las variedades candidatas. El método GAIA puede también determinar qué variedades son similares, en las cuales el examinador DHE deberá centrar su atención en el ciclo de cultivo posterior.

#### **1.1 Algunas razones para sumar y ponderar las diferencias observadas**

1.1.1 Al evaluar la distinción, un examinador DHE primero observa una variedad, carácter por carácter. En el caso de las variedades similares, el examinador DHE considera también todas las diferencias observadas en su conjunto. El programa GAIA ayuda al examinador DHE a evaluar las diferencias carácter por carácter y para todos los caracteres juntos.

1.1.2 Un examinador DHE puede comprobar, tras el primer ciclo de cultivo, que dos variedades son tan distintas que no es necesario repetir la comparación. Estas dos variedades, con “distinción calificada” (véase la sección 1.3.2.1 de la parte II del documento TGP/8/1) son claramente distintas.

1.1.3 Puede darse el caso de que un examinador DHE considere que dos variedades que han recibido notas diferentes son similares. La diferencia puede deberse al hecho de que las variedades no se cultivaron muy cercanas entre sí (es decir, sus condiciones ambientales de cultivo fueron diferentes), o a la variabilidad achacable al observador en la evaluación de las notas, entre otros motivos.

1.1.4 Diferentes caracteres presentan diferentes susceptibilidades a las condiciones ambientales y a la precisión con que se las observa (observación visual o medición). Para los caracteres susceptibles a las condiciones ambientales y cuya evaluación no es muy precisa, el examinador exigirá que haya una diferencia grande entre las variedades A y B para tener la certeza de que la diferencia observada indica distinción.

1.1.5 Para los caracteres que son independientes de las condiciones ambientales y cuya evaluación es precisa, el examinador podrá confiar en una diferencia menor entre las variedades A y B.

1.1.6 En el método GAIA, el examinador asigna los pesos pertinentes a las diferencias observadas para cada carácter observado. El programa informático calcula la suma de los pesos e indica al examinador de los cultivos qué pares de variedades poseen “distinción

calificada” y cuáles no. El examinador puede entonces decidir qué variedades de la colección de variedades pueden excluirse del ciclo o ciclos de cultivo posteriores por ser ya claramente distintas de todas las variedades candidatas.

## **1.2 Cálculo de la distancia fenotípica GAIA**

1.2.1 El método GAIA se basa en el cálculo de una distancia fenotípica entre dos variedades, que es la distancia total entre un par de variedades obtenida sumando los pesos de todos los caracteres. Así, la distancia fenotípica GAIA es:

$$dist(i, j) = \sum_{k=1,ncar} W_k(i, j)$$

donde:

$dist(i, j)$  es la distancia calculada entre la variedad  $i$  y la variedad  $j$ .

$k$  es el  $k^{\text{ésimo}}$  carácter de los  $ncar$  caracteres seleccionados para el cálculo.

$W_k(i, j)$  es el peso del carácter  $k$ , que es función de la diferencia observada entre la variedad  $i$  y la variedad  $j$  para ese carácter  $k$ .

$$W_k(i, j) = f(|VO_{ki} - VO_{kj}|)$$

donde  $VO_{ki}$  es el valor observado del carácter  $k$  en la variedad  $i$ .

1.2.2 Se proporciona información detallada sobre la metodología GAIA en la sección 1.3.

## **1.3 Información detallada sobre la metodología GAIA**

### **1.3.1 Ponderación de los caracteres**

1.3.1.1 En la ponderación es importante tener en cuenta la correlación entre los caracteres. Si dos caracteres están vinculados (por ejemplo, altura de la planta, incluida la panícula; altura de la planta, excluida la panícula), es aconsejable utilizar sólo uno de ellos en la metodología GAIA a fin de evitar una ponderación doble.

1.3.1.2 El peso se define como la contribución de un carácter determinado a la distancia total entre un par de variedades. El sistema de ponderación debe calibrarse para cada especie para determinar el peso que puede asignarse a cada diferencia y evaluar la fiabilidad de cada carácter en un entrono dado y para la variabilidad genética en cuestión. Por ello, la función del experto en los cultivos es fundamental.

1.3.1.3 El peso depende de la magnitud de la diferencia y del carácter individual. El experto en el cultivo define los pesos basándose en su conocimiento del cultivo y en un proceso de aprendizaje de “prueba y comprobación” (véase el diagrama 3 al final de este anexo). El experto puede asignar peso cero a diferencias pequeñas, de modo que, incluso si dos variedades presentan valores observados diferentes en muchos caracteres, la distancia general puede ser cero. Para una diferencia dada, se atribuye el mismo peso a cualquier par de variedades para un carácter dado.

1.3.1.4 El sistema de ponderación debe ser sencillo y coherente. Por ejemplo, para asignar pesos para un carácter el experto en cultivos puede usar únicamente números enteros, es decir, 0, 1, 2, 3, etcétera.

En tal caso,

- se asigna un peso 0 a diferencias observadas que el experto considera que, para ese carácter, pueden estar ocasionadas por efectos del entorno o por falta de precisión de la medición;
- un peso de 1 es el mínimo valor no nulo que puede contribuir a la distancia;
- un peso de 3 se considera unas 3 veces mayor en términos de confianza o distancia que un peso de 1.

1.3.1.5 El umbral de distinción calificada se definirá como un valor para el que la suma de las diferencias con un peso no nulo es suficientemente grande para garantizar una distinción clara y confiable.

1.3.1.6 El diagrama 3 es un flujograma que describe como puede utilizarse un procedimiento iterativo de “prueba y comprobación” para obtener, paso a paso, un conjunto satisfactorio de pesos para un cultivo dado.

1.3.1.7 El siguiente ejemplo sencillo muestra el cálculo de la distancia entre dos variedades de *Zea mays*:

Ejemplo: tomando el carácter “forma de la espiga”, con observaciones puntuadas en una escala de 1 a 3, los expertos en el cultivo han atribuido pesos a las diferencias que consideran significativas:

Forma de la espiga:

- 1 = cónica
- 2 = cónico-cilíndrica
- 3 = cilíndrica

Comparación de las diferencias entre notas con los pesos asignados		
	Diferencia entre notas	Peso
cónica (1) vs. cónica (1)	0	0
cónica (1) vs. cónico-cilíndrica (2)	1	2
cónica (1) vs. cilíndrica (3)	2	6
cónico-cilíndrica (2) vs. cónico-cilíndrica (2)	0	0
cónico-cilíndrica (2) vs. cilíndrica (3)	1	2
cilíndrica (3) vs. cilíndrica (3)	0	0

Cuando el experto en el cultivo compara una variedad ‘i’ con espiga cónica (nota 1) con una variedad ‘j’ con espiga cilíndrica (nota 3), le atribuye un peso de 6, etc. Los pesos se resumen en la siguiente matriz de ponderación:

Matriz de ponderación				
		Variedad 'i'		
		1	2	3
Variedad 'j'	1	0	2	6
	2		0	2
	3			0

Cuando el experto en el cultivo compara una variedad i con espiga cónica (nota 1) con una variedad j con espiga cilíndrica (nota 3), le atribuye un peso de 6.

### 1.3.2 Ejemplos de utilización

#### *1.3.2.1 Determinación de la “distinción calificada”*

1.3.2.1.1 El umbral de distancia fenotípica utilizado para eliminar variedades del ensayo en cultivo se llama “distinción calificada” y lo establece el experto en el cultivo en un nivel mayor que la diferencia necesaria para determinar la distinción. Se garantiza así que todos los pares de variedades cuya distancia sea igual o mayor que el umbral (distinción calificada) se considerarían distintos si se cultivaran en otro ensayo.

1.3.2.1.2 El umbral de distinción calificada debe basarse en la experiencia adquirida con las variedades de la colección de variedades y debe reducir al mínimo el riesgo de excluir de un ensayo en cultivo futuro un par de variedades que deberían someterse a una comparación adicional en el terreno.

#### *1.3.2.2 Otros ejemplos de utilización*

##### *Utilización de la distancia fenotípica en el primer ciclo de cultivo*

1.3.2.2.1 Un cultivo que cuenta con una colección de variedades extensa y utiliza sólo caracteres en una escala de 1 a 9 ; la metodología GAIA permite seleccionar las variedades que han de incluirse en el ensayo en cultivo. Este método puede usarse para planificar los ensayos del primer ciclo de cultivo además de los de ciclos de cultivo posteriores.

1.3.2.2.2 En cultivos con relativamente pocas variedades candidatas y una colección de variedades pequeña (por ejemplo, un cultivo agrícola), el experto en el cultivo puede sembrar todas las variedades candidatas, y las variedades pertinentes de la colección de variedades, en dos o tres ciclos de cultivo sucesivos. Las mismas variedades se siembran en los ciclos de cultivo 1, 2 y 3, en una disposición aleatorizada. El programa informático ayudará a detectar los pares con distancia pequeña, para permitir que el experto centre su atención en estos casos particulares cuando visite el terreno.

### *Utilización de la distancia fenotípica después del primer ciclo de cultivo*

1.3.2.2.3 Después de un ciclo de cultivo (por ejemplo, en el examen de un cultivo ornamental), los datos absolutos y los cálculos de la distancia permiten garantizar que la decisión del experto es objetiva, porque la calidad de la observación y la fiabilidad de las diferencias observadas se han tenido en cuenta en el sistema de ponderación. Si se necesitan más ciclos de cultivo antes de tomar una decisión, el programa ayuda a determinar los casos en los que el experto deberá centrar su atención.

1.3.2.2.4 En casos en los que hay muchas variedades candidatas y muchas variedades de la colección de variedades y la especie presenta una gran variabilidad (por ejemplo, un cultivo hortícola como *Capsicum*); por un lado, hay ya diferencias evidentes tras sólo un ciclo, pero, por otro lado, algunas variedades son muy similares. Para que sus comprobaciones sean más eficientes, los expertos prefieren cultivar variedades “similares” cercanas entre sí. Los resultados y distancias brutos ayudarán a seleccionar las variedades “similares” y a decidir la disposición del ensayo para el ciclo de cultivo siguiente.

1.3.2.2.5 En cultivos que cuentan con muchas variedades similares, para los que suelen realizarse comparaciones por pares, el programa GAIA puede utilizarse para detectar las variedades similares tras el primer ciclo, en particular, cuando el número de variedades en un ensayo aumenta, dificultando la detección de todas las situaciones problemáticas. El programa puede ayudar a “no pasar por alto” los casos menos evidentes.

1.3.2.2.6 En variedades ornamentales de multiplicación vegetativa, el examen dura uno o dos ciclos de cultivo; tras el primer ciclo de cultivo, algunas variedades de la colección de variedades del ensayo son claramente diferentes de todas las variedades candidatas, y no es necesario incluirlas en el segundo ciclo de cultivo. Cuando hay muchas variedades, los datos brutos y la(s) distancia(s) pueden ayudar al experto a detectar las variedades de la colección de variedades para las que no es necesario el segundo ciclo de cultivo.

### 1.3.3 Cálculo de la distancia fenotípica GAIA

El objetivo es calcular una distancia fenotípica entre dos variedades: la suma de los pesos asignados por el experto en el cultivo a las diferencias que observó.

La distancia fenotípica GAIA es:

$$dist(i, j) = \sum_{k=1,ncar} W_k(i, j)$$

donde:

$dist(i, j)$  es la distancia calculada entre la variedad  $i$  y la variedad  $j$ .

$k$  es el  $k^{\text{ésimo}}$  carácter de los  $ncar$  caracteres seleccionados para el cálculo.

$W_k(i, j)$  es el peso del carácter  $k$ , que es función de la diferencia observada entre la variedad  $i$  y la variedad  $j$  para ese carácter  $k$ .

$$W_k(i, j) = f \left( \left| VO_{ki} - VO_{kj} \right| \right)$$

donde  $VO_{ki}$  es el valor observado del carácter  $k$  en la variedad  $i$ .

Este cálculo de la distancia fenotípica permite:

- comparar dos variedades
- comparar una variedad dada con todas las demás
- comparar todas las variedades candidatas con todas las variedades observadas [candidatas y variedades de la colección de variedades incluidas en el ensayo en cultivo]
- comparar todas las posibles combinaciones de pares de variedades.

#### 1.3.4 Programa informático GAIA

1.3.4.1 El programa informático GAIA permite calcular la distancia fenotípica utilizando los caracteres UPOV de las directrices de examen, que pueden usarse por sí solos o en combinación. El usuario puede decidir el tipo de datos que utilizará y cómo los utilizará. Puede seleccionar todos los caracteres disponibles, o diferentes subconjuntos de caracteres.

1.3.4.2 El uso principal del programa GAIA es definir un umbral de “distinción calificada” que corresponde a una distinción fiable y clara.

1.3.4.3 Recuérdese que todas las diferencias con peso cero no contribuyen en absoluto a la distancia. Dos variedades pueden tener notas diferentes en algunos caracteres observados y que la distancia entre ellas sea, en último término, cero.

1.3.4.4 En el cómputo de la distancia se suman los pesos distintos de cero. Si la distancia entre variedades es menor que el umbral de distinción calificada, incluso si hay algunas diferencias claras en notas o medidas, no se sugerirá que son fiable y claramente distintas. Si la distancia es mayor que el umbral de distinción calificada establecido por el experto en el cultivo, no será necesaria una comparación por pares en un ensayo en cultivo adicional.

1.3.4.5 Además de para la distinción calificada, el programa GAIA ofrece al experto en el cultivo otros dos usos prácticos del valor del umbral:

- un umbral bajo ayuda a encontrar los casos más difíciles (para detectar variedades similares o variedades próximas) en los que el experto deberá centrar su atención en el ciclo siguiente
- un umbral muy grande permite visualizar en pantalla y en listados impresos todos los datos brutos disponibles y los pesos asignados a cada carácter

1.3.4.6 En la práctica, pueden utilizarse umbrales diferentes para necesidades diferentes. Es fácil seleccionarlos antes de realizar una comparación. Pueden calcularse diferentes comparaciones, las cuales pueden guardarse o recuperarse de la base de datos con sus correspondientes umbral, conjunto de caracteres, conjunto de variedades, etc.

1.3.4.7 El programa informático proporciona un informe exhaustivo para cada comparación entre pares de variedades y una clasificación de todas las comparaciones entre pares, de las más distintas a las más similares. El programa calcula una distancia total, pero proporciona también todos los valores absolutos individuales y la contribución a la distancia de cada carácter.

1.3.4.8 Para reducir al mínimo el tiempo de cálculo, en cuanto se alcanza el umbral para una comparación entre dos variedades dadas, el programa pasa al par de variedades siguiente. El resto de los caracteres y sus valores brutos no se mostrarán en el resumen de resultados, y no contribuirán a la distancia.

1.3.4.9 En la sección 1.3.6 se muestra una copia de la pantalla de un árbol de información desplegable (*Display tree*) que permite al experto seleccionar y visualizar los resultados de diferentes cálculos.

1.3.4.10 El programa informático GAIA ha sido elaborado mediante el entorno de desarrollo WINDEV. La información general (especie, carácter, peso, etc.), los datos recopilados sobre las variedades y los resultados de los cálculos se almacenan en una base de datos integrada. El programa cuenta con funciones de importación y exportación de datos que permiten usar otros sistemas informáticos en conexión con el programa GAIA. El estándar ODBC permite acceder simultáneamente a la base de datos GAIA y a otras bases de datos.

1.3.4.11 Puede haber una o dos notas por variedad: habrá una nota cuando se dispone de datos de un ciclo y habrá dos notas, por ejemplo, cuando se realizan dos ensayos en lugares diferentes en un año determinado, o si se obtienen 2 ciclos en el mismo lugar. Para los datos de electroforesis, sólo se puede introducir una descripción por variedad. Para mediciones, se necesitan al menos dos valores (ensayos diferentes, repeticiones, etc.) y el usuario puede seleccionar cuál se utilizará en el cálculo.

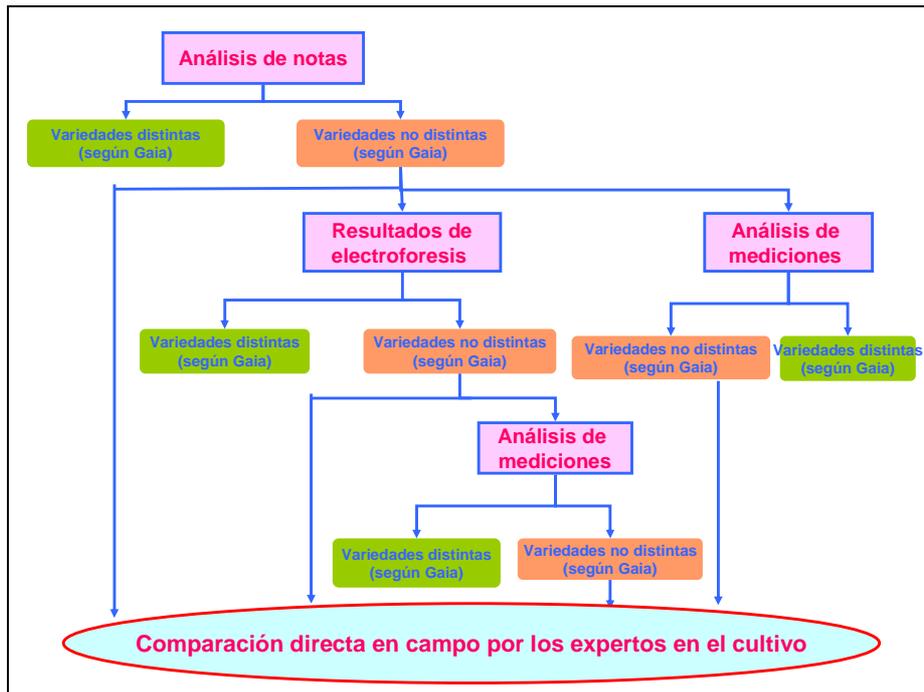
1.3.4.12 La mayor utilidad del programa GAIA es para variedades autógamas y de multiplicación vegetativa, pero puede usarse también para otros tipos de variedades.

### 1.3.5 Ejemplo basado en los datos de *Zea mays*

#### *1.3.5.1 Introducción*

El programa puede usar notas, mediciones o resultados de electroforesis. Estos tipos de datos pueden usarse de forma aislada o en combinación, según se muestra en el diagrama 1.

**Diagrama 1: Sistema de análisis de datos**



En este ejemplo, se supone que el experto en el cultivo ha decidido utilizar un umbral de distinción calificada  $S_{dist}$  de 10.

### 1.3.5.2 *Análisis de las notas*

1.3.5.2.1 En el análisis cualitativo se usan notas (1 a 9). Las notas pueden proceder de caracteres cualitativos, cuantitativos y pseudocuantitativos.

1.3.5.2.2 Para cada carácter, los pesos se definen previamente, en una matriz de distancias, en función de las diferencias entre los niveles de expresión.

1.3.5.2.3 “Forma de la espiga”: observado en una escala de 1 a 3; los expertos en el cultivo han atribuido pesos mayores que cero a las diferencias que consideran significativas:

1 = cónica  
 2 = cónico-cilíndrica  
 3 = cilíndrica

	Variedad “i”		
	1	2	3
Variedad “j”	1	0	6
	2		0
	3		
			0

1.3.5.2.4 Cuando los expertos en el cultivo comparan una variedad “i” con espiga cónica (nota 1) con una variedad “j” con espiga cilíndrica (nota 3), le atribuyen un peso de 6.

1.3.5.2.5 “longitud de las espigas”: observada en una escala de 1 a 9; los expertos en el cultivo han definido la siguiente matriz de ponderación:

- 1 = muy corta
- 2 = entre muy corta y corta
- 3 = corta
- 4 = de corta a media
- 5 = media
- 6 = de media a larga
- 7 = larga
- 8 = de larga a muy larga
- 9 = muy larga

		Variedad "i"								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Variedad "j"	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2
	2		0	0	0	2	2	2	2	2
	3			0	0	0	2	2	2	2
	4				0	0	0	2	2	2
	5					0	0	0	2	2
	6						0	0	0	2
	7							0	0	0
	8								0	0
	9									0

1.3.5.2.6 El peso asignado a la diferencia entre una variedad "i" con espigas muy cortas (nota 1) y una variedad "j" con espigas cortas (nota 3) es 0. El experto considera que una diferencia de 3 notas es la diferencia mínima para reconocer una distancia no nula entre dos variedades. Incluso si la diferencia de las notas es mayor que 3, el experto mantiene el peso de la distancia en 2, mientras que para caracteres muy fiables a una diferencia de 1 se le asigna un peso de 6.

1.3.5.2.7 El motivo para usar un peso menor para algunos caracteres comparados con otros puede ser que son menos "fiables" o "uniformes" (por ejemplo, más expuestos al efecto del ambiente) o a que se considera que indican una distancia menor entre variedades.

1.3.5.2.8 Matriz para un análisis cualitativo de 5 caracteres de las variedades A y B:

	Forma de la espiga	Longitud de la espiga	Tipo de semilla	Número de hileras de semillas	Diámetro de la espiga	
Notas para la variedad A (escala de 1 a 9)	1	1	4	6	5	
Notas para la variedad B (escala de 1 a 9)	3	3	4	4	6	
Diferencia observada	2	2	0	2	1	
<i>Pesos asignados por el experto en el cultivo</i>	6	0	0	2	0	$D_{cual} = 8$

En este ejemplo (con  $S_{dist} = 10$ ):  $D_{cual} = 8 < 10$ , luego las variedades A y B se declaran "NO distintas según GAIA" basándose en estos 5 caracteres.

### 1.3.5.3 Análisis de resultados de electroforesis

1.3.5.3.1 En algunas Directrices de Examen de la UPOV pueden usarse resultados de electroforesis; por ejemplo, en *Zea mays*. El programa no permite utilizar locus heterocigóticos, solo locus homocigóticos, de conformidad con las Directrices de Examen. Se utilizan los resultados "0" (ausente) y "1" (presente), junto con la información del número de cromosoma.

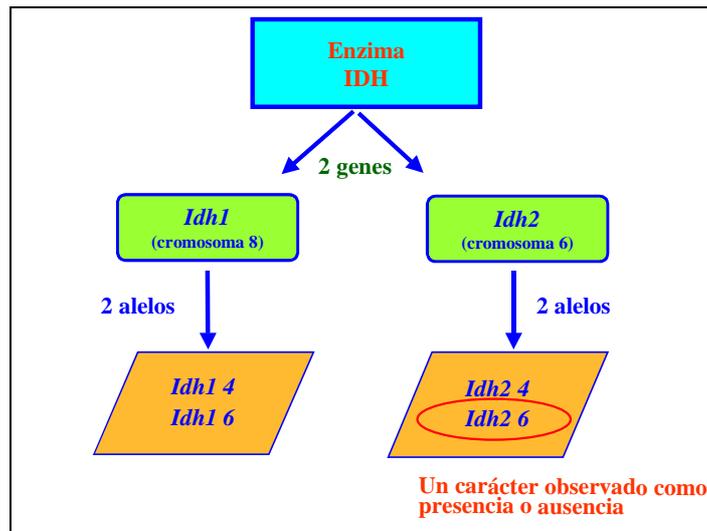


Diagrama 2: La enzima isocitrato deshidrogenasa (IDH) está codificada por dos genes (*Idh1* y *Idh2*) ubicados en dos cromosomas diferentes. Cada uno tiene dos alelos cuya observación se registra como “1” (presencia) o “0” (ausencia).

1.3.5.3.2 Los resultados de la electroforesis se registran como “0” o “1” (ausencia o presencia). La regla aplicada para asignar un peso a la diferencia entre dos variedades es sumar el número ponderado de diferencias observadas y el número ponderado de cromosomas relacionados con esas diferencias (véase el ejemplo siguiente):

	Cromosoma 8		Cromosoma 6	
	<i>Idh1 4</i>	<i>Idh1 6</i>	<i>Idh2 4</i>	<i>Idh2 6</i>
Variedad A	0	1	1	0
Variedad B	0	1	0	1
Diferencia	0	0	1	1

1.3.5.3.3 En este ejemplo, las variedades A y B se describen con respecto a 4 resultados de electroforesis:

*Idh1 4*, *Idh1 6*, *Idh2 4* e *Idh2 6*. El programa analiza las diferencias y determina la distancia fenotípica mediante el cálculo siguiente:

$$D_{elec} = 2 \times 0,25 + 1 \times 1 = 1,5$$

2 es el número de diferencias observadas

0,25 es el peso atribuido por los expertos al número de diferencias

1 es el número de cromosomas en los que se observan diferencias

1 es el peso asignado por los expertos al cromosoma.

1.3.5.3.4 Esta fórmula, que puede ser difícil de entender, fue generada por el experto en el cultivo en colaboración con expertos en bioquímica. Combina el *número de diferencias* y el *número de cromosomas en los que se observan diferencias*, de modo que se otorga menos importancia a las diferencias cuando se producen en el mismo cromosoma que cuando se producen en cromosomas diferentes.

1.3.5.3.5 Tras el análisis cualitativo y electroforético, la distancia fenotípica entre las variedades A y B es:

$$D = D_{\text{cual}} + D_{\text{elec}} = 8 + 1.5 = 9,5$$

1.3.5.3.6 La distancia fenotípica es *menor que*  $S_{\text{dist}}$  ( $S_{\text{dist}}=10$  en este ejemplo), *luego las variedades A y B se consideran “NO distintas según GAIA”*.

1.3.5.3.7 El experto en el cultivo puede decidir no determinar la distinción basándose exclusivamente en el análisis electroforético. Es necesario que haya una distancia fenotípica mínima en el análisis cualitativo para tener en cuenta los resultados de la electroforesis. El experto en el cultivo debe también definir esta distancia fenotípica mínima.

#### 1.3.5.4 *Análisis de mediciones*

1.3.5.4.1 El análisis de mediciones calcula las diferencias basándose en mediciones observadas o calculadas. Los recuentos se tratan como mediciones.

1.3.5.4.2 Para cada carácter medido, la comparación de dos variedades se realiza buscando diferencias sistemáticas en al menos dos unidades experimentales diferentes. El usuario define las unidades experimentales en función de los datos existentes en la base de datos. Puede, por ejemplo, tratarse de los datos de dos ubicaciones geográficas del primer ciclo de cultivo, o de 2 ó 3 repeticiones del mismo ensayo en el caso de que haya una única ubicación geográfica, o de datos de 2 ciclos en la misma ubicación.

1.3.5.4.3 Para realizar una comparación, las dos variedades deben estar presentes en las mismas unidades experimentales. Las diferencias observadas deben ser mayores que uno de los dos umbrales (o distancias mínimas), fijados por el experto en el cultivo.

- $D_{\text{min-inf}}$  es el valor menor al que se asigna un peso
- $D_{\text{min-sup}}$  es la mayor distancia mínima. Estos valores pueden elegirse arbitrariamente o calcularse (15% y 20% del promedio del ensayo, o DMS con niveles de significación 1% y 5%, etc.)

Se asigna un peso a cada distancia mínima:

- se asigna un peso  $P_{\text{min}}$  a la  $D_{\text{min-inf}}$ ;
- se asigna un peso  $P_{\text{max}}$  a la  $D_{\text{min-sup}}$ ;
- si la diferencia observada es menor que  $D_{\text{min-inf}}$ , se le asigna un peso cero.

1.3.5.4.4 Se han medido los caracteres “anchura del limbo” y “longitud de la planta” de las variedades A y B en dos ensayos.

Para cada ensayo, y cada carácter, el experto en el cultivo ha decidido definir  $D_{\min-\inf}$  y  $D_{\min-\sup}$  calculando, respectivamente, el 15% y 20% del promedio del ensayo:

	Anchura del limbo		Longitud de la planta	
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
$D_{\min-\inf}$ = 15% del promedio del ensayo	1,2 cm	1,4 cm	28 cm	24 cm
$D_{\min-\sup}$ = 20% del promedio del ensayo	1,6 cm	1,9 cm	37 cm	32 cm

El experto en el cultivo ha atribuido los siguientes pesos a cada carácter:

Se atribuye un peso  $P_{\min} = 3$  cuando la diferencia es mayor que  $D_{\min-\inf}$ .

Se atribuye un peso  $P_{\max} = 6$  cuando la diferencia es mayor que  $D_{\min-\sup}$ .

	Anchura del limbo		Longitud de la planta		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2	
Variedad A	9,9 cm	9,8 cm	176 cm	190 cm	
Variedad B	9,6 cm	8,7 cm	140 cm	152 cm	
Diferencia	0,3 cm	1,1 cm	36 cm	38 cm	
Peso asignado por el experto en el cultivo	0	0	3	6	$D_{\text{cuan}} = ?$

1.3.5.4.5 En este ejemplo, las diferencias observadas para el carácter “anchura del limbo” son menores que  $D_{\min-\inf}$ , de modo que se asocia un peso nulo. Por otro lado, para el carácter “longitud de la planta” una diferencia es mayor que el valor  $D_{\min-\inf}$  y la otra es mayor que el valor  $D_{\min-\sup}$ , luego se asignan pesos diferentes a estas dos diferencias.

1.3.5.4.6 El usuario debe decidir qué peso se utilizará para el análisis:

- se utiliza el peso atribuido a la diferencia menor (opción minimalista);
- se utiliza el peso atribuido a la diferencia mayor (opción maximalista);
- se utiliza un peso promedio de los anteriores (opción intermedia).

1.3.5.4.7 En este ejemplo, el experto ha decidido elegir el menor de los dos pesos, de modo que la distancia fenotípica basada en las mediciones es  $D_{\text{cuan}} = 3$ .

1.3.5.4.8 En resumen, al final de todos los análisis, la distancia fenotípica entre las variedades A y B es:

$$D = D_{\text{cual}} + D_{\text{elec}} + D_{\text{cuan}} = 8 + 1,5 + 3 = 12,5 > S_{\text{dist}}$$

1.3.5.4.9 La distancia fenotípica es mayor que el umbral de distinción  $S_{\text{dist}}$  al que el experto en el cultivo ha asignado el valor 10, de manera que las variedades A y B se declaran “distintas según GAIA”.

1.3.5.4.10 En este ejemplo, el uso de datos de electroforesis “confirma” una distancia entre las dos variedades; pero el umbral se supera ( $8 + 3 = 11$ , mayor que 10) basándose únicamente en los datos cualitativos y cuantitativos.

1.3.5.4.11 Si se hubiera fijado el umbral en 6, la diferencia en el carácter “forma de la espiga” hubiera sido suficiente, ya que la variedad A es cónica y la variedad B es cilíndrica, lo cual ya es una diferencia clara.

1 = cónica  
2 = cónico-cilíndrica  
3 = cilíndrica

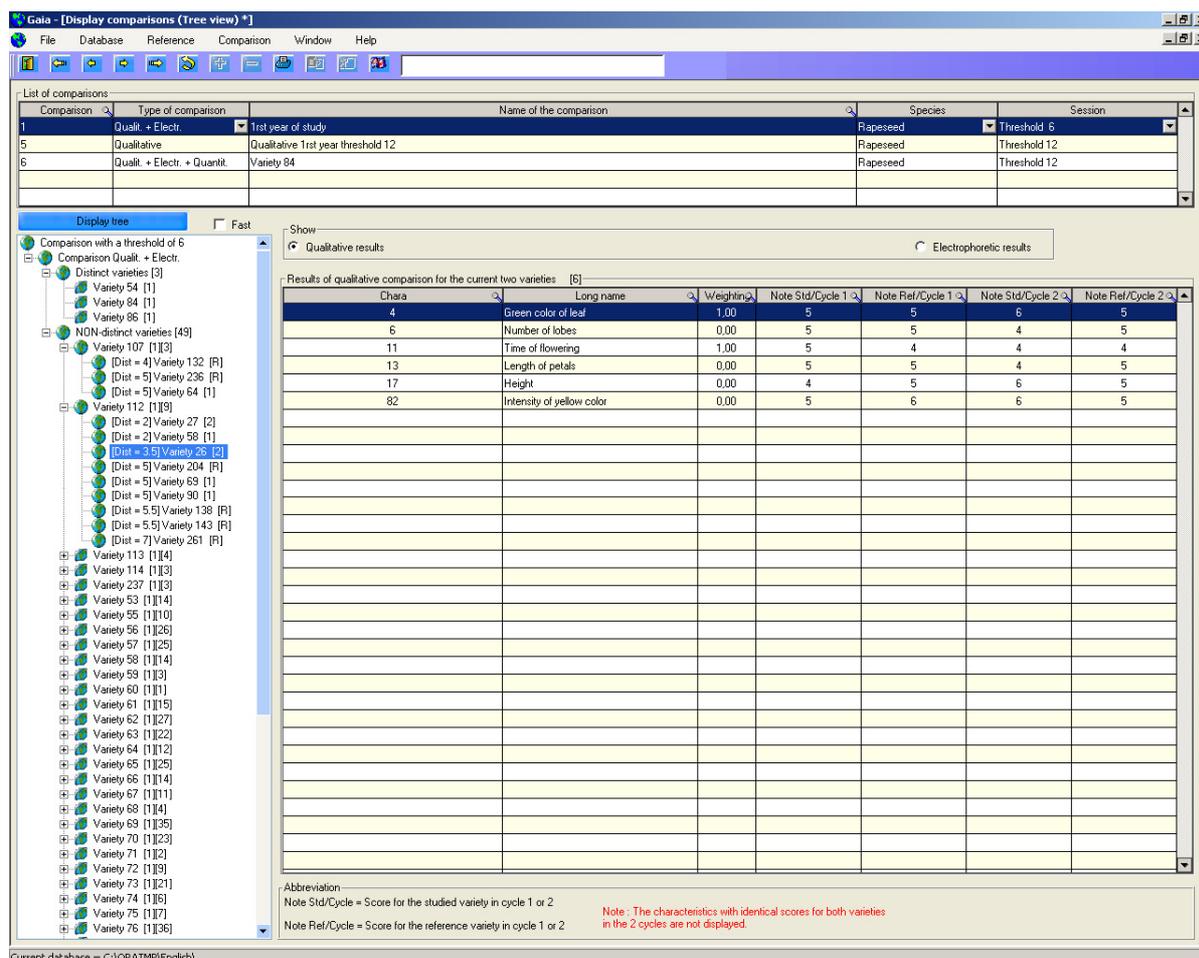
Variedad i			
	1	2	3
1	0	2	6
2		0	2
3			0

### 1.3.5.5 Mediciones y escala del 1 al 9 para el mismo carácter

1.3.5.5.1 Para algunos cultivos, es común generar valores en una escala de 1 a 9 a partir de las mediciones. Algunas veces el proceso de transformación es muy sencillo, y otras es complejo.

1.3.5.5.2 El programa GAIA puede incluir ambos datos como dos caracteres separados: las mediciones originales y los valores en la escala de 1 a 9. Ambos figuran como asociados en la descripción de los caracteres. Conociendo esta asociación, cuando están presentes ambos, sólo se mantiene uno de los dos, para evitar usar la información dos veces en la asignación de pesos.

### 1.3.6 Ejemplo de análisis efectuado con GAIA



1.3.6.1 El cuadro de la parte superior de la pantalla, “*List of comparisons*” (Lista de comparaciones) muestra 3 cálculos diferentes que se han guardado en la base de datos. Aparece resaltada (seleccionada) la comparación 1 y se muestra en el árbol de información desplegable (*Display tree*).

1.3.6.2 El cuadro “*Display tree*” (árbol de información desplegable), a la izquierda, muestra los resultados de un cálculo basado en [datos cualitativos + electroforesis con un umbral de 6].

1.3.6.3 “*Distinct varieties [3]*” indica que 3 variedades se consideraron distintas de todas las demás. El cálculo incluyó un total de 52 (49 + 3) variedades.

1.3.6.4 El árbol de información desplegable se utiliza para navegar por todos los pares posibles.

1.3.6.5 El usuario puede ampliar o reducir las ramificaciones del árbol en función de sus necesidades.

1.3.6.6 “*NON-distinct varieties [49]*” indica que cuarenta y nueve variedades se consideraron “no distintas de todas las demás” con un umbral de 6.

1.3.6.7 La primera variedad, *Variety 107*, sólo tiene 3 variedades cercanas, mientras que la segunda, *Variety 112*, tiene 9 variedades cercanas, la tercera, *Variety 113*, tiene 4 variedades cercanas, etc.

1.3.6.8 “*Variety 112 [1][9]*” indica que la variedad 112 está en el primer año de examen (*[1]*) y tiene 9 (*[9]*) variedades cercanas aplicando el umbral de 6.

1.3.6.9 “[*dist=3.5*] *Variety 26 [2]*” indica que hay una distancia GAIA de 3,5 entre la variedad 26 (comparación resaltada; es decir, seleccionada) y la variedad 112, que está en el segundo año de examen.

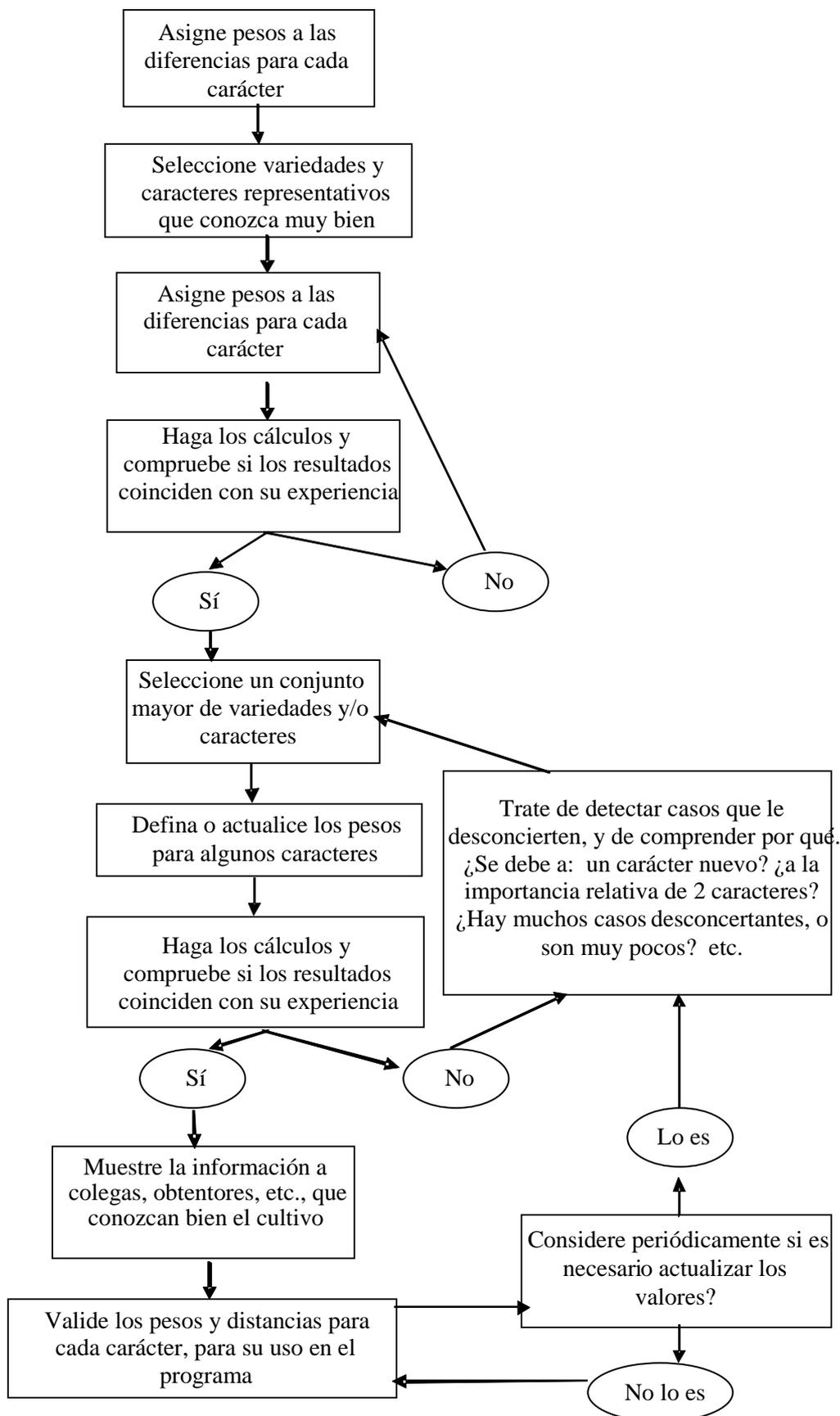
1.3.6.10 A la derecha del árbol de información desplegable se muestran los datos brutos de las variedades 112 y 26 para los 6 caracteres cualitativos observados en ambas variedades (dos ciclos).

1.3.6.11 La tercera columna, “*weighting*”, indica el peso asignado según las matrices predefinidas. Se muestran las notas para ambas variedades correspondientes a los dos ciclos disponibles (“Std” significa “en estudio” y se refiere a las variedades candidatas).

1.3.6.12 Según se señala en rojo, si dos variedades tienen la misma descripción para un carácter dado, este carácter no se muestra.

1.3.6.13 En esta copia de la pantalla, se han numerado las variedades en aras de la confidencialidad, pero el experto en cultivos puede asignar a las variedades los nombres oportunos, según sus necesidades (número de lote o de solicitud, nombre, etcétera).

**Diagrama 3: Procedimiento de “prueba y comprobación” para definir y revisar los pesos para un cultivo**



## **2. FÓRMULA PARENTAL DE LAS VARIEDADES HÍBRIDAS**

### **2.1 Introducción**

2.1.1 Al examinar la distinción de variedades híbridas, las autoridades pueden considerar la posibilidad de utilizar el método de la fórmula parental descrito en esta sección. En los casos en los que se considera que el uso de la fórmula parental puede ser adecuado, esta posibilidad se menciona en las Directrices de Examen.

2.1.2 Para utilizar la fórmula parental es necesario que la diferencia entre las líneas parentales sea suficiente para garantizar que el híbrido obtenido de esos parentales es distinto. El método se basa en las etapas siguientes:

- i) descripción de las líneas parentales según las Directrices de Examen;
- ii) comprobación de la originalidad de esas líneas parentales por comparación con la colección de variedades, basándose en el cuadro de caracteres de las Directrices de Examen, con el fin de detectar líneas parentales similares;
- iii) comprobación de la originalidad de la fórmula del híbrido en comparación con la de los híbridos de la colección de variedades, teniendo en cuenta las líneas parentales más similares; y
- iv) examen de la distinción al nivel del híbrido de las variedades de fórmula similar.

### **2.2 Requisitos del método**

Para aplicar el método se requiere:

- i) una declaración de la fórmula y el envío de material vegetal de las líneas parentales de las variedades híbridas;
- ii) la inclusión en la colección de variedades de las líneas parentales utilizadas como parentales en las variedades híbridas de la colección de variedades (para orientación sobre la constitución de una colección de variedades, véase la sección 1 del documento TGP/4) y una lista de las formulas de las variedades híbridas;
- iii) aplicación del método a todas las variedades de la colección de variedades. Esta condición es importante para obtener la totalidad de las ventajas; y
- iv) un enfoque riguroso en el examen de la originalidad de cualquier línea parental nueva, para tener certeza sobre la distinción de la variedad híbrida basada en esa línea parental.

### **2.3 Examen de la originalidad de una nueva línea parental**

2.3.1 La originalidad de una línea parental se examina basándose en los caracteres incluidos en las Directrices de Examen pertinentes.

2.3.2 La diferencia entre líneas parentales debe ser suficiente para tener la certeza de que los híbridos producidos usando líneas parentales diferentes serán distintos. Por ejemplo:

Carácter 1: un carácter que tiene dos estados de expresión (ausente/presente), que están determinados por dos alelos de un único gen, uno dominante (alelo +) para la expresión “presente” y uno recesivo (alelo -) para la expresión “ausente”.

Tres líneas parentales:

A: con el alelo recesivo (-), con expresión “ausente”

B: con el alelo dominante (+), con expresión “presente”

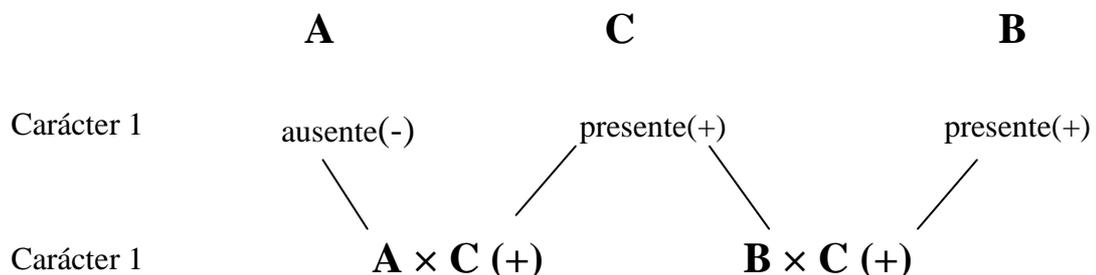
C: con el alelo dominante (+), con expresión “presente”

Se cruzan las líneas parentales anteriores y se obtienen los siguientes híbridos F1:

(A × C): con expresión “presente” para el carácter 1

(B × C): con expresión “presente” para el carácter 1

El diagrama siguiente muestra las formas en que los dos cruzamientos diferentes dan lugar a la misma expresión del carácter 1 (es decir, “presente” en ambos híbridos), aunque las líneas parentales A(-) y B(+) tienen expresiones diferentes.



2.3.3 Aunque las líneas parentales A y B son claramente diferentes con respecto al carácter 1, las dos variedades híbridas A × C y B × C tienen la misma expresión. Por consiguiente, no es suficiente que A y B sean diferentes con respecto al carácter 1.

2.3.4 Con un control genético más complejo en el que intervienen varios genes, no descrito de forma precisa, la interacción entre los diferentes alelos de cada gen y entre genes puede también producir una expresión similar en el nivel de las variedades híbridas. En tales casos, se deberá establecer una diferencia mayor para determinar la distinción entre dos líneas parentales.

2.3.5 La determinación de la diferencia requerida se basa principalmente en un buen conocimiento de la especie, de sus caracteres y, si se conoce, de su control genético.

## **2.4 Comprobación de la fórmula**

2.4.1 La finalidad de la verificación de la fórmula es comprobar si la variedad híbrida candidata se ha producido mediante cruzamiento de las líneas parentales declaradas y presentadas por el solicitante.

2.4.2 Para realizar esta comprobación pueden utilizarse diferentes caracteres cuando puede determinarse en el híbrido el patrón genético de cada parental. Por lo general, pueden utilizarse caracteres basados en el polimorfismo de enzimas o de algunas proteínas de almacenamiento.

2.4.3 Si no hay caracteres adecuados, la única posibilidad es cruzar las líneas parentales utilizando el material vegetal presentado por el solicitante y comparar los lotes de semillas de la variedad híbrida (la muestra enviada por el solicitante y la muestra recolectada tras el cruce).

## **2.5 Homogeneidad y estabilidad de las líneas parentales**

2.5.1 La homogeneidad y la estabilidad de las líneas parentales deben determinarse siguiendo las recomendaciones pertinentes para la variedad de que se trate. La homogeneidad y la estabilidad de las líneas parentales son importantes para la estabilidad del híbrido. Otro requisito para la estabilidad del híbrido es el uso de la misma fórmula en cada ciclo de producción de semilla del híbrido.

2.5.2 También debe comprobarse la homogeneidad del híbrido, incluso si se ha comprobado la distinción del híbrido basándose en las líneas parentales.

## **2.6 Descripción del híbrido**

Debe realizarse una descripción de la variedad híbrida, incluso si se ha comprobado la distinción del híbrido basándose en la fórmula parental.

### **3. CRITERIO COMBINADO INTERANUAL DE DISTINCIÓN (COYD)**

#### **3.1 Resumen de requisitos para la aplicación del método**

El COYD es un método adecuado para examinar la distinción de variedades cuando:

- el carácter es cuantitativo;
- hay algunas diferencias entre plantas (o parcelas) de una variedad;
- se realizan observaciones por plantas (o por parcelas) durante al menos dos años o ciclos de cultivo, y éstas deben realizarse en un único lugar;
- el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años en el análisis de la varianza del COYD debe tener al menos 20 grados de libertad, o bien, si no los tiene, puede utilizarse el COYD de largo plazo (véase la sección 3.6.2, a continuación).

#### **3.2 Resumen**

3.2.1 En la sección 5.2.4.5.1.1 del documento TGP/9/1 se explica que “Para evaluar la distinción de las variedades sobre la base de los caracteres cuantitativos se puede calcular la distancia mínima entre variedades de forma que cuando la distancia calculada entre un par de variedades sea mayor que esta distancia mínima, se considerarán ‘distintas’ en relación con ese carácter. Entre los modos posibles de establecer la distancia mínima se encuentra el método conocido como análisis combinado interanual de distinción (COYD)”. El análisis COYD tiene en cuenta la variación entre años. Se utiliza principalmente para las variedades alógamas, incluidas las sintéticas, pero, en determinadas circunstancias, puede utilizarse también para las variedades autógamas y variedades de multiplicación vegetativa. Este método exige que la magnitud de las diferencias sea suficientemente uniforme durante varios años y tiene en cuenta la variación entre los años.

3.2.2 El método COYD consiste en:

- calcular, respecto de cada carácter, las medias en los ensayos de dos o tres años de duración para las variedades candidatas y las establecidas, y calcular las medias interanuales de las variedades;
- calcular una diferencia mínima significativa (DMS), basándose en la variación de la interacción variedad  $\times$  años, con la cual comparar las medias de las variedades;
- si la diferencia de medias interanuales entre dos variedades es mayor o igual que la DMS, se dice que las variedades son distintas respecto de ese carácter.

3.2.3 Las principales ventajas del COYD son:

- combina información de varios años en un criterio único (el criterio COYD) y de forma simple y directa;

- garantiza que las decisiones sobre la distinción podrán repetirse en otros años, es decir, que el mismo material genético dé resultados similares, dentro de límites razonables, de año en año;
- el riesgo de emitir un juicio erróneo sobre la distinción es constante para todos los caracteres.

### **3.3 Introducción**

En las secciones siguientes se describen:

- los principios en que se basa el método COYD;
- las recomendaciones de la UPOV sobre la aplicación del COYD a especies individuales;
- descripciones de formas en el procedimiento puede adaptarse para usarlo en circunstancias especiales (incluido el caso en que el número de variedades del ensayo sea pequeño);
- el programa informático disponible para aplicar este método.

### **3.4 El método COYD**

3.4.1 El método COYD tiene por objetivo establecer una diferencia o distancia mínima para cada carácter, que, si se alcanza para dos variedades en ensayos realizados en un período de dos o tres años, indique, con un grado de seguridad especificado, que esas variedades son distintas.

3.4.2 El método se basa en la variación de la expresión de un carácter en la variedad de año a año para establecer la distancia mínima. Así, los caracteres que demuestren uniformidad en la valoración de las variedades a través de los años tendrán distancias mínimas menores que las que poseen cambios marcados en la valoración.

3.4.3 El cálculo del criterio COYD supone analizar el cuadro de las medias de la interacción variedades  $\times$  años para cada carácter para obtener una estimación de la variación de la interacción variedades  $\times$  años, que se utiliza en el paso siguiente: el cálculo de una DMS. Habitualmente, se incluyen en el cuadro los datos obtenidos de todas las variedades candidatas y establecidas en los ensayos de dos o tres años de duración, el análisis se realiza mediante análisis de la varianza, se utiliza el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años como estimador de la variación de la interacción variedades  $\times$  años, y la DMS resultante se conoce como DMS del COYD. No obstante, cuando el número de variedades incluidas en el ensayo es pequeño, se aplica un método diferente.

3.4.4 Cuando el número de variedades incluidas en el ensayo es pequeño, el cuadro utilizado para calcular el criterio COYD se amplía con las medias de otras variedades y de años anteriores, se utiliza un método diferente de análisis para obtener un cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años como estimación de la variación de la interacción

variedades  $\times$  años, y la DMS resultante se conoce como DMS de largo plazo. Este asunto se trata más adelante.

3.4.5 Ecuación [1]

$$DMS_p = t_p \times \sqrt{2} \times EE(\bar{x})$$

donde  $EE(\bar{x})$  es el error estándar de la media interanual de una variedad, calculada como:

$$EE(\bar{x}) = \frac{\sqrt{\text{cuadrado medio de variedades } \times \text{ años}}}{\text{número de años del ensayo}}$$

y  $t_p$  es el valor del cuadro t de Student para una prueba de dos colas con nivel de probabilidad  $p$  y con los grados de libertad del cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años. En la sección RECOMENDACIONES DE LA UPOV SOBRE EL COYD se describe el nivel de probabilidad  $p$  que es apropiado para especies individuales.

3.4.6 La figura 1 contiene un ejemplo de aplicación del COYD en un conjunto pequeño de datos. La sección 3.9 de la parte II describe los pormenores estadísticos del método. Puede obtenerse información adicional sobre el criterio COYD en Patterson y Weatherup (1984).

### **3.5 Utilización del método COYD**

3.5.1 El COYD es un método adecuado para examinar la distinción de variedades cuando:

- el carácter es cuantitativo;
- hay algunas diferencias entre plantas (o parcelas) de una variedad;
- se realizan observaciones por plantas (o por parcelas) durante dos o más años;
- el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años debe tener al menos 20 grados de libertad en el análisis de la varianza del COYD, o bien, si no los tiene, puede utilizarse el COYD de largo plazo (véase la sección 3.6.2, a continuación).

3.5.2 Un par de variedades se considera distinto si la diferencia entre sus medias interanuales es igual o superior a la DMS del COYD para uno o más caracteres.

3.5.3 El nivel de probabilidad,  $p$ , recomendado por la UPOV para el valor de  $t_p$  utilizado para calcular la DMS del COYD varía en función del cultivo y, para algunos cultivos, en función de si el ensayo se realiza durante dos o tres años. Los sistemas de análisis utilizados habitualmente en el examen de la distinción se describen en la sección 3.11 de la parte II del documento TGP/8/1.

### **3.6 Adaptación del COYD en circunstancias especiales**

3.6.1 Diferencias interanuales en la gama de expresión de un carácter

Ocasionalmente, puede haber diferencias notables en el nivel de expresión de un carácter de unos años a otros. Por ejemplo, en una primavera tardía, las fechas de espigado de las especies pratenses pueden converger. Para tener en cuenta este efecto es posible incluir términos adicionales, uno por año, en el análisis de la varianza. Cada término representa la regresión lineal de las observaciones del año respecto de las medias interanuales de las variedades. Este método se conoce como análisis de regresión conjunta modificado (o MJRA, por sus siglas en inglés) y se recomienda en situaciones donde haya una contribución estadísticamente significativa ( $p \leq 1\%$ ) de los términos de la regresión del análisis de la varianza. En las secciones 3.9 y 3.10 de la parte II figuran los pormenores estadísticos y un programa de ordenador para ejecutar el procedimiento.

### 3.6.2 Ensayos con un número reducido de variedades: el COYD de largo plazo

3.6.2.1 Se recomienda que el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años en el análisis de la varianza del COYD tenga al menos 20 grados de libertad. La finalidad es garantizar que el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años se sustenta en un número suficiente de datos para ser un estimador fiable de la variación de la interacción variedades  $\times$  años a efectos de compararlo con la DMS. Para contar con 20 grados de libertad deberán observarse 11 variedades comunes en ensayos durante tres años, o 21 variedades comunes en dos años. Se considera que si tiene menos variedades en común a lo largo de los años el número de variedades de un ensayo es pequeño.

3.6.2.2 En estos ensayos, los cuadros de las medias de variedades y años pueden ampliarse para incluir las medias de años anteriores y, en caso necesario, las de otras variedades establecidas. Dado que no todas las variedades están presentes en todos los años, los correspondientes cuadros de las medias de variedades y años no están equilibrados. Por consiguiente, cada cuadro se analiza mediante el método de mínimos cuadrados de constantes ajustadas (FITCON) o mediante el método de estimación de máxima verosimilitud restringida (REML), generándose un nuevo valor del cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años como estimador a largo plazo de la variación de dicha interacción. Este estimador tiene más grados de libertad, ya que se basa en un número mayor de años y variedades.

$$\text{grados de libertad} = \left( \begin{array}{l} \text{N.º de valores del cuadro de} \\ \text{variedades y años ampliado} \end{array} \right) - (\text{N.º variedades}) - (\text{N. años}) + 1$$

3.6.2.3 El nuevo valor del cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años se usa para calcular una DMS mediante la ecuación [1] anterior. Esta DMS se conoce como “DMS de largo plazo” para distinguirla de la DMS del COYD basada únicamente en los años y variedades del ensayo. La DMS de largo plazo se utiliza del mismo modo que la DMS del COYD en el examen de la distinción de variedades mediante comparación de sus medias interanuales (para los años del ensayo). La comparación de las medias de las variedades utilizando la “DMS de largo plazo” se conoce como “COYD de largo plazo”.

3.6.2.4 El COYD de largo plazo sólo debe aplicarse a los caracteres que no tengan el número mínimo recomendado de grados de libertad. No obstante, cuando hay evidencia de que la DMS de un carácter varía acusadamente de unos años a otros, puede ser necesario basar la DMS para ese carácter en los dos o tres años de datos actuales, aunque tenga pocos grados de libertad.

3.6.2.5 La figura 2 muestra un ejemplo de la aplicación del COYD de largo plazo al carácter “porte en primavera” del ballico/raygrás italiano. En la figura B2 de la sección 3.10 de la parte II se muestra un flujograma de las etapas y módulos del programa DUST utilizados para calcular las DMS de largo plazo y aplicar el COYD de largo plazo.

### 3.6.3 Cambios destacados de un año a otro en el carácter de una variedad

Es posible, ocasionalmente, declarar distinto un par de variedades sobre la base de una prueba de la  $t$  que resulta estadísticamente significativa únicamente debido a que hay una diferencia muy grande entre las variedades en un solo año. A fin de supervisar tales situaciones, se calcula un estadístico de comprobación, llamado  $F_3$ , que es la razón entre el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años de dicho par de variedades y el cuadrado medio total de la interacción variedades  $\times$  años. Este estadístico deberá compararse con los valores de cuadros de la distribución  $F$  para  $1$  y  $g$ , o  $2$  y  $g$ , grados de libertad, en ensayos con datos de dos o tres años, respectivamente, donde  $g$  representa los grados de libertad del cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años. Si el valor  $F_3$  calculado excede el valor tabulado de  $F$  con un nivel de significación del 1%, deberá averiguarse a qué se debe este resultado anormal, antes de tomar una decisión sobre la distinción.

## 3.7 Aplicación del COYD

El COYD es un método adecuado para examinar la distinción de variedades cuando:

- el carácter es cuantitativo;
- hay algunas diferencias entre plantas (o parcelas) de una variedad;
- se realizan observaciones por plantas (o por parcelas) durante dos o más años;
- el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años en el análisis de la varianza del COYD debe tener al menos 20 grados de libertad, o bien, si no los tiene, puede utilizarse el COYD de largo plazo (véase la sección 3.6.2 anterior).

El método COYD puede aplicarse utilizando el módulo TVRP del programa DUST para el análisis estadístico de datos de DHE, que puede solicitarse a la Dra. Sally Watson (Correo-e: [info@afbini.gov.uk](mailto:info@afbini.gov.uk)), o por medio de <http://www.afbini.gov.uk/dustnt.htm>. Se muestran ejemplos de resultados en la sección 3.10 de la parte II.

## 3.8 Referencias

DIGBY, P.G.N. (1979). *Modified joint regression analysis for incomplete variety  $\times$  environment data*. J. Agric. Sci. Camb. 93, 81-86.

PATTERSON, H.D. & WEATHERUP, S.T.C. (1984). *Statistical criteria for distinctness between varieties of herbage crops*. J. Agric. Sci. Camb. 102, 59-68.

TALBOT, M. (1990). *Statistical aspects of minimum distances between varieties*. UPOV TWC Paper TWC/VIII/9, UPOV, Ginebra.

**Figura 1: Ilustración del cálculo del criterio COYD**

**Carácter: días hasta el espigado en variedades de raygrás inglés**

Variedades <i>de referencia</i>	Años			Medias inter anuales	<i>Diferencia (con respecto a C2)</i>	
	1	2	3			
	Medias					
R1	38	41	35	38	35	<i>D</i>
R2	63	68	61	64	9	<i>D</i>
R3	69	71	64	68	5	<i>D</i>
R4	71	75	67	71	2	
R5	69	78	69	72	1	
R6	74	77	71	74	-1	
R7	76	79	70	75	-2	
R8	75	80	73	76	-3	
R9	78	81	75	78	-5	<i>D</i>
R10	79	80	75	78	-5	<i>D</i>
R11	76	85	79	80	-7	<i>D</i>
<i>candidatas</i>						
C1	52	56	48	52	21	<i>D</i>
C2	72	79	68	73	0	-
C3	85	88	85	86	-13	<i>D</i>

**ANÁLISIS DE LA VARIANZA**

Fuentes	gl	Cuadrado medio
Años	2	174,93
Variedades	13	452,59
Variedades × años	26	2,54

$$DMS_p = t_p \times \sqrt{2} \times EE(\bar{X})$$

$$DMS_{0,01} = 2,779 \times 1,414 \times \sqrt{(2,54/3)} = 3,6$$

Donde  $t_p$  se toma del cuadro de t de Student (dos colas) con  $p = 0,01$  y 26 grados de libertad.

Para evaluar la distinción de una variedad candidata, se calcula la diferencia entre la media de esa variedad y las de todas las demás variedades. En la práctica, se calcula una columna con las diferencias de cada variedad candidata. En este caso, las variedades con diferencias en sus medias mayores o iguales a 3,6 se consideran distintas (marcadas con la letra *D*).

**Figura 2: Ilustración de la aplicación del COYD de largo plazo**

**Carácter: porte en primavera de variedades de ballico/raygrás italiano**

Variedades	1	2	Años			Media durante los años del ensayo	Diferencia (con respecto a C2)	
			3*	4*	5*			
<i>de referencia</i>			Medias					
R1	43	42	41	44				
R2		39	45					
R3	43	38	41	45	40	42	6	D
R4	44	40	42	48	44	44,7	3,3	D
R5	46	43	48	49	45	47,3	0,7	
R6	51	48	52	53	51	52	-4	D
<i>candidatas</i>								
C1			43	45	44	44	4	D
C2			49	50	45	48	0	
C3			48	53	47	49,3	-1,3	

\* indica que se trata de un año del ensayo

El objetivo es examinar la distinción de las variedades candidatas C1, C2 y C3 cultivadas en los años del ensayo 3, 4 y 5.

En el ensayo hay un número pequeño de variedades porque sólo hay siete variedades en común durante los años del ensayo 3, 4 y 5 (datos señalados con un recuadro negro).

El análisis FITCON del cuadro de medias de variedades y años ampliado a nueve variedades en cinco años da el resultado siguiente: cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años = 1,924, con 22 grados de libertad

$$DMS_p \text{ de largo plazo} = t_p \times \sqrt{2} \times EE(\bar{X})$$

$$DMS_{0,01} \text{ de largo plazo} = 2,819 \times 1,414 \times \sqrt{(1,924/3)} = 3,19$$

Donde  $t_p$  se toma del cuadro de t de Student (dos colas) con  $p = 0,01$  y 22 grados de libertad.

Para evaluar la distinción de una variedad candidata, se calcula la diferencia entre la media de esa variedad y las de todas las demás variedades. En la práctica, se calcula una columna con las diferencias de cada variedad candidata. En el caso de la variedad C2, las variedades con diferencias en sus medias mayores o iguales a 3,19 se consideran distintas (marcadas con la letra D).

### **3.9 Métodos estadísticos del COYD**

#### **3.9.1 Análisis de la varianza**

Los errores estándar empleados en el criterio COYD se basan en un análisis de la varianza del cuadro de las medias de variedades y años de un carácter. Para  $m$  años y  $n$  variedades, el análisis de la varianza desglosa los grados de libertad disponibles de la forma siguiente:

Fuente	GL
Años	$m-1$
Variedades	$n-1$
Variedades $\times$ años	$(m-1)(n-1)$

#### **3.9.2 Análisis de regresión conjunta modificado (MJRA)**

3.9.2.1 Como se ha indicado anteriormente, el criterio COYD basa el error estándar de la media de una variedad en la variación de la interacción variedades  $\times$  años, estimada mediante el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años. En ocasiones, se puede determinar la variación sistemática además de la variación no sistemática. Este efecto sistemático hace que las líneas de regresión que relacionan las medias de variedades en años determinados con las medias de las variedades promediadas de todos los años tengan pendientes diferentes. Este efecto se puede observar en el carácter de fecha del espigado en un año con primavera tardía: el intervalo de fechas de espigado se puede comprimir con respecto a amplitud normal, lo que ocasiona una reducción de la pendiente de la línea de regresión de las medias de variedad para ese año con respecto a las medias de variedades promediadas. La variación no sistemática se manifiesta como variación en torno a estas líneas de regresión. Cuando sólo hay variación no sistemática de la interacción variedades  $\times$  años, las pendientes de las líneas de regresión tienen un valor constante de 1,0 en todos los años, pero cuando hay variación sistemática, las pendientes son distintas de 1,0 pero su promedio es 1,0. Cuando se aplica el MJRA, el error estándar de la media de una variedad se basa en la parte no sistemática de la variación de la interacción variedades  $\times$  año.

3.9.2.2 En la figura B1 se ilustra la diferencia entre la variación total de la interacción variedades  $\times$  años y la variación de la interacción variedades  $\times$  años ajustada mediante MJRA. En la figura se representan las medias de las variedades en cada uno de los tres años frente a las medias de las variedades promediadas en todos los años. La variación en torno a tres líneas paralelas ajustadas a los datos, una para cada año, constituye la variación total de la interacción de variedades  $\times$  años utilizada en el criterio COYD descrito anteriormente. Esas líneas de regresión tienen la misma pendiente 1,0. Esta variación se puede reducir ajustando a los datos líneas de regresión individuales, una para cada año. La variación residual resultante en torno a las líneas de regresión individuales proporciona el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años ajustado mediante MJRA, en el que puede basarse el error estándar de la media de una variedad. Se puede observar que el ajuste mediante MJRA solamente es eficaz cuando las pendientes de las líneas de regresión de las variedades son diferentes para cada año, como puede ocurrir en el caso de las fechas del espigado.

3.9.2.3 El empleo de este método para examinar la distinción ha sido incluido como opción en el programa de ordenador que aplica el criterio COYD en el programa DUST. Se recomienda su aplicación únicamente cuando las pendientes de las líneas de regresión de las

variedades para años distintos sean significativamente diferentes con un nivel de significación del 1%. Se puede indicar este nivel en el programa de ordenador.

3.9.2.4 Para calcular las medias ajustadas de las variedades y las pendientes de las líneas de regresión, se supone válido el modelo siguiente:

$$y_{ij} = u_j + b_j v_i + e_{ij}$$

en el que  $y_{ij}$  es el valor de la variedad  $i$  en el año  $j$ .

$u_j$  es la media del año  $j$  ( $j = 1, \dots, m$ )

$b_j$  es la pendiente de la línea de regresión del año  $j$

$v_i$  es el efecto de la variedad  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ )

$e_{ij}$  es un término de error.

3.9.2.5 A partir de las ecuaciones (6) y (7) de Digby (1979), invirtiendo los años y las variedades, se obtienen las siguientes ecuaciones que definen las relaciones entre estos términos en el caso en que los datos están completos:

$$\sum_{i=1}^n v_i y_{ij} = b_j \sum_{i=1}^n v_i^2$$

$$\sum_{j=1}^m b_j y_{ij} = v_i \sum_{j=1}^m b_j^2$$

3.9.2.6 Estas ecuaciones se resuelven iterativamente. Como punto de partida para asignar valores a los términos  $v_i$ , se suponen que todos los valores de  $b_j$  son 1,0. A continuación, se calcula la suma de cuadrados residual del MJRA de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (y_{ij} - u_j - b_j v_i)^2$$

3.9.2.7 Esta suma de cuadrados se utiliza para calcular el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años ajustado mediante MJRA con  $(m-1)(n-1) - m + 1$  grados de libertad.

### 3.9.3 Comparación del COYD con otros criterios

Se puede demostrar que, en un ensayo de tres años, el criterio COYD aplicado al nivel de probabilidad del 1% tiene aproximadamente la misma exigencia que el criterio del 2 $\times$ 1% respecto de un carácter, en el que la raíz cuadrada de la razón entre el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  años y el cuadrado medio de la interacción variedades  $\times$  repeticiones en cada ensayo ( $\lambda$ ) tiene un valor de 1,7. Si  $\lambda < 1,7$ , el criterio COYD aplicado al nivel del 1% es menos exigente que el del 2 $\times$ 1%, y más exigente si  $\lambda > 1,7$ .

### **3.10 Programa informático del COYD**

3.10.1 En los cuadros B 1 a 3 se ofrece un ejemplo de un resultado de aplicación del programa de ordenador que aplica el criterio COYD del programa DUST. Está tomado de un ensayo de raygrás inglés (diploide) con 40 variedades seleccionadas de la colección de variedades (R1 a R40) y 9 variedades candidatas (C1 a C9) en 6 repeticiones de las cuales se midieron 8 caracteres durante los años 1988, 1989 y 1990.

3.10.2 Cada uno de los 8 caracteres se analiza mediante análisis de la varianza. Dado que este análisis se realiza sobre los datos de la interacción variedades  $\times$  años  $\times$  repeticiones, los cuadrados medios son 6 (= número de repeticiones) veces los cuadrados medios del análisis de la varianza de los datos de la interacción variedades  $\times$  años a los que se hace referencia en la parte principal de este documento. Los resultados figuran en el cuadro B 1. Además de las medias interanuales de las variedades, se presentan los elementos siguientes:

C.M. AÑOS:	cuadrado medio del término años
C.M. VARIEDADES:	cuadrado medio del término variedades
C.M. VAR.AÑOS:	cuadrado medio de la interacción variedades $\times$ años
RAZÓN F1:	razón entre C.M. VARIEDADES y C.M. VAR.AÑOS (una medida del poder discriminatorio del carácter: los valores altos indican un poder discriminatorio alto)
C.M. VAR.REP:	promedio de los cuadrados medios de la interacción variedades $\times$ repeticiones de cada año
VALOR LAMBDA ( $\lambda$ ):	raíz cuadrada de la razón entre C.M. VAR.AÑOS y C.M. VAR.REP
EE INTER:	error estándar de las medias de variedad entre ensayos por parcelas, es decir, la raíz cuadrada de C.M. AÑOS dividido por 18 (3 años $\times$ 6 repeticiones)
EE INTRA:	error estándar de las medias de variedad en un ensayo por parcelas, es decir, la raíz cuadrada de C.M. VAR.REP. dividido por 18
GL:	grados de libertad del término variedades $\times$ años
PENDIENTE MJRA:	pendiente de la línea de regresión de las medias de variedades de un solo año respecto de las medias de los tres años
VALOR F REGR:	cociente entre el cuadrado medio del análisis por regresión múltiple modificado (MJRA) y el cuadrado medio residual de la regresión
PROB REGR:	significación estadística del VALOR F REGR
PRUEBA:	indica si se ha aplicado el ajuste por MJRA (REG) o no (COY).

3.10.3 Cada variedad candidata se compara con todas las demás variedades candidatas y con todas las demás variedades del ensayo seleccionadas de la colección de variedades. Se comparan, para cada carácter, las diferencias entre las medias de pares de variedades con la DMS. Los resultados para el par de variedades R1 y C1 figuran en el cuadro B 2. Se han indicado los valores t intranuales individuales para ofrecer información de cada año. Las variedades R1 y C1 se consideran distintas ya que hay, para al menos un carácter, una diferencia de medias significativa al nivel del 1% según el criterio COYD. Si la relación  $F_3$  hubiera sido significativa al nivel del 1% en lugar de al 5%, se hubieran investigado los datos del carácter 8, y dado que las diferencias en los tres años no son todas en la misma dirección, la

significación según el criterio COYD correspondiente al carácter 8 no hubiera contado para la distinción.

3.10.4 En el cuadro B 3 se ofrece el resultado de las pruebas de distinción de cada variedad candidata con respecto a todas las demás variedades, donde D significa “distinta” y ND “no distinta”.

TGP/8/1: Parte II: 3: CRITERIO COMBINADO INTERANUAL  
DE DISTINCIÓN (COYD)

página 72

**Cuadro B 1: Ejemplo de resultado del programa COYD que muestra las medias de las variedades y los resultados del análisis de la varianza de los caracteres**

RAYGRÁS INGLÉS (DIPLOIDE) PRECOZ N.I. UPOV 1988-90

	MEDIAS INTERANUALES DE LAS VARIEDADES							
	5	60	8	10	11	14	15	24
	SP.HT	NSPHT	DEEE	H.EE	WEE	LFL	WFL	LEAR
1 R1	45,27	34,60	67,87	45,20	70,05	20,39	6,85	24,54
2 R2	42,63	31,84	73,85	41,96	74,98	19,68	6,67	24,44
3 R3	41,57	27,40	38,47	27,14	57,60	17,12	6,85	22,57
4 R4	33,35	21,80	77,78	30,77	78,04	18,25	6,40	21,09
5 R5	37,81	25,86	50,14	27,24	62,64	16,41	6,41	16,97
6 R6	33,90	21,07	78,73	32,84	79,15	19,44	6,46	21,79
7 R7	41,30	31,37	73,19	41,35	71,87	20,98	6,92	24,31
8 R8	24,48	19,94	74,83	32,10	62,38	15,22	6,36	19,46
9 R9	46,68	36,69	63,99	44,84	68,62	18,11	7,02	22,58
10 R10	25,60	20,96	75,64	32,31	57,20	14,68	5,51	20,13
11 R11	41,70	30,31	74,60	40,17	76,15	19,45	6,79	22,72
12 R12	28,95	21,56	66,12	27,96	59,56	14,83	5,53	20,55
13 R13	40,67	29,47	70,63	36,81	74,12	19,97	7,04	24,05
14 R14	26,68	20,53	75,84	34,14	63,29	15,21	6,37	20,37
15 R15	26,78	20,18	75,54	30,39	66,41	16,34	6,01	20,94
16 R16	42,44	27,01	59,03	30,39	72,71	17,29	6,47	22,48
17 R17	27,94	21,58	76,13	32,53	68,37	16,72	6,11	22,03
18 R18	41,34	30,85	69,80	37,28	69,52	20,68	7,09	25,40
19 R19	33,54	23,43	73,65	30,35	75,54	18,97	6,37	22,43
20 R20	44,14	34,48	68,74	42,60	64,17	18,63	6,56	22,02
21 R21	27,77	21,53	80,52	31,59	69,41	16,81	5,81	22,35
22 R22	38,90	27,83	75,68	43,25	75,08	19,63	7,46	23,99
23 R23	42,43	31,80	72,40	42,07	74,77	20,99	6,78	23,57
24 R24	38,50	27,73	73,19	37,12	75,76	19,28	6,91	22,77
25 R25	43,84	29,60	68,82	39,79	74,83	20,63	7,08	22,65
26 R26	49,48	36,53	63,45	42,01	70,46	22,14	7,84	25,91
27 R27	25,61	19,25	78,78	29,81	56,81	15,81	5,07	18,94
28 R28	26,70	20,31	79,41	32,75	66,54	16,92	6,00	21,91
29 R29	27,90	20,94	72,66	29,85	67,14	16,85	6,28	21,79
30 R30	43,07	30,34	70,53	40,51	73,23	19,49	7,28	23,70
31 R31	38,18	25,47	74,23	36,88	80,23	20,40	7,09	25,21
32 R32	35,15	27,56	71,49	37,26	63,10	18,18	6,80	23,13
33 R33	42,71	31,09	67,58	39,14	70,36	19,85	7,12	23,35
34 R34	23,14	18,05	72,09	24,29	59,37	13,98	5,63	18,91
35 R35	32,75	25,41	77,22	38,90	67,07	17,16	6,42	21,49
36 R36	41,71	31,94	77,98	44,33	73,00	19,72	7,09	23,45
37 R37	44,06	32,99	74,38	45,77	71,59	20,88	7,40	24,06
38 R38	42,65	32,97	74,76	44,42	74,13	20,29	7,38	24,32
39 R39	28,79	22,41	76,83	35,91	64,52	16,85	6,34	22,24
40 R40	44,31	31,38	72,24	43,83	74,73	21,53	7,60	25,46
41 C1	42,42	31,68	64,03	40,22	67,02	20,73	6,90	26,16
42 C2	41,77	32,35	86,11	46,03	75,35	20,40	6,96	22,99
43 C3	41,94	31,09	82,04	43,17	74,04	19,06	6,26	23,44
44 C4	39,03	28,71	78,63	45,97	70,49	21,27	6,67	23,37
45 C5	43,97	30,95	72,99	39,14	77,89	19,88	6,68	25,44
46 C6	37,56	27,14	83,29	39,16	81,18	19,47	6,97	25,25
47 C7	38,41	28,58	83,90	42,53	76,44	19,28	6,00	23,47
48 C8	40,08	27,25	83,50	43,33	80,16	22,77	7,92	26,81
49 C9	46,77	34,87	51,89	37,68	61,16	19,25	6,92	24,82
C.M. AÑOS	1279,09	3398,82	3026,80	2278,15	8449,20	672,15	3,36	51,32

TGP/8/1: Parte II: 3: CRITERIO COMBINADO INTERANUAL DE DISTINCIÓN (COYD)

página 73

C.M. VARIEDADES	909,21	476,72	1376,10	635,27	762,41	80,21	6,44	74,17
C.M. VAR.AÑOS	23,16	18,86	14,12	23,16	46,58	4,76	0,28	2,73
RAZÓN F1	39,26	25,27	97,43	27,43	16,37	16,84	22,83	27,16
C.M. VAR.REP	8,83	8,19	4,59	11,95	23,23	1,52	0,15	1,70
VALOR LAMBDA	1,62	1,52	1,75	1,39	1,42	1,77	1,37	1,27
EE INTER	1,13	1,02	0,89	1,13	1,61	0,51	0,13	0,39
EE INTRA	0,70	0,67	0,50	0,81	1,14	0,29	0,09	0,31
GL	96	94	96	96	96	96	96	96
PENDIENTE MJRA 88	0,90	0,86	0,99	0,91	0,99	1,09	0,97	0,95
PENDIENTE MJRA 89	1,05	1,08	1,01	0,99	1,06	0,97	1,02	0,98
PENDIENTE MJRA 90	1,05	1,06	1,00	1,10	0,95	0,94	1,01	1,07
VALOR F REGR	4,66	6,17	0,06	4,48	0,76	1,62	0,29	1,91
PROB REGR	1,17	0,30	93,82	1,39	47,08	20,27	74,68	15,38
PRUEBA	COY	REG	COY	COY	COY	COY	COY	COY

**Cuadro B 2: Ejemplo de resultado del programa COYD en el que se comparan las variedades R1 y C1**

RAYGRÁS INGLÉS (DIPLOIDE) PRECOZ N.I. UPOV 1988-90

41 C1 CON 1 R1

\*\*\* USANDO REGR SI ES SIG \*\*\*

(VALORES DE T + VE SI 41 C1 > 1 R1)

	NIVELES DE SIG AÑOS				COYD			VALORES DE T				F3
					T	PROB%	SIG	AÑOS			PUNT T	
	88	89	90					88	89	90		
5 SP.HGHT	-	-	-1	ND	-1,78	7,88	NS	-1,05	-1,34	-2,64	-2,64	0,23 NS
60 NATSPHT	-	-1	-	ND	-2,02	4,61	*	-1,58	-2,61	-1,17	-2,61	0,22 NS
8 DATEEE	-1	-1	+	D	-3,06	0,29	**	-4,14	-6,33	0,80	-6,74	3,99 *
10 HGHT.EE	-1	-1	-5	D	-3,11	0,25	**	-2,79	-2,69	-2,06	-7,55	0,06 NS
11 WIDTHEE	-	-	-	ND	-1,33	18,58	NS	-1,47	-1,80	-0,21	0,00	0,32 NS
14 LGTHFL	+	+	-	ND	0,47	63,61	NS	0,17	1,83	-0,67	0,00	0,56 NS
15 WIDTHFL	+	-	+	ND	0,27	78,83	NS	0,31	-0,41	0,67	0,00	0,17 NS
24 EARLGTH	5	1	+	ND	2,93	0,42	**	2,10	3,33	1,01	5,43	0,84 NS

Notas

1. Las tres columnas COYD con encabezamientos T, PROB% y SIG indican los valores de t del COYD, su nivel de probabilidad y el nivel de significación. El valor de t es el estadístico del ensayo obtenido dividiendo la diferencia de las medias de dos variedades entre el error estándar de esa diferencia. Se puede comprobar la significación del valor de t comparándolo con los valores pertinentes del cuadro de valores de t de Student. Este cálculo y comprobación de un valor de t equivale a calcular una DMS y comprobar si la diferencia media entre las dos variedades es mayor que la DMS.

2. Las dos columnas de la derecha bajo el encabezamiento F3 dan el estadístico de la varianza, razón F<sub>3</sub>, y su nivel de significación. El estadístico F<sub>3</sub> se define en la sección 3.6.2 de la parte II.

3. Las secciones señaladas con recuadros hacen referencia a criterios de distinción anteriores. Las tres columnas 88, 89 y 90 bajo el encabezamiento general “VALORES DE T, AÑOS” son los valores intranuales individuales de la prueba de la t (prueba de la t de Student de dos colas de las medias de las variedades, estimándose los errores estándar mediante el cuadrado medio residual por parcela), y las tres columnas 88, 89 y 90 bajo el encabezamiento general “NIVELES DE SIG, AÑOS” indican su dirección y niveles de significación. La columna con las indicaciones D y ND indica si las dos variedades son distintas (D) o no distintas (ND) según el criterio (método) del 2×1% descrito en la sección 4 de la parte II. La columna con el encabezamiento PUNT T da el estadístico obsoleto de la puntuación de t (*t score*) y no debe tenerse en cuenta.

TGP/8/1: Parte II: 3: CRITERIO COMBINADO INTERANUAL  
DE DISTINCIÓN (COYD)

página 75

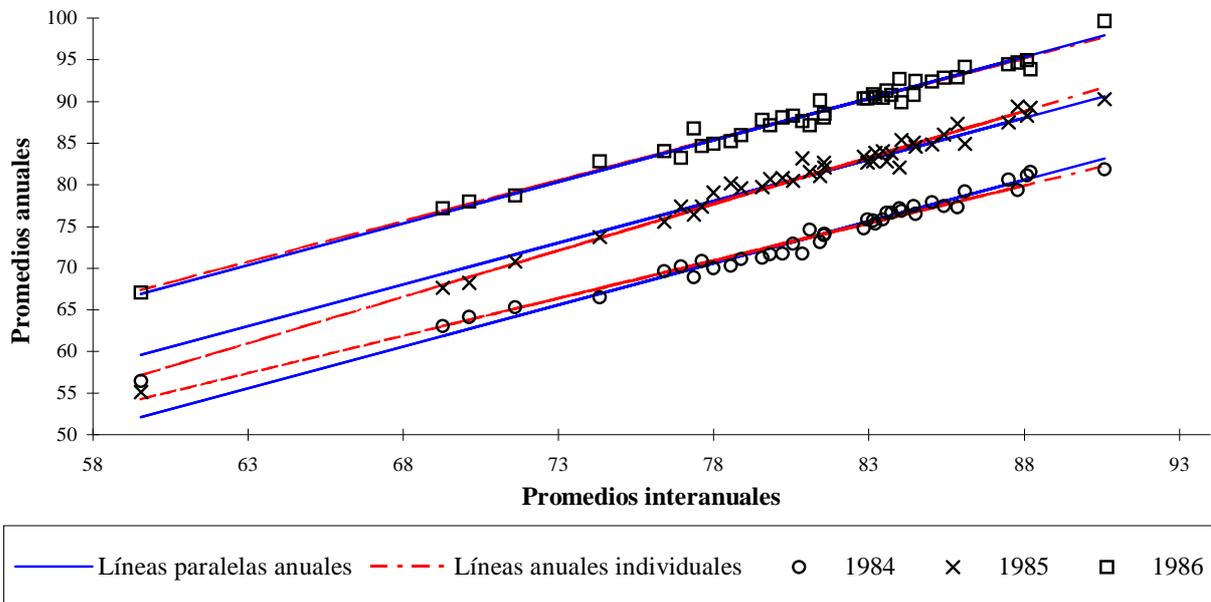
**Cuadro B 3: Ejemplo de resultado del programa COYD que muestra la distinción o no distinción de las variedades candidatas**

RAYGRÁS INGLÉS (DIPLOIDE) PRECOZ N.I. UPOV 1988-90

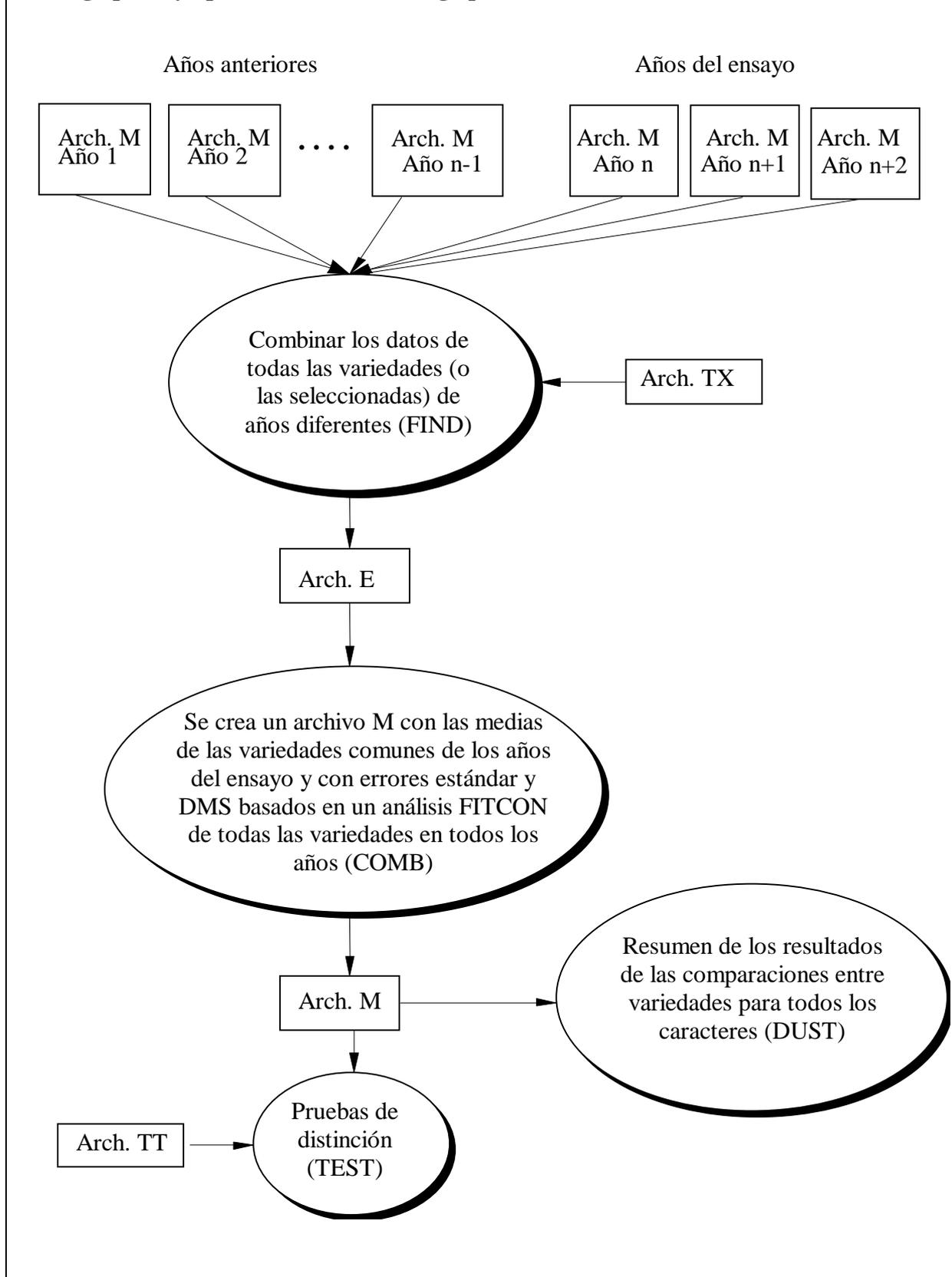
RESUMEN PARA COYD AL 1,0% \*\*\* USANDO REGR AJUST SI ES SIG \*\*\*

VAR CANDIDATAS		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	R1	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2	R2	D	D	D	D	ND	D	D	D	D
3	R3	D	D	D	D	D	D	D	D	D
4	R4	D	D	D	D	D	D	D	D	D
5	R5	D	D	D	D	D	D	D	D	D
6	R6	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7	R7	D	D	D	D	D	D	D	D	D
8	R8	D	D	D	D	D	D	D	D	D
9	R9	D	D	D	D	D	D	D	D	D
10	R10	D	D	D	D	D	D	D	D	D
11	R11	D	D	D	D	D	D	D	D	D
12	R1	D	D	D	D	D	D	D	D	D
13	R13	D	D	D	D	ND	D	D	D	D
14	R14	D	D	D	D	D	D	D	D	D
15	R15	D	D	D	D	D	D	D	D	D
16	R16	D	D	D	D	D	D	D	D	D
17	R17	D	D	D	D	D	D	D	D	D
18	R18	D	D	D	D	D	D	D	D	D
19	R19	D	D	D	D	D	D	D	D	D
20	R20	D	D	D	D	D	D	D	D	D
21	R21	D	D	D	D	D	D	D	D	D
22	R22	D	D	D	D	D	D	D	D	D
23	R23	D	D	D	D	D	D	D	D	D
24	R24	D	D	D	D	D	D	D	D	D
25	R25	D	D	D	D	D	D	D	D	D
26	R26	D	D	D	D	D	D	D	D	D
27	R27	D	D	D	D	D	D	D	D	D
28	R28	D	D	D	D	D	D	D	D	D
29	R29	D	D	D	D	D	D	D	D	D
30	R30	D	D	D	D	D	D	D	D	D
31	R31	D	D	D	D	D	D	D	D	D
32	R32	D	D	D	D	D	D	D	D	D
33	R33	D	D	D	D	D	D	D	D	D
34	R34	D	D	D	D	D	D	D	D	D
35	R35	D	D	D	D	D	D	D	D	D
36	R36	D	D	D	ND	D	D	D	D	D
37	R37	D	D	D	D	D	D	D	D	D
38	R38	D	D	D	D	D	D	D	D	D
39	R39	D	D	D	D	D	D	D	D	D
40	R40	D	D	D	D	D	D	D	D	D
41	C1	-	D	D	D	D	D	D	D	D
42	C2	D	-	D	D	D	D	D	D	D
43	C3	D	D	-	D	D	D	ND	D	D
44	C4	D	D	D	-	D	D	D	D	D
45	C5	D	D	D	D	-	D	D	D	D
46	C6	D	D	D	D	D	-	D	D	D
47	C7	D	D	ND	D	D	D	-	D	D
48	C8	D	D	D	D	D	D	D	-	D
49	C9	D	D	D	D	D	D	D	D	-
NÚM. DE VARS ND		0	0	1	1	2	0	1	0	0
DISTINCIÓN		D	D	ND	ND	ND	D	ND	D	D
VAR CANDIDATAS		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9

**Figura B1. Promedios anuales de fechas de espigado de las variedades con respecto a los promedios interanuales de las variedades**



**Figura B2. Flujograma de las etapas y módulos DUST utilizados para calcular las DMS de largo plazo y aplicar el COYD de largo plazo.**



### **3.11 Sistemas utilizados para la aplicación del COYD**

3.11.1 Los cuatro casos siguientes son los que, en general, representan las diferentes situaciones que pueden darse al aplicar el COYD en el examen DHE:

Caso A: El ensayo se realiza en 2 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del segundo ciclo (un ciclo de cultivo puede ser un año y se designa a continuación mediante el término “ciclo”).

Caso B: El ensayo se realiza en 3 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del tercer ciclo.

Caso C: El ensayo se realiza en 3 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del tercer ciclo, pero una variedad puede aceptarse tras el segundo ciclo.

Caso D: El ensayo se realiza en 3 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del tercer ciclo, pero una variedad puede aceptarse o rechazarse tras el segundo ciclo.

3.11.2 En las figuras 1 a 4 se ilustran, respectivamente, las etapas en las que se toman decisiones en los casos A a D. Se muestra también en estas figuras los diversos niveles de probabilidad estándar ( $p_{d2}$ ,  $p_{nd2}$ ,  $p_{d3}$ ,  $p_{u2}$ ,  $p_{nu2}$  y  $p_{u3}$ ) necesarios para calcular el criterio del COYD en cada caso. Se definen del modo siguiente:

<b>Nivel de probabilidad</b>	<b>Utilizado para decidir si una variedad es:</b>
$p_{d2}$	distinta, tras el segundo ciclo
$p_{nd2}$	no distinta, para un carácter, tras el segundo ciclo
$p_{d3}$	distinta, tras el tercer ciclo

3.11.3 En las figuras 1 a 4 el criterio del COYD calculado usando, por ejemplo, el nivel de probabilidad  $p_{d2}$  se designa “DMS $p_{d2}$ ”, etc. La abreviatura “dif.” se refiere a la diferencia entre las medias de una variedad candidata y otra variedad, con respecto a un carácter.

3.11.4 El cuadro 1 resume los diversos niveles de probabilidad estándar necesarios para calcular los criterios COYD en cada uno de los casos A a D. Por ejemplo, en el caso B sólo se necesita un nivel de probabilidad ( $p_{d3}$ ), mientras que en el C se necesitan dos ( $p_{d2}$ ,  $p_{d3}$ ).

Cuadro 1	COYD		
CASO	$p_{d2}$	$p_{nd2}$	$p_{d3}$
A			
B			
C			
D			

Figura 1. Decisiones de aplicación del criterio COYD y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso A

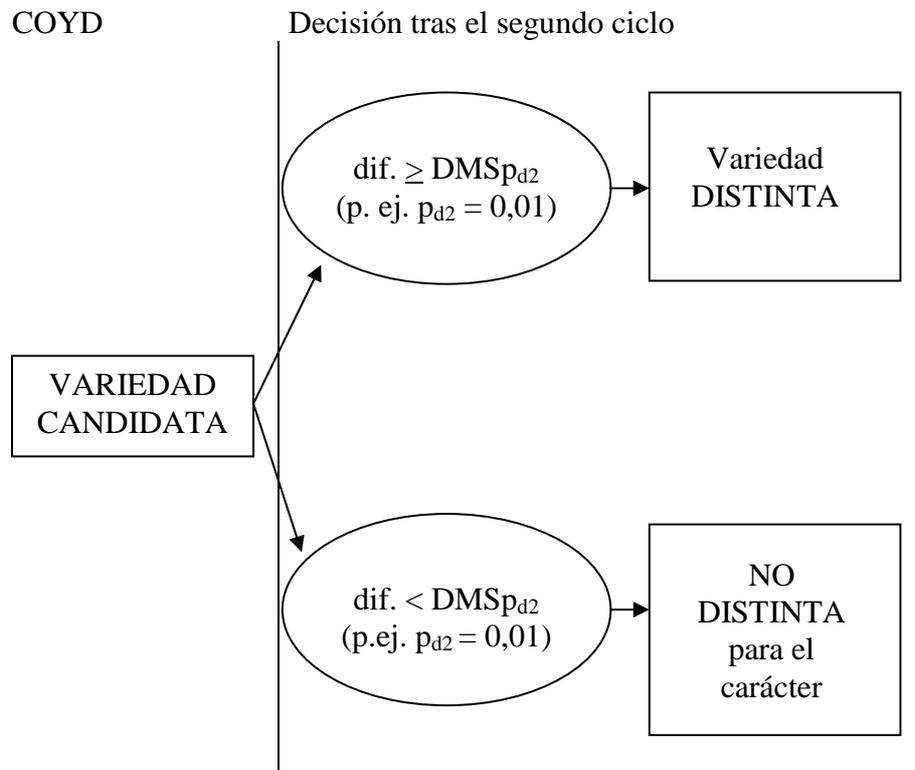
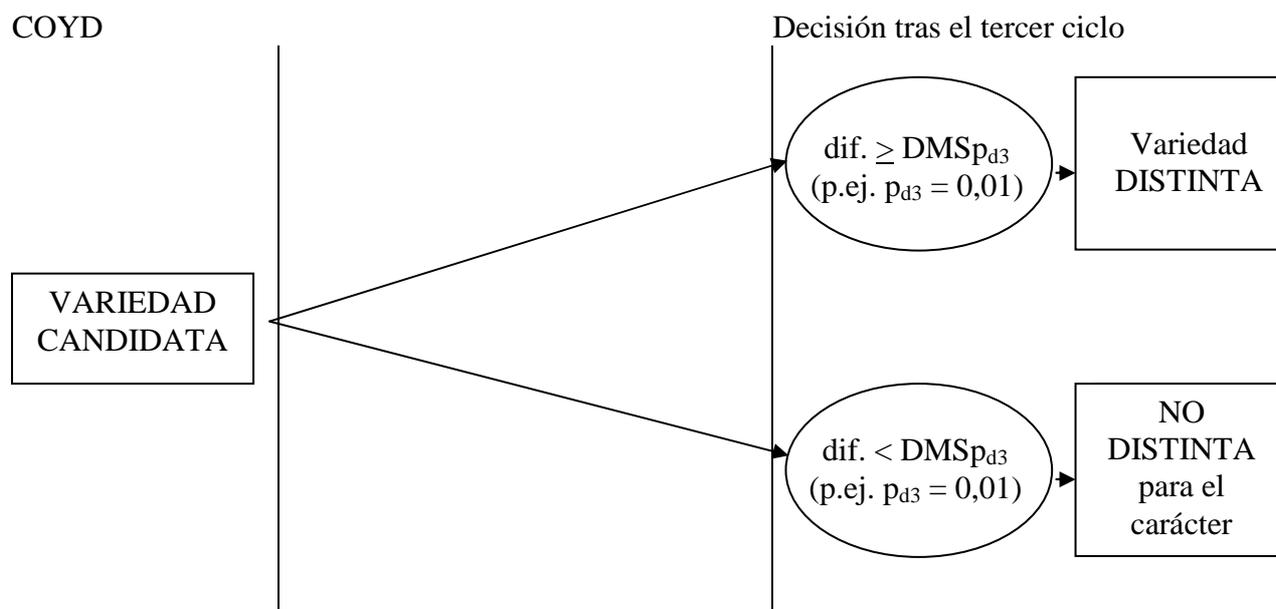


Figura 2. Decisiones de aplicación del criterio COYD y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso B



NOTA:

“dif.” es la diferencia entre las medias de la variedad candidata y otra variedad, con respecto al carácter.

$\text{DMSp}$  es el criterio COYD calculado con el nivel de probabilidad  $p$ .

Figura 3. Decisiones de aplicación del criterio COYD y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso C

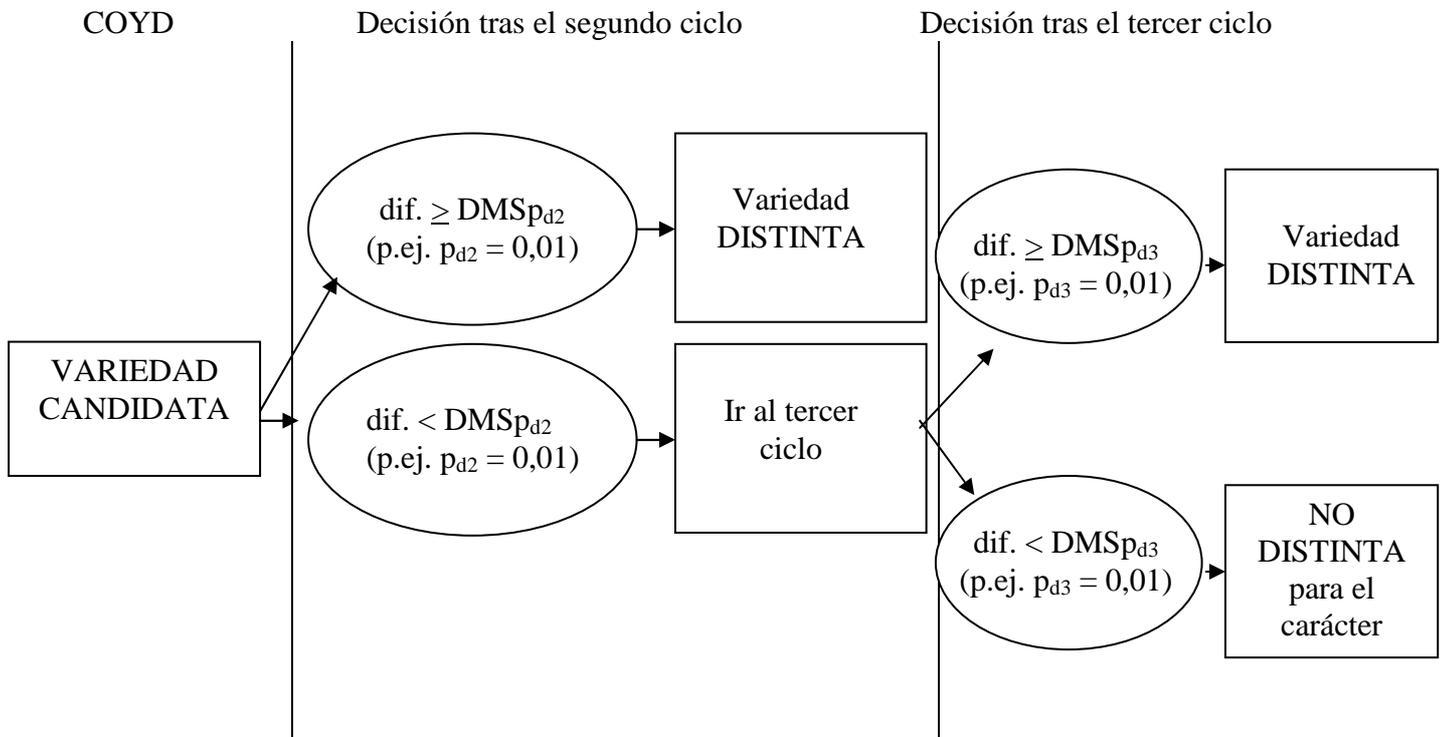
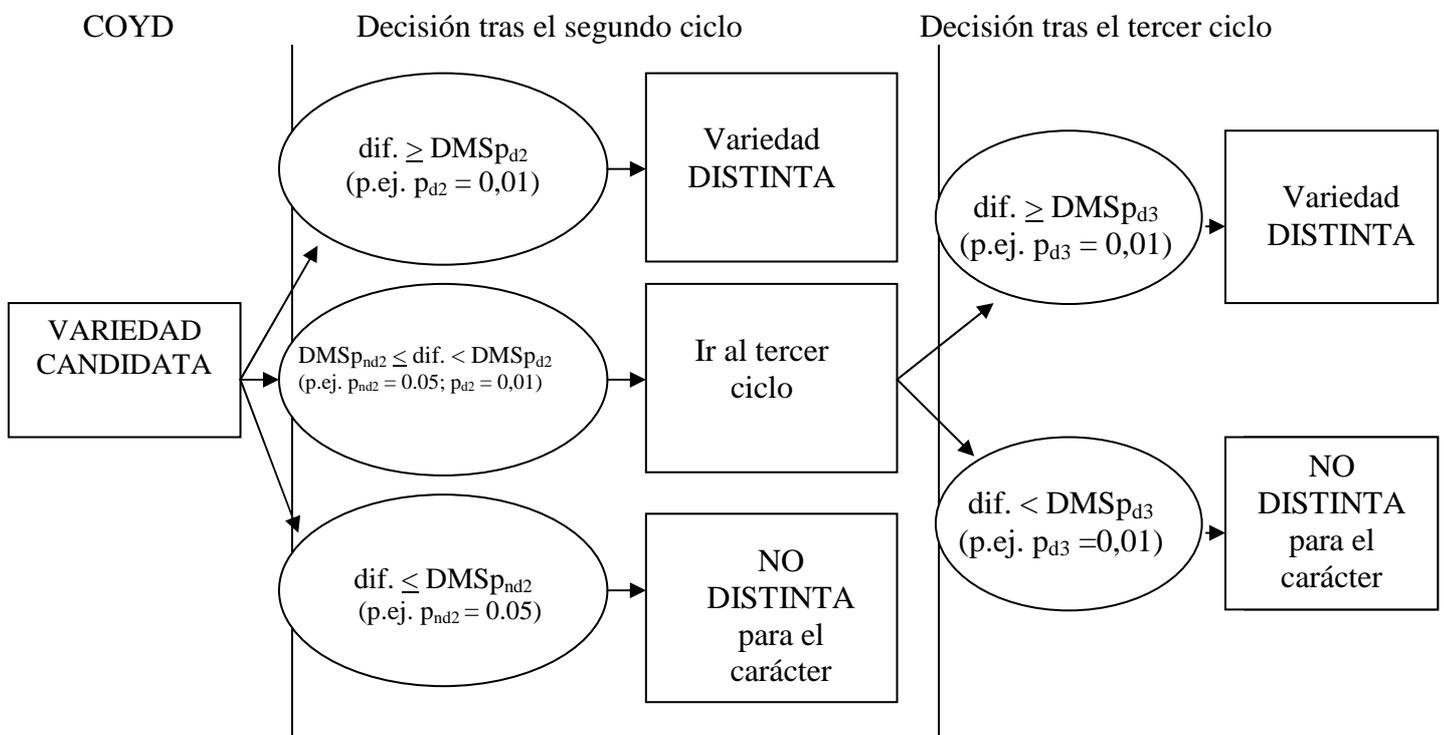


Figura 4. Decisiones de aplicación del criterio COYD y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso D



NOTA:

“dif.” es la diferencia entre las medias de la variedad candidata y otra variedad, con respecto al carácter.

DMSp es el criterio COYD calculado con el nivel de probabilidad  $p$ .

## **4. EL MÉTODO 2×1%**

### **4.1 Requisitos para la aplicación del método**

4.1.1 El criterio 2×1% es un método adecuado para examinar la distinción de variedades cuando:

- el carácter es cuantitativo;
- hay algunas diferencias entre plantas (o parcelas) de una variedad;
- se realizan observaciones por plantas (o por parcelas) durante dos o más años;
- Tener parcelas idénticas

### **4.2 El criterio (método) 2×1%**

4.2.1 Para considerar que dos variedades son distintas aplicando el criterio 2×1%, las variedades deben ser significativamente diferentes en la misma dirección al nivel del 1%, en al menos dos de los tres años respecto de uno o más caracteres medidos. Las pruebas en cada año se basan en la prueba de la t de Student de dos colas de las diferencias entre las medias de las variedades, usándose como estimador de los errores estándar el cuadrado medio residual del análisis de las medias de la interacción de variedades × repeticiones de parcelas.

4.2.2 Con respecto al criterio 2×1%, a diferencia del criterio COYD, es importante señalar que:

- Se pierde información porque el criterio se basa en las decisiones acumuladas basadas en los resultados de pruebas de la t efectuadas en cada uno de los años del ensayo. Así, una diferencia que no es significativa al 1% por un margen escaso no contribuye a diferenciar un par de variedades más que una diferencia cero o una diferencia en el sentido opuesto. Por ejemplo, tres diferencias en el mismo sentido, de las que una es significativa al nivel del 1% y las otras al nivel del 5%, no harían que las variedades se consideraran distintas.
- Las diferencias entre variedades en la expresión de algunos caracteres son más uniformes a lo largo de los años que las de otros caracteres. Sin embargo, aparte de exigir que las diferencias sean en el mismo sentido para dictaminar la distinción, el criterio 2×1% no toma en cuenta la uniformidad en la magnitud de las diferencias de año en año.

## 5. PRUEBA JI CUADRADO DE PEARSON APLICADA A CUADROS DE CONTINGENCIA

5.1 Los cuadros de contingencia muestran las respuestas de individuos a una variable en función de otra. En el examen DHE se utiliza generalmente en datos categóricos en que los ejemplares de una variedad pueden asignarse a niveles de expresión independientes correspondientes a un carácter. Para analizar datos en cuadros de contingencia pueden utilizarse diversas pruebas estadísticas en función de las circunstancias particulares. Por ejemplo, la prueba Ji cuadrado de Pearson, aplicada a cuadros de contingencia, es útil en los siguientes casos:

- cuando las observaciones de un carácter se asignan a dos o más categorías (clases) y se registran en un cuadro de contingencia;
- cuando existen algunas diferencias entre las plantas (o parcelas) de una variedad;
- cuando la variación se deba únicamente a la realización de muestreos aleatorios, esto es, no debe producirse debido a las condiciones del suelo, etcétera;
- el valor mínimo previsto en cada categoría debe ser de cinco.

5.2 En algunos casos, la distinción puede determinarse clasificando las variedades individuales en grupos amplios y demostrando que las variedades presentan patrones de clasificación en grupos estadísticamente diferentes. Cabe citar como ejemplo los recuentos basados en los grupos de color de las flores, como violeta azulado oscuro frente al color distinto del violeta azulado oscuro, y las clases definidas en función de la susceptibilidad a enfermedades o plagas o a la infección por nematodos. Los datos basados en recuentos de ejemplares de una muestra o población que pertenezcan a diversas clases requieren un tipo diferente de análisis estadístico que pueda comprender datos categóricos.

5.3 Para utilizar el análisis Ji cuadrado para fines de reconocimiento de derechos de obtentor, debería tenerse en cuenta el modo de alcanzar determinadas conclusiones sobre la distinción formulando determinadas hipótesis a partir de los datos de clasificación.

La fórmula estándar para el estadístico de la prueba ji cuadrado utilizado en este análisis es:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Valor observado de una clase} - \text{Valor esperado de una clase})^2}{\text{Valor esperado}}$$

5.4 Por consiguiente, la distribución ji cuadrado es una distribución continua basada en una distribución normal subyacente.

5.5 Antes de utilizar la prueba de ji cuadrado deben tomarse las precauciones siguientes:

- 1) La selección de la hipótesis que se va a contrastar debe basarse en hechos o principios conocidos previamente.

2) Dada la hipótesis, se debería poder asignar valores esperados a cada clase correctamente. La prueba ji cuadrado no debe usarse si el valor esperado de la clase más pequeña es menor que cinco. El valor esperado de la clase más pequeña puede aumentarse aumentando el tamaño de muestra. O bien, si el tamaño de algunas clases es inferior que cinco, caben dos opciones: agruparlas con las clases adyacentes para aumentar el tamaño de la clase agrupada hasta cinco o más de cinco, o bien aplicar una prueba exacta.

3) Los grados de libertad se definen como el número de clases a las que puede asignarse de forma independiente un valor arbitrario. Por ejemplo, para dos clases habrá  $2 - 1 = 1$  grado de libertad. Es decir, al usar este método para contrastar una hipótesis, los grados de libertad de la prueba ji cuadrado serán igual al número de clases menos uno.

4) Deben evitarse las situaciones con dos clases que más bien siguen la distribución binomial, con  $np$  o  $nq$  menor que 5. En este tipo de situaciones, deben calcularse los valores esperados usando formulas basadas en la distribución binomial. En una situación con dos clases,  $np$  es el tamaño de una de las clases determinado por el número de acontecimientos ( $n$ ) multiplicado por la probabilidad de pertenecer a esa clase ( $p$ ). De forma similar, el tamaño de la otra clase ( $nq$ ) se determina multiplicando  $n$  por la probabilidad ( $q$ ) de pertenecer a esa clase. De modo que en una situación en la que exista la misma probabilidad de pertenecer a una u otra clase ( $p=q=0,5$ ) y el tamaño de muestra sea 10 ( $n$ ) el número esperado de acontecimientos en cada clase será 5. Siempre debe usarse la corrección de Yates para aplicar la prueba ji cuadrado con un solo grado de libertad.

5.6 Examinemos los datos siguientes de puntuación de la susceptibilidad a una enfermedad de una variedad candidata de alfalfa y cuatro variedades notoriamente conocidas. La enfermedad analizada fue *Colletotrichum trifolii* (carácter 19 de la alfalfa: TG/6/5). La puntuación se basó en una escala de 5 clases, siendo la clase 1 (nota 9) resistente y la clase 5 (nota 1) susceptible.

Recuentos de los números de plantas asignadas a diferentes clases en cada variedad transcurridos de 7 a 10 días tras la inoculación

Nota (clase)	Candidata		Variedad 1	Variedad 2	Variedad 3	Variedad 4
9 (1)	34		12	6	1	7
7 (2)	4		7	6	5	10
5 (3)	1		9	5	5	5
3 (4)	1		7	9	8	7
1 (5)	6		9	19	9	15
Total	46		44	45	28	44

5.7 Puede apreciarse en el cuadro que las dos generaciones de la variedad candidata tienen más plantas en la categoría resistente que las cuatro variedades notoriamente conocidas. No obstante, para contrastar estadísticamente la significación de estas diferencias, debemos formular dos hipótesis:

1) Si las cuatro variedades notoriamente conocidas difieren significativamente o no de la primera generación de la candidata en la distribución de puntuaciones; es decir,

contrastando la hipótesis nula. La hipótesis nula, en este caso, es que todas las variedades reaccionan de forma similar a la pudrición de corona ocasionada por *Colletotrichum*. Esta hipótesis puede contrastarse mediante la prueba “ $X^2$  de distinción”.

5.8 A fin de exigir el valor mínimo previsto requerido para poder aplicar la prueba de Ji cuadrado es necesario el agrupamiento de clases para formar una nueva clase agrupada intermedia.

Ahora los datos observados se reducen a:

Clase/Puntuación	Candidata	Variedad 1	Variedad 2	Variedad 3	Variedad 4
1	34	12	6	1	7
2	6	23	20	18	22
3	6	9	19	9	15
Total	46	44	45	28	44

5.9 Por cada comparación de la variedad candidata con cada variedad notoriamente conocida se forma un cuadro bidireccional de valores observados. Los valores previstos se calculan como el producto de los totales de las filas y las columnas dividido por el total final, y a continuación se calcula el Ji cuadrado. A continuación figuran las distribuciones de los valores previstos para las distintas variedades:

Datos observados respecto de la variedad 1

Clase/Puntuación	Candidata	Variedad 1	Total
1	34	12	46
2	6	23	29
3	6	9	15
<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>90</b>

Datos previstos para la variedad 1

Clase/Puntuación	Candidata	variedad 1	Total
1	$23.5=46 \times 46 / 90$	$22.5=46 \times 44 / 90$	46
2	$14.8=29 \times 46 / 90$	$14.2=29 \times 44 / 90$	29
3	$7.7=15 \times 46 / 90$	$7.3=15 \times 44 / 90$	15
Total	46	44	90

De forma similar, utilizando el cuadro de datos observados que figura en 5.3.8, los valores previstos para las variedades 2,3 y 4 son:

Clase/Puntuación	Candidata	variedad 2	Total
1	20.2	19.8	40
2	13.1	12.9	26
3	12.6	12.4	25
Total	46	45	91

Clase/Puntuación	Candidata	variedad 3	Total
1	21.8	13.2	35
2	14.9	9.1	24
3	9.3	5.7	15
Total	46	28	74

Clase/Puntuación	Candidata	variedad 4	Total
1	21.0	20.0	41
2	14.3	13.7	28
3	10.7	10.3	21
Total	46	44	90

5.10 Para calcular las “X<sup>2</sup> de distinción” para la variedad 1

$$X^2 = (34-23.5)^2/23.5 + (12-22.5)^2/22.5 + (6-14.8)^2/14.8 + (23-14.2)^2/14.2 + (6-7.7)^2/7.7 + (9-7.3)^2/7.3 = 21.1$$

en (Número de filas – 1)(Número de columnas – 1) = 2 gl

5.11 El número de grados de libertad para consultar el cuadro de  $\chi^2$  es el número de filas menos uno multiplicado por el número de columnas menos uno; es decir:  
(3 – 1) x (2 – 1) = 2.

5.12 El valor del cuadro, con P = 0,01, para 2 gl, es 9,21. La X<sup>2</sup> de distinción calculada es mayor que el valor de  $\chi^2$  del cuadro, luego se rechaza la hipótesis nula de que la variedad 1 produce una reacción similar a la enfermedad que la variedad candidata.

5.13 De forma similar, las “X<sup>2</sup> de distinción” calculadas para las variedades 2, 3 y 4 son 33,9, 35,4 y 30,8, respectivamente, valores todos mayores que el valor de  $\chi^2$  del cuadro: 9,21 con 2 gl.

5.14 Por consiguiente, las cuatro variedades notoriamente conocidas son significativamente diferentes que la variedad candidata en términos de su reacción a la pudrición de corona ocasionada por *Colletotrichum*.

## 6. PRUEBA EXACTA DE FISHER

La prueba exacta de Fisher es una prueba estadística utilizada en el análisis de datos categóricos (cualitativos) cuando el número de muestras (es decir, el tamaño de muestra) es pequeño. La prueba exacta de Fisher aplicada a cuadros de contingencia  $2 \times 2$  es útil en los siguientes casos:

- las observaciones de un carácter se asignan a dos o más categorías (clases);
- la variación se deberá únicamente a la realización de muestreos aleatorios, esto es, no debería producirse variación debido a las condiciones del suelo, etcétera;
- los valores previstos en cada categoría son menores de diez.

### 6.1 Examen de la distinción

6.1.1 La prueba exacta de Fisher se utiliza para determinar si existen asociaciones no aleatorias entre dos variables categóricas en un cuadro de contingencia de  $2 \times 2^5$  y puede utilizarse cuando el número de muestras correspondientes a una o más categorías para cada variedad es menor que 10 (véanse las celdas señaladas con marco grueso en el cuadro 1) o cuando el cuadro está muy desequilibrado. Si el número de muestras es mayor (es decir, 10 o más), suele ser preferible aplicar una prueba ji cuadrado.

6.1.2 Esta prueba sólo es para el análisis de datos en categorías. El método se ilustra mediante los ejemplos hipotéticos siguientes:

#### Ejemplo 1

6.1.3 En el siguiente ejemplo, la frecuencia de flores de color azul oscuro se utiliza como un carácter relevante en el ensayo DHE. En este ejemplo de ensayo DHE con dos variedades, las plantas se clasifican en función de si tienen o no flores de color azul oscuro.

6.1.4 Supongamos que se han observado diferencias en la proporción de flores de color azul oscuro entre las dos variedades (variedad 1 y variedad 2). Los examinadores necesitan poder determinar con confianza si estas diferencias pueden aceptarse como claramente distinguibles entre las variedades y la prueba exacta de Fisher es un método aceptado para contrastar la hipótesis de que las diferencias observadas son estadísticamente significativas. En el cuadro 1 se muestran datos hipotéticos de un total de 24 plantas.

Cuadro 1: Cuadro de contingencia de  $2 \times 2$  del número de plantas con flores de color azul oscuro y de color distinto del azul oscuro observadas en las variedades 1 y 2

+	Variedad 1	Variedad 2	Total
Color distinto del azul oscuro	<b>4</b>	<b>9</b>	13
Color azul oscuro	<b>8</b>	<b>3</b>	11
Total	12	12	24

En un cuadro de contingencia de  $2 \times 2$ , el número de grados de libertad siempre es 1.

---

<sup>5</sup> Un cuadro de contingencia se utiliza para anotar y analizar la relación entre dos o más variables, casi siempre categóricas.

6.1.5 ¿Cuál es la probabilidad de que la variedad 1 sea distinta de la variedad 2, en lo que respecta a este carácter, sabiendo que 11 de estas 24 flores son de color azul oscuro y, de estas, 8 son de la variedad 1 y 3 de la variedad 2? O, en otras palabras, la diferencia observada en el color de las flores está asociada a las diferencias varietales, o es probable que sea fruto del azar en el muestreo? El método de Fisher calcula la probabilidad exacta de una asociación no aleatoria, de un cuadro de contingencia  $2 \times 2$ , usando una distribución hipergeométrica.<sup>6</sup> En este caso, la probabilidad se calcula como la suma de las probabilidades para los posibles casos de que sea tan larga o más de lo observado. Así, además del observado, el número de flores azul oscuro que daría un resultado satisfactorio será de 9, 10 o 11 para la variedad 1 y de 2, 1 ó 0 para la variedad 2.

6.1.6 Representando los valores de las celdas anteriores en notación algebraica, se determina la fórmula general para calcular la probabilidad de los números observados (cuadro 2).

*Cuadro 2: Notación algebraica para la prueba exacta de Fisher*

	Variedad 1	Variedad 2	Total
Color distinto del azul oscuro	a	b	a + b
Color azul oscuro	c	d	c + d
Total	a + c	b + d	n

$$p = \frac{(a+b)! (c+d)! (a+c)!(b+d)!}{n!a!b!c!d!}$$

6.1.7 donde p es la probabilidad exacta de Fisher de encontrar una asociación no aleatoria entre las variedades y los caracteres. El símbolo “!” significa “factorial de”.

6.1.8 Sustituyendo las notaciones algebraicas del cuadro 2 por las cifras correspondientes a los valores observados del cuadro 1:

$$p = \frac{(13)! (11)! (12)!(12)!}{24!4!9!8!3!}$$

Tras calcular los factoriales:

$$p = 0,05$$

6.1.9 La interpretación del valor de p calculado en la prueba exacta de Fisher es sencilla. En el ejemplo anterior,  $p = 0,05$  significa que hay una probabilidad del 5% de que, con el tamaño de muestra y la distribución del cuadro 1, las diferencias observadas sean únicamente fruto del azar en el muestreo. Dado el pequeño tamaño de muestra y la necesidad de establecer una clara distinguibilidad entre las variedades, las autoridades examinadoras pueden elegir una  $p = 0,01$  como umbral superior de nivel de significación para aceptar la hipótesis nula. Siendo esto así, una autoridad examinadora concluiría, en este ejemplo, que la diferencia observada en el carácter flores de color azul oscuro o de color distinto al azul oscuro no es estadísticamente significativa y las dos variedades (variedad 1 y variedad 2) no son distintas a este respecto.

<sup>6</sup> Una distribución hipergeométrica es una distribución de probabilidad discreta que describe el número de sucesos en una secuencia de n extracciones de una población finita sin reemplazamiento.

*Ejemplo 2*

6.1.10 En el cuadro 3 se muestran los valores correspondientes a las mismas observaciones del mismo carácter en las variedades 3 y 4:

*Cuadro 3: Número de plantas con flores de color azul oscuro y de color distinto del azul oscuro observadas en las variedades 3 y 4*

	Variedad 3	Variedad 4	Total
Color distinto del azul oscuro	1	9	10
Color azul oscuro	11	3	14
Total	12	12	24

Sustituyendo los valores anteriores en la fórmula de la distribución hipergeométrica de Fisher:

$$p = \frac{(10!) (14!) (12!) (12)!}{24! 1! 9! 11! 3!}$$

Tras calcular los factoriales, obtenemos el valor de probabilidad de Fisher:

$$p = 0,001$$

6.1.11 En este caso particular, la hipótesis nula (que las variedades son similares en lo que respecta al carácter flores de color azul oscuro o flores de color distinto al azul oscuro) se rechaza porque la probabilidad de Fisher calculada es mucho menor que el nivel de significación aceptable ( $p = 0,01$ ). Por consiguiente, las dos variedades (variedad 3 y variedad 4) deben declararse distintas.

## **7. SISTEMA DE COMPARACIÓN**

### **7.1 Requisitos para la aplicación del método**

7.1.1 El método de comparación es apropiado para evaluar la distinción de variedades cuando:

- se analizan datos de más de un año;
- las observaciones efectuadas en una planta (o parcela) en el segundo año de cultivo se comparan con las efectuadas por el obtentor en el primer año;
- Se han declarado diferencias entre las plantas (o parcelas) de una variedad a partir de información del ensayo del primer año del ensayo;
- los requisitos del método dependen de la prueba estadística que se utilice (por ejemplo, la prueba de la diferencia mínima significativa, la prueba de rango múltiple, la prueba ji cuadrado o la prueba exacta de Fisher).

### **7.2 Método de comparación**

7.2.1 El método de comparación para evaluar la distinción fue desarrollado para el caso en que los ensayos son realizados por el obtentor en el primer año y examinados por la autoridad examinadora en el segundo año (véase la sección 2.1 del documento TGP/6). Para evaluar si las diferencias son suficientemente uniformes, se aplica una prueba estadística (por ejemplo, la prueba de la diferencia mínima significativa, la prueba de rango múltiple, la prueba ji cuadrado o la prueba exacta de Fisher) que determina si las diferencias en el segundo año son significativas y concuerdan con la “dirección de las diferencias” declarada por los obtentores en el primer año. La elección de la prueba estadística depende del tipo de expresión del carácter en cuestión. Para que dos variedades resulten distintas al aplicar el método de comparación, las variedades deben ser significativamente diferentes en la misma dirección que declarara el obtentor en el primer año.

7.2.2 Los requisitos del método dependen de la prueba estadística que se utilice (por ejemplo, la prueba de la diferencia mínima significativa, la prueba de rango múltiple, la prueba ji cuadrado o la prueba exacta de Fisher). En lo que respecta a los caracteres cuantitativos, la prueba estadística podría basarse, por ejemplo, en una prueba unilateral basada en la diferencia mínima significativa, en caso de que haya una variedad candidata, o en una prueba unilateral basada en la prueba de rango múltiple, en caso de que haya más de una variedad candidata en el ensayo en cultivo. En los casos de caracteres pseudo-cualitativos o cualitativos, puede utilizarse la prueba ji cuadrado o la prueba exacta de Fisher, cuando se cumplan los requisitos de ambos métodos. Si bien estas pruebas son más útiles en ensayos de variedades de polinización cruzada, pueden aplicarse igualmente en ensayos de variedades autógamias y variedades de propagación vegetativa, siempre que se cumplan los requisitos pertinentes.

7.2.3 Normalmente el método de comparación se aplica en ensayos de escala relativamente pequeña, en los que el número de variedades del ensayo se limita a las variedades candidatas y a las variedades notoriamente conocidas más similares.

## **8. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD SOBRE LA BASE DE LAS PLANTAS FUERA DE TIPO**

### **8.1 Población estándar fija**

#### **8.1.1 Introducción**

La sección 4 del documento TGP/10 proporciona orientación sobre cuándo sería pertinente utilizar el método de evaluación de la homogeneidad sobre la base de las plantas fuera de tipo, utilizando una población estándar fija. Proporciona también orientación sobre la determinación de parámetros dependientes de los cultivos como el tamaño de muestra y el número aceptable de plantas fuera de tipo. Esta sección describe el método basado en las plantas fuera de tipo desde las perspectivas siguientes:

- Uso del método basado en las plantas fuera de tipo para evaluar la homogeneidad de un cultivo
- Cuestiones que deben tenerse en cuenta al determinar los parámetros dependientes de los cultivos para evaluar la homogeneidad de un cultivo mediante el método basado en las plantas fuera de tipo. Tales parámetros incluyen el tamaño de muestra, el número aceptable de plantas fuera de tipo, el número de años del ensayo (uno o más), y el uso de ensayos secuenciales.

#### **8.1.2 Uso del método para evaluar la homogeneidad de un cultivo**

8.1.2.1 Para usar el método para evaluar la homogeneidad en un cultivo, los siguientes parámetros dependientes de los cultivos se obtienen de las Directrices de Examen de la UPOV o bien se determinan basándose en la experiencia, en particular con referencia a otras Directrices de Examen de la UPOV para tipos de variedades comparables:

- un tamaño de muestra; por ejemplo, 100 plantas
- un número máximo de plantas fuera de tipo permitidas en la muestra; por ejemplo, 3 plantas
- una población estándar fija; por ejemplo, 1%
- y una probabilidad de aceptación; por ejemplo, al menos el 95%

8.1.2.2 A continuación, se toma una muestra del tamaño correcto de plantas de la variedad candidata y se cuenta el número de plantas fuera de tipo. Si este número es menor o igual que el máximo permitido, la variedad se acepta como homogénea; en caso contrario, se rechaza y se considera no homogénea. Al tomar estas decisiones pueden cometerse dos tipos de errores estadísticos. Los riesgos de cometer estos errores se controlan mediante la elección del tamaño de muestra y del número máximo permitido de plantas fuera de tipo.

8.1.2.3 La población estándar fija, o “población estándar”, es el porcentaje máximo de plantas fuera de tipo que se permitiría si pudieran examinarse todos los ejemplares de la variedad. En el ejemplo anterior es el 1%. Las variedades con menos plantas fuera de tipo menor que la población estándar son homogéneas, y aquellas con más que la población estándar son no homogéneas. No obstante, no es posible examinar todos los ejemplares de la variedad, sino que se debe examinar una muestra.

8.1.2.4 Consideremos una variedad en la que, si se examinaran todos los ejemplares, la proporción de plantas fuera de tipo no sería mayor que la población estándar. Al tomar una

muestra, pueden darse dos situaciones: la muestra no contiene un número mayor que el máximo permitido de plantas fuera de tipo, en cuyo caso la variedad se acepta como homogénea, o la muestra contiene un número mayor que el máximo permitido de plantas fuera de tipo, en cuyo caso se rechaza la homogeneidad de la variedad. En el segundo caso, se hubiera producido un error estadístico conocido como “error de tipo I”. La probabilidad de aceptar esta variedad y la probabilidad de cometer un error de tipo I guardan la relación siguiente:

$$\text{“probabilidad de aceptar”} + \text{“probabilidad de cometer un error de tipo I”} = 100\%$$

8.1.2.5 La probabilidad de aceptar o rechazar una variedad basándose en una muestra es función del tamaño de muestra, del número máximo de plantas fuera de tipo permitidas y del porcentaje de plantas fuera de tipo que se determinaría si se examinaran todos los ejemplares de la variedad. El tamaño de muestra y el número máximo de plantas fuera de tipo permitidas se eligen de modo que se satisfaga la “probabilidad de aceptación”, que es la probabilidad mínima de aceptar una variedad con una proporción de plantas fuera de tipo igual a la población estándar. Así, para el ejemplo anterior, el tamaño de muestra y el número máximo de plantas fuera de tipo se han elegido para dar una probabilidad de al menos el 95% de aceptar una variedad que tendría, si se examinaran todos los ejemplares, un 1% de plantas fuera de tipo.

8.1.2.6 Para comprobar el tamaño de muestra y el número máximo de plantas fuera de tipo en el ejemplo anterior, el lector deberá consultar el cuadro A, que, para una población estándar del 1% y una probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$  remite al cuadro 5 y la figura 5. Si consulta el cuadro 5, el lector verá que un tamaño de muestra de 100 (entre 83 y 137) y un número máximo de plantas fuera de tipo de 3 darán una probabilidad de aceptación  $> 95\%$  para una población estándar de 1%. La figura 5 proporciona información más precisa: la línea situada más debajo de las cuatro representadas da la probabilidad de error de tipo I para los diferentes tamaños de muestra y números máximos de plantas fuera de tipo indicados en el cuadro 5. Así, para una población estándar de 1%, un tamaño de muestra de 100, y permitiendo hasta 3 plantas fuera de tipo, la probabilidad de error de tipo I es del 2%, de modo que la probabilidad de aceptar, basándose en tal muestra, una variedad con la población estándar, es decir el 1%, de plantas fuera de tipo es:  $100\% - 2\% = 98\%$ , que es mayor que la “probabilidad de aceptación” (95%), según lo requerido.

8.1.2.7 En la figura 5 puede verse que conforme aumenta el tamaño de muestra, aumenta la probabilidad de error de tipo I y disminuye la probabilidad de aceptar una variedad con la población estándar, es decir el 1%, de plantas fuera de tipo, hasta que esta probabilidad se hace demasiado pequeña para que se cumpla el requisito relativo a la “probabilidad de aceptación”, y se hace necesario aumentar el número máximo de plantas fuera de tipo, de conformidad con el cuadro 5.

8.1.2.8 Del mismo modo que una variedad con una proporción de plantas fuera de tipo igual o menor que la población estándar puede aceptarse o rechazarse (error de tipo I), basándose en una muestra, también una variedad con una proporción de plantas fuera de tipo mayor que la población estándar puede aceptarse o rechazarse. La aceptación, basándose en una muestra, de una variedad con una proporción de plantas fuera de tipo mayor que la población estándar se conoce como “error de tipo II”. La probabilidad de error de tipo II es función de la heterogeneidad (o “no homogeneidad”) de la variedad. Las tres líneas situadas más arriba en la figura 5 dan las probabilidades de errores de tipo II para tres grados de heterogeneidad en función de los diferentes tamaños de muestra y números máximos de

plantas fuera de tipo indicados en el cuadro 5. Los tres grados de heterogeneidad son 2, 5 y 10 veces mayores que la población estándar, representados, respectivamente, por las líneas superior, media e inferior de las tres líneas antes mencionadas. Así, para un tamaño de muestra de 100, y permitiendo hasta 3 plantas fuera de tipo, la probabilidad de aceptar una variedad con un 2% de plantas fuera de tipo es del 86%, la de aceptar una variedad con un 5% de plantas fuera de tipo es del 26%, y la de aceptar una variedad con un 10% de plantas fuera de tipo es del 1%. En general:

- Cuanto mayor sea la heterogeneidad, menor será la probabilidad de error de tipo II.
- Para un número máximo de plantas fuera de tipo dado, conforme aumenta el tamaño de muestra disminuye la probabilidad de error de tipo II.
- La probabilidad de error de tipo II aumenta conforme aumenta el número máximo de plantas fuera de tipo.

### 8.1.3 Cuestiones que han de tenerse en cuenta si se decide utilizar este método

8.1.3.1 En la sección anterior se ha explicado que la probabilidad de aceptar una variedad con la población estándar o menos de plantas fuera de tipo, o de rechazarla (error de tipo I), y la probabilidad de aceptar una variedad con una proporción de plantas fuera de tipo mayor que la población estándar (error de tipo II), o de rechazarla, son función de la elección del tamaño de muestra y del número máximo permitido de plantas fuera de tipo. En el resto de este capítulo se describe cómo pueden utilizarse estas elecciones para equilibrar los riesgos de errores de tipo I y de tipo II, lo que se ilustrará mediante una serie de ejemplos. La descripción se amplía para incluir la situación en la que el ensayo abarca más de un año, incluida la posibilidad de utilizar ensayos secuenciales para minimizar la labor de la toma de muestras. Se ofrecen al lector cuadros y figuras de los que puede obtener las probabilidades de errores de tipo I y de tipo II para diferentes combinaciones de población estándar y de probabilidad de aceptación. Se ofrece asimismo al lector información pormenorizada sobre el modo de calcular las probabilidades directamente, tanto para ensayos de un único año como para ensayos de dos o más años, incluidos los ensayos en dos etapas.

8.1.3.2 Los dos tipos de errores descritos antes pueden resumirse en el cuadro siguiente:

<b>Decisión que se tomaría si pudieran examinarse todas las plantas de una variedad</b>	<b>Decisión basada en el número de plantas fuera de tipo en una muestra</b>	
	<b>La variedad se acepta como homogénea</b>	<b>La variedad se rechaza, por ser no homogénea</b>
La variedad es homogénea	Misma decisión	Decisión diferente: error de tipo I
La variedad no es homogénea	Decisión diferente: error de tipo II	Misma decisión

8.1.3.3 La probabilidad de error de tipo II es función del “grado de heterogeneidad” de la variedad candidata. Si es mucho más heterogénea que la población estándar, la probabilidad de error de tipo II será pequeña y habrá una probabilidad pequeña de aceptar la variedad. Si, por el contrario, la variedad candidata es sólo un poco más heterogénea que la población estándar, habrá una probabilidad alta de error de tipo II. En una variedad con un grado de homogeneidad cercano a la población estándar, la probabilidad de aceptar la variedad se aproximará a la probabilidad de aceptación.

8.1.3.4 La probabilidad de error de tipo II no es fija sino que depende del grado de heterogeneidad de la variedad candidata, y puede calcularse para diferentes grados de heterogeneidad. Como se ha mencionado antes, el presente documento proporciona probabilidades de error de tipo II para tres grados de heterogeneidad: 2, 5 y 10 veces la población estándar.

8.1.3.5 Por lo general, la probabilidad de cometer errores disminuirá si se aumenta el tamaño de la muestra y aumentará si se reduce el tamaño de la muestra.

8.1.3.6 Para un tamaño de muestra determinado, el equilibrio entre las probabilidades de cometer errores de tipo I y de tipo II puede modificarse cambiando el número de plantas fuera de tipo permitidas.

8.1.3.7 Al aumentar el número de plantas fuera de tipo permitidas, la probabilidad de error de tipo I disminuye, pero la probabilidad de error de tipo II aumenta. En cambio, si se disminuye el número de plantas fuera de tipo permitidas, aumentará la probabilidad de errores de tipo I, mientras que la probabilidad de errores de tipo II disminuirá.

8.1.3.8 Si se permite un número muy alto de plantas fuera de tipo, será posible reducir en gran medida (o hacer que sea casi cero) la probabilidad de errores de tipo I. Sin embargo, la probabilidad de cometer errores de tipo II será entonces (inaceptablemente) alta. Si sólo se permite un número muy pequeño de plantas fuera de tipo, la probabilidad de errores de tipo II será pequeña y la probabilidad de errores de tipo I (inaceptablemente) alta. El proceso de equilibrado de los errores de tipo I y de tipo II mediante la elección del tamaño de muestra y el número de plantas fuera de tipo permitidas se ilustrará a continuación mediante los ejemplos siguientes.

#### 8.1.4 Ejemplos

##### Ejemplo 1

8.1.4.1 Por experiencia, se considera razonable para el cultivo en cuestión un estándar de plantas fuera de tipo del 1%, de modo que la población estándar es del 1%. Supongamos que se efectúa un examen único con un máximo de 60 plantas. De cuadros pertinentes (elegidos para considerar diversas probabilidades de aceptación objetivo), se extraen los siguientes esquemas de decisión:

Esquema	Tamaño de la muestra	Probabilidad de aceptación objetivo *	Número máximo de plantas fuera de tipo
a	60	90%	2
b	53	90%	1
c	60	95%	2
d	60	99%	3

8.1.4.2 Se obtienen las siguientes probabilidades de error de tipo I y de error de tipo II para distintos porcentajes de plantas fuera de tipo (representados por  $P_2$ ,  $P_5$  y  $P_{10}$ , correspondientes, respectivamente, a 2, 5 y 10 veces la proporción estándar).

Esquema	Tamaño de la muestra	Número máximo de plantas fuera de tipo	Probabilidades de error (%)			
			Tipo I	Tipo II		
				$P_2 = 2\%$	$P_5 = 5\%$	$P_{10} = 10\%$
a	60	2	2	88	42	5
b	53	1	10	71	25	3
c	60	2	2	88	42	5
d	60	3	0,3	97	65	14

8.1.4.3 En el cuadro figuran cuatro esquemas diferentes que tendrían que examinarse para ver si es apropiado utilizar uno de ellos. (Los esquemas a y c son idénticos, puesto que no existe un esquema para un tamaño de muestra de 60 con una probabilidad de error de tipo I entre el 5 y el 10%). Si se toma la decisión de asegurarse de que la probabilidad de error de tipo I sea muy reducida (programa d), entonces, la probabilidad de error de tipo II se hace muy grande (97, 65 y 14%) para una variedad con un 2, 5 y 10% de plantas fuera de tipo, respectivamente. Al parecer, el mejor equilibrio entre las probabilidades de cometer los dos tipos de errores se obtiene admitiendo una planta fuera de tipo en una muestra de 53 plantas (esquema b).

### Ejemplo 2

8.1.4.4 En este ejemplo se considera un cultivo cuya población estándar se ha fijado en un 2% y del que sólo se dispone de 6 plantas para el examen.

8.1.4.5 Consultando cuadros pertinentes, se extraen los siguientes esquemas a-d:

\* Véase la sección 8.1.9.

Esquema	Tamaño de la muestra	Probabilidad de aceptación	Número máximo de plantas fuera de tipo	Probabilidad de error (%)			
				Tipo I	Tipo II		
					P <sub>2</sub> = 4%	P <sub>5</sub> = 10%	P <sub>10</sub> = 20%
a	6	90	1	0,6	98	89	66
b	5	90	0	10	82	59	33
c	6	95	1	0,6	98	89	66
d	6	99	1	0,6	98	89	66
e	6		0	11	78	53	26

8.1.4.6 El esquema e del cuadro se determina aplicando las fórmulas 1 y 2 que figuran más adelante, en el presente documento.

8.1.4.7 Este ejemplo ilustra las dificultades que surgen cuando el tamaño de la muestra es muy pequeño. La probabilidad de aceptar erróneamente una variedad no homogénea (un error de tipo II) es grande en todas las situaciones posibles. Aun cuando las cinco plantas deban ser homogéneas para que se acepte una variedad (programa b), la probabilidad de aceptar una variedad con un 20% de plantas fuera de tipo es de un 33%.

8.1.4.8 Cabe señalar que un esquema en el que las seis plantas deban ser homogéneas (programa e) presenta probabilidades de errores de tipo II ligeramente menores, pero, en este caso, la probabilidad de cometer un error de tipo I aumenta a un 11%.

8.1.4.9 Sin embargo, se puede considerar que el esquema e es la mejor opción cuando sólo se dispone de seis plantas para un examen único de un cultivo cuya población estándar se ha fijado en 2%.

### Ejemplo 3

8.1.4.10 En este ejemplo, volvemos a considerar la situación del ejemplo 1, pero suponiendo que se dispone de datos de dos años. Por tanto, la población estándar es del 1% y el tamaño de la muestra es de 120 plantas (60 plantas en cada uno de los dos años).

8.1.4.11 De cuadros pertinentes, se extraen los siguientes esquemas y probabilidades:

Esquema	Tamaño de la muestra	Probabilidad de aceptación	Número máximo de plantas fuera de tipo	Probabilidad de error (%)			
				Tipo I	Tipo II		
					P <sub>2</sub> = 2%	P <sub>5</sub> = 5%	P <sub>10</sub> = 10%
a	120	90	3	3	78	15	<0,1
b	110	90	2	10	62	8	<0,1
c	120	95	3	3	78	15	<0,1
d	120	99	4	0.7	91	28	1

8.1.4.12 En este caso, el mejor equilibrio entre las probabilidades de cometer los dos tipos de errores se obtiene mediante el esquema c, es decir, aceptando, tras los dos años, un total de tres plantas fuera de tipo entre las 120 plantas examinadas.

8.1.4.13 Otra posibilidad sería establecer un procedimiento de ensayo secuencial, en dos etapas. El procedimiento para este caso puede determinarse aplicando las fórmulas 3 y 4 que figuran más adelante, en el presente documento.

8.1.4.14 Pueden obtenerse los siguientes esquemas:

Esquema	Tamaño de la muestra	Probabilidad de aceptación	Número máximo para la aceptación después del año 1	Número máximo antes del rechazo en el año 1	Número máximo para la aceptación después de 2 años
e	60	90	nunca puede aceptarse	2	3
f	60	95	nunca puede aceptarse	2	3
g	60	99	nunca puede aceptarse	3	4
h	58	90	1	2	2

8.1.4.15 Aplicando las fórmulas 3, 4 y 5, se obtienen las siguientes probabilidades de errores:

Esquema	Probabilidad de error (%)				Probabilidad de examen en un segundo año
	Tipo I	Tipo II			
		P <sub>2</sub> = 2%	P <sub>5</sub> = 5%	P <sub>10</sub> = 10%	
e	4	75	13	0,1	100
f	4	75	13	0,1	100
g	1	90	27	0,5	100
h	10	62	9	0,3	36

8.1.4.16 Los esquemas e y f ambos dan por resultado una probabilidad del 4% para el rechazo de una variedad homogénea (error de tipo I) y una probabilidad del 13% para la aceptación de una variedad con un 5% de plantas fuera de tipo (error de tipo II). La decisión es la siguiente:

- No aceptar nunca la variedad después del primer año
- Más de 2 plantas fuera de tipo en el primer año: rechazar la variedad y suspender el ensayo
- De 0 a 2 (incluidos) plantas fuera de tipo en el primer año: efectuar un segundo año de ensayo
- A lo sumo 3 plantas fuera de tipo después de los 2 años: aceptar la variedad
- Más de 3 plantas fuera de tipo después de los 2 años: rechazar la variedad

8.1.4.17 Otra posibilidad sería elegir uno de los esquemas a y h, pero el esquema g parece tener una probabilidad demasiado grande de errores de tipo II en comparación con la probabilidad de errores de tipo I. Por ejemplo, hay una probabilidad de rechazo de una variedad homogénea (error de tipo I) del 1% y una probabilidad de aceptación de una variedad con un 5% de plantas fuera de tipo (error de tipo II) del 27%.

8.1.4.18 El esquema h tiene la ventaja de permitir con frecuencia tomar una decisión final después del primer ensayo (año) pero, como consecuencia de ello, es mayor la probabilidad de cometer errores de tipo I. En este caso, hay una probabilidad de rechazo de una variedad homogénea (error de tipo I) del 10% y una probabilidad de aceptación de una variedad con un 5% de plantas fuera de tipo (error de tipo II) del 9%.

#### Ejemplo 4

8.1.4.19 En este ejemplo, se parte de la suposición de que la población estándar es del 3% y de que se dispone de 8 plantas en cada uno de los dos años.

8.1.4.20 De cuadros pertinentes, se deduce lo siguiente:

Esquema	Tamaño de la muestra	Probabilidad de aceptación	Número máximo de plantas fuera de tipo	Probabilidad de error (%)			
				Tipo I	Tipo II		
					P <sub>2</sub> = 6%	P <sub>5</sub> = 15%	P <sub>10</sub> = 30%
a	16	90	1	8	78	28	3
b	16	95	2	1	93	56	10
c	16	99	3	0,1	99	79	25

8.1.4.21 En este caso, el mejor equilibrio entre las probabilidades de cometer los dos tipos de errores se obtiene con el esquema a.

8.1.4.22 Puede utilizarse el método “Seedcalc” de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA) para calcular las probabilidades de los errores de tipo I y de tipo II. “Seedcalc” puede obtenerse en la dirección de Internet siguiente: [http://www.seedtest.org/en/stats\\_tool\\_box\\_content---1--1143.html](http://www.seedtest.org/en/stats_tool_box_content---1--1143.html).

#### 8.1.5 Introducción a los cuadros y figuras

8.1.5.1 La sección Cuadros y figuras (sección 8.1.10 de la parte II) contiene 7 parejas de cuadro y figura correspondientes a diferentes combinaciones de población estándar y probabilidad de aceptación. Son diseños destinados a aplicarse a un único ensayo de plantas fuera de tipo. En el cuadro A figura un resumen general de las tablas y figuras.

8.1.5.2 Cada cuadro muestra los números máximos de plantas fuera de tipo (k) con los correspondientes intervalos de tamaños de muestra (n) para la población estándar y probabilidad de aceptación dadas. Por ejemplo, en el cuadro 1 (población estándar = 10%, probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$ ), para un valor máximo fijado en 2 plantas fuera de tipo, el tamaño de muestra (n) correspondiente está en el intervalo de 11 a 22. Asimismo, si el número máximo de plantas fuera de tipo (k) es 10, el tamaño de muestra (n) correspondiente que debe usarse debería estar en el intervalo 126 a 141.

8.1.5.3 Para tamaños de muestra pequeños, la misma información se muestra gráficamente en las figuras correspondientes (figuras 1 a 7), en las cuales se muestra el riesgo efectivo de rechazo de una variedad homogénea y la probabilidad de aceptación de una variedad con una proporción real de plantas fuera de tipo dos veces (2P), 5 veces (5P) y 10 veces (10P) superior a la población estándar. (Para facilitar la lectura de la figura, se han conectado mediante líneas los riesgos correspondientes a los distintos tamaños de muestra, aunque sólo es posible calcular la probabilidad para cada tamaño de muestra concreto).

Cuadro A. Resumen general de los cuadros y figuras 1 a 7.

Población estándar %	Probabilidad de aceptación %	Véase el cuadro y la figura n.º
10	>95	1
5	>95	2
3	>95	3
2	>95	4
1	>95	5
0,5	>95	6
0,1	>95	7

8.1.5.4 Para utilizar los cuadros, se sugiere el siguiente procedimiento:

- a) Elegir la población estándar pertinente.
- b) Elegir el programa de decisión que presente el mejor equilibrio entre las probabilidades de errores.

7.1.5.5 En la sección Ejemplos se muestra cómo utilizar los cuadros y figuras.

#### 8.1.6 Método aplicado a un examen único

Los cálculos matemáticos se basan en la distribución binomial y es común utilizar las siguientes expresiones:

- a) El porcentaje de plantas fuera de tipo que se ha de aceptar en un caso determinado se llama “población estándar” y se representa mediante la letra P.
- b) La “probabilidad de aceptación” es la probabilidad de aceptar una variedad con un P% de plantas fuera de tipo. Sin embargo, debido a que el número de plantas fuera de tipo es discontinuo, la probabilidad efectiva de aceptar una variedad homogénea varía con el tamaño de la muestra, pero será siempre superior o igual que la “probabilidad de aceptación”. La probabilidad de aceptación se indica generalmente mediante la notación “ $100 - \alpha$ ”, donde  $\alpha$  es la probabilidad, en tanto por ciento, de rechazar una variedad con un P% de plantas fuera de tipo (es decir, la probabilidad de error de tipo I). En la práctica, muchas variedades tendrán menos de un P% de plantas fuera de tipo y, por lo tanto, para esas variedades, el error de tipo I será en realidad inferior a  $\alpha$ .
- c) El número de plantas examinadas en una muestra aleatoria se denomina tamaño de la muestra y se expresa mediante la letra n.
- d) El número máximo de plantas fuera de tipo toleradas en una muestra aleatoria de tamaño n se expresa mediante la letra k.

- e) La probabilidad de aceptar una variedad con un número de plantas fuera de tipo mayor que P%, por ejemplo, P<sub>q</sub>% de plantas fuera de tipo, se expresa mediante la letra β o mediante β<sub>q</sub>.
- f) Las fórmulas matemáticas para el cálculo de las probabilidades son las siguientes:

$$\alpha = 100 - 100 \sum_{i=0}^k \binom{n}{i} P^i (1-P)^{n-i} \quad (1)$$

$$\beta_q = 100 \sum_{i=0}^k \binom{n}{i} P_q^i (1-P_q)^{n-i} \quad (2)$$

P y P<sub>q</sub> se expresan aquí como proporciones, es decir, el valor en tanto por ciento dividido entre cien.

### 8.1.7 Método aplicado a más de un examen único (anual)

#### *8.1.7.1 Introducción*

8.1.7.1.1 Con frecuencia, una variedad candidata se cultiva en dos (o tres años). En esos casos, se plantea la cuestión de cómo combinar la información sobre la homogeneidad de cada uno de los años. Se describen dos métodos:

- a) Adoptar la decisión después de dos (o tres) años sobre la base del número de plantas examinadas y del número de plantas fuera de tipo registradas (examen combinado).
- b) Examinar el resultado del primer año para comprobar si los datos sustentan una decisión clara (rechazo o aceptación). Si la decisión no es clara, se procederá a realizar el segundo año del examen y se decidirá tras el segundo año (examen en dos etapas).

8.1.7.1.2 Sin embargo, existen otras posibilidades (por ejemplo, adoptar una decisión cada año y tomar la decisión final de rechazar la variedad candidata si ésta presenta demasiadas plantas fuera de tipo en los dos años, o en dos de los tres años). Además, surgen ciertas complicaciones cuando se efectúa un examen de más de un año. Por ello, se recomienda consultar a un experto en estadística cuando se han de efectuar exámenes de dos (o más) años.

#### *8.1.7.2 Prueba combinada*

El tamaño de muestra en el examen i es n<sub>i</sub>, de manera que después de efectuado el último examen, el tamaño de muestra total es n = Σn<sub>i</sub>. Se establece un programa de decisión procediendo exactamente como si ese tamaño de muestra total se hubiese obtenido en un examen único. Así, se compara el número total de plantas fuera de tipo registradas durante los exámenes con el número máximo de plantas fuera de tipo permitido por el programa de decisión elegido.

#### *8.1.7.3 Examen en dos etapas*

8.1.7.3.1 El método aplicado en el examen en dos etapas es el siguiente: En el primer año, se toma una muestra de tamaño n. La variedad candidata se rechaza si se registra un número de

plantas fuera de tipo mayor que a  $r_1$  y se acepta si se registra un número de plantas fuera de tipo menor que  $a_1$ . En caso contrario, se pasa al segundo año y se toma una muestra de tamaño  $n$  (como en el primer año) y se rechaza la variedad candidata si el número total de plantas fuera de tipo registradas en los dos años del examen es mayor que  $r$ . En caso contrario, se acepta la variedad candidata. Los riesgos finales y el tamaño esperado de la muestra en este procedimiento pueden calcularse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \alpha &= P(K_1 > r_1) + P(K_1 + K_2 > r \mid K_1) \\ &= P(K_1 > r_1) + P(K_2 > r - K_1 \mid K_1) \\ &= \sum_{i=r_1+1}^n \binom{n}{i} P^i (1-P)^{n-i} + \sum_{i=\alpha_1}^{r_1} \binom{n}{i} P^i (1-P)^{n-i} \sum_{j=r-i+1}^n \binom{n}{j} P^j (1-P)^{n-j} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \beta_q &= P(K_1 < \alpha_1) + P(K_1 + K_2 \leq r \mid K_1) \\ &= P(K_1 < \alpha_1) + P(K_2 \leq r - K_1 \mid K_1) \\ &= \sum_{i=0}^{\alpha_1-1} \binom{n}{i} P_q^i (1-P_q)^{n-i} + \sum_{i=\alpha_1}^{r_1} \binom{n}{i} P_q^i (1-P_q)^{n-i} \sum_{j=0}^{r-i} \binom{n}{j} P_q^j (1-P_q)^{n-j} \end{aligned} \quad (4)$$

$$n_p = n \left( 1 + \sum_{i=\alpha_1}^{r_1} \binom{n}{i} P^i (1-P)^{n-i} \right) \quad (5)$$

donde:

$P$  = población estándar

$\alpha$  = probabilidad efectiva de error de tipo I para  $P$

$\beta_q$  = probabilidad efectiva de error de tipo II para  $q \cdot P$

$n_p$  = tamaño de muestra previsto

$r_1, \alpha_1$  y  $r$  son parámetros de decisión

$P_q$  =  $q$  veces la proporción estándar =  $q \cdot P$

$K_1$  y  $K_2$  son los números de plantas fuera de tipo encontradas en los años 1 y 2, respectivamente.

Los parámetros de decisión  $\alpha_1, r_1$  y  $r$  pueden elegirse según los siguientes criterios:

- $\alpha$  debe ser inferior a  $\alpha_0$ , donde  $\alpha_0$  es el error de tipo I máximo, es decir,  $\alpha_0$  es 100 menos la probabilidad de aceptación requerida
- $\beta_q$  (para  $q=5$ ) debería ser lo más pequeña posible pero no inferior a  $\alpha_0$
- si  $\beta_q$  (para  $q=5$ ) <  $\alpha_0$ ,  $n_p$  debería ser lo más pequeño posible.

8.1.7.3.2 Sin embargo, hay otras estrategias posibles. No se reproducen aquí cuadros y figuras porque puede haber varios programas de decisión diferentes que satisfagan un determinado conjunto de riesgos. Se recomienda consultar a un experto en estadística cuando sea necesario efectuar un ensayo en dos etapas u otros ensayos secuenciales.

#### 8.1.7.4 *Ensayos secuenciales*

El ensayo en dos etapas antes mencionado es un tipo de ensayo secuencial en el que el resultado de la primera etapa determina si es necesario continuar el ensayo y pasar a una segunda etapa. Pueden ser aplicables otros tipos de ensayos secuenciales y puede ser pertinente considerarlos si el trabajo práctico permite la evaluación de las plantas fuera de tipo en ciertas etapas del examen. Los programas de decisión para esos métodos pueden establecerse de muchas maneras diferentes y se recomienda consultar a un experto en estadística cuando vayan a aplicarse métodos secuenciales.

#### 8.1.8 Observación sobre el equilibrado de los errores de tipo I y los errores de tipo II

8.1.8.1 No es posible, por lo general, obtener probabilidades de error de tipo I que sean cifras exactas preseleccionadas debido a que el número de plantas fuera de tipo es discontinuo. El programa a del ejemplo 2 con 6 plantas anteriormente citado demostraba que no era posible obtener un  $\alpha$  del 10%: el  $\alpha$  efectivo resultó ser del 0,6%. Los cambios en el tamaño de la muestra harán variar los valores de  $\alpha$  y de  $\beta$ . La figura 3, a modo de ejemplo, muestra que  $\alpha$  se acerca a sus valores nominales para ciertos tamaños de muestra y que éste es también el tamaño de muestra en el que  $\beta$  es relativamente pequeño.

8.1.8.2 Los tamaños de muestra grandes son generalmente beneficiosos. Con la misma probabilidad de aceptación, una muestra de mayor tamaño proporcionará generalmente una probabilidad proporcionalmente menor de errores de tipo II. Los tamaños de muestra pequeños dan lugar a probabilidades altas de aceptar variedades no homogéneas. Por consiguiente, el tamaño de muestra debería elegirse de modo que el nivel de errores de tipo II fuera aceptablemente bajo. No obstante, los aumentos pequeños del tamaño de muestra pueden no ser siempre beneficiosos. Por ejemplo, un tamaño de muestra de cinco da  $\alpha = 10\%$  y  $\beta_2 = 82\%$ , mientras que un tamaño de muestra de seis da  $\alpha = 0,6\%$  y  $\beta_2 = 98\%$ . Como se ve, los tamaños de muestra que proporcionan valores de  $\alpha$  muy cercanos a la probabilidad de aceptación son los tamaños de muestra mayores del intervalo con un número máximo de plantas fuera de tipo especificado. Por consiguiente, deberán usarse los tamaños de muestra mayores del intervalo de tamaños de muestra con un número máximo de plantas fuera de tipo especificado.

#### 8.1.9 Definición de los términos y símbolos estadísticos

Los términos y símbolos estadísticos utilizados tienen las siguientes definiciones:

*Población estándar.* El porcentaje de plantas fuera de tipo que se debería aceptar si fuera posible examinar todos los ejemplares de una variedad. La población estándar es fija para el cultivo en cuestión y se basa en la experiencia.

*Probabilidad de aceptación.* La probabilidad de aceptar una variedad homogénea con un P% de plantas fuera de tipo, siendo P es la proporción estándar. Sin embargo, cabe señalar que la probabilidad efectiva de aceptar una variedad homogénea será siempre mayor o igual que la probabilidad de aceptación indicada en los cuadros y figuras. La probabilidad de aceptar una

variedad homogénea y la probabilidad de error de tipo I suman 100%. Por ejemplo, si la probabilidad de error de tipo I es 4%, entonces la probabilidad de aceptar una variedad homogénea es  $100 - 4 = 96\%$  (véase la figura 1, para  $n=50$ ). El error de tipo I está indicado en el gráfico de las figuras mediante la línea dentada entre 0 y el límite superior del error de tipo I (por ejemplo 10 en la figura 1). Los programas de decisión se definen de tal manera que la probabilidad efectiva de aceptar una variedad homogénea es siempre mayor o igual que la probabilidad de aceptación indicada en el cuadro.

*Error de tipo I:* Error que consiste en rechazar una variedad homogénea.

*Error de tipo II:* Error que consiste en aceptar una variedad demasiado poco homogénea.

P Población estándar

$P_q$  Porcentaje que se supone verdadero de plantas fuera de tipo en una variedad no homogénea.  $P_q = q \cdot P$ .

En el presente documento  $q$  adopta los valores 2, 5 o 10. Éstos son solamente 3 ejemplos que ayudan a visualizar los errores de tipo II, pero el porcentaje efectivo de plantas fuera de tipo en una variedad puede tomar cualquier valor. Por ejemplo, podemos examinar distintas variedades que tengan, de hecho, 1,6%, 3,8%, 0,2%,... de plantas fuera de tipo.

$n$  Tamaño de la muestra

$k$  Número máximo de plantas fuera de tipo permitidas

$\alpha$  Probabilidad de error de tipo I

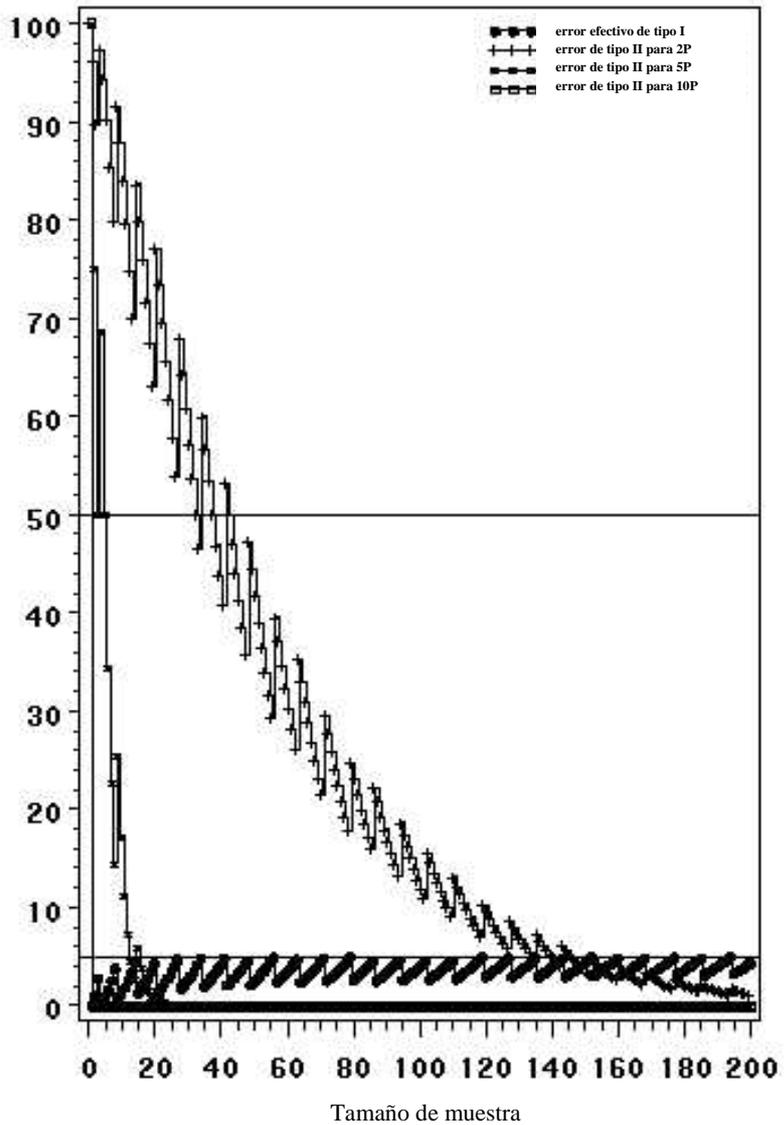
$\beta$  Probabilidad de error de tipo II

8.1.10 Cuadros y figuras

**Cuadro y figura 1:** Población estándar = 10%  
 Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$   
 n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

n	a	k
1	3	1
4	8	2
9	14	3
15	20	4
21	27	5
28	34	6
35	41	7
42	48	8
49	56	9
57	63	10
64	71	11
72	79	12
80	86	13
87	94	14
95	102	15
103	110	16
111	119	17
120	127	18
128	135	19
136	143	20
144	152	21
153	160	22
161	168	23
169	177	24
178	185	25
186	194	26
195	200	27

Probabilidad de error



Cuadro y figura 2:

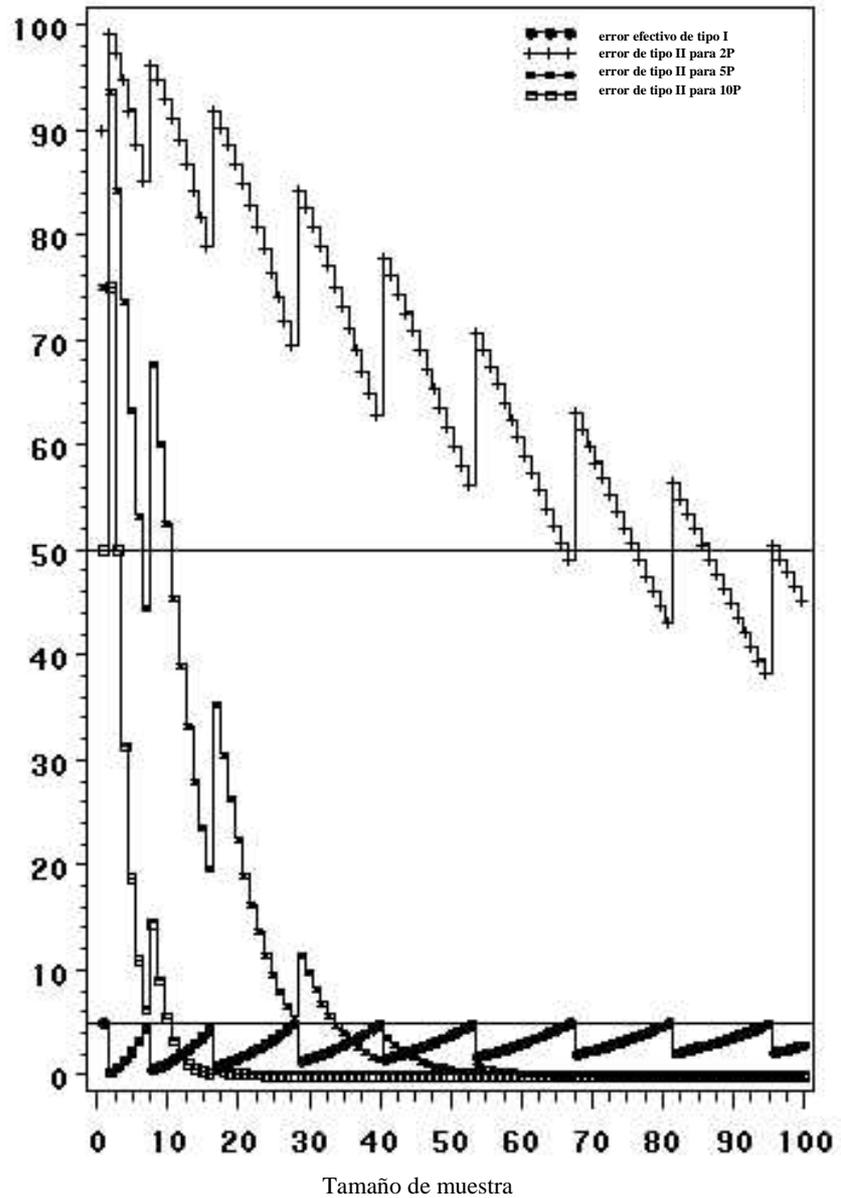
Población estándar = 5%

Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$

n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

	n	k
	1	0
	2	1
	8	2
	17	3
	29	4
	41	5
	54	6
	68	7
	82	8
	96	9
	111	10
	126	11
	141	12
	156	13
	172	14
	188	15
	204	16
	220	17
	236	18
	252	19
	269	20
	285	21
	301	22
	318	23
	335	24
	352	25
	368	26
	385	27
	402	28
	419	29
	436	30
	453	31
	470	32
	488	33
	505	34
	522	35
	539	36
	557	37
	574	38
	591	39
	609	40
	626	41
	644	42
	661	43
	679	44
	697	45
	714	46
	732	47
	749	48
	767	49
	785	50
	803	51
	820	52
	838	53
	856	54
	874	55
	892	56
	910	57
	927	58
	945	59
	963	60
	981	61

Probabilidad de error



Cuadro y figura 3:

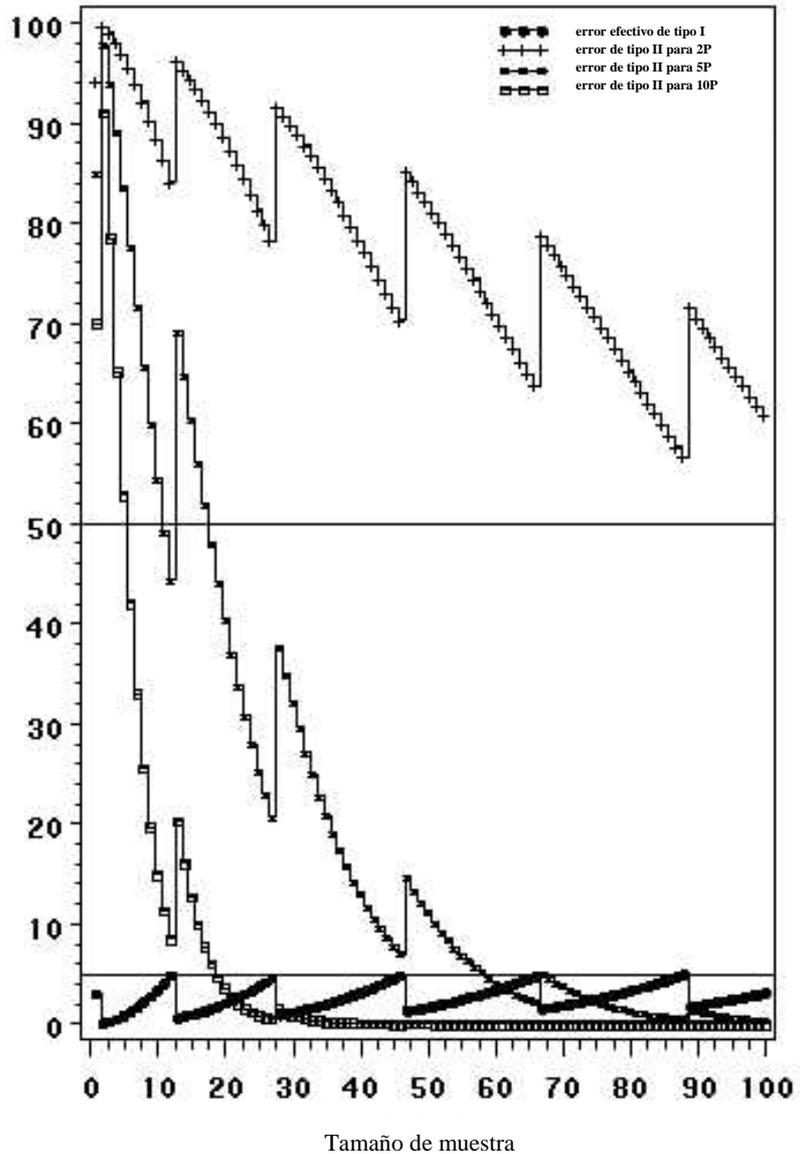
Población estándar = 3%

Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$

n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

n	k
1	0
2	1
13	2
28	3
47	4
67	5
89	6
111	7
135	8
159	9
183	10
208	11
233	12
259	13
285	14
311	15
338	16
364	17
391	18
418	19
445	20
473	21
500	22
528	23
555	24
583	25
611	26
639	27
667	28
696	29
724	30
752	31
781	32
810	33
838	34
867	35
896	36
925	37
953	38
982	39
1011	40
1041	41
1070	42
1099	43
1128	44
1157	45
1187	46
1216	47
1245	48
1275	49
1304	50
1334	51
1363	52
1393	53
1423	54
1452	55
1482	56
1512	57
1542	58
1571	59
1601	60
1631	61
1661	62
1691	63
1721	64
1751	65
1781	66
1811	67
1841	68
1871	69

Probabilidad de error



Cuadro y figura 4:

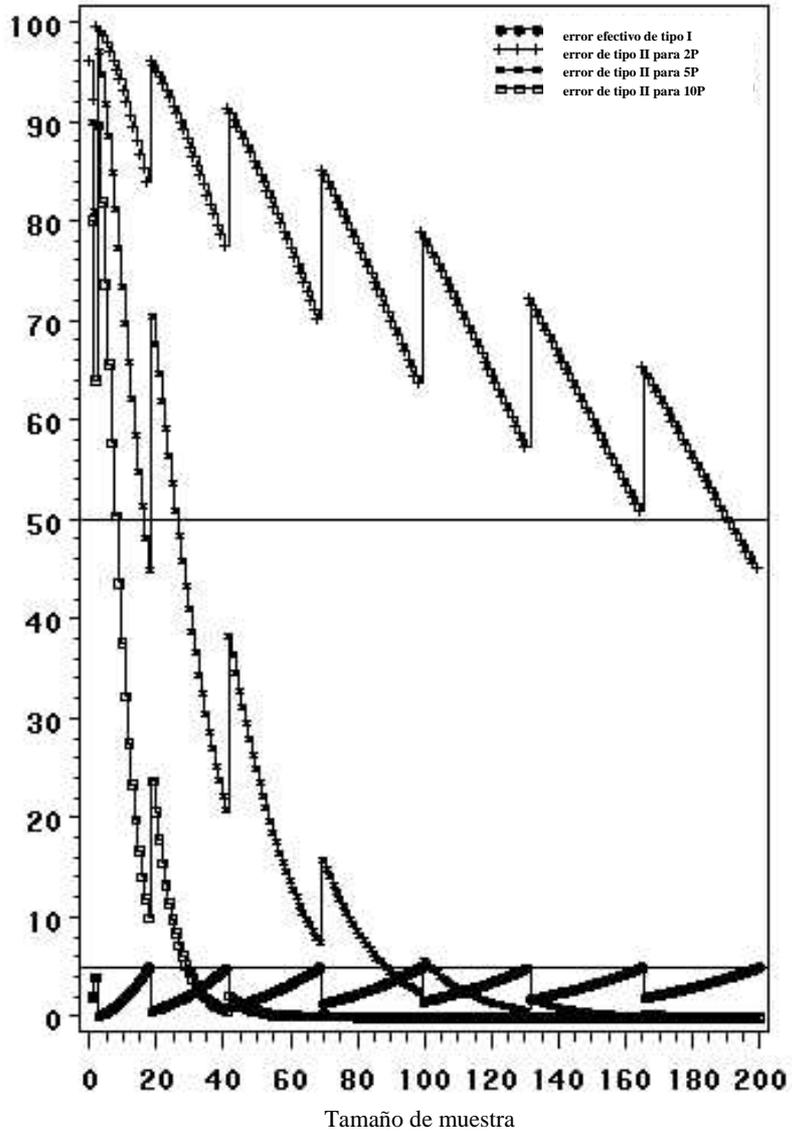
Población estándar = 2%

Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$

n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

n	a	k
1	2	0
3	18	1
19	41	2
42	69	3
70	99	4
100	131	5
132	165	6
166	200	7
201	236	8
237	273	9
274	310	10
311	348	11
349	386	12
387	425	13
426	464	14
465	504	15
505	544	16
545	584	17
585	624	18
625	665	19
666	706	20
707	747	21
748	789	22
790	830	23
831	872	24
873	914	25
915	956	26
957	998	27
999	1040	28
1041	1083	29
1084	1126	30
1127	1168	31
1169	1211	32
1212	1254	33
1255	1297	34
1298	1340	35
1341	1383	36
1384	1427	37
1428	1470	38
1471	1514	39
1515	1557	40
1558	1601	41
1602	1645	42
1646	1689	43
1690	1732	44
1733	1776	45
1777	1820	46
1821	1864	47
1865	1909	48
1910	1953	49
1954	1997	50
1998	2000	51

Probabilidad de error



Cuadro y figura 5:

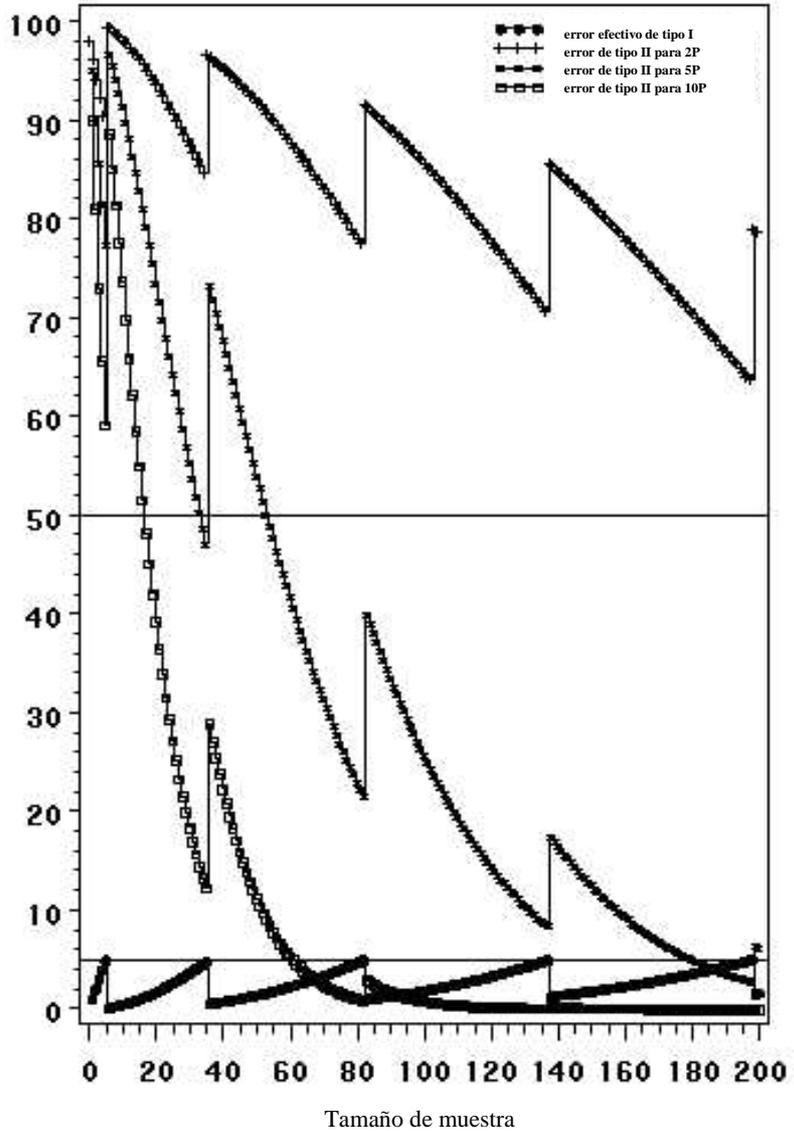
Población estándar = 1%

Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$

n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

n	a	k
1	5	0
6	35	1
36	82	2
83	137	3
138	198	4
199	262	5
263	329	6
330	399	7
400	471	8
472	544	9
545	618	10
619	694	11
695	771	12
772	848	13
849	927	14
928	1006	15
1007	1085	16
1086	1166	17
1167	1246	18
1247	1328	19
1329	1410	20
1411	1492	21
1493	1575	22
1576	1658	23
1659	1741	24
1742	1825	25
1826	1909	26
1910	1993	27
1994	2078	28
2079	2163	29
2164	2248	30
2249	2333	31
2334	2419	32
2420	2505	33
2506	2591	34
2592	2677	35
2678	2763	36
2764	2850	37
2851	2937	38
2938	3000	39

Probabilidad de error



Cuadro y figura 6:

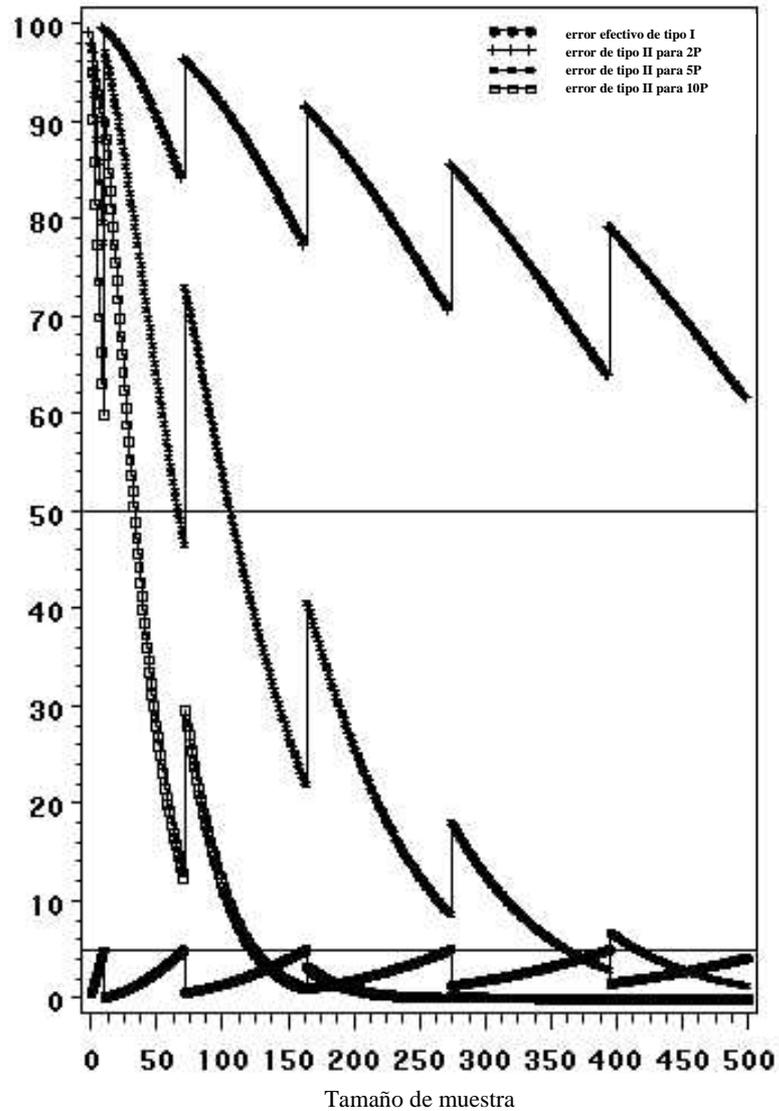
Población estándar = .5%

Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$

n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

	n	k
1	a	10
11	a	71
72	a	164
165	a	274
275	a	395
396	a	523
524	a	658
659	a	797
798	a	940
941	a	1086
1087	a	1235
1236	a	1386
1387	a	1540
1541	a	1695
1696	a	1851
1852	a	2009
2010	a	2169
2170	a	2329
2330	a	2491
2492	a	2653
2654	a	2817
2818	a	2981
2982	a	3000

Probabilidad de error



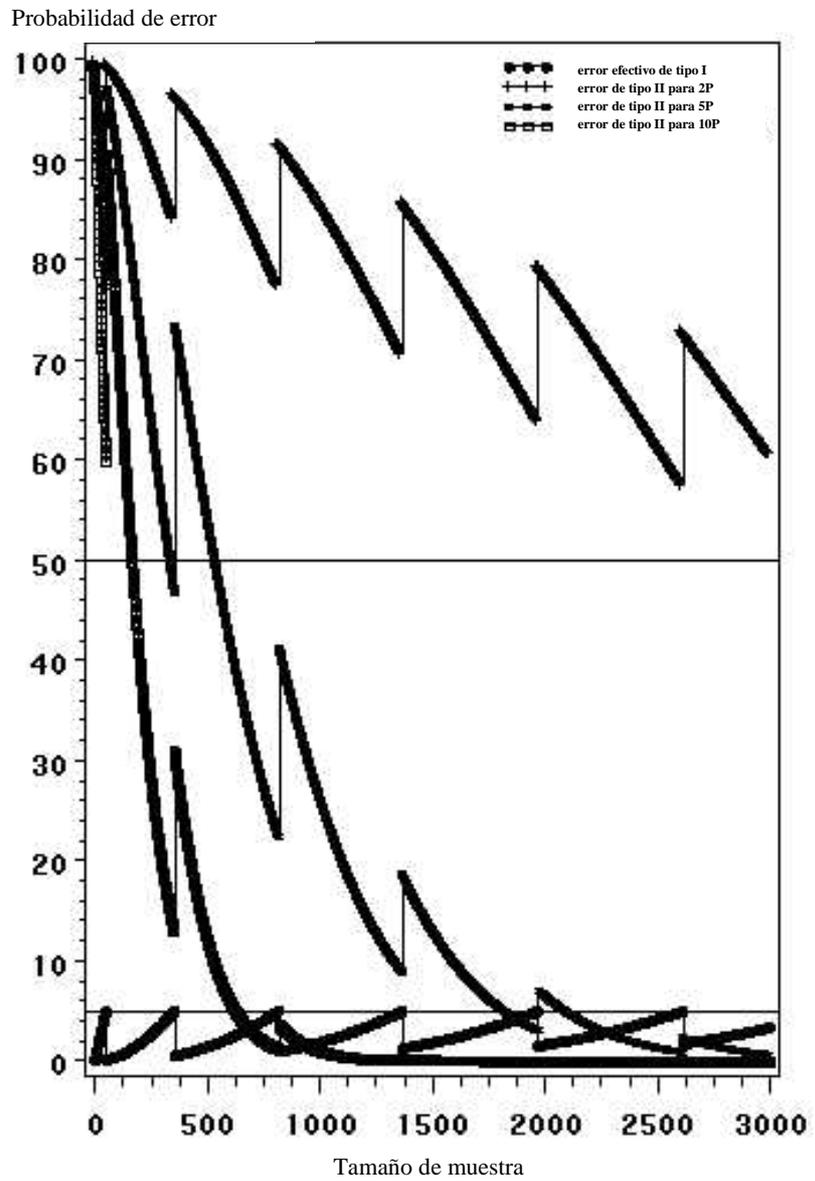
Cuadro y figura 7:

Población estándar = .1%

Probabilidad de aceptación  $\geq 95\%$

n = tamaño de muestra, k = número máximo de plantas fuera de tipo

	n	k
1	a	51
52	a	355
356	a	818
819	a	1367
1368	a	1971
1972	a	2614
2615	a	3000



## 9. CRITERIO COMBINADO INTERANUAL DE HOMOGENEIDAD (COYU)

### 9.1 Resumen de requisitos para la aplicación del método

- para caracteres cuantitativos;
- cuando se realizan observaciones de plantas individuales durante dos o más años; y
- cuando hay algunas diferencias entre plantas de una variedad, que representan una variación cuantitativa más que la presencia de plantas fuera de tipo.
- Se recomienda que la estimación de la varianza de las variedades comparables del análisis COYU tenga al menos 20 grados de libertad.

Las variedades comparables son variedades del mismo tipo dentro de la misma especie, o de una especie estrechamente relacionada, que hayan sido examinadas anteriormente, considerándolas lo suficientemente homogéneas (véase la sección 5.2 “Determinación del nivel de variación aceptable” del documento TGP/10).

### 9.2 Resumen

9.2.1 En el documento TGP/10 se explica que cuando no resulte apropiado el método basado en las plantas fuera de tipo para evaluar la homogeneidad, puede utilizarse el método de las desviaciones (o “desvíos”) estándar. Asimismo, afirma lo siguiente con respecto a la determinación del nivel de variación aceptable:

“5.2 Determinación del nivel de variación aceptable

“5.2.1.1 La comparación entre la variedad candidata y las variedades comparables se lleva a cabo sobre la base de los desvíos estándar, calculados a partir de las observaciones realizadas en plantas individuales. La UPOV ha propuesto varios métodos estadísticos para evaluar la homogeneidad de los caracteres cuantitativos medidos. Uno de los métodos, que tiene en cuenta las variaciones entre los años, es el método del análisis combinado interanual de homogeneidad (COYU). La comparación entre la variedad candidata y las variedades comparables se efectúa sobre la base de las desviaciones estándar, calculados a partir de las observaciones realizadas en plantas individuales. Mediante este procedimiento COYU, se calcula un límite de tolerancia sobre la base de variedades comparables ya conocidas; es decir, la homogeneidad se evalúa por medio de un límite de tolerancia relativa sobre la base de las variedades del mismo ensayo con una expresión comparable de los caracteres.”

9.2.2 La homogeneidad suele estar relacionada con la expresión de un carácter. Por ejemplo, en algunas especies, las variedades de plantas grandes tienden a ser menos homogéneas en tamaño que las de plantas pequeñas. Si se aplica el mismo baremo a todas las variedades, es posible que algunas deban satisfacer baremos muy estrictos mientras que otras deban satisfacer baremos menos rigurosos. El COYU aborda este problema teniendo en cuenta, antes de establecer un baremo, la posible relación entre la homogeneidad, expresada por el DE entre plantas individuales, y la expresión del carácter, expresada por la media de la variedad.

9.2.3 El método conlleva la clasificación de las variedades comparables y candidatas en función del valor medio del carácter. Se toma el DE de cada variedad y se le resta el DE medio de las variedades más similares. Mediante este procedimiento, se obtiene, para cada variedad, una medida de su homogeneidad expresada con relación a la de variedades similares. La expresión “variedades comparables” se refiere aquí a variedades establecidas que se han incluido en el ensayo en cultivo y cuya expresión de los caracteres objeto de examen es comparable.

9.2.4 Los resultados de cada año se combinan para formar un cuadro con los DE ajustados por variedades y años, al que se aplica un análisis de la varianza. El DE medio ajustado de la variedad candidata se compara con la media de las variedades empleando una prueba de la t estándar.

9.2.5 El COYU, realmente, compara la homogeneidad, con respecto al carácter examinado, de una variedad candidata con la de las variedades más similares. Las principales ventajas del COYU son que todas las variedades pueden compararse sobre la misma base y que la información de varios años de ensayo puede combinarse en un solo criterio.

### **9.3 Introducción**

9.3.1 La homogeneidad se evalúa en ocasiones midiendo caracteres individuales y calculando el desvío estándar (DE) de las mediciones realizadas en plantas individuales en una parcela. La media de los DE de todas las repeticiones proporciona una medida única de la homogeneidad de cada variedad del ensayo.

9.3.2 En esta sección se describe un procedimiento conocido como criterio combinado interanual de homogeneidad (criterio COYU). El criterio COYU evalúa la homogeneidad de una variedad con respecto a variedades comparables—basándose en los DE de ensayos de varios años. Una particularidad del método es que toma en cuenta las posibles correlaciones entre la expresión de un carácter y la homogeneidad.

9.3.3 Esta sección describe:

- los principios en que se basa el método COYU;
- las recomendaciones de la UPOV sobre la aplicación del método COYU a especies individuales;
- los aspectos matemáticos del método, con un ejemplo que ilustra su aplicación;
- el programa informático disponible para aplicar el procedimiento.

### **9.4 El criterio COYU**

9.4.1 La aplicación del criterio COYU conlleva las etapas indicadas a continuación, las cuales se aplican a cada carácter, de uno en uno. Se proporciona una descripción pormenorizada en la sección 9.6 de la parte II, más adelante.

- Cálculo de los DE intraparcelarios para cada variedad y cada año.

- Transformación de los DE, sumando 1 a los valores y tomando logaritmos neperianos (naturales).
- Estimación de la relación entre el DE y la media en cada año. El método usado se basa en las medias móviles de los logaritmos de los DE de las variedades comparables ordenadas en función de sus medias.
- Ajustes de los logaritmos de los DE de las variedades candidatas y comparables basándose en las relaciones estimadas entre los DE y las medias en cada año.
- Promediado interanual de los valores ajustados de los logaritmos de los DE.
- Cálculo del DE máximo permisible (el criterio de homogeneidad), basado en una estimación de la variabilidad de la homogeneidad de las variedades comparables obtenida del cuadro análisis de la varianza de variedades y años de los valores ajustados de los logaritmos de los DE.
- Comparación de los valores ajustados de los logaritmos de los DE de las variedades candidatas con el DE máximo permisible.

9.4.2 El criterio COYU presenta las ventajas siguientes:

- Proporciona un método para evaluar la homogeneidad que es en gran medida independiente de las variedades examinadas.
- El método combina información de varios ensayos para formar un criterio único de homogeneidad.
- Las decisiones basadas en el método suelen mantenerse estables a lo largo del tiempo.
- El modelo estadístico subyacente refleja las fuentes principales de variación que influyen sobre la homogeneidad.
- Los baremos se basan en la homogeneidad de las variedades comparables.

## **9.5 Utilización del método COYU**

9.5.1 El método COYU se recomienda para evaluar la homogeneidad de variedades:

- para caracteres cuantitativos;
- cuando se realizan observaciones de plantas individuales durante dos o más años; y
- cuando hay algunas diferencias entre plantas de una variedad, que representan una variación cuantitativa más que la presencia de plantas fuera de tipo.

9.5.2 Una variedad se considera homogénea con respecto a un carácter si el valor ajustado del logaritmo de su DE medio no supera el valor establecido como criterio de homogeneidad.

9.5.3 El nivel de probabilidad, “p”, utilizado para determinar el criterio de homogeneidad depende del cultivo. Se indican niveles de probabilidad recomendados en la sección 9.11.

9.5.4 El ensayo de homogeneidad puede realizarse en dos o en tres años. Si el ensayo se realiza normalmente en tres años, es posible decidir aceptar o rechazar tempranamente una variedad usando una selección adecuada de valores de probabilidad.

9.5.5 Se recomienda que la estimación de la varianza de las variedades comparables del análisis COYU tenga al menos 20 grados de libertad. Esto corresponde a 11 variedades comparables para un análisis COYU basado en un ensayo de dos años, y a 8 variedades de referencia para ensayos de tres años. En algunas situaciones, puede no haber suficientes variedades comparables para alcanzar los grados de libertad mínimos recomendados. Están elaborándose recomendaciones para tales casos.

## **9.6 Aspectos matemáticos**

Paso 1: Cálculo del desvío estándar intraparcelario

9.6.1 El cálculo de los desvíos estándar intraparcelarios para cada variedad en cada año se realiza promediando, para las diferentes repeticiones, los desvíos estándar de los datos correspondientes a las plantas individuales de cada parcela,  $DE_j$ :

$$DE_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{(n-1)}}$$

$$DE = \frac{\sum_{j=1}^r DE_j}{r}$$

donde  $y_{ij}$  es la observación correspondiente a la planta  $i$  en la parcela  $j$ ,  $\bar{y}_j$  es la media de las observaciones de la parcela  $j$ ,  $n$  es el número de plantas medidas en cada parcela y  $r$  es el número de repeticiones.

Paso 2: Transformación de los DE

9.6.2 Transformación de los DE, sumando 1 y tomando logaritmos neperianos. La finalidad de esta transformación es facilitar el análisis estadístico de las DE.

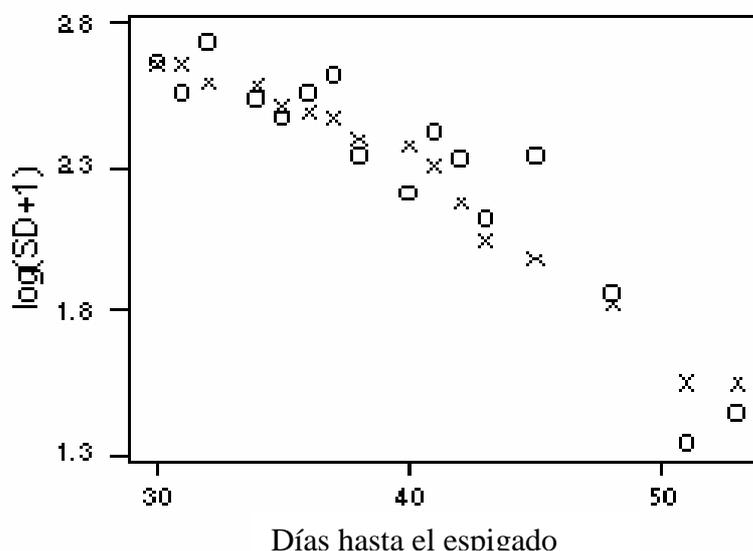
Paso 3: Estimación de la relación entre el DE y la media en cada año

9.6.3 Para cada año por separado, se calcula la forma de la relación media entre el DE y la media del carácter de las variedades comparables. El método de cálculo es la media móvil de 9 puntos. Se ordenan primero los logaritmos de los DE (la variable  $Y$ ) y las medias (la variable  $X$ ) de cada variedad en función de los valores de la media. Para cada punto ( $X_i, Y_i$ ), se calcula el valor de tendencia,  $T_i$ , como la media de los valores  $Y_{i-4}, Y_{i-3}, \dots, Y_{i+4}$  donde  $i$  representa el rango del valor  $X$  y  $Y_i$  es el correspondiente valor  $Y$ . Para los valores de  $X$  con rango 1 y 2, se toma como valor de tendencia la media de los primeros tres valores. En el caso del valor de la  $X$  con rango 3, se toma la media de los primeros cinco valores, y para el

valor  $X$  con rango 4 se utiliza la media de los primeros siete valores. Se emplea un procedimiento similar para los cuatro valores de  $X$  de mayor rango.

9.6.4 Un sencillo ejemplo, en la figura 1, ilustra este procedimiento para 16 variedades. Los puntos señalados con “o” en la figura 1 representan los logaritmos de los DE y las medias correspondientes de 16 variedades. Los puntos señalados con “x” son las medias móviles de 9 puntos, que se calculan tomando, para cada variedad, la media de los logaritmos de los DE de la variedad y de las cuatro variedades adyacentes, a uno y otro lado. En los extremos, la media móvil se calcula como media de 3, 5, o 7 valores.

**Figura 1: Asociación entre los DE y la media del carácter “días hasta el espigado” en variedades de dactilo** (se usa el símbolo “o” para la DE observada y el símbolo “x” para la media móvil de la DE)



Paso 4: Ajuste de los valores de DE transformados basándose en la relación entre DE estimados y las medias

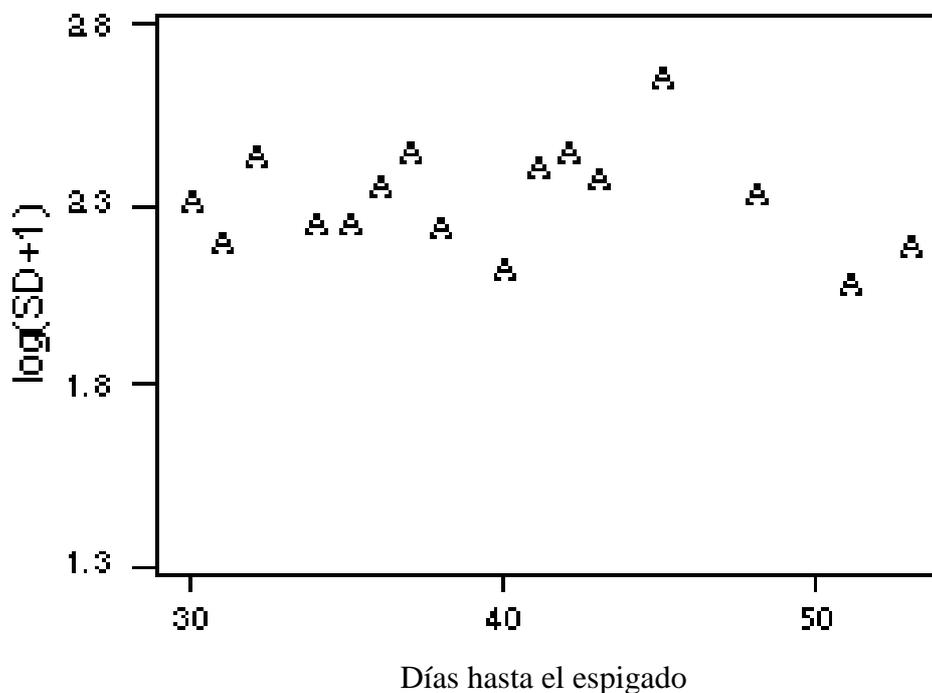
9.6.5 Una vez que se han determinado los valores de tendencia para las variedades comparables, se estiman los valores de tendencia para las candidatas mediante interpolación lineal entre los valores de tendencia de las dos variedades comparables más cercanas en lo que respecta a sus medias para el carácter. Así, si el valor de tendencia de las dos variedades comparables a cada lado de la candidata son  $T_i$  y  $T_{i+1}$ , y el valor observado para la candidata es de  $X_c$  donde  $X_i \leq X_c \leq X_{i+1}$ , entonces el valor de tendencia de la candidata se obtiene por medio de:

$$T_c = \frac{(X_c - X_i)T_{i+1} + (X_{i+1} - X_c)T_i}{X_{i+1} - X_i}$$

9.6.6 Para ajustar los DE en función de su relación con la media del carácter, se sustraen los valores de tendencia estimados de las DE transformadas y se vuelve a sumar la media total.

9.6.7 En la figura 2 se ilustran los resultados correspondientes al ejemplo sencillo con 16 variedades.

**Figura 2: Ajuste para la asociación entre DE y media del carácter “días hasta el espigado” en variedades de dactilo** (el símbolo “A” representa la DE ajustada)



Paso 5: Cálculo del criterio de homogeneidad

9.6.8 Se calcula una estimación de la variabilidad de la homogeneidad de las variedades comparables aplicando un análisis unidireccional de la varianza a los valores ajustados de los logaritmos de los DE, es decir, tomando los años como factor clasificador. La variabilidad (V) se estima mediante el término residual de este análisis de la varianza.

9.6.9 El desvío estándar máximo permitido (el criterio de homogeneidad, CH), para k años de ensayos, es:

$$CH_p = DE_r + t_p \sqrt{V \left( \frac{1}{k} + \frac{1}{Rk} \right)}$$

donde  $DE_r$  es la media de los valores ajustados de los logaritmos de los DE de las variedades comparables, V es la varianza de los valores ajustados de los logaritmos de los DE después de restar los efectos anuales,  $t_p$  es el valor de t de una cola para la probabilidad p con los grados de libertad de V, k es el número de años y R es el número de variedades comparables.

## **9.7 Decisiones tempranas en un ensayo de tres años**

9.7.1 Pueden tomarse decisiones sobre la homogeneidad transcurridos dos o tres años, dependiendo del cultivo. Si el criterio COYU se aplica normalmente en tres años, es posible decidir aceptar o rechazar tempranamente una variedad candidata usando una selección adecuada de valores de probabilidad.

9.7.2 El nivel de probabilidad para el rechazo temprano de una variedad candidata transcurridos dos años debería ser el mismo que el aplicado en el ensayo completo de tres años. Por ejemplo, si para el método COYU en tres años se aplica un nivel de probabilidad del 0,2%, una variedad candidata puede rechazarse a los dos años si su homogeneidad supera el criterio COYU con un nivel de probabilidad del 0,2%.

9.7.3 El nivel de probabilidad para la aceptación temprana de una variedad candidata transcurridos dos años debería ser mayor que el aplicado para el ensayo completo de tres años. Por ejemplo, si para el método COYU en tres años se aplica un nivel de probabilidad del 0,2%, una variedad candidata puede aceptarse a los dos años si su homogeneidad no supera el criterio COYU con un nivel de probabilidad del 2%.

9.7.4 Es posible que algunas variedades no sean rechazadas ni aceptadas transcurridos dos años. En el ejemplo expuesto en la sección 9.8, una variedad podría tener una homogeneidad que supere el criterio COYU con nivel de probabilidad del 2% pero no el criterio con nivel de probabilidad del 0,2%. En este caso, tales variedades deben evaluarse nuevamente a los tres años.

## **9.8 Ejemplo de cálculos del método COYU**

9.8.1 Se muestra aquí un ejemplo de la aplicación del método COYU para ilustrar los cálculos que deben realizarse. Los datos del ejemplo son de días hasta el espigado para raygrás inglés durante tres años para 11 variedades comparables (R1 a R11) y una candidata (C1). Los datos se recogen en el cuadro 1.

**Cuadro 1: Datos del ejemplo: días hasta el espigado en raygrás inglés**

Variedad	Medias del carácter			DE intraparceldarias			Ln (DE+1)		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
R1	38	41	35	8,5	8,8	9,4	2,25	2,28	2,34
R2	63	68	61	8,1	7,6	6,7	2,21	2,15	2,04
R3	69	71	64	9,9	7,6	5,9	2,39	2,15	1,93
R4	71	75	67	10,2	6,6	6,5	2,42	2,03	2,01
R5	69	78	69	11,2	7,5	5,9	2,50	2,14	1,93
R6	74	77	71	9,8	5,4	7,4	2,38	1,86	2,13
R7	76	79	70	10,7	7,6	4,8	2,46	2,15	1,76
R8	75	80	73	10,9	4,1	5,7	2,48	1,63	1,90
R9	78	81	75	11,6	7,4	9,1	2,53	2,13	2,31
R10	79	80	75	9,4	7,6	8,5	2,34	2,15	2,25
R11	76	85	79	9,2	4,8	7,4	2,32	1,76	2,13
C1	52	56	48	8,2	8,4	8,1	2,22	2,24	2,21

9.8.2 En el cuadro 2 se muestran los cálculos para ajustar los DE en el año 1. El valor de tendencia para la variedad candidata C1 se obtiene interpolando entre los valores para las variedades R1 y R2, ya que la media del carácter para C1 (es decir, 52) está entre las medias correspondientes a R1 y R2 (es decir, 38 y 63). Así:

$$T_c = \frac{(X_c - X_i)T_{i+1} + (X_{i+1} - X_c)T_i}{X_{i+1} - X_i} = \frac{(52 - 38) \times 2,28 + (63 - 52) \times 2,28}{63 - 38} = 2,28$$

**Cuadro 2: Datos del ejemplo: cálculo de los valores ajustados de ln (DE+1) para el año 1**

Variedad	Medias ordenadas (X)	ln (DE+1) (Y)	Valor de tendencia T	ln (DE+1) ajustado
R1	38	2,25	$(2,25 + 2,21 + 2,39)/3 = 2,28$	$2,25 - 2,28 + 2,39 = 2,36$
R2	63	2,21	$(2,25 + 2,21 + 2,39)/3 = 2,28$	$2,21 - 2,28 + 2,39 = 2,32$
R3	69	2,39	$(2,25 + , , + 2,42)/5 = 2,35$	$2,39 - 2,35 + 2,39 = 2,42$
R5	69	2,50	$(2,25 + , , + 2,48)/7 = 2,38$	$2,50 - 2,38 + 2,39 = 2,52$
R4	71	2,42	$(2,25 + , , + 2,32)/9 = 2,38$	$2,42 - 2,38 + 2,39 = 2,43$
R6	74	2,38	$(2,21 + , , + 2,53)/9 = 2,41$	$2,38 - 2,41 + 2,39 = 2,36$
R8	75	2,48	$(2,39 + , , + 2,34)/9 = 2,42$	$2,48 - 2,42 + 2,39 = 2,44$
R7	76	2,46	$(2,42 + , , + 2,34)/7 = 2,42$	$2,46 - 2,42 + 2,39 = 2,43$
R11	76	2,32	$(2,48 + , , + 2,34)/5 = 2,43$	$2,32 - 2,43 + 2,39 = 2,28$
R9	78	2,53	$(2,32 + 2,53 + 2,34)/3 = 2,40$	$2,53 - 2,40 + 2,39 = 2,52$
R10	79	2,34	$(2,32 + 2,53 + 2,34)/3 = 2,40$	$2,34 - 2,40 + 2,39 = 2,33$
Media	70	2,39		
C1	52	2,22	2,28	$2,22 - 2,28 + 2,39 = 2,32$

9.8.3 En el cuadro 3 se muestran los resultados del ajuste para los tres años.

**Cuadro 3: Datos del ejemplo: valores ajustados de ln (DE+1) para los tres años con las medias interanuales**

Variedad	Medias interanuales		ln (DE+1) ajustados		
	Medias del carácter	ln (DE+1) ajustados	Año 1	Año 2	Año 3
R1	38	2,26	2,36	2,13	2,30
R2	64	2,10	2,32	2,00	2,00
R3	68	2,16	2,42	2,10	1,95
R4	71	2,15	2,43	1,96	2,06
R5	72	2,20	2,52	2,14	1,96
R6	74	2,12	2,36	1,84	2,16
R7	75	2,14	2,43	2,19	1,80
R8	76	2,02	2,44	1,70	1,91
R9	78	2,30	2,52	2,16	2,24
R10	78	2,22	2,33	2,23	2,09
R11	80	2,01	2,28	1,78	1,96
Media	70	2,15	2,40	2,02	2,04
C1	52	2,19	2,32	2,08	2,17

9.8.4 El cuadro 4 muestra los datos del análisis de la varianza (basado únicamente en las variedades comparables) de los valores ajustados de los logaritmos de los DE. De este análisis se obtiene la estimación de la variabilidad de la homogeneidad de las variedades comparables:  $V=0,0202$ .

**Cuadro 4: Datos del ejemplo: cuadro de análisis de la varianza de los valores ajustados de  $\ln (DE+1)$**

Fuente	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios
Año	2	1,0196	0,5098
Variedades (medias intranuales) (=residual)	30	0,6060	<b>0,0202</b>
Total	32	1,6256	

9.8.5 El criterio de homogeneidad para un nivel de probabilidad del 0,2% se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$CH_p = DE_r + t_p \sqrt{V \left( \frac{1}{k} + \frac{1}{Rk} \right)} = 2,15 + 3,118 \times \sqrt{0,0202 \times \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{3 \times 11} \right)} = 2,42$$

donde  $t_p$  se toma del cuadro de t de Student con  $p=0,002$  (una cola) y 30 grados de libertad.

9.8.6 Las variedades con medias ajustadas de  $\ln (DE+ 1)$  menores, o iguales, que 2,42 pueden considerarse homogéneas con respecto a este carácter. La variedad candidata C1 cumple este criterio.

## **9.9 Aplicación del COYU**

El criterio COYU puede aplicarse utilizando el módulo COYU del programa DUST para el análisis estadístico de datos de DHE, que puede solicitarse a la Dra. Sally Watson (correo-e: [info@afbini.gov.uk](mailto:info@afbini.gov.uk)), o bien obtenerse en: <http://www.afbini.gov.uk/dustnt.htm>.

## **9.10 Programa informático para el COYU**

### 9.10.1 Programa informático DUST

9.10.1.1 El cuadro A1 muestra el resultado principal del módulo para el COYU del programa DUST. Es un resumen de los resultados de los análisis de los DE intraparcelarios correspondientes a 49 variedades de raygrás inglés examinadas durante tres años. En el cuadro A2 se proporciona información complementaria, con datos sobre el análisis de un único carácter: la fecha de espigado. Obsérvese que el cuadro de análisis de la varianza que

se proporciona tiene una fuente de variación adicional; la varianza,  $V$ , de los valores ajustados de  $\ln DE$  se calcula combinando las variaciones de las fuentes variedades y residual.

9.10.1.2 En el cuadro A1, el DE ajustado de cada variedad se expresa como porcentaje del DE medio para todas las variedades comparables. La cifra 100 indica una variedad con homogeneidad media; una variedad con un valor menor que 100 indica buena homogeneidad; y una variedad con un valor mucho mayor que 100 indica poca homogeneidad para ese carácter. La falta de homogeneidad en un carácter se corrobora generalmente por la falta de homogeneidad en caracteres conexos.

9.10.1.3 Los símbolos “\*” y “+” a la derecha de los porcentajes identifican a las variedades cuyos DE exceden el criterio COYU después de tres y dos años, respectivamente. El símbolo “:” indica que tras dos años, la homogeneidad no es todavía aceptable y debería considerarse someter la variedad a ensayo un año adicional. Obsérvese que para este ejemplo se utiliza un nivel de probabilidad del 0,2% para el ensayo de tres años. Para la toma de decisiones tempranas, a los dos años, se utilizan niveles de probabilidad del 2% y el 0,2% para aceptar y rechazar variedades, respectivamente. Se determinó, mediante la aplicación del criterio COYU, que todas las variedades candidatas tenían homogeneidad aceptable para los 8 caracteres.

9.10.1.4 Los números a la derecha de los porcentajes corresponden al número de años en que se supera el criterio de homogeneidad intranual. Este criterio ha sido sustituido ahora por el COYU.

9.10.1.5 El programa puede trabajar con un conjunto completo de datos o puede aceptar lagunas en algunos valores, por ejemplo los correspondientes a variedades que no están presentes un año.

TGP/8/1: Parte II: 9: CRITERIO COMBINADO INTERANUAL  
DE HOMOGENEIDAD (COYU)

página 121

**Cuadro A1: Ejemplo de resultado resumen del programa COYU**

\*\*\*\* ANÁLISIS COMB. INTERANUAL DE HOMOGENEIDAD \*\*\*\*

DESV. EST. INTRAPARCELARIAS COMO % DE LA MEDIA DE LAS  
DESV. EST DE LAS VAR. DE REFERENCIA

	NÚMERO DE CARÁCTER					
	5	60	8	10	11	
R1	100	100	95	100	97	97
R2	105	106	98	99	104	101
R3	97	103	92	103	96	98
R4	102	99	118	2	105	101
R5	102	99	116	3	95	104
R6	103	102	101	99	97	104
R7	100	95	118	2	102	1
R8	97	98	84	95	97	93
R9	97	105	87	99	101	99
R10	104	100	96	105	1	96
R11	99	96	112	99	101	98
R12	100	97	99	1	103	105
R13	95	96	101	100	96	101
R14	105	103	90	97	101	97
R15	102	100	1	89	105	1
R16	99	98	92	1	98	102
R17	97	101	98	101	101	95
R18	99	97	96	96	102	99
R19	103	101	105	102	100	98
R20	104	99	93	91	100	102
R21	97	94	103	97	100	102
R22	101	110*	112	107	1	103
R23	94	101	107	99	104	97
R24	99	97	95	99	100	103
R25	104	1	103	93	1	99
R26	98	97	111	2	96	102
R27	102	99	106	1	99	103
R28	101	106	90	95	101	101
R29	101	105	83	102	94	93
R30	99	96	97	99	95	100
R31	99	102	107	107	1	102
R32	98	93	111	2	102	98
R33	104	102	1	107	1	103
R34	95	94	82	95	97	96
R35	100	102	95	100	99	94
R36	99	98	111	1	99	100
R37	100	107	1	107	101	100
R38	95	97	102	107	1	97
R39	99	99	90	98	101	100
R40	104	102	112	1	100	101
C1	100	1	106	113	2	104
C2	103	101	98	97	101	109
C3	97	93	118	2	98	99
C4	102	101	106	103	99	101
C5	100	104	99	103	100	107
C6	101	102	103	100	103	107
C7	96	98	106	97	102	103
C8	101	105	1	116	2	103
C9	99	99	90	2	91	97

LEYENDA DE CARACTERES

5	ALT EN PRIMAV.	60	ALT. NAT. EN
8	FECHA DE ESPIGADO	10	ALT. EN F. ES
11	ANCH. EN F. ESPIG.	14	LONG. HOJA B
15	ANCH. H. BANDEROLA	24	LONG. ESPIGA

SÍMBOLOS:

- \* - DE SUPERA CRITERIO COYU TRAS 3 AÑOS
- + - DE SUPERA CRITERIO COYU TRAS 2 AÑOS
- : - DE NO ACEPTABLE TODAVÍA TRAS 2 AÑOS
- 1,2,3 - NÚMERO DE OCASIONES EN QUE LA DE INT

TGP/8/1: Parte II: 9: CRITERIO COMBINADO INTERANUAL  
DE HOMOGENEIDAD (COYU)

página 122

**Cuadro A2: Ejemplo de información adicional sobre el examen DHE para el carácter  
“Época de emergencia de la inflorescencia” (car. 8)**

\*\*\*\* ANÁLISIS DE LA HOMOGENEIDAD DE LAS DESV. ESTÁNDAR (DE) LAS PLANTAS \*\*

VARIEDAD	INTERANUALES			AÑOS INDIVIDUALES								
	MEDIA CAR	LN DE AJUST.	LN DE NO AJ.	---	MEDIA CAR.	---	---	LN (DE+1)	---	---	LN (DE+1)	AJ.---
REFERENCIA				88	89	90	88	89	90	88	89	90
R3	38,47	1,823	2,179	39,07	41,21	35,12	2,02	2,18	2,34X	1,73	1,78	1,96
R5	50,14	2,315	2,671	48,19	53,69	48,54	2,52X	2,74X	2,76X	2,23	2,33	2,39
R16	59,03	1,833	2,179	57,25	63,33	56,50	2,28X	2,24	2,01	1,96	1,73	1,81
R26	63,44	2,206	2,460	61,00	66,53	62,81	2,50X	2,75X	2,13	2,18	2,33	2,11
R9	63,99	1,739	1,994	62,92	68,32	60,72	2,21	2,03	1,74	1,96	1,64	1,62
R12	66,12	1,964	2,086	67,89	65,35	65,12	2,07	2,58X	1,60	1,97	2,14	1,78
R33	67,58	2,124	2,254	66,66	71,54	64,53	2,55X	2,26	1,95	2,32	1,92	2,12
R1	67,87	1,880	1,989	69,07	70,64	63,90	1,60	2,45X	1,93	1,60	2,08	1,96
R20	68,74	1,853	1,893	67,17	74,31	64,74	2,05	1,95	1,68	1,92	1,75	1,89
R25	68,82	1,853	1,905	68,28	72,38	65,81	1,83	2,39X	1,49	1,75	2,09	1,72
R18	69,80	1,899	1,853	68,61	75,22	65,58	1,88	1,84	1,84	1,82	1,80	2,08
R30	70,53	1,919	1,864	70,36	75,08	66,15	2,04	1,84	1,71	2,00	1,78	1,98
R13	70,63	2,005	2,000	70,23	75,00	66,66	1,97	2,03	2,01	1,91	1,86	2,24
R32	71,49	2,197	2,238	70,03	74,98	69,44	2,32X	2,45X	1,94	2,31	2,27	2,01
R34	72,09	1,630	1,545	71,32	77,35	67,59	1,57	1,49	1,58	1,54	1,58	1,78
R40	72,24	2,222	2,178	72,71	75,07	68,95	2,25X	2,26	2,03	2,29	2,16	2,22
R23	72,40	2,122	2,058	69,72	78,39	69,10	2,11	2,14	1,93	2,16	2,14	2,06
R29	72,66	1,657	1,580	73,13	75,80	69,04	1,46	1,63	1,65	1,47	1,69	1,81
R7	73,19	2,341	2,342	72,23	75,80	71,52	2,62X	2,30X	2,10	2,61	2,30	2,11
R24	73,19	1,888	1,796	74,00	76,37	69,20	1,62	1,84	1,93	1,71	1,91	2,04
R19	73,65	2,083	2,049	73,32	76,06	71,57	1,96	2,05	2,14	1,96	2,13	2,16
R2	73,85	1,946	1,897	72,98	78,16	70,42	1,76	1,96	1,97	1,79	2,02	2,03
R31	74,23	2,119	2,012	73,73	78,23	70,71	2,05	1,86	2,13	2,25	1,94	2,17
R37	74,38	2,132	2,020	74,87	76,95	71,32	1,97	2,04	2,04	2,23	2,11	2,06
R11	74,60	2,224	2,150	73,87	78,07	71,87	2,21	2,08	2,16	2,36	2,10	2,21
R38	74,76	2,029	1,916	76,11	78,24	69,93	1,84	2,15	1,75	1,98	2,24	1,87
R8	74,83	1,677	1,593	74,27	78,77	71,45	1,62	1,55	1,61	1,75	1,64	1,64
R15	75,54	1,760	1,682	75,72	78,68	72,22	1,53	1,79	1,73	1,64	1,84	1,80
R10	75,64	1,915	1,847	73,47	79,24	74,23	1,87	1,66	2,00	1,99	1,78	1,98
R22	75,68	2,228	2,133	74,57	79,17	73,32	2,18	2,21	2,01	2,40	2,26	2,03
R14	75,84	1,797	1,688	74,53	79,56	73,43	1,54	1,63	1,90	1,70	1,76	1,93
R17	76,13	1,942	1,832	75,34	79,09	73,96	1,65	2,04	1,81	1,90	2,10	1,83
R39	76,83	1,781	1,676	75,49	80,50	74,50	1,56	1,51	1,96	1,72	1,70	1,92
R35	77,22	1,886	1,773	76,67	80,85	74,15	1,73	1,67	1,92	1,88	1,85	1,93
R4	77,78	2,349	2,268	76,80	81,22	75,33	2,36X	2,13	2,31X	2,52	2,33	2,20
R36	77,98	2,209	2,173	78,97	79,85	75,11	2,13	2,15	2,25X	2,24	2,21	2,18
R6	78,73	2,009	1,935	77,53	82,88	75,78	2,00	1,75	2,06	2,03	2,09	1,91
R27	78,78	2,116	2,098	77,61	80,03	78,69	1,80	2,25	2,24X	1,87	2,39	2,09
R28	79,41	1,785	1,722	78,28	81,99	77,97	1,68	1,43	2,05	1,79	1,67	1,89
R21	80,52	2,045	1,950	77,43	85,02	79,11	1,98	1,75	2,13	2,07	2,09	1,98
CANDIDATAS												
C1	64,03	2,252	2,438	63,85	63,33	64,92	2,49X	2,81X	2,02	2,25	2,29	2,21
C2	86,11	1,940	1,837	84,83	88,63	84,85	1,79	1,71	2,01	1,90	2,05	1,87
C3	82,04	2,349	2,248	82,26	87,45	76,40	2,37X	2,03	2,35X	2,48	2,37	2,20
C4	78,63	2,104	2,033	78,01	82,17	75,72	2,05	2,01	2,04	2,15	2,27	1,90
C5	72,99	1,973	1,869	71,98	79,40	67,59	1,95	1,78	1,88	1,93	1,90	2,08
C6	83,29	2,050	1,947	84,10	85,57	80,21	2,05	1,69	2,10	2,16	2,03	1,96
C7	83,90	2,100	1,997	84,12	87,99	79,60	1,93	1,95	2,11	2,04	2,29	1,97
C8	83,50	2,304	2,201	82,43	85,98	82,08	2,27X	2,00	2,34X	2,38	2,33	2,20
C9	51,89	1,788	2,157	52,35	55,77	47,56	1,83	2,34X	2,31X	1,52	1,91	1,93

MEDIA DE VAR. DE												
REFERENCIA	71,47	1,988		70,78	74,97	68,65	1,97	2,03	1,96	1,99	1,99	1,99

CRITERIO DE HOMOGENEIDAD	NIVEL DE PROB.	
	RECHAZO A LOS 3 AÑOS	2,383
RECHAZO A LOS 2 AÑOS	2,471	0,002
ACEPT. A LOS 2 AÑOS	2,329	0,020

\*\*\*\* ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LN(DE+1) AJUST. \*\*\* \*

	GL	CM	COC. F
AÑOS	2	0,06239	
VARIETADES	39	0,11440	5,1
RESIDUAL	78	0,02226	
TOTAL	119	0,05313	

SÍMBOLOS

- \* - DE SUPERA EL CRITERIO COYU TRAS 3 AÑOS.
- + - DE SUPERA EL CRITERIO COYU TRAS 2 AÑOS.
- : - DE NO ACEPTABLE TODAVÍA CON RESP. A CRITERIO COYU TRAS 2 AÑOS.
- X - DE SUPERA POR UN FACTOR DE 1,265 LA MEDIA DE LAS VAR. DE REFERENCIA

### **9.11 Sistemas utilizados para la aplicación del COYU**

Los cuatro casos siguientes son los que, en general, representan las diferentes situaciones que pueden darse al aplicar el COYU en el examen DHE:

Caso A: El ensayo se realiza en 2 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del segundo ciclo (un ciclo de cultivo puede ser un año y se designa a continuación mediante el término “ciclo”)

Caso B: El ensayo se realiza en 3 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del tercer ciclo

Caso C: El ensayo se realiza en 3 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del tercer ciclo, pero una variedad puede aceptarse tras el segundo ciclo

Caso D: El ensayo se realiza en 3 ciclos de cultivo independientes y las decisiones se toman después del tercer ciclo, pero una variedad puede aceptarse o rechazarse tras el segundo ciclo

En las figuras 1 a 4 se ilustran, respectivamente, las etapas en las que se toman las decisiones en los casos A a D. Se muestra también en estas figuras los diversos niveles de probabilidad estándar ( $p_{h2}$ ,  $p_{nh2}$  y  $p_{h3}$ ) necesarios para calcular el criterio del COYU en cada caso. Se definen del modo siguiente:

<b>Nivel de probabilidad</b>	<b>Utilizado para decidir si una variedad es:</b>
$P_{h2}$	homogénea en un carácter, tras el segundo ciclo
$p_{nh2}$	no homogénea tras el segundo ciclo
$P_{h3}$	homogénea en un carácter, tras el tercer ciclo

En las figuras 1 a 4 el criterio del COYU calculado usando, por ejemplo, el nivel de probabilidad  $p_{h2}$  se designa  $HCp_{h2}$ , etc. La letra “H” representa la media ajustada de  $\ln(DE+1)$  correspondiente a una variedad con respecto a un carácter.

El cuadro 1 resume los diversos niveles de probabilidad estándar necesarios para calcular los criterios COYU en cada uno de los casos A a D. Por ejemplo, en el caso B sólo se necesita un nivel de probabilidad ( $p_{h3}$ ), mientras que en el C se necesitan dos ( $p_{h2}$  y  $p_{h3}$ ).

Cuadro 1	COYU			
	CASO	$P_{h2}$	$p_{nh2}$	$P_{h3}$
A				
B				
C				
D				

Figura 1. Decisiones de aplicación del criterio COYU y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso A

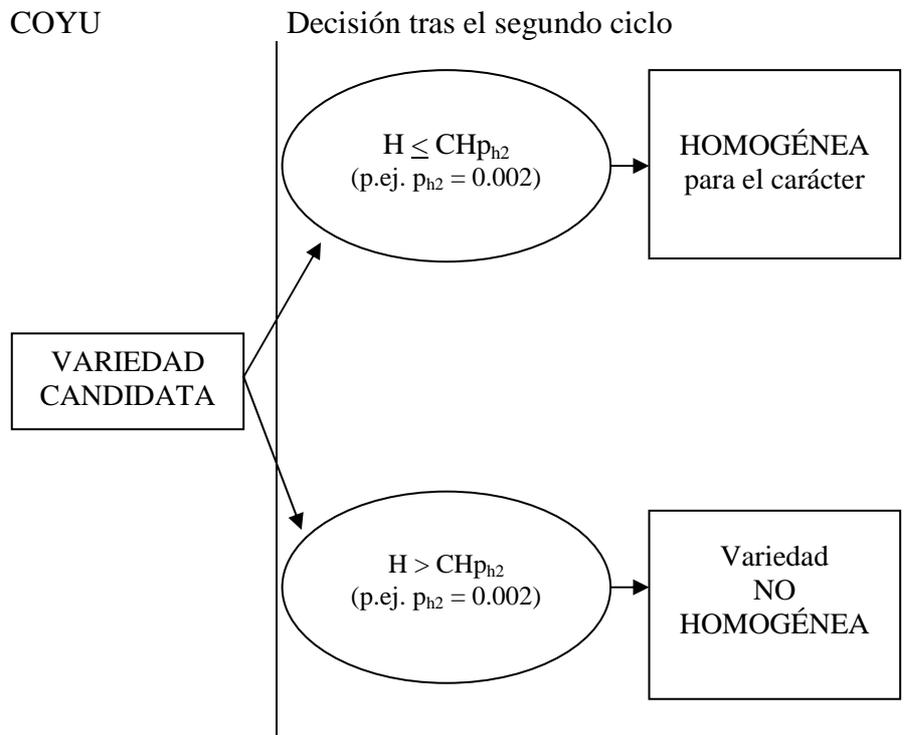
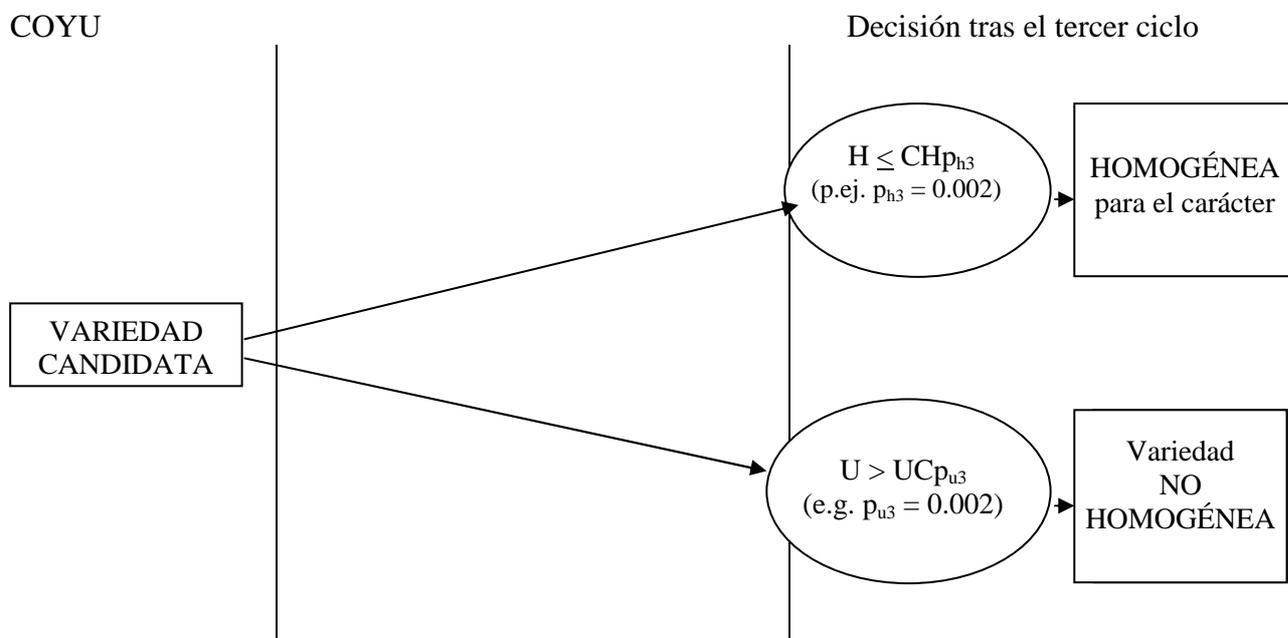


Figura 2. Decisiones de aplicación del criterio COYU y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso B



NOTA:

“H” es la media ajustada de  $\ln(DE+1)$  correspondiente a la variedad candidata con respecto al carácter.

CHp es el criterio COYU calculado con el nivel de probabilidad p.

Figura 3. Decisiones de aplicación del criterio COYU y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso C

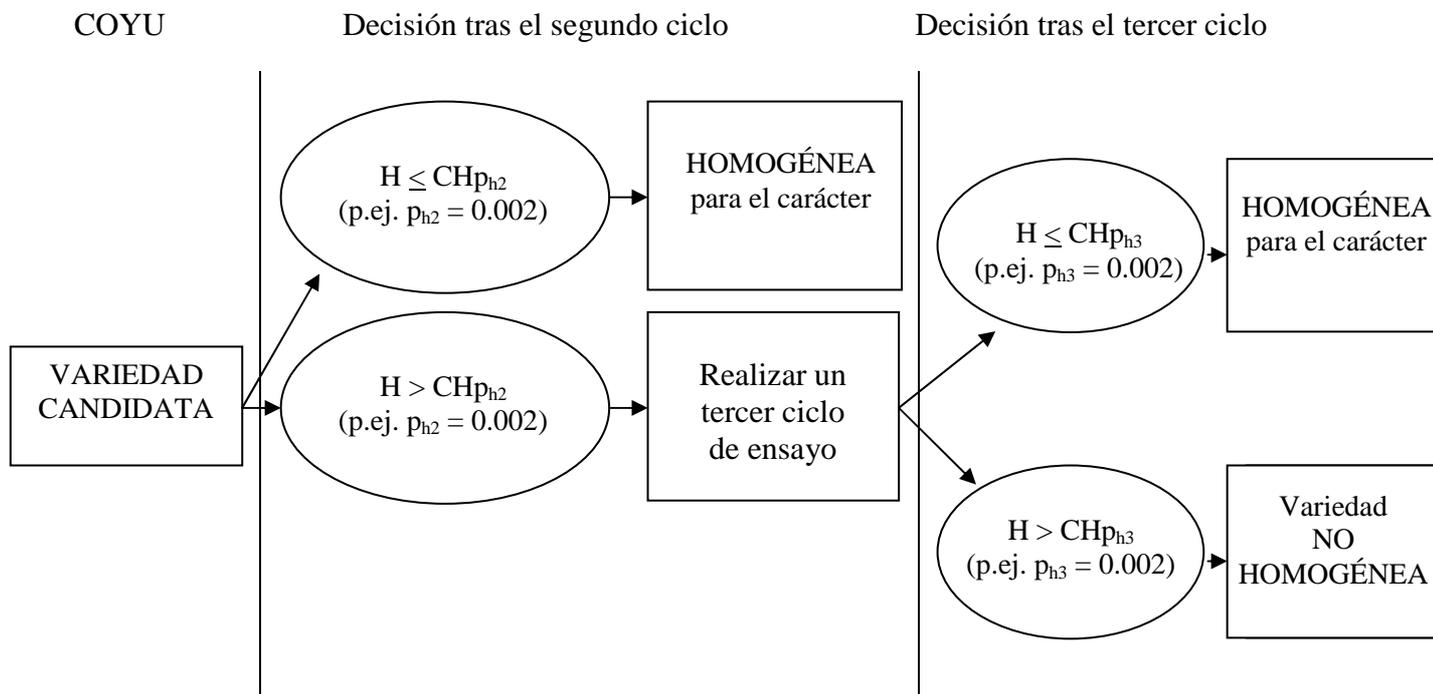
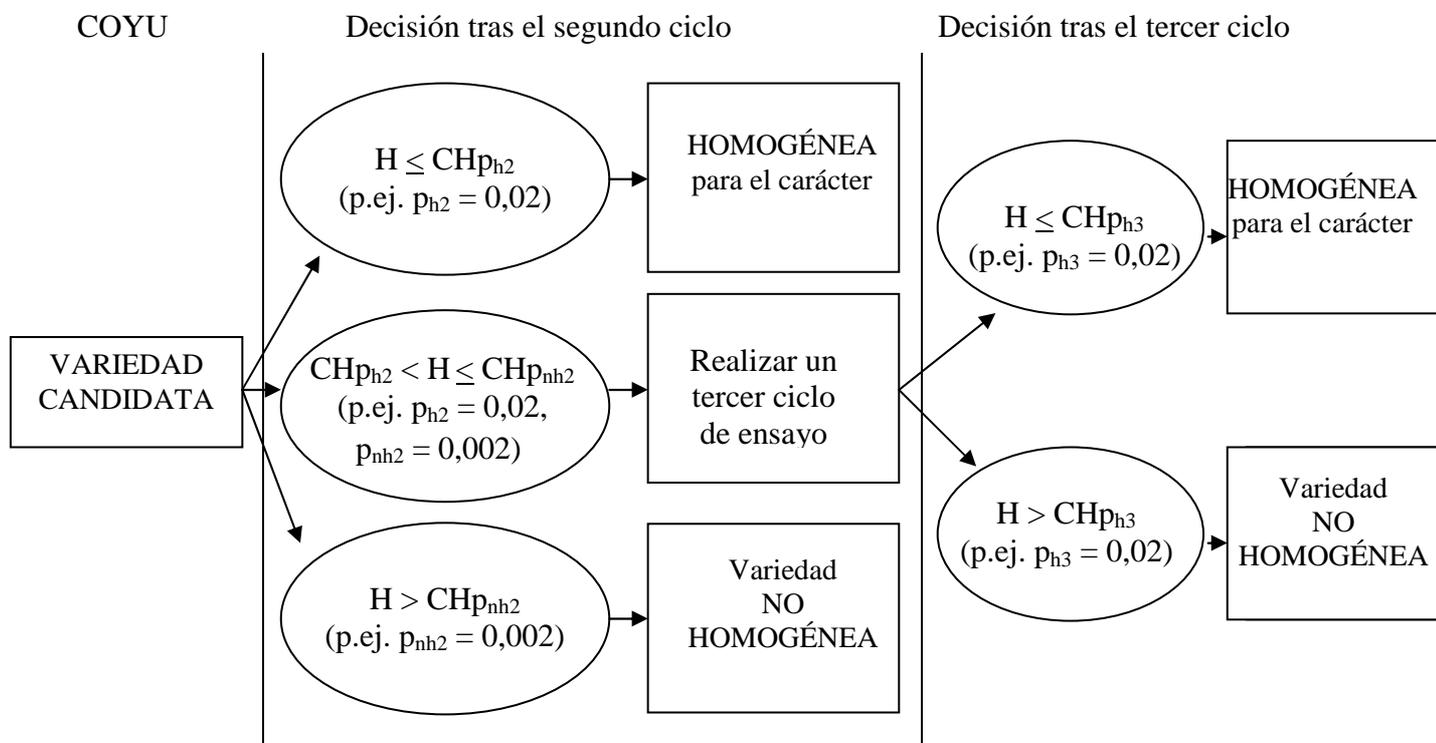


Figura 4. Decisiones de aplicación del criterio COYU y niveles de probabilidad estándar ( $p_i$ ) en el caso D



NOTA:

“H” es la media ajustada de  $\ln(DE+1)$  correspondiente a la variedad candidata con respecto al carácter  
 $CH_p$  es el criterio COYU calculado con el nivel de probabilidad  $p$ .

## **10. EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD A PARTIR DEL MÉTODO DE LA VARIANZA RELATIVA**

### **10.1 Utilización del método de la varianza relativa**

La varianza relativa para un carácter determinado es la varianza de la variedad candidata dividida entre el promedio de las varianzas de las variedades comparables (esto es,  $\text{varianza relativa} = \text{varianza de la variedad candidata} / \text{varianza media de las variedades comparables}$ ). Debe haber una distribución normal de los datos. El método de la varianza relativa puede aplicarse a todo carácter medido que sea una variable continua, independientemente del método de propagación de la variedad. Las variedades comparables son variedades del mismo tipo dentro de la misma especie, o de una especie estrechamente relacionada, que hayan sido examinadas anteriormente, considerándolas lo suficientemente homogéneas (véase la sección 5.2 “Determinación del nivel de variación aceptable” del documento TGP/10).

Para las variedades alógamas, una recomendación común de las Directrices de Examen de la UPOV es tomar 60 mediciones por carácter por variedad. En esencia, la razón de varianzas es equiparable al estadístico F, y el valor tabulado de F para  $P = 0,01$  con  $gl_1 = 60$  (grados de libertad de la variedad candidata) y  $gl_2 = \infty$  (grados de libertad de la(s) variedad(es) comparable(s)) es 1,60. Se toma  $gl_2 = \infty$  como estimación conservadora, ya que se supone que las variedades comparables representan fielmente el número infinito de posibles variedades comparables de la especie en su conjunto. Luego 1,6 es el umbral para especies alógamas realizando 60 mediciones por carácter por variedad. Para tamaños de muestra diferentes, deberá usarse un estadístico F diferente para los  $gl_1$ , aunque el valor de  $gl_2$  deberá seguir siendo  $\infty$ .

### **10.2 Umbral para diferentes tamaños de muestra**

9.2.1 Deben aplicarse diferentes umbrales de F (con  $P = 0,01$ ) para tamaños de muestra diferentes de la variedad candidata. Los  $gl_1$  variarán en función de los diferentes tamaños de muestra de la variedad candidata. No obstante, los  $gl_2$  se considerarán  $\infty$  en todos los casos, para tener en cuenta la gama completa de posibles variedades comparables de una especie, lo que da lugar a una estimación conservadora del umbral. En estas condiciones y tomando los valores pertinentes del cuadro de valores de F, el cuadro 1 muestra los umbrales aplicables para diferentes tamaños de muestra de las variedades candidatas. En los casos en que el tamaño de muestra sea diferente que los incluidos en el cuadro 1, deberá usarse el umbral correcto para el tamaño de muestra exacto.

*Cuadro 1: Umbral de varianza relativa para algunos diferentes tamaños de muestra*

Tamaño de muestra de la variedad candidata	Umbral de varianza relativa
30	2,03
40	1,81
50	1,68
60	1,60
80	1,49
100	1,43
150	1,33
200	1,28

Fuente: cuadro de valores de F publicado en *Tables for Statisticians*, Barnes & Noble, Inc. Nueva York

10.2.2 Para un tamaño de muestra dado, si la varianza relativa supera el umbral, la variedad candidata se considerará no homogénea en lo que respecta a ese carácter.

### **10.3 Uso práctico de la prueba de la varianza relativa**

10.3.1 Si la varianza relativa calculada es menor que el valor tabulado del estadístico F mostrado en el cuadro 1, para el tamaño de muestra pertinente, es razonable suponer que las varianzas son iguales y que la variedad candidata es homogénea en que respecta a ese carácter concreto. Si la varianza relativa calculada es mayor que el valor tabulado del estadístico F, entonces se rechaza la hipótesis nula: que las varianzas de las variedades son iguales. Se consideraría entonces que la variedad candidata tiene una varianza mayor que las variedades comparables para ese carácter concreto y, por consiguiente, no cumpliría el criterio de homogeneidad.

### **10.4 Ejemplo del método de la varianza relativa**

#### *Ejemplo*

10.4.1 En un ensayo DHE se cultivó una variedad candidata alógama juntamente con un cierto número de variedades que representan el nivel requerido de uniformidad para todos los caracteres pertinentes. A fin de ilustrar el cálculo de la varianza relativa, se presenta un ejemplo con 4 variedades comparables. El cuadro 2 muestra los datos de varianza de las mediciones de altura de las plantas para las cinco variedades. Se midieron 60 plantas de cada variedad para medir la altura de las plantas.

*Cuadro 2: Varianzas de los datos de altura de las plantas de la variedad candidata y de las variedades comparables*

Candidata	Variedad comparable 1	Variedad comparable 2	Variedad comparable 3	Variedad comparable 4
5,6	7,8	4,5	3,2	5,8

10.4.2 El número de observaciones por variedad es el mismo ( $n = 60$ ), de modo que podemos tomar la varianza media de las variedades *comparables* como su varianza combinada.

10.4.3 La varianza media de las variedades *comparables* es:  $(7,8 + 4,5 + 3,2 + 5,8)/4 = 5,32$

10.4.4 La varianza relativa para un carácter determinado es la varianza de la variedad candidata dividida entre el promedio de las varianzas de las variedades *comparables*.

Varianza relativa = varianza de la variedad candidata/varianza media de las variedades *comparables*

$$= 5,6/5,32 = 1,05$$

10.4.5 Ahora, en el cuadro 1, el umbral correspondiente a un tamaño de muestra de 60 es 1,60, de modo que podemos concluir que la variedad candidata es suficientemente homogénea en lo que respecta a ese carácter.

## **10.5 Relación entre la varianza relativa y el desvío estándar relativo**

10.5.1 En ocasiones, en ensayos DHE, los datos de homogeneidad no se presentan en forma de varianzas, sino de desviaciones estándar. Hay una relación matemática sencilla entre la varianza y el desvío estándar:

desvío estándar = raíz cuadrada de la varianza

10.5.2 Luego, cuando se manejan desvíos estándar relativos, el cuadro 1 debe modificarse e incluir las raíces cuadradas de los umbrales, que se muestran en el cuadro 4.

*Cuadro 4: Umbrales de las desviaciones estándar relativas para algunos diferentes tamaños de muestra*

<b>Tamaño de muestra de la variedad candidata</b>	<b>Umbrales de las desviaciones estándar relativas</b>
30	1,42
40	1,35
50	1,30
60	1,26
80	1,22
100	1,20
150	1,15
200	1,13

10.5.3 Cuando el examinador toma una decisión sobre la homogeneidad basada en los desvíos estándar relativos, debe usar el cuadro 4 en lugar del cuadro 1, para utilizar los umbrales correctos. Al usar desvíos estándar relativos, se aplica el mismo principio para la aceptación o rechazo, solo que los umbrales son menores, ya que son las raíces cuadradas de los valores pertinentes. Por ejemplo, para 60 muestras, el umbral correspondiente a la varianza relativa es 1,60; sin embargo, el correspondiente a las desviaciones estándar relativas es 1,26, que es la raíz cuadrada de 1,60.

[Fin del documento]