



Directrices del BMT (proj.5)

ORIGINAL: Inglés

FECHA: 25 de febrero de 2006

UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS OBTENCIONES VEGETALES
GINEBRA

PROYECTO

**DIRECTRICES PARA LOS PERFILES DE ADN:
SELECCIÓN DE MARCADORES MOLECULARES
Y
CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS
("DIRECTRICES DEL BMT")**

Documento preparado por la Oficina de la Unión

*para su examen por el Comité Técnico en su cuadragésima segunda sesión,
que se celebrará en Ginebra (Suiza) del 3 al 5 de abril de 2006*

ÍNDICE

A	INTRODUCCIÓN	3
B.	PRINCIPIOS GENERALES.....	3
1.	Selección de una metodología de marcadores moleculares	3
2.	Selección de marcadores moleculares.....	4
2.1	Criterios generales.....	4
2.2	Criterios para tipos específicos de marcadores moleculares.....	4
3.	Acceso a la tecnología.....	5
4.	Material a analizar	6
4.1	Fuente del material vegetal	6
4.2	Tipo de material vegetal.....	6
4.3	Tamaño de la muestra	6
4.4	Muestra de referencia de ADN.....	7
5.	Normalización de los protocolos analíticos	7
5.1	Introducción	7
5.2	Criterios de calidad.....	8
5.3	Fase de evaluación	8
5.4	Evaluación de los datos moleculares.....	9
6.	Bases de datos	9
6.1	Tipo de base de datos	9
6.2	Modelo de base de datos	10
6.3	Transferencia de datos a la base de datos.....	10
6.4	Acceso a los datos y titularidad.....	10
6.5	Análisis de los datos.....	10
6.6	Validación de la base de datos	10
7.	Resumen.....	11
	GLOSARIO.....	12
	Microsatélites o secuencias simples repetidas (SSR).....	12
	Polimorfismos de nucleótido único (SNP).....	12
	Secuencias polimórficas amplificadas y cortadas (CAPS)	12
	<i>Pig-tail</i>	13
	Alelo nulo.....	13
	Bandas <i>stutter</i>	13

A. INTRODUCCIÓN

El presente documento (Directrices del BMT) tiene por finalidad ofrecer orientaciones para la elaboración de metodologías armonizadas destinadas a generar datos moleculares de gran calidad para diversas aplicaciones. Las Directrices del BMT también tienen el propósito de abordar la creación de bases de datos de perfiles moleculares de variedades, obtenidos posiblemente en laboratorios diferentes y mediante el empleo de tecnologías también diferentes. Ello demanda un alto grado de calidad de los marcadores y exige que los datos obtenidos usando tales marcadores puedan reproducirse en distintas situaciones con equipos y reactivos químicos posiblemente diferentes. Además, es preciso tomar precauciones específicas para preservar la calidad de los datos introducidos en la base de datos.

Respecto a la posibilidad de usar marcadores moleculares en el examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad (DHE), en el Anexo de este documento se explica la situación actual en la UPOV.

B. PRINCIPIOS GENERALES

1. Selección de una metodología de marcadores moleculares

1.1 Los criterios más importantes para seleccionar una metodología son los siguientes:

- a) reproducibilidad de la producción de datos entre distintos laboratorios y plataformas de detección (tipos de equipo)
- b) repetibilidad en el tiempo
- c) poder de discriminación
- d) posibilidades para la creación de bases de datos
- e) accesibilidad de la metodología

1.2 Dado el constante avance de la tecnología y la disponibilidad de equipos nuevos, para garantizar la viabilidad de las bases de datos es importante producir datos que sean independientes del equipo usado para su obtención. Esto es lo que sucede, por ejemplo, en el caso de los datos de secuenciación de ADN. Al principio, estos datos se obtenían empleando iniciadores con marca radiactiva y geles de secuencia, mientras que ahora pueden obtenerse mediante el uso de colorantes fluorescentes seguido de separación en sistemas de electroforesis capilar en gel de alto rendimiento y sumamente automatizados. A pesar de estas diferencias, los datos obtenidos por medio de las distintas técnicas son coherentes entre sí e independientes de la técnica empleada para su obtención. Esto también puede aplicarse a los datos obtenidos mediante el uso de microsátélites (secuencias simples repetidas, SSR) de ADN o de polimorfismos de nucleótido único (SNP). Esta capacidad de repetibilidad y reproducibilidad es un factor importante en la creación, el funcionamiento y la longevidad de las bases de datos. Una base de datos de mantenimiento centralizado con información verificada procedente de fuentes diversas sólo puede crearse de esta manera si se ha de atender a la costoeficacia, es decir, efectuando una única vez la considerable inversión exigida.

1.3 El requisito de que los datos han de ser repetibles, reproducibles y coherentes limita los tipos de técnicas moleculares que podrían utilizarse fácilmente para definir los perfiles de las variedades. Así, si bien en el ámbito de la investigación se han utilizado con éxito diversas técnicas de perfiles de ADN multilocus, en muchas de ellas la codominancia no es fácil de registrar y la reproducibilidad de los patrones de bandas complejos entre laboratorios que usan

equipos diferentes puede ser un problema. Se considera que estos factores plantean dificultades en el contexto de los perfiles de variedades. Por consiguiente, el presente documento se centra en las consideraciones y recomendaciones en torno a los usos de los SSR (microsatélites) que han sido bien definidos e investigados y, por cuanto respecta al futuro, en la información sobre secuenciación (es decir, los SNP o polimorfismos de nucleótido único). Otras técnicas basadas en la información sobre la secuencia del ADN, como las CAPS (secuencias polimórficas amplificadas y cortadas) y las SCAR (regiones amplificadas caracterizadas por secuencia) posiblemente también puedan satisfacer los criterios antes mencionados, pero su empleo en la definición de los perfiles de ADN de las variedades vegetales no se ha explorado todavía.

2. Selección de marcadores moleculares

2.1 Criterios generales

A continuación se indican los criterios generales para seleccionar un marcador o un conjunto de marcadores específicos; estos criterios son aplicables a todos los marcadores moleculares independientemente del uso al cual se destinen, si bien, como es sabido, determinados usos pueden imponer otros criterios adicionales:

- a) nivel útil de polimorfismo (indicado, por ejemplo, mediante un valor PIC (contenido de información polimórfica: véase el Glosario) obtenido para un conjunto representativo de variedades)
- b) repetibilidad y reproducibilidad en distintos laboratorios a efectos de evaluación de los datos
- c) distribución conocida de los marcadores a través del genoma (es decir, posición en el mapa) – aun no siendo indispensable, esta información es útil y ayuda a evitar la selección de marcadores que puedan estar ligados entre sí
- d) evitación, en la medida de lo posible, de los marcadores con alelos “nulos” (alelo cuyo efecto es la ausencia de un producto PCR a nivel molecular) – nuevamente, no es esencial pero sí aconsejable

2.2 Criterios para tipos específicos de marcadores moleculares

2.2.1 Marcadores microsatélite (SSR)

2.2.1.1 El análisis de secuencias simples repetidas (SSR o microsatélites: véase el Glosario) utilizando la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) está actualmente muy extendido y ofrece varias ventajas.

2.2.1.2 Los marcadores SSR se expresan de modo codominante y por lo general son fáciles de evaluar (registrar) y pueden cartografiarse sin dificultad. Su capacidad de análisis se ha demostrado en laboratorios diferentes y (si se presta suficiente atención a las condiciones experimentales) son sólidos y pueden repetirse. Además, pueden analizarse por medio de secuenciadores automáticos de ADN no radiactivos de alto rendimiento, basados ya sea en electroforesis en gel o en electroforesis capilar, y es posible analizar varios de ellos al mismo tiempo (multiplexión).

2.2.1.3 La eficacia del análisis microsatélite depende de la selección de marcadores de gran calidad. Ello exige tener en consideración, entre otros:

- a) El grado de *stutter* (la producción de una serie de una o más bandas cuyo tamaño difiere en 1 unidad de repetición).
- b) (n+1) picos; la Taq polimerasa suele agregar 1 pb al extremo de un fragmento. Esto puede evitarse mediante la utilización de iniciadores “con *pigtail*” (véase el Glosario).
- c) El tamaño del producto de la amplificación.
- d) La separación efectiva entre los diversos alelos en diferentes sistemas de detección.
- e) La evaluación fiable y reproducible de los alelos en diferentes sistemas de detección.
- f) El nivel de polimorfismo (número de alelos detectados) entre las variedades (obsérvese que ello requiere el análisis de una cantidad significativa de variedades).
- g) La evitación del ligamiento.

2.2.1.4 Para poder evaluar los SSR en laboratorios distintos y por medio de equipos de detección diferentes, es de vital importancia definir e incluir en todos los análisis alelos de referencia (es decir, conjuntos de variedades). La necesidad de tales alelos de referencia se debe a que en los diversos sistemas de detección actualmente disponibles las pautas del peso molecular presentan un comportamiento diferente y, por tanto, no son indicadas para la identificación de los alelos.

2.2.1.5 Los iniciadores utilizados en cada laboratorio deben ser sintetizados por un proveedor garantizado, para reducir la posibilidad de obtener perfiles de ADN diferentes a causa de las distintas fuentes de sintetización de los iniciadores.

2.2.2 Polimorfismos de nucleótido único (SNP)

Los polimorfismos de nucleótido único (SNP: véase el Glosario) pueden detectarse por secuenciación del ADN, una técnica habitual que por lo general muestra elevados niveles de repetibilidad en el tiempo y reproducibilidad entre laboratorios. Sin embargo, la detección de los SNP específicos en la actualidad se efectúa por medio de una variedad de técnicas, muchas de las cuales aun no son habituales. Por su propia naturaleza, en las plantas diploides los SNP sólo tienen dos estados alélicos, si bien en las poliploides esto puede variar por efecto de la dosificación. Esto hace que la evaluación de los SNP sea relativamente sencilla y fiable, y atenúa o elimina muchos de los problemas mencionados anteriormente. También significa que para definir el perfil de un genotipo determinado de forma eficaz y eficiente será preciso analizar una gran cantidad de marcadores, ya sea individualmente o por multiplexión.

3. Acceso a la tecnología

Algunos marcadores moleculares y materiales están a libre disposición del público. Pero debido a la gran inversión que se requiere para obtener, por ejemplo, marcadores SSR de gran calidad, los marcadores y otros métodos y materiales pueden estar cubiertos por derechos de propiedad intelectual. La UPOV ha elaborado directrices para la utilización de los productos y las metodologías que son objeto de derechos de propiedad intelectual (véase el documento TGP/7/1 Anexo 3, GN 14); a efectos del presente documento han de seguirse dichas orientaciones. Es recomendable abordar todos los aspectos concernientes a los derechos de propiedad intelectual al principio de cualquier trabajo de desarrollo.

4. Material a analizar

Las cuestiones principales en relación con el material a analizar son la fuente del material, el tipo de material y cuántas muestras se precisa analizar.

4.1 Fuente del material vegetal

El material vegetal a analizar deberá ser una muestra auténtica y representativa de la variedad y, a ser posible, habrá sido obtenida a partir de la muestra de la variedad examinada a los efectos de los Derechos de Obtentor o del registro oficial. Para usar muestras de material presentado para el examen a efectos de los Derechos de Obtentor o del registro oficial se requiere el permiso de la autoridad pertinente, bien sea el obtentor o el conservador, según corresponda. Las plantas individuales de las cuales se tomaron las muestras deberían, en su caso, ser rastreables por si posteriormente se demostrara que algunas de ellas no fueran representativas de la variedad.

4.2 Tipo de material vegetal

El tipo de material vegetal a muestrear para la extracción del ADN y el procedimiento empleado para el muestreo dependerán en gran medida del cultivo o la especie vegetal de que se trate. Por ejemplo, en el caso de las variedades propagadas mediante semillas pueden utilizarse éstas como fuente del ADN, mientras que en el caso de las variedades de multiplicación vegetativa el ADN puede extraerse del material de las hojas. Sea cual fuere la fuente del material, el método empleado para el muestreo y la extracción del ADN debe estar normalizado y documentado. Además, es menester verificar mediante análisis de ADN la coherencia de los resultados obtenidos por los métodos de muestreo y extracción.

4.3 Tamaño de la muestra

Es indispensable que las muestras tomadas para el análisis sean representativas de la variedad.

4.3.1 Variedades de multiplicación vegetativa

En principio, para las variedades de multiplicación vegetativa basta con analizar una sola muestra, porque todos los individuos deberían ser idénticos. No obstante y en cualquier caso es recomendable analizar siempre al menos muestras duplicadas. En caso de encontrar diferencias se habrán de analizar muestras complementarias.

4.3.2 Variedades autógamas y principalmente autógamas

No siempre es conveniente dar por sentado que las variedades autógamas y principalmente autógamas son homocigóticas en todos los loci, incluso en los loci SSR o SNP. La heterocigosidad residual, la polinización cruzada o el mestizaje físico pueden dar lugar a heterogeneidad. Por este motivo, generalmente se recomienda analizar un número de semillas individuales, puesto que ello revelará cualquier posible heterocigosidad de este tipo. Sin embargo, puede haber razones (entre ellas, el costo) que justifiquen el análisis de un muestreo en bloque de un número acordado de individuos para representar el perfil de ADN de una variedad.

4.3.3 Variedades alógamas

El mismo tipo de consideraciones es aplicable en principio a las variedades de especies alógamas. Por lo general se recomienda analizar semillas o plantas individuales, ya que las diferencias entre variedades pueden ser el resultado de diferencias en las frecuencias alélicas (o de banda), así como de la presencia o la ausencia de alelos o bandas particulares. De cualquier modo, pueden aplicarse enfoques estadísticos y, en el futuro, podría ser factible disponer de métodos basados, por ejemplo, en el análisis SNP, que permitieran estimar la frecuencia alélica en muestras de semillas en bloque. Como se mencionó anteriormente, el análisis de una muestra en bloque de un número acordado de semillas proporcionará un perfil general del ADN de una variedad del que cabría esperar moderados cambios en la frecuencia alélica.

4.3.4 Híbridos

El método adecuado para asegurar que las muestras tomadas para el análisis de los híbridos sean representativas de la variedad dependerá del tipo de híbrido. Se deberá reconocer que las variedades híbridas son heterocigóticas en los loci codificadores de los marcadores de ADN pero aun así siguen siendo fenotípicamente uniformes. El número de muestras elegidas para el análisis dependerá de la cuestión exacta que se esté abordando y del tipo de variedad híbrida a valorar. A estos efectos habrá de tenerse en cuenta la información concerniente a los distintos tipos de variedades híbridas proporcionada en el documento TG/1/3, “Introducción general al examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad y a la elaboración de descripciones armonizadas de las obtenciones vegetales” (véase el Capítulo 6.4.3).

4.4 *Muestra de referencia de ADN*

Es aconsejable crear una colección de muestras de referencia de ADN con el material vegetal muestreado conforme a las secciones 4.1, 4.2 y 4.3. Poder almacenar la muestra de referencia de ADN y suministrarla a terceros representa una ventaja.

5. *Normalización de los protocolos analíticos*

5.1 *Introducción*

El presente documento no pretende suministrar protocolos técnicos pormenorizados para la producción de perfiles de ADN de variedades. En principio se puede utilizar cualquier metodología analítica apropiada, pero es importante validar la metodología por el conducto adecuado. La validación puede realizarse a través de algún método reconocido a nivel internacional o bien elaborando un planteamiento orientado al desempeño. Cualquiera sea el caso, el presente documento ofrece algunas consideraciones útiles de carácter general.

El método a utilizar para la composición de genotipos y la creación de bases de datos ha de ser técnicamente sencillo de aplicar, fiable y sólido, y ha de permitir la evaluación fácil e irrefutable de los perfiles de los marcadores en laboratorios diferentes. Ello requiere un cierto grado de normalización, por ejemplo, en relación con la selección de los marcadores, los alelos de referencia, y la solicitud y evaluación de los alelos.

5.2 Criterios de calidad

5.2.1 Es importante acordar ciertos criterios de calidad en relación, por ejemplo, con:

- a) La calidad del ADN (puede valorarse, p. ej., midiendo la tasa de absorbencia del extracto a 260/280 nm; algunos también recomiendan hacerlo a 260/230 nm).
- b) Las secuencias de iniciadores utilizadas (con o sin *pigtail*, posición del iniciador, tipo de etiqueta empleada, etc.)
- c) La polimerasa a emplear en las metodologías basadas en PCR (puede ser conveniente confeccionar una lista de productos garantizados).
- d) Para las metodologías basadas en PCR, la cantidad o concentración de cada componente PCR y de los demás componentes (p. ej., amortiguador PCR, MgCl₂, dNTP, iniciador, Taq polimerasa, molde de ADN).
- e) Las condiciones del ciclo de PCR (longitud y temperatura de la desnaturalización inicial; número de ciclos; longitud y temperatura de desnaturalización, templado [de cada par de iniciadores] y extensión; y longitud y temperatura de la extensión final).

5.2.2 La metodología debe enunciarse de forma detallada en un protocolo.

5.3 Fase de evaluación

5.3.1 Introducción

Para seleccionar marcadores adecuados y producir protocolos de laboratorio aceptables para una especie dada, es aconsejable una fase de evaluación preliminar en la que participe más de un laboratorio (es decir, un método de validación reconocido internacionalmente; por ejemplo, un *ring test* de conformidad con las normas acordadas a nivel internacional). Esta fase tendrá como principal objetivo seleccionar un conjunto de marcadores y normalmente incluirá la evaluación de los marcadores existentes, ya sea publicados o bien disponibles por otros medios. El número de marcadores a evaluar es variable y dependerá de las posibilidades que ofrezcan las distintas especies. Los marcadores deben proceder de fuentes fiables (por ejemplo, de publicaciones revisadas por homólogos) y obtenerse a través de proveedores garantizados. La decisión final acerca del número a evaluar será una ponderación entre los costos y la necesidad de producir al final del proceso un conjunto satisfactorio de marcadores acordados. El objetivo es producir un conjunto acordado de marcadores que pueda ser analizado con seguridad y que pueda ser analizado, evaluado y registrado de forma reproducible en laboratorios diferentes, utilizando potencialmente distintos tipos de equipos y distintas fuentes de reactivos químicos, etcétera.

5.3.2 Elección de variedades

Como base de la fase de evaluación se elegirá un número conveniente de variedades, en función de la variabilidad genética dentro de la especie y el tipo de variedad en cuestión. Las variedades seleccionadas deberán reflejar un espectro adecuado de diversidad y, si fuera posible, deberán incluir algunas variedades estrechamente relacionadas y algunas variedades morfológicamente similares, para que sea factible evaluar el grado de discriminación en tales casos.

5.3.3 Interpretación de los resultados

En la siguiente etapa de evaluación se incluirá, a ser posible, un método de validación reconocido internacionalmente para valorar la metodología de forma global y objetiva. Cualquier marcador que en esta fase de evaluación ocasione dificultades en cualquiera de los laboratorios participantes deberá ser rechazado para su uso ulterior. Atendiendo a que la experiencia empírica indica que la mayoría de los errores en el análisis de grandes colecciones de variedades parecerían ser consecuencia de errores de evaluación, lo ideal sería crear las bases de datos a partir de muestras duplicadas (p. ej., distintas submuestras de semilla de la misma variedad), analizadas en laboratorios diferentes. El hecho de poder intercambiar las submuestras (o el ADN extraído de ellas) en la eventualidad de que se produzca alguna discrepancia, hace que este planteamiento sea muy eficaz para poner de relieve los errores de muestreo o aquellos debidos a la heterogeneidad dentro de las propias muestras, y para eliminar los posibles artefactos (errores sistemáticos) de laboratorio.

5.4 Evaluación de los datos moleculares

5.4.1 Paralelamente a la fase de evaluación habrá de prepararse un protocolo de evaluación de alelos/bandas. Dicho protocolo deberá contemplar el modo de evaluar los elementos siguientes:

- a) Alelos raros (alelos en un locus determinado que aparecen con una frecuencia que está por debajo de un umbral acordado (comúnmente, entre el 5 y el 10%) para una población)
- b) Alelos nulos (alelos cuyo efecto es la ausencia de un producto PCR a nivel molecular)
- c) Bandas “tenues” (bandas con intensidad inferior a un umbral de detección acordado, establecido ya sea empírica o automáticamente, y cuya evaluación puede ser cuestionada)
- d) Datos ausentes (cualquier locus para el cual por cualquier razón no hay datos registrados en una o más variedades)
- e) Bandas monomórficas (alelos/bandas que aparecen en todas las variedades analizadas, es decir, que no son polimórficas en una determinada colección de variedades)

5.4.2 Además, para marcadores como los SSR es útil establecer un rango de evaluación mínima y máxima para los marcadores de cada par (locus) de iniciadores. En caso de que se utilicen sistemas basados en geles para la visualización de las bandas de marcadores, también se recomienda una “escalera” de tamaño (peso molecular) apropiado, para simplificar la interpretación de los resultados en el laboratorio y entre laboratorios diferentes. Esto, sin embargo, no ha de considerarse una alternativa en sustitución de la colección de alelos de referencia.

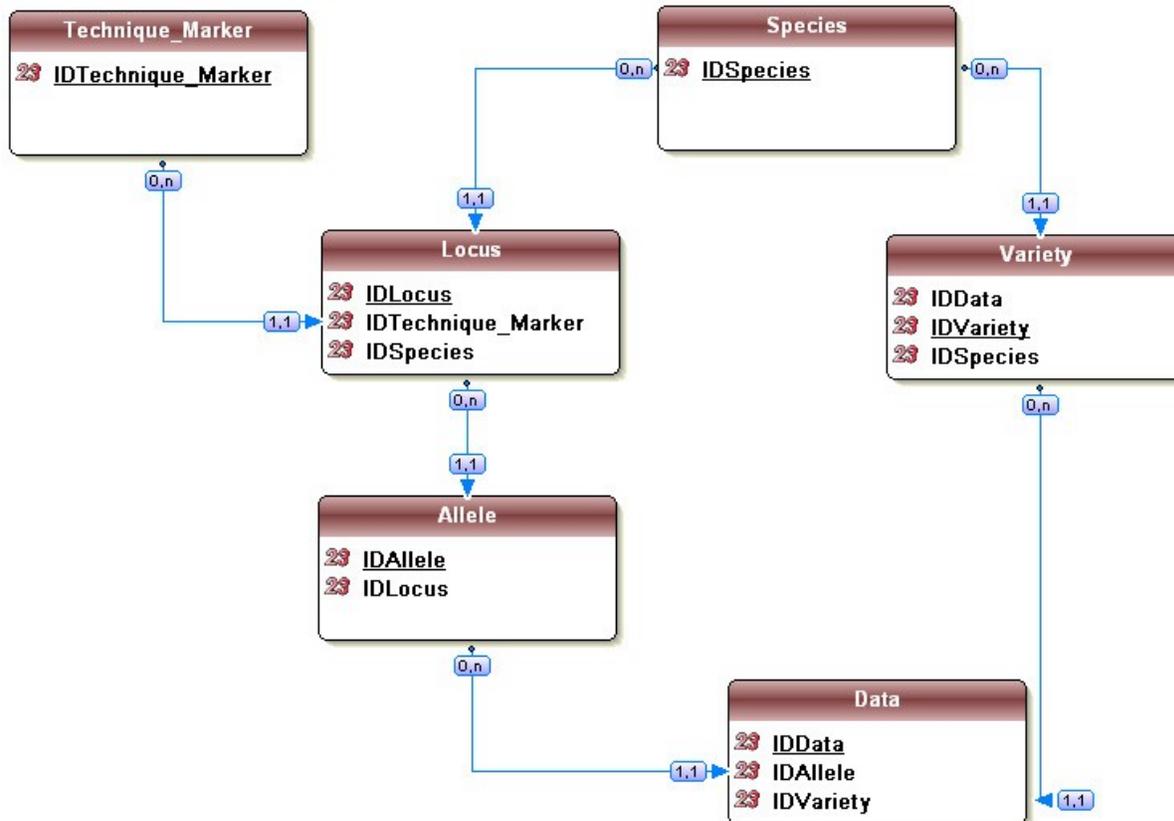
6. Bases de datos

6.1 Tipo de base de datos

Los datos moleculares pueden almacenarse de muchas maneras diferentes y, en consecuencia, es importante que la estructura desarrollada para la base de datos sea compatible con todos los usos a los que pretendidamente se destinarán los datos.

6.2 Modelo de base de datos

La definición del modelo de base de datos estará a cargo de expertos en bases de datos de T.I., quienes contarán para ello con la colaboración de los usuarios de la base de datos. El modelo de base de datos habrá de contener, como mínimo, seis objetos básicos: Species (especie); Variety (variedad); Technique (técnica); Marker (marcador); Locus (locus); y Allele (alelo).



6.3 Transferencia de datos a la base de datos

Al transferir y transcribir los datos es posible introducir errores; para reducir esta posibilidad, es aconsejable automatizar la transferencia de los datos a la base de datos en la mayor medida posible.

6.4 Acceso a los datos y titularidad

Se recomienda abordar todas las cuestiones concernientes a la titularidad de los datos y el acceso a los datos de la base de datos en el momento de iniciar cualquier trabajo.

6.5 Análisis de los datos

El método de análisis vendrá determinado por la finalidad a la que hayan de destinarse los datos; por tanto, las presentes directrices no incluyen ninguna recomendación específica al respecto.

6.6 Validación de la base de datos

Al concluir la primera fase de la base de datos es recomendable llevar a cabo una “prueba a ciegas”, es decir, distribuir un número de muestras a distintos laboratorios y solicitarles que las identifiquen utilizando el protocolo acordado y la base de datos.

7. Resumen

A continuación se ofrece un resumen del enfoque recomendado para la selección y utilización de marcadores moleculares para la creación de bases de datos centralizadas y sostenibles de perfiles de ADN de variedades (es decir, bases de datos que en el futuro puedan llenarse con datos procedentes de una diversidad de fuentes, independientemente de la tecnología empleada).

- a) considerar el enfoque cultivo a cultivo
- b) acordar un tipo de marcador aceptable y la fuente del mismo
- c) acordar las plataformas y los equipos de detección aceptables
- d) acordar los laboratorios que participarán en la prueba
- e) acordar las cuestiones relativas a la calidad (véase la sección 5.2)
- f) verificar la fuente del material vegetal empleado (véase la sección 4)
- g) acordar los marcadores a utilizar en una fase de evaluación preliminar en la que se contará con la colaboración de más de un laboratorio y se usarán equipos de detección diferentes (véase la sección 2)
- h) realizar una evaluación (véase la sección 5.3)
- i) elaborar un protocolo para la evaluación de los datos moleculares (véase la sección 5.4)
- j) acordar el material vegetal y el conjunto de referencias a analizar, y la(s) fuente(s) de los mismos
- k) analizar la colección de variedades acordada – en distintos laboratorios y con distintos equipos de detección, utilizando muestras duplicadas y, si surgiesen problemas, intercambiando muestras o extractos de ADN
- l) usar en todos los análisis variedades, muestras de ADN y alelos de referencia
- m) verificar todas las etapas (inclusive la entrada de datos) – lograr la mayor automatización posible
- n) efectuar una “prueba a ciegas” de la base de datos en laboratorios diferentes
- o) adaptar los procedimientos para la adición de nuevos datos

GLOSARIO

Microsatélites o secuencias simples repetidas (SSR)

Los microsatélites, o secuencias simples repetidas (SSR), son secuencias de ADN que se repiten en pares, por lo general con una unidad de repetición de 2 a 4 pares de bases (por ejemplo, GA, CTT y GATA). En muchas especies se ha demostrado la existencia de múltiples alelos para algunos microsatélites debido a las variaciones en el número de copia de esta unidad de repetición. Los microsatélites pueden analizarse por la técnica PCR utilizando iniciadores específicos, procedimiento conocido como enfoque de microsatélites de sitio de secuencia marcada (STMS). Los alelos (productos PCR) pueden separarse por electroforesis en gel de agarosa o en gel de poliacrilamida. Para desarrollar microsatélites de sitio de secuencia marcada se necesita información sobre la secuencia de ADN que flanquea al microsatélite. Si bien esta información puede obtenerse en ocasiones a partir de las bases de datos de secuencias de ADN existentes, otras veces ha de conseguirse de forma empírica.

Polimorfismos de nucleótido único (SNP)

Los polimorfismos de nucleótido único (SNP) son variaciones que se producen en la secuencia de ADN cuando se altera un nucleótido único (A,T,C o G) de la secuencia del genoma. Por ejemplo, un SNP podría cambiar una secuencia de ADN de AAGGCTAA a ATGGCTAA. Por lo general, para que una variación pueda considerarse un SNP debe ocurrir al menos en el 1% de la población. El número potencial de marcadores SNP es muy elevado, lo cual significa que sería factible encontrarlos en cualquier parte del genoma. Los SNP pueden producirse tanto en las zonas codificadoras (genes) del genoma como en las zonas no codificadoras. El descubrimiento de los SNP trajo aparejada la secuenciación comparativa de cantidades de individuos de una población. La identificación de los SNP potenciales se realiza comúnmente mediante la comparación de secuencias alineadas tomadas de las bases de datos de secuencias disponibles. Aunque los SNP pueden detectarse con relativa facilidad mediante PCR + electroforesis en gel, se están desarrollando procedimientos de análisis a gran escala y micromatrices que permitirán la evaluación automática de centenares de loci de SNP de una sola vez.

Secuencias polimórficas amplificadas y cortadas (CAPS)

Las secuencias polimórficas amplificadas y cortadas (CAPS) son fragmentos de ADN que primero se amplifican mediante PCR utilizando iniciadores específicos de entre 20 y 25 pb y a continuación se digieren con una endonucleasa de restricción. Posteriormente, la electroforesis en gel de los productos digeridos permite identificar los polimorfismos de longitud producidos por la variación de la ocurrencia de los sitios de restricción. En comparación con otros marcadores, como los RFLP, los polimorfismos son más difíciles de identificar debido al reducido tamaño de los fragmentos amplificados (300-1800 pb). Empero, el análisis CAPS no requiere hibridación Southern y detección radioactiva. Hasta la fecha, en general las CAPS se han venido aplicando principalmente en los estudios de cartografía génica.

Regiones amplificadas caracterizadas por secuencia (SCAR)

Las regiones amplificadas caracterizadas por secuencia (SCAR) son fragmentos de ADN amplificados mediante PCR utilizando iniciadores específicos de entre 15 y 30 pb, diseñados a partir de secuencias polimórficas identificadas con anterioridad. La utilización de iniciadores PCR más largos permite a las SCAR eludir el problema de las bajas posibilidades de reproducción. También suelen ser marcadores codominantes. Las SCAR son específicas de cada locus y se han venido aplicando en los estudios de cartografía génica y en la selección asistida por marcador.

Valores del contenido de información polimórfica (PIC)

Los valores del contenido de información polimórfica (PIC) son una medida de la diversidad alélica de un locus y se utilizan para estimar y comparar el poder de discriminación de los marcadores moleculares. El valor PIC de un marcador basado en la PCR se calcula del modo siguiente:

$$1 - \sum_{j=1}^n P_{ij}^2$$

donde P_{ij} es la frecuencia del modelo PCR j para el genotipo i .

Pig-tail

En el análisis SSR, se denomina *pig-tail* la adición de una secuencia corta de oligonucleótido a los iniciadores empleados en la PCR, con el objetivo de mejorar la claridad de los productos de la amplificación y reducir los artefactos.

Alelo nulo

En el análisis SSR, un “alelo nulo” es un alelo en un locus determinado cuyo efecto se aprecia como la ausencia de algún producto de la PCR.

Bandas stutter

En el análisis SSR, las “bandas *stutter*” hacen referencia a una serie de una o más bandas que aparecen tras la PCR y cuyo tamaño difiere en 1 unidad de repetición.

[Fin del documento]