

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

BO 1283/96
Ej. 1

Polimorfismo cromosómico en Rhoeo spathacea
(Commelinaceae)

Joel Flores Fragoso

Tesis

Presentada como requisito
parcial para obtener el
título de:

BIÓLOGO
1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta tesis fué realizada bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

BIÓLOGO

Consejo Particular

M. C. Saúl Flores Maya

M. C. Ramón Víctor Moreno Torres

Biól. Irma Elena Dueñas García

Biól. Ma. Eugenia Heres Pulido

Dr. Armando García Velázquez

Mi reconocimiento al Programa de Genética del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (PROGEN-IREGEP) del Colegio de Postgraduados de Montecillo, Méx., por el apoyo de que fui objeto durante la realización del presente trabajo, dirigido por el Dr. Armando García Velázquez, Profesor Investigador Titular del laboratorio de Citogenética del citado instituto.

Agradecimientos

Al Dr. Armando García Velázquez, por la proporción del tema de investigación, su acertada dirección y permitirme con este trabajo obtener el grado.

Al M.C. Tarcicio Corona Torres, por sus sugerencias en el trabajo de laboratorio.

Al M.C. Angel López R. y los Srs Ricardo Contreras y Severo Ayala por su ayuda y compañía en el laboratorio de Citogenética y sincera amistad.

A todos los que colaboraron de alguna forma a la terminación de esta tesis.

Dedicatoria

A mi inolvidable madre y hermanos.

A Alberta y Marco Antonio por su cariño y apoyo.

A quienes piensan que nunca es tarde.....

Indice

	Pág.
Resumen.	1
I.Introducción.	2
1.1.Aplicación de la Citogenética al conocimiento de los recursos naturales.	3
1.2.Cromosomas mitóticos	5
II.Revisión de literatura	6
2.1.Translocaciones	6
2.2.Cariotipo	7
2.2.1.Número básico	8
2.2.2.Longitud total (LT;µm)	8
2.2.3.Longitud relativa (L%)	9
2.2.4.Relación de brazos (r)	9
2.2.5.Constricciones secundarias o satélites	9
2.2.6.Existencia y distribución de regiones heterocromáticas	10
2.2.7.Bandeo diferencial	10
2.3.Las Commelináceas	
2.3.1. <u>Rhoeo spathacea</u>	13
2.3.2.Anatomía, distribución geográfica y sistemática	14
2.3.3.Citogenética de <u>Rhoeo spathacea</u>	15
III.Materiales y métodos	18
3.1.Material biológico	18
3.2.Preparaciones citológicas	18
3.2.1.Recolección de ápices radicales	18
3.2.2.Pretratamiento	19
3.2.3.Fijación	19
3.2.4.Hidrólisis y tinción	19
3.2.5.Aplastado	19
IV.Análisis citológico	20
4.1.Observaciones citológicas	20
4.2.Identificación de los cromosomas	21

V.Resultados	22
5.1.Número cromosómico	22
5.2.Longitud total (LT;µm)	22
5.2.1.Var. <u>Spathacea</u>	22
5.2.2.Var. <u>Concolor</u>	23
5.3.Longitud relativa (L%) y relación de brazos (r)	24
5.3.1.Vars. <u>Spathacea</u> y <u>Concolor</u>	24
VI.Conclusiones	27
VII.Literatura citada	28

Indice de cuadros

Cuadro

- 1 Longitud total (LT; μm) de cromosomas de 10 células promedio de Var. Spathacea.
- 2 Longitud total (LT; μm) de cromosomas de 10 células promedio de Var. Concolor.
- 3 Número total de cromosomas meta y submetacéntricos Var. Spathacea.
- 4 Número total de cromosomas meta y submetacéntricos Var. Concolor.
- 5 Longitud relativa (L%) y relación de brazos (r) de cromosomas de 10 plantas de Var. Spathacea.
- 6 Longitud relativa (L%) y relación de brazos (r) de cromosomas de 10 plantas de Var. Concolor.

Indice de figuras

Figura

- 1 Cèlulas somàticas de Rhoeo spathacea. A.Var. Spathacea.
B.Var. Concolor
- 3.11 a 3.20 Tamaños relativos (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.11 a
1.20 (Var. Spathacea) y cromosomas meta y submetacèntricos.
- 4.11 a 4.20 Tamaños relativos (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.11 a
2.20 (Var. Concolor) y cromosomas meta y submetacèntricos.

Polimorfismo cromosómico en Rhoeo spathacea (Commelinaceae).

RESUMEN

Se llevó al cabo el análisis cariotípico de dos progenies de Rhoeo spathacea (Swartz) Stearn (Comelinaceae) variedades Spathacea y Concolor, obtenidas de clones colectados en Michoacán y en Yucatán, México. El análisis de los cariotipos de éstas dos progenies, cada una formada de 10 individuos obtenidos de autofecundación, se llevó al cabo en ápices radicales utilizando la técnica de aplastado y tinción Feulgen (García, 1995).

El análisis se hizo en base al empleo de longitud total (LT; μm), y dos variables simultáneas: longitud relativa (L%) y relación de brazos (r). Los 12 cromosomas de cada individuo son diferentes entre sí en las variables analizadas, esto es, no hay dos cromosomas completamente homólogos. No existen dos individuos con cariotipos iguales. Ambas variedades mostraron un número cromosómico diploide con $2n=12$, y cariotipos bimodales que exhiben cromosomas metacéntricos y submetacéntricos. Se presentó variación inter e intravarietal en el número de cromosomas meta y submetacéntricos. Ello confirma que en Rhoeo opera un complejo de intercambios originados por translocaciones múltiples heterocigotas.

I. INTRODUCCIÓN.

El fenómeno llamado mutación es uno de los más fundamentales dentro de la Biología y de la Genética. Corresponde al tipo de variación llamada discontinua, conocida desde antiguo, aunque solo hasta épocas recientes se le haya dado la relevante importancia que tiene. El nombre de mutación dado al fenómeno, se debe al naturalista francés Duchesne, quien lo sugirió a fines del siglo XVIII (De La Loma, 1970).

Se ha definido la mutación como un cambio bien manifiesto en una o varias de las características morfológicas o fisiológicas de una especie, aparecida en forma súbita en uno o un corto número de individuos, y que, en general, transmiten éstos a su descendencia (Guízar-Vázquez, 1988; Cervantes, 1986).

Desde muy antiguo se han dado a conocer casos de variación discontinua tanto en los animales como en plantas, aunque con mayor frecuencia en éstas últimas. El conocimiento de las observaciones de Hugo de Vries en 1900, creó un creciente interés por el estudio de las variaciones discontinuas; numerosos investigadores acometieron el estudio genético y citológico de los mutantes, y así se ha llegado a un conocimiento bastante completo de este importante fenómeno, mediante el cual se sabe hoy día cuáles pueden ser las causas inmediatas del mismo y sus diversas modalidades y tipos.

Las mutaciones o variaciones discontinuas pueden ser de tres clases: a) Mutaciones cromosómicas, b) Mutaciones génicas y c) Mutaciones somáticas. Las mutaciones cromosómicas son las que afectan el número de cromosomas, o al número u ordenación de los genes en un cromosoma. Un tipo de mutación son las translocaciones (De La Loma, 1970). Las translocaciones se caracterizan por modificar la estructura y composición genética de los

cromosomas (Brown y Bertke, 1979), y en consecuencia causan un efecto fenotípico no específico de letalidad o disminución de la viabilidad.

La importancia de las mutaciones como translocaciones reside en su papel preponderante en la evolución de las especies. La variación discontinua produce especies elementales unas veces, simples variedades, otras, pero casi siempre tipos estables que pueden transmitir sus características a su descendencia (De La Loma, 1970; Barahona, 1995). La selección natural ha ido conservando los tipos mutantes más viables y los ha fijado para llegar a consolidar especies nuevas, que han enriquecido la fauna y flora de las diferentes regiones del mundo. El análisis de cariotipos de individuos y de grupos de individuos, especies, etc., permite conocer las relaciones filogenéticas entre éstos (Palomino, 1992; García 1990). Las mutaciones observadas en el reino vegetal son muy numerosas; entre éstas están las detectadas en plantas cultivadas como el frijol, cebada, avena, papa, algodón, algunos frutales (De La Loma, 1970) y en especies ornamentales, como Rhoeo spathacea, (género monotípico perteneciente a las Commelináceas) que facilitan la investigación de éstos fenómenos, ya que por lo reducido de su número cromosómico y por el gran tamaño de sus cromosomas ilustran detalladamente los cambios mitóticos y meióticos involucrados en éstos (Satterfield y Mertens, 1972).

Un tipo particular de variación discontinua presente en esta especie son las translocaciones múltiples heterocigotas, la cual hace que Rhoeo exhiba una modalidad genética que involucra translocaciones sucesivas que en meiosis forman anillos cromosómicos, sistemas de letales equilibrados, reproducción sexual usualmente mediante autofecundación y cruce efectiva, para una condición estructuralmente heterocigota (García, 1994; 1991; Baker y Mertens, 1975; Wimber, 1968; Belling, 1927).

1.1. Aplicación de la citogenética al conocimiento de los recursos naturales.

Los análisis citogenéticos son de utilidad a taxonomistas y biólogos evolucionistas para detectar diferencias entre los taxas (Palomino, 1991) y conocer sus patrones de divergencia (Kenton, 1986).

El análisis cariotípico puede llevarse a cabo desde dos perspectivas: 1) desde el ángulo anatómico-morfológico, donde el número cromosómico es considerado de la misma forma que el número de estambres, carpelos u otro carácter morfológico o químico y, 2) desde el punto de vista citogenético, dado que el número cromosómico y su homología determinan el comportamiento en meiosis. Este influye en el comportamiento reproductivo y el patrón de variación de las poblaciones (Vovides, 1985).

La utilidad más importante de los estudios cromosómicos es la detección de niveles de ploídia en plantas vasculares como un rasgo importante en la evolución vegetal, así como la comprensión de los cambios que se han operado en la evolución de los cariotipos que pueden ser producidos por rearrreglos cromosómicos (García, 1990). Los estudios cariotípicos han logrado entender con mayor amplitud las relaciones sistemáticas existentes dentro de grupos de plantas. Un ejemplo de lo anterior es el de Avdulov (Stebbins, 1971) quien realizó una organización del sistema taxonómico de las gramíneas, en base al análisis de sus cariotipos, anatomía foliar, desarrollo de plántulas, estructura de los granos de almidón y distribución geográfica. Otro ejemplo de la utilidad del cariotipo lo constituyen las Ranunculáceas, familia que está dividida en dos tribus con respecto al cariotipo que concuerda con la morfología vegetativa (Stebbins, 1971).

1.2. Cromosomas mitóticos.

Los cromosomas mitóticos son observados en células somáticas de tejido meristemático, las cuales son sometidas a tratamientos con diversos mitostáticos, fijación y tinción. Ello permite conocer el número somático ($2n$) y básico (X) de una planta o un grupo de plantas relacionadas entre sí (Palomino, 1992). El número cromosómico básico (X), es usado generalmente para complementar características morfológicas, y en este sentido, es un marcador útil (Kenton, 1986).

De las observaciones citológicas el conteo cromosómico, se considera como la única evidencia biosistemática que aparece consistentemente en las floras modernas (Stace, 1980). Las funciones de los cromosomas son: el almacenamiento, duplicación y transmisión de la información hereditaria de los genes. Esto se realiza mediante procesos como la meiosis y la mitosis (Stebbins, 1971). Es en la metafase mitótica, donde los cromosomas se encuentran completamente condensados, siendo posible por esto, distinguir y apreciar su estructura (Lacadena, 1988).

Los cromosomas son clasificados considerando el índice centromérico o relación de brazos (r) del cromosoma (Levan, et al ., 1964). En base a esto es posible separarlos como metacéntricos (m), si presentan el centrómero en la región media; submetacéntricos (sm), si lo presentan desplazado hacia uno de los brazos, subtelocéntricos (st), si el centrómero se encuentra en una región muy cercana a la terminal del cromosoma y telocéntricos (t), cuando presentan el centrómero en la región terminal del cromosoma.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Translocaciones.

Constituyen cambios estructurales o rearrreglos en los que algunos segmentos de cromosomas cambian su posición relativa dentro del complemento cromosómico, modificando por lo tanto los grupos de ligamiento. Se clasifican como translocaciones intracromosómicas e intercromosómicas. En el primer caso, si un segmento cromosómico cambia su posición dentro del mismo brazo se denomina intrarradial, y si cambia de brazo es extrarradial. Estos tipos de translocaciones pueden explicarse por una triple fractura cromosómica y posterior fusión de los extremos rotos en distinto orden. Las translocaciones intercromosómicas se deben a cambios de posición de algún segmento que pasa a situarse en otro cromosoma (Lacadena, 1988). Estos tipos de aberraciones ocurren recíprocamente, es decir, dan lugar a intercambios cuando la permutación de segmentos cromosómicos es mutua entre dos cromosomas que pueden ser homólogos, produciendo lo que también se conoce como transposición (Barahona, 1995).

Los intercambios recíprocos, pueden ser simétricos o asimétricos, si los productos del cambio originan cromosomas normales con un centrómero o cromosomas dicéntricos y fragmentos acéntricos, respectivamente (Lacadena, 1988).

Estos tipos de movimiento de los segmentos de material hereditario, pueden afectar la tasa de mutación (frecuencia con que aparecen los cambios generación tras generación) y el fenotipo (el resultado visible) de los organismos involucrados en éstas, lo que puede dar lugar a organizaciones genómicas nuevas que modifican su tipo y su tiempo de expresión génica, ya que los tipos de genomas reestructurados inducidos por éstas aberraciones, seguidas por su estabilización, pueden originar nuevas especies e incluso a nuevos géneros (Barahona, 1995) o

proporcionar a organismos con éstos atributos un mayor potencial de colonización y distribución de nuevos hábitats (Jackson, 1971).

Usualmente la detección citológica de aberraciones cromosómicas es en base al comportamiento observado en meiosis I de la condición heterocigótica. En condición homocigótica no es posible detectar citológicamente a la aberraciones cromosómicas a menos que los segmentos intercambiados sean grandes o se tenga algún marcador cromosómico, como satélites.

Una de las técnicas que desde hace tiempo es utilizada para detectar éste tipo de mutaciones, es la elaboración de cariotipos somáticos y meióticos, así como el bandeo diferencial (Palomino, 1992; García, 1990; Lacadena, 1988).

2.2. Cariotipo.

Es el aspecto fenotípico de los cromosomas usualmente somáticos en contraste a su contenido genético (Stebbins, 1950); ello puesto que existen especies como ricino, maíz, papa, etc., en las que los cromosomas meióticos, en paquiteno de la profase I son útiles en la definición del cariotipo, dado que en estas especies los cromosomas mitóticos no permiten observar diferencias cromosómicas entre entidades taxonómicas, y en tanto en paquiteno tales especies presentan cromosomas que permiten aún diferenciar individuos. El cariotipo presenta las siguientes características: 1.- número básico (X), 2.- longitud total (LT; μm), 3.- longitud relativa (L%), 4.- relación de brazos (r), 5.- presencia de constricciones secundarias o satélites, 6.- existencia y distribución de regiones heterocromáticas (Stebbins, 1950; García, 1990).

Las características del cariotipo de las especies pueden utilizarse, al igual que caracteres morfológicos para su clasificación taxonómica. El análisis comparativo de los cariotipos puede mostrar las diferencias entre las especies y entidades taxonómicas de menor rango; asimismo puede dar indicios de como surgieron estas variaciones en el curso de la evolución. Esto permite detectar las relaciones entre las distintas categorías taxonómicas (García, 1990). Lewistky (Jackson, 1971) supone que un cariotipo en particular puede asociarse a un conjunto de características circunscritas a una familia, tribu, género, especie o raza, cuando ciertas peculiaridades como la forma de los cromosomas y el número básico son importantes.

Cambios en la morfología cromosómica, pueden retrasar o preceder cambios en el fenotipo externo ya que una reducida similitud morfológica en grupos taxonómicos asociados a una gran diversidad en el cariotipo básico sugieren que existen diferencias citológicas que se han producido mediante translocaciones espontáneas.

2.2.1. Número básico.

Es el número (X) haploide o gamético (n) en organismos diploides, o $2n$ (somático) de cromosomas de cualquier especie. Es una de las características más utilizadas para determinar la taxonomía y filogenia de los organismos. En general se piensa que géneros, especies e incluso familias relacionadas poseen números cromosómicos del mismo orden de magnitud (White, 1957; tomado de García, 1990)..

2.2.2. Longitud total (LT; μm).

Es la longitud y el diámetro expresados en micrómetros, del total y de cada uno de los cromosomas (Swanson *et al.*, 1968).

2.2.3. Longitud relativa (L%).

Es la relación de tamaño expresada en porcentaje que guarda un cromosoma en particular con respecto a la longitud total del genomio. Es una característica constante que permite la identificación y clasificación del complejo cromosómico. Los diferentes pares de cromosomas se arreglan en orden decreciente de tamaño y se numeran progresivamente, uno para el par más largo. Este parámetro permite comparaciones más precisas entre cromosomas de diferentes individuos.

2.2.4. Relación de brazos (r).

Indica la posición del centrómero; se caracteriza por su constancia, por lo que constituye el marcador más útil en la identificación morfológica de los cromosomas. El centrómero separa al cromosoma en dos brazos y su localización puede expresarse en términos de relación de brazos, estimada mediante la división de la longitud del brazo más largo entre la del más corto. Levan *et al.*, (1964) clasifica los cromosomas en cuatro tipos según la posición del centrómero; m (metacéntricos), sm (submetacéntricos), st (subtelocéntricos) y t (telocéntricos). Los cariotipos pueden estar constituidos por cualquier combinación de estas posiciones del centrómero.

2.2.5. Constricciones secundarias o satélites.

Son regiones que mediante las nuevas técnicas revelan la localización de la heterocromatina constitutiva (bandas C) (Guízar-Vázquez, 1988). Estas regiones pueden ser ampliamente polimórficas y son el asiento de distintos tipos de ADN satélite o repetitivo (Salamanca, 1988). Se localiza generalmente en los brazos cortos, a veces en un brazo largo de los cromosomas y otras en un cromosoma supernumerario o B.

El satélite es una estructura utilizada como marcador en ciertos cromosomas. Es un segmento de un brazo, separado del resto del mismo por una constricción secundaria, la cual puede ser corta como la del centrómero o larga como un filamento; generalmente está cerca de la punta de un brazo y el satélite es una pequeña esfera o un segmento semejante a un brazo corto. Estos satélites están localizados casi siempre sobre los brazos cortos y en un solo par de cromosomas del juego, existen excepciones para ambos aspectos (García, 1990).

2.2.6. Existencia y distribución de regiones heterocromáticas.

En 1925 Heitz (García, 1990) creó el término heterocromatina para describir ciertas regiones de cromosomas que tiñen una estructura densa y se colorean intensamente con un tinte durante la interfase del ciclo celular. A los segmentos restantes de los cromosomas, que pierden gran parte de su identidad visual durante la interfase, se les considera eucromáticos.

2.2.7. Bando diferencial.

Chattopadhyay y Sharma (1988) opinan que el bando cromosómico ha surgido como una técnica de tinción diferencial de segmentos, lo cual constituye una poderosa herramienta para identificar cromosomas. Las diversas técnicas empleadas para ello se han modificado en años recientes con respecto al uso de tinte giemsa, por lo que han surgido una gran cantidad de trabajos empleando este colorante (Wang y Kao, 1987; Zhang y Yang, 1986; Vosa, 1985; Song y Li, 1983; Hansen-Melander *et al.*, 1974). Pardue y Gall (citados por Dillé, 1988) fueron los primeros en reportar la heterocromatina en satélites de ADN en cromosomas de ratón, la cual fue identificada mediante la técnica de bando con giemsa.

Sharma y Natarajan en 1973, desarrollan técnicas de bandeo para caracterizar cromosomas vegetales. Esta técnica desde entonces se ha aplicado enfocando diversos ángulos en la investigación citogenética, por ejemplo se ha aplicado en la comparación de cariotipos de diferentes líneas (Gill y Kimber, 1974; Vosa, 1974), y para analizar translocaciones y modificaciones cromosómicas (deleciones o amplificaciones de heterocromatina telomérica) en poblaciones. También Dillé *et al* (1983) la utilizaron para estudiar las relaciones entre la frecuencia de aneuploides y bloques de heterocromatina telomérica.

Recientemente esta técnica se usa en conjunción con el microscopio electrónico para el estudio morfológico de cromosomas vegetales (Dillé *et al*, 1987). El método es a grosso modo, especialmente útil para distinguir con mayor especificidad variaciones cariotípicas (aberraciones cromosómicas o polimorfismos) dentro o entre especies afines, mediante la secuencia específica de bandas. Este sistema, contiene dos esquemas de aplicación, uno con fluorescencia a través de microscopía especial y, otro con el uso de colorantes como el giemsa que requieren de microscopía de campo claro. La técnica con giemsa o de bandeo C (C=heterocromatina constituyente), comprende la desnaturalización y reasociación del ADN (de reasociación alta o altamente repetitivo), el cual se reasocia rápidamente y aparece como bandas oscuras en los cromosomas. En plantas, éstas bandas son primordialmente centroméricas (ubicadas en la porción cercana al centrómero) y teloméricas (en las partes terminales de los cromosomas): con ellas se obtienen los patrones de las bandas C para cada especie y se realizan las comparaciones correspondientes (Palomino, 1992; García, 1990).

Cambios de estructura cromosómica han sido estudiados por citólogos, taxónomos evolucionistas etc., en base al análisis cariotípico. Este análisis se ha limitado a marcadores

apropiados o bien a hibridaciones y análisis meiótico de tales híbridos F₁ (Jackson, 1971). Dado que existe poca información respecto a los tipos de segmentos translocados en Commelináceas, el presente estudio es una propuesta de cariotipo para las variedades de Rhoeo spathacea y se considera un seguimiento en los estudios citogenéticos de esta planta, es por esto, que se plantea la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS

Aunque el cariotipo es característica constante en los seres vivos es susceptible de sufrir modificaciones a través de mecanismos como las translocaciones (García, 1991; 1994, 1995).. Una de las consecuencias de las translocaciones heterocigóticas en plantas con alta endogamia como Rhoeo, es la modificación constante de la estructura genética de los cromosomas (García, 1994; 1991; Natarajan y Natarajan, 1972). García (1995), sugiere la presencia de un mecanismo de intercambios desiguales de cromosomas que tiene lugar en la meiosis, lo cual se expresaría en la formación de gametos con cromosomas de diferente morfología, por lo que se puede esperar que plantas hermanas presenten, a partir de progenitores con esta condición un distinto cariotipo, como resultado de la permanencia de translocaciones heterocigóticas.

Para comprobar tal suposición se plantean los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

Objetivo general.

Conocer el cariotipo o cariotipos en individuos de las Vars. Spathacea y Concolor del complejo taxonómico de Rhoeo spathacea.

Objetivos particulares.

-Comprobar el cariotipo o cariotipos presentes en plantas hermanas de dos progenies de Rhoeo spathacea, Vars. Spathacea y Concolor (Commelináceae). Estas dos progenies se desarrollaron de semillas obtenidas por autofecundación.

-Establecer semejanzas y diferencias entre los cariotipos de las dos variedades de Rhoeo.

2.3. Las Commelináceas.

Distribución geográfica y aplicaciones.

Son plantas ornamentales conocidas en México comúnmente como “hierbas del pollo”. Las Commelináceas incluyen 47 géneros y más de 730 especies con distribución tropical subtropical y de zona templada en el mundo. Abundan principalmente en Centroamérica en donde al parecer tuvieron su centro de origen y en México (Owens, 1981).

Son plantas que por lo general proporcionan ventajas para la investigación citogenética, ya que por lo reducido de su número cromosómico y por el gran tamaño de sus cromosomas ilustran detalladamente los procesos mitóticos, meióticos y algunas de sus anormalidades (Satterfield y Mertens, 1972).

Esta familia comprende hierbas semisuculentas, perennes o anuales. Su importancia económica, al parecer de Simpaio (1987) no es relevante, pues se reduce al hecho de que algunas especies son invasoras de cultivos valiosos, y otras como Rhoeo se utilizan con fines ornamentales (Wimber, 1965). Matuda (1956) opina que esta familia es apreciada en ciertas regiones de México por sus aplicaciones medicinales (contenedor hemorrágico).

México posee 12 géneros y 100 especies, esto es aproximadamente la mitad de las especies que existen en América y 1/6 del total del mundo; 90% de las especies mexicanas llegan a ser de la Tribu Tradescantia. Se considera que 50% del total de las especies son endémicas, es decir 1/4 de las Commelináceas del Nuevo Mundo son de México (Hunt, 1993).

2.3.1. Rhoeo spathacea.

Pertenece a la familia de las Commelináceas y se localiza en la bibliografía con distintos sinónimos como Rhoeo discolor (L'Heritier) Hance y Tradescantia spathacea Swartz (Rhoeo spathacea (Swartz) Stearn), (Hunt, 1993; Lin y Paddock, 1973). En el presente se acepta que la denominación correcta para esta planta es Rhoeo spathacea. El género monotípico esta compuesto de tres variedades que son Spathacea, Concolor y Variegata (Cronquist, 1988; Jones y Kenton, 1982; Ibarra, 1979). Estas se distinguen por el color de sus hojas; la variedad Spathacea hojas verde oscuro en el haz y púrpura en el envés; la variedad Concolor las hojas son verde pálido (Baker y Martens, 1975). En México se conoce con los nombres comunes de “barquilla o magueyito” (en Veracruz y Quintana Roo, respectivamente).

2.3.2. Anatomía, distribución geográfica y sistemática.

Rhoeo spathacea se describe botánicamente a criterio de Sánchez (1979) y Heywood (1975) como planta de tamaño mediano, suculenta, con flores hermafroditas agrupadas en inflorescencias axilares en cimosa o panículas; anteras biloculares, ovario de tres lóculos con óvulo en cada cavidad. Matuda (1956) en cambio también la describe, pero como una hierba perenne, con tallo corto, casi lisa, hojas lineal lanceoladas, acuminadas, sésiles de 10 a 35cm de largo por 3 a 5.5cm de ancho, imbricadas, glabras en ambas caras, verdes en la superior, moradas en la inferior; vainas grandes lisas; flores numerosas; inflorescencias más cortas que las brácteas que las cubren, sépalos ovado-lanceolados de 3 a 4mm de largo; pétalos blancos, ovales más largos que los sépalos, de 5 a 8mm de largo; semillas rugosas, de 3mm de largo por 1 a 1.5mm de grosor. Se localiza, a decir de Matuda (1956) en bosques húmedos de poca

elevación, a veces sobre rocas húmedas, casi siempre en climas tropicales y subtropicales con altas temperaturas (Heywood, 1978; Matuda, 1956).

Es quizá originaria de Nicaragua y Honduras; al parecer fue posteriormente introducida a Jamaica y Trinidad de donde emigró a todo el continente Americano (Simmonds, 1945; Stearn, 1957) citados por Wimber (1968). En México actualmente se distribuyen en Chiapas, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Quintana Roo; en Centroamérica, en Belice y Las Antillas (Matuda, 1956).

Sistemática.

Clase: Angiospermae

Subclase: Monocotyledoneae

Orden: Commelinidae

Familia: Commelinaceae

Género: Rhoeo

Especie: spathacea

Variedades: Spathacea, Concolor y Variegata (Cronquist, 1988; Jones y Kenton, 1983; Ibarra, 1979). Sin embargo recientemente Hunt (1993) propone integrar un solo género Tradescantia que incluya a los géneros Zebrina, Gibasis y Rhoeo entre otros.

2.3.3. Citogenética de Rhoeo spathacea.

Citogenéticamente se trata de una planta diploide ($2n=12$), aún cuando en Var. Spathacea se han observado individuos triploides (Desai, 1965; Lin, et al., 1984) y tetraploides (Walters y Gerstel, 1948; García, 1991, 1995). Presenta translocaciones múltiples heterocigóticas, que forma anillos o cadenas con sus 12 cromosomas (Grant, 1989; Darlington, 1929; Belling, 1927),

así como diversas configuraciones meióticas en forma de tri, di y univalentes (García, 1994; Baker y Mertens, 1975; Wimber, 1968) en los cuales operan probablemente letales cigóticos en profase I y metafase I de la meiosis.

La presencia de anillos se interpreta como indicación de que en Rhoeo suceden translocaciones múltiples (Darlington, 1929; Belling, 1927). Presumiblemente esta situación surge a partir de una serie de translocaciones entre cromosomas no homólogos que da por resultado un diploide heterocigoto sin cromosomas completamente homólogos. Como en Oenothera la condición heterocigota quizá se mantenga a través de un sistema de genes letales recesivos balanceados que eliminan a los homocigotos (Wimber, 1968; Zimmerman, 1965; Sax, 1931). Sax en 1931 precisó que los cromosomas están arreglados en el anillo con una secuencia definida y asignó letras a los cromosomas:

eE-ED-Dc-cC-Cb-bB-
1 2 3 4 5 6
Ba-aA-Af- fF- Fd-de-
7 8 9 10 11 12

El cromosoma 12 (de) se une al cromosoma 1 (eE) para completar el anillo de 12. En la metafase I de la meiosis, los cromosomas en la diacinesis, se alinean en el ecuador del huso acromático en forma alterna; todos los cromosomas numerados como impares migran a un polo y los numerados como pares migran al polo opuesto originando lo que se llama "orientación alterna", que resulta en 6 cromosomas en cada polo en anafase I (Sax, 1931). Los cromosomas numerados como pares constituyen el complemento (alfa) y los numerados como impares constituyen el complemento (beta). Las plantas de Rhoeo, parecen ser el resultado de la fusión de un gameto que contiene el complemento alfa con otro que presenta el beta. No se producen

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

así como diversas configuraciones meióticas en forma de tri, di y univalentes (García, 1994; Baker y Mertens, 1975; Wimber, 1968) en los cuales operan probablemente letales cigóticos en profase I y metafase I de la meiosis.

La presencia de anillos se interpreta como indicación de que en Rhoeo suceden translocaciones múltiples (Darlington, 1929; Belling, 1927). Presumiblemente esta situación surge a partir de una serie de translocaciones entre cromosomas no homólogos que da por resultado un diploide heterocigoto sin cromosomas completamente homólogos. Como en Oenothera la condición heterocigota quizá se mantenga a través de un sistema de genes letales recesivos balanceados que eliminan a los homocigotos (Wimber, 1968; Zimmerman, 1965; Sax, 1931). Sax en 1931 precisó que los cromosomas están arreglados en el anillo con una secuencia definida y asignó letras a los cromosomas:

eE-ED-Dc-cC-Cb-bB-
1 2 3 4 5 6
Ba-aA-Af- fF- Fd-de-
7 8 9 10 11 12

El cromosoma 12 (de) se une al cromosoma 1 (eE) para completar el anillo de 12. En la metafase I de la meiosis, los cromosomas en la diacinesis, se alinean en el ecuador del huso acromático en forma alterna; todos los cromosomas numerados como impares migran a un polo y los numerados como pares migran al polo opuesto originando lo que se llama “orientación alterna”, que resulta en 6 cromosomas en cada polo en anafase I (Sax, 1931). Los cromosomas numerados como pares constituyen el complemento (alfa) y los numerados como impares constituyen el complemento (beta). Las plantas de Rhoeo, parecen ser el resultado de la fusión de un gameto que contiene el complemento alfa con otro que presenta el beta. No se producen

homocigotos (alfa/alfa o beta/beta) por la presencia de un sistema letal que impide la fusión de gametas iguales (Sax, 1931).

Si se presenta un alineamiento cromosómico imperfecto en metafase I y una segregación imperfecta en anafase I, con cromosomas adyacentes migrando al mismo polo se formarán microesporas con un número cromosómico con anomalías morfológicas que seguramente originarán algún polimorfismo cromosómico.

Todas estas exhibiciones meióticas se reflejan en un fenotipo cromosómico totalmente inestable, por ejemplo, Darlington (1929) y Sax (1931) describen 4 cromosomas heterobranquiales, aceptándose que los restantes 8 cromosomas son isobranquiales; Natarajan y Natarajan (1972) observaron un cariotipo de Rhoeo, con presencia de 6 cromosomas metacéntricos y 6 submetacéntricos, sin precisar la existencia entre ellos de algún heteromorfismo más profundo y García (1991, 1995) en dos mutantes desinápticos determinó la presencia de cariotipos bimodales con cromosomas metacéntricos y submetacéntricos de los cuales no existen dos cromosomas homólogos, ello como resultado de un intercambio de segmentos terminales desiguales. En las Vars. Concolor y Variegata se indica que son diploides $2n=12$ (Wimber, 1968; Lin, 1980).

III.MATERIALES Y MÉTODOS.

La investigación se realizó en el laboratorio de citogenética, del Programa de Genética del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Méx. en 1996.

3.1.Material biológico.

El material usado fueron 20 plántulas originadas de semilla obtenidas de autofecundación de dos plantas, una, de la Var. Spathacea y otra de Var.Concolor. Estas plantas fueron colectadas respectivamente en Michoacán y en Yucatán. Las plantas madre se identificaron como GAVA 1.11 a 1.20 y GAVA 2.11 a 2.20, respectivamente para progenies de Spathacea y Concolor. Actualmente todas éstas plantas se mantienen en invernadero en Chapingo, Méx.

3.2.Preparaciones citológicas.

El presente estudio mitótico se dividió en tres etapas. En la primera se hizo la determinación del número cromosómico; en la segunda, la realización de dibujos de cromosomas en metafase-anafase, en un solo plano, bien dispersos y no superpuestos, a partir de un aditamento Zeiss para dibujo; en la tercera, la evaluación o medición de cada cromosoma. El procedimiento que a continuación se describe se desarrolló para facilitar el estudio mitótico.

3.2.1.Recolección de ápices radicales.

Para el estudio citológico en general, se plantaron ejemplares de Rhoeo spathacea, Var. Spathacea y Concolor en recipientes de plástico con agrolita, con la finalidad de estimular el

desarrollo de raíces. Una vez formadas estas, se recolectaron los ápices radicales de aproximadamente 1cm de longitud.

3.2.2. Pretratamiento.

En general su objeto fue posibilitar la clara observación de la morfología de los cromosomas y, por lo tanto su conteo, mediante la inactivación del huso mitótico, lo cual permitió obtener el acortamiento adecuado de los mismos, nitidez de constricciones, y un buen número de células en metafase.

Los ápices radicales se cortaron por la mañana (10:30 A.M.), se les pretrató con solución acuosa 0.002M de 8-hidroxiquinolina a 15 °C durante 9 hrs (García, 1995)

3.2.3. Fijación.

Luego del pretratamiento, los ápices radicales se fijaron en mezcla Farmer 3:1 (etanol: ácido acético glacial v/v) por 18 a 24 hrs a temperatura ambiente, para su almacenamiento se sustituyó el fijador por etanol al 70%. Con la fijación se mantuvo intacta la morfología cromosómica (García, 1990; Sharma-Sharma, 1980).

3.2.4. Hidrólisis y tinción.

Con el fin de liberar grupos aldehído del ADN y colorear con la técnica de Feulgen utilizando el reactivo de Schiff, los ápices se sometieron a una hidrólisis suave en HCl 1N a 60 °C por 8-10 min. (García, 1995).

3.2.5. Aplastado.

Para lograr una buena separación de células de las raíces, estas se pusieron en citasa (jugo gástrico de caracoles de jardín (Helix aspersa) durante 1 a 2 hrs, y después, con pequeñas porciones del ápice radical se elaboraron preparaciones utilizando la técnica de aplastado en ácido acético 45% como medio de montaje (Garcia, 1995).

IV. ANÁLISIS CITOLOGICO

En este estudio de las variedades Spathacea y Concolor se compararon número cromosómico ($2n$), longitud total (LT; μm), longitud relativa (L%) y relación de brazos (r). Para analizar la longitud total de cada uno de los cromosomas de ambas variedades se usaron los datos de los **cuadros 1 y 2**. Asimismo para examinar simultáneamente la longitud relativa y la relación de brazos se usó el método propuesto por Tjio y Hadberg (1951) basado en datos de la longitud relativa sobre el eje de las X.

4.1. Observaciones citológicas.

Las observaciones citológicas se hicieron con un microscopio Carl Zeiss a un aumento de 1000x, realizándose dibujos de los cromosomas con el aditamento para dibujo Zeiss o cámara lúcida.

Los cariotipos se determinaron mediante el análisis de células en metafase mitótica. Con el auxilio de la cámara lúcida se dibujaron los cromosomas de 10 células de 10 plantas de las 2 variedades. El tamaño cromosómico se determinó a partir de éstos, basándose en la escala obtenida del micrómetro objetivo. Esta escala se proyectó a los mismos aumentos a que se hicieron los dibujos correspondientes de los cromosomas. Para hacer las mediciones se seleccionaron 10 células de cada cariotipo y se estimó el promedio de las células observadas para cada cromosoma.

Con esta información los 12 cromosomas del complemento se numeraron de mayor a menor longitud. A cada cromosoma se le determinó longitud total (LT; μm), longitud relativa (L%), longitud de brazo largo (BL) y longitud de brazo corto (BC), así como la relación de brazos (r).

4.2. Identificación de los cromosomas.

Los cromosomas somáticos se identificaron mediante el uso de longitud total ($LT; \mu m$) y el empleo simultáneo de tamaño relativo ($L\%$) expresado como porcentaje de un cromosoma dado con respecto al tamaño total del complemento ($2n=12$) y, la relación de brazos (r) calculada como el cociente del tamaño del brazo largo sobre el tamaño del brazo corto, como propuso Levan, et al., 1964.

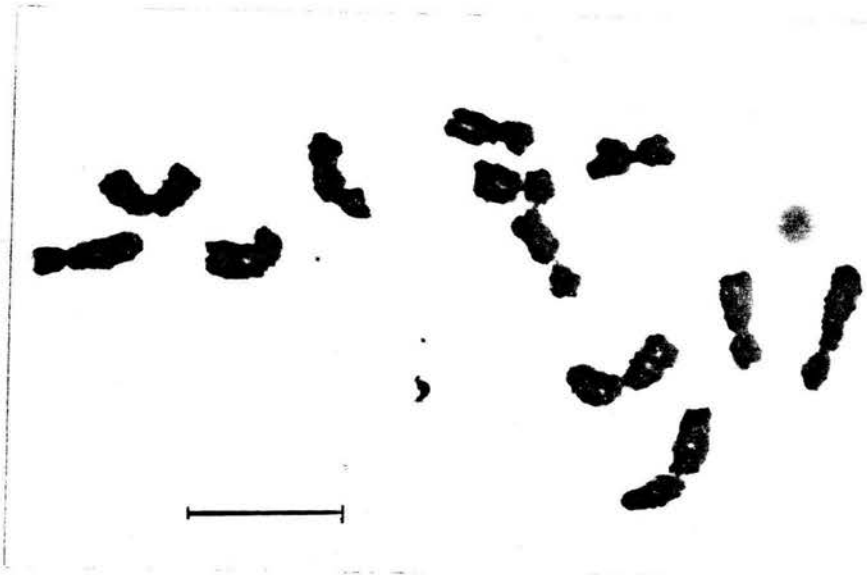
V.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Número cromosómico.

El número somático de cromosomas observados en las 20 plantas de ambas variedades de Rhoeo fué $2n=12$, que concuerda con lo previamente reportado por García (1995, 1994, 1991); Stack y Soulliere (1984); Verma y Ohri (1979); Natarajan y Natarajan (1972); Badhuri (1972) y Sax (1931) (**fig.1.**)



A



B

Fig.1. Células somáticas de *Rhoeo spathacea*, $2n=12$.
A. Var. Spathacea. B. Var. Concolor. Barr=10 μ m.

5.2. Longitud total (LT; μm).

Las 20 plantas mostraron cromosomas grandes (**cuadros 1 y 2**). Los cromosomas se numeraron en orden decreciente de su longitud, de modo que siempre el 1 es el más largo y el 12 el más corto, independientemente de la posición del centrómero.

Los cromosomas de Var. Spathacea exhibieron mayores dimensiones (13.15-9.73 μm para los cromosomas largos y 7.36-7.36 μm para los cortos) que la Var Concolor (13.31-9.37 μm para los cromosomas largos y 7.57-6.73 μm para los cortos).

5.2.1. Var. Spathacea.

En el **cuadro 1** se observa que cada planta presenta comúnmente cromosomas diferentes entre sí, aunque existen algunos que exhiben tamaños semejantes. Ello indica que probablemente no haya cromosomas homólogos entre plantas y entre cromosomas de un mismo ejemplar, dado que esta característica del cariotipo no pone en evidencia la presencia de translocaciones. Como se verá más adelante, las diferencias son más evidentes en las relaciones de brazos (r), esto es, los cromosomas con igual o semejante longitud total (LT; μm) difieren marcadamente en relación de brazos (r).

La planta GAVA 1.11 exhibe los cromosomas de menores dimensiones (9.73-7.36 μm) y la planta GAVA 1.20 los de mayores dimensiones (13.15-7.36 μm); sin embargo este ejemplar expone el cromosoma 12 de igual tamaño que la planta GAVA 1.11, esto es, GAVA 1.20 tiene mayor rango de variación entre el cromosoma más largo y el más corto

Los restantes ejemplares muestran dimensiones parecidas entre sí; los cromosomas presentan variaciones del 1 al 12.

5.2.2. Var. Concolor.

En esta variedad los cromosomas son marcadamente más diferentes entre uno y otro de la misma planta. Esto es, no hay dos cromosomas homólogos en lo referente al tamaño absoluto (μm). Las plantas GAVA 2.13 y GAVA 2.17 presentan los menores tamaños ($9.37\text{-}6.73\mu\text{m}$), la planta GAVA 2.15 las mayores dimensiones ($13.31\text{-}7.59\mu\text{m}$). Las restantes plantas exhiben dimensiones semejantes entre sí ; los cromosomas muestran diferencias del 1 al 12.

Como se aprecia (**cuadros 1 y 2**) las diferencias de longitud total de cada uno de los 12 cromosomas son más claras entre individuos de la Var. Concolor.

Por las longitudes observadas en cada variedad, es probable que no existan cromosomas homólogos, ya que aún y cuando se exhiben algunos cromosomas con tamaños absolutos similares, su morfología no lo es, como más adelante, (**cuadros 3 y 4**) se muestra en la relación de brazos (r). Esto concuerda con Stack y Soulliere (1984) y García (1991, 1994, 1995) quienes observaron que en Rhoeo no se presentan dos cromosomas morfológicamente idénticos. Ello indica que tal vez el material cromosómico es el mismo, reorganizado como resultado de las translocaciones.

Cuadro 1. Longitud total (L.T;µm) de cromosomas de 10 células promedio de Var. Spathacea.

Planta GAVVA	C R O M O S O M A												Rango cromo- soma 1-12
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.11	9.73	9.47	8.94	8.94	8.93	8.41	8.41	8.36	7.89	7.89	7.36	7.36	2.37
1.12	12.36	12.10	11.84	11.15	10.78	10.78	9.63	9.47	9.10	8.94	8.68	8.42	3.94
1.13	10.78	10.52	10.37	10.20	9.97	9.96	9.63	9.51	9.17	9.17	8.83	8.37	2.41
1.14	11.04	10.93	10.74	10.62	10.62	10.59	10.55	10.55	10.41	10.29	10.02	9.58	1.46
1.15	9.94	9.84	9.78	9.78	9.57	9.52	9.35	9.26	8.84	8.78	8.68	8.36	1.58
1.16	10.16	9.55	9.47	9.46	9.29	9.28	9.12	9.03	8.68	8.41	8.06	7.71	2.45
1.17	10.38	9.75	9.33	9.18	8.95	8.81	8.75	8.60	8.53	8.15	7.94	7.79	2.59
1.18	12.47	11.64	11.53	11.53	11.41	11.27	11.20	11.06	10.99	10.79	10.71	10.65	1.82
1.19	12.57	12.28	11.99	11.47	11.20	11.14	10.85	9.71	8.85	8.84	7.99	7.99	4.58
1.20	13.15	12.97	12.80	11.22	11.22	10.69	10.48	9.82	9.81	9.46	9.12	7.36	5.79

X=11.26

X=8.36

X=2.89

Cuadro 2. Longitud total (L.T;µm) de cromosomas de 10 células promedio Var. Concolor.

Planta GAVVA	C R O M O S O M A												Rango cromo- soma 1-12
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2.11	10.07	9.49	9.39	9.15	8.83	8.63	8.36	8.14	8.07	7.73	7.54	6.76	3.31
2.12	10.66	10.03	9.59	9.09	8.82	8.63	8.36	8.16	7.99	7.69	7.33	6.76	3.90
2.13	9.64	9.63	9.42	9.02	8.77	8.15	8.14	7.96	7.69	7.63	7.34	7.06	2.58
2.14	11.14	10.88	10.10	8.93	8.78	8.78	8.36	8.25	8.15	8.10	7.30	7.20	3.94
2.15	13.31	12.31	11.04	10.94	10.57	10.36	9.89	9.20	8.94	8.88	8.78	7.57	5.74
2.16	10.05	9.84	9.55	9.15	8.96	8.78	8.52	8.02	7.97	7.89	7.34	7.05	3.00
2.17	9.37	9.17	9.11	8.82	8.70	8.18	8.06	7.61	7.50	7.49	7.21	6.73	2.64
2.18	10.12	9.55	8.94	8.76	8.63	8.36	7.92	7.86	7.68	7.39	6.94	6.88	3.24
2.19	10.18	10.10	10.10	9.49	9.46	9.02	8.81	8.66	8.34	7.96	7.81	7.47	2.71
2.20	11.61	10.66	9.96	9.47	9.26	8.86	8.59	8.39	7.99	7.69	7.40	7.07	4.54

$\bar{X}=10.61$

$\bar{X}=7.05$

$\bar{X}=3.56$

5.3. Longitud relativa (L%) y relación de brazos (r).

Empleando simultáneamente valores de L% y (r) (**figs. 3.11 a 3.20** para Var. Spathacea y **4.11 a 4.20** para Var. Concolor) se logró una clara identificación de la posición centromérica en cada uno de los 12 cromosomas de ambas variedades y se confirmó que en su cariotipo no existen cromosomas totalmente homólogos. Los valores de tamaño rel. (L%) y relación de brazos (r) permitieron hacer una comparación intra e intervarietal mas precisa (**cuadros 3 y 4**) que los tamaños absolutos.

Cuadro 3. Longitud relativa (L%) y relación de brazos (r) de cromosomas de 10 plantas de Var. *Spathacea*.

Planta GAVA	C R O M O S O M A												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.11	L%	9.50	9.30	8.70	8.70	8.70	8.20	8.27	8.22	7.70	7.70	7.23	7.20
	r	1.31m	1.76sm	2.09sm	1.12m	1.26m	2.20sm	1.45m	1.43m	1.42m	1.30m	1.54m	1.33m
1.12	L%	10.00	9.80	9.60	9.00	8.70	8.70	7.80	7.60	7.30	7.20	7.00	6.80
	r	1.13m	1.30m	1.42m	1.49m	1.87sm	1.04m	2.45sm	1.40m	2.26sm	1.98sm	1.35m	2.20sm
1.13	L%	9.26	9.03	8.91	8.76	8.56	8.47	8.27	8.17	7.87	7.87	7.58	7.19
	r	1.90sm	1.37m	1.55m	1.90sm	1.90sm	1.90sm	1.90sm	1.90sm	1.90sm	1.89sm	1.90sm	1.90sm
1.14	L%	8.70	8.60	8.50	8.40	8.40	8.40	8.30	8.30	8.20	8.10	7.90	7.60
	r	1.60m	1.55m	1.80m	1.94sm	1.72sm	1.49m	1.57m	1.48m	1.49m	1.44m	1.44m	1.63m
1.15	L%	8.80	8.80	8.70	8.70	8.50	8.50	8.30	8.20	7.90	7.80	7.70	7.40
	r	1.71sm	2.06sm	1.86sm	1.41m	1.56m	1.82sm	1.36m	1.70m	1.43m	1.42m	1.84sm	1.60m
1.16	L%	9.37	8.80	8.73	8.72	8.57	8.56	8.41	8.33	8.00	7.73	7.43	7.11
	r	1.52m	2.02sm	1.57m	1.70m	1.79sm	1.35m	1.53m	1.34m	1.63m	1.52m	1.78sm	1.51m
1.17	L%	9.47	9.18	8.78	8.64	8.43	8.29	8.24	8.10	8.03	7.67	7.47	7.33
	r	2.64sm	1.43m	1.85sm	2.33sm	1.50m	1.41m	1.81sm	1.42m	1.49m	1.35m	1.32m	1.11m
1.18	L%	9.21	8.60	8.56	8.52	8.43	8.33	8.28	8.17	8.12	7.97	7.91	7.87
	r	1.54m	1.39m	1.76sm	1.45m	1.49m	1.60m	1.66m	1.90sm	1.86sm	1.59m	1.62m	1.83sm
1.19	L%	10.06	9.83	9.60	9.18	8.96	8.92	8.68	7.77	7.08	7.07	6.39	6.39
	r	1.09m	1.38m	2.23sm	2.05sm	1.15m	1.16m	2.45sm	1.42m	1.21m	1.58m	2.5sm	1.80sm
1.20	L%	10.26	10.12	9.99	8.75	8.75	8.34	8.18	7.66	7.65	7.38	7.11	5.74
	r	2.12sm	2.08sm	1.43m	1.78sm	1.78sm	1.44m	1.13m	2.11sm	1.43m	1.45m	1.47m	1.47m

*m,sm:cromosomas metacéntricos y submetacéntricos, respectivamente.

Cuadro 4. Longitud relativa (L%) y relación de brazos (r) de cromosomas de 10 plantas de Var. Concolor.

Planta GAVA		C										12	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2.11	L%	9.85	9.28	9.19	8.95	8.64	8.44	8.18	7.96	7.89	7.56	7.38	6.61
	r	2.39sm	1.43m	1.66m	2.22sm	1.45m	1.75m	1.48m	1.54m	1.49m	1.49m	1.33m	1.35m
2.12	L%	10.33	9.72	9.30	8.81	8.55	8.36	8.10	7.91	7.74	7.45	7.10	6.55
	r	1.25m	1.38m	1.37m	1.72sm	1.79sm	1.72sm	1.64m	1.75sm	1.72sm	1.71sm	1.71sm	1.74sm
2.13	L%	9.59	9.58	9.37	8.97	8.73	8.11	8.10	7.92	7.65	7.59	7.30	7.02
	r	1.23m	1.65m	2.30sm	1.54m	1.92sm	1.77sm	1.46m	1.68m	1.44m	1.64m	1.43m	1.29
2.14	L%	10.51	10.26	9.53	8.42	8.28	8.28	7.88	7.78	7.69	7.64	6.88	6.79
	r	2.53sm	1.30m	1.74sm	1.83sm	2.03sm	1.56m	1.56m	1.53m	1.38m	1.48m	1.67m	1.49m
2.15	L%	10.92	10.10	9.06	8.98	8.67	8.50	8.12	7.55	7.34	7.29	7.20	6.21
	r	1.18m	1.34m	1.09m	1.93sm	3.05sm	2.64sm	1.13m	2.30sm	1.12m	2.25sm	1.25m	2.27sm
2.16	L%	9.93	9.73	9.44	9.04	8.86	8.68	8.42	7.93	7.88	7.80	7.25	6.97
	r	2.38sm	1.73sm	1.45m	1.87sm	1.64m	1.41m	1.43m	1.43m	1.61m	1.30m	1.47m	1.28m
2.17	L%	9.56	9.36	9.30	9.00	8.88	8.35	8.22	7.76	7.65	7.64	7.36	6.87
	r	2.35sm	1.54m	1.85sm	1.54m	1.41m	1.44m	1.76sm	1.58m	1.49m	1.40m	1.34m	1.32m
2.18	L%	10.21	9.64	9.02	8.84	8.71	8.44	7.99	7.93	7.75	7.46	7.00	6.94
	r	2.44sm	1.72sm	1.78sm	1.48m	1.75sm	1.27m	1.83sm	1.71sm	1.45m	1.46m	1.27m	1.35m
2.19	L%	9.47	9.40	9.40	8.83	8.80	8.39	8.20	8.06	7.76	7.41	7.27	6.95
	r	1.78sm	2.69sm	1.57m	1.51m	1.70m	1.54m	1.51m	1.43m	1.43m	1.55m	1.43m	1.38m
2.20	L%	10.85	9.96	9.31	8.85	8.65	8.28	8.03	7.84	7.47	7.19	6.91	6.61
	r	1.12m	1.13m	1.58m	1.81sm	1.95sm	1.68m	1.63m	1.74sm	1.72sm	2.00sm	1.74sm	2.11sm

*m,sm: cromosomas metacéntricos y submetacéntricos, respectivamente.

A continuación se presentan figuras de longitud relativa (L%) y relación de brazos (r) de las variedades Spathacea y Concolor de Rhoeo spathacea.

Estas fueron elaboradas con base a los datos de los cuadros anteriores y permiten una más clara visualización de las diferencias existentes entre cariotipos de diferentes individuos.

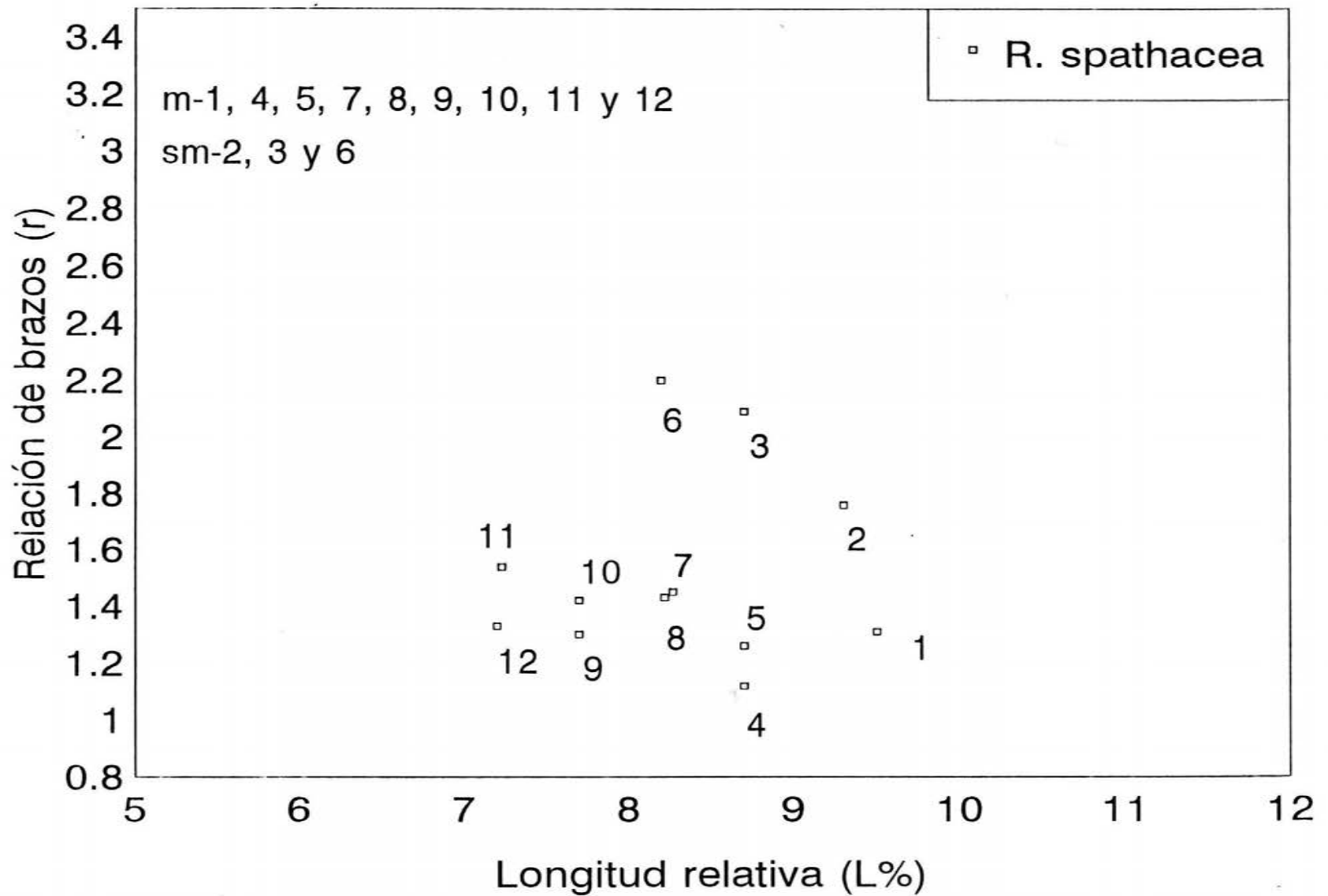


Fig.3.11. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.11 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

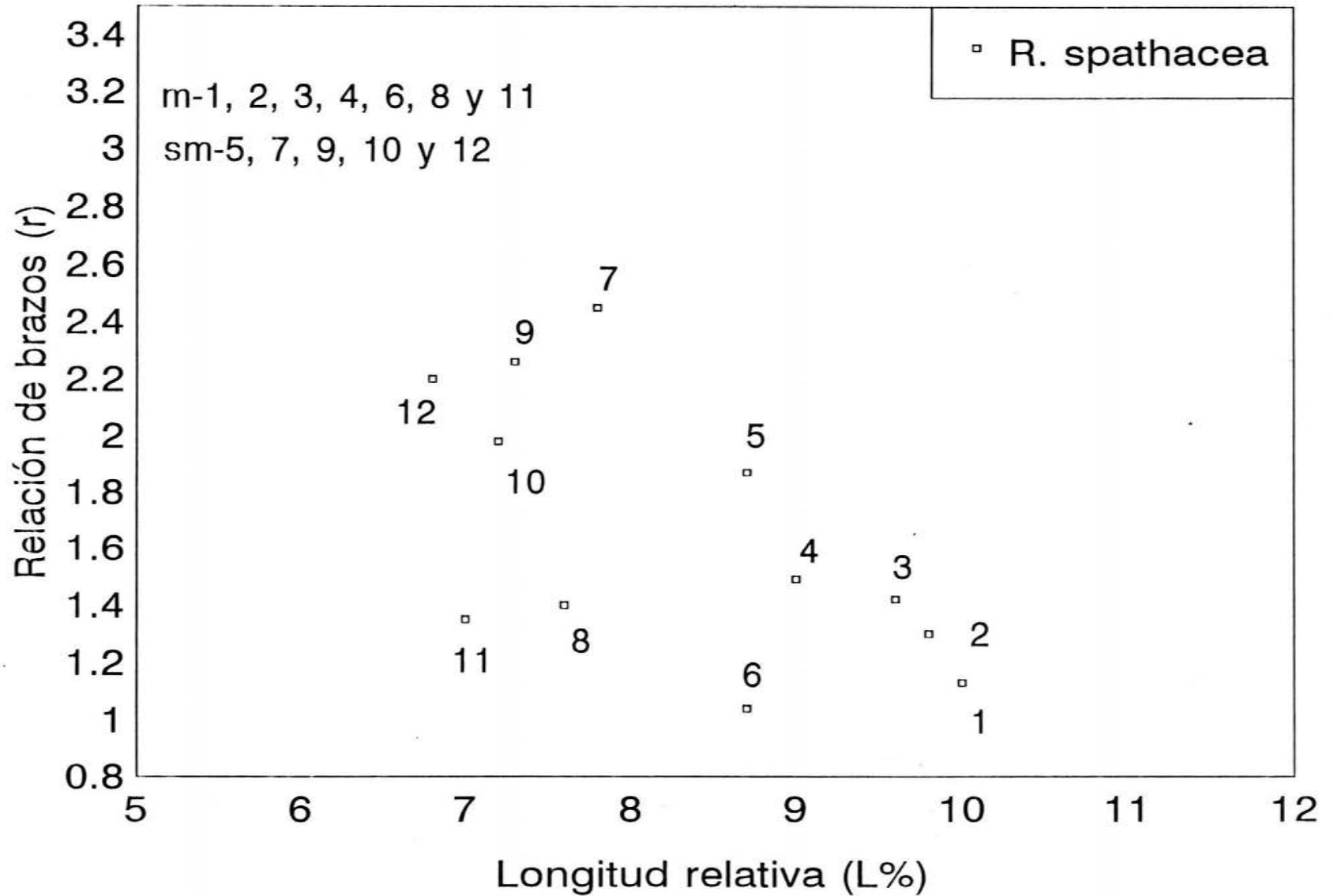


Fig.3.12. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.12 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

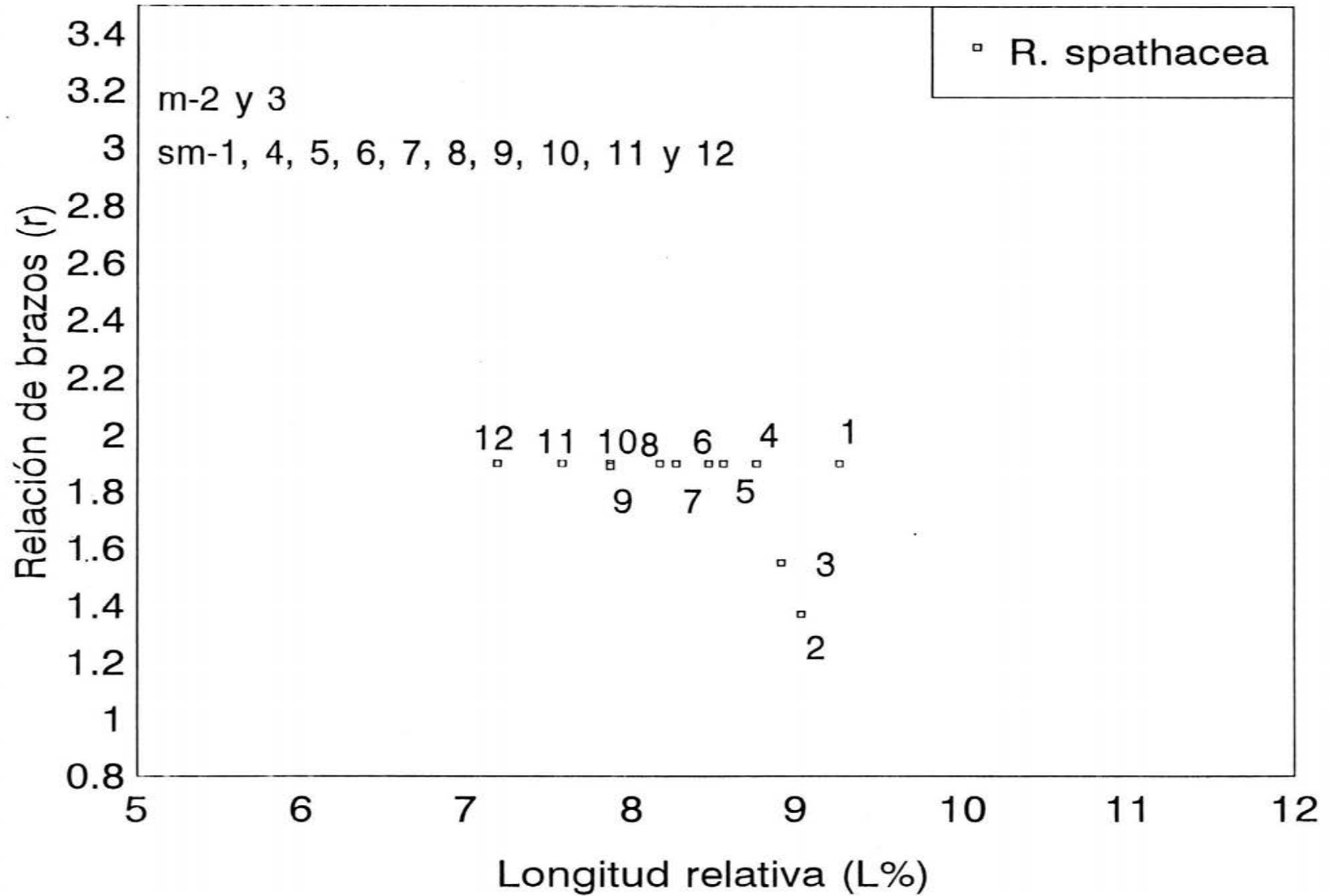


Fig.3.13.Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.13 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

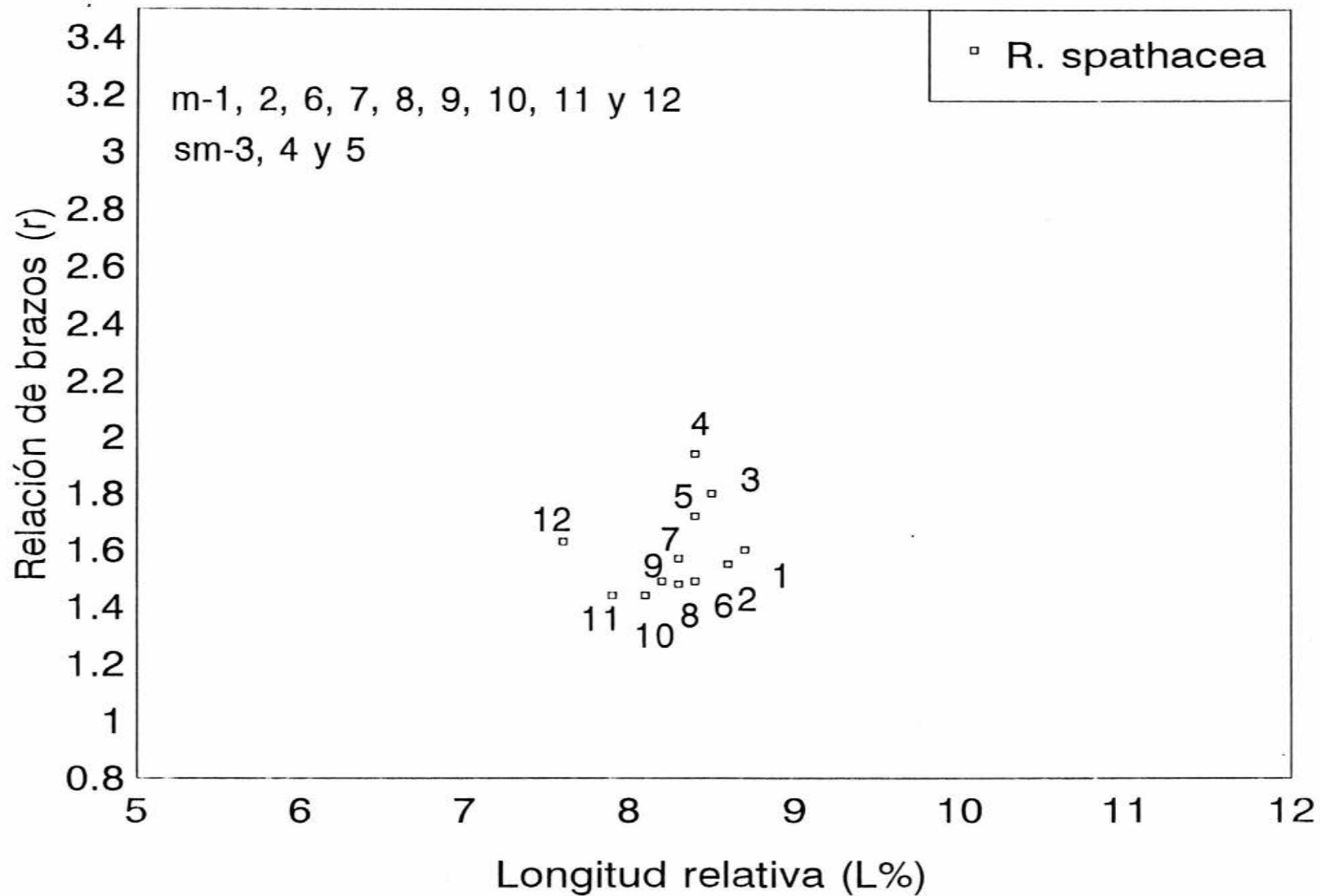


Fig.3.14. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.14 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

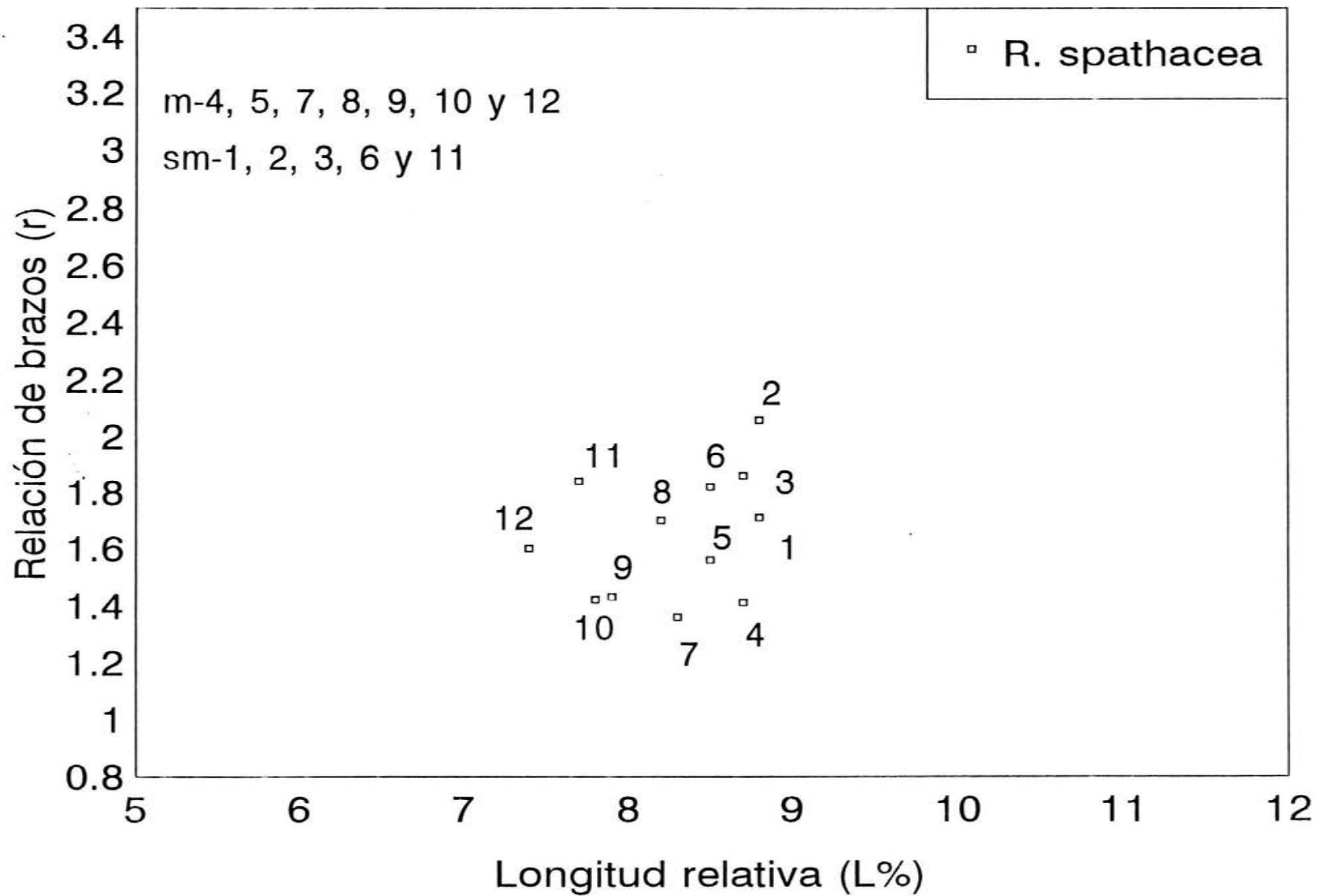


Fig.3.15. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.15 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

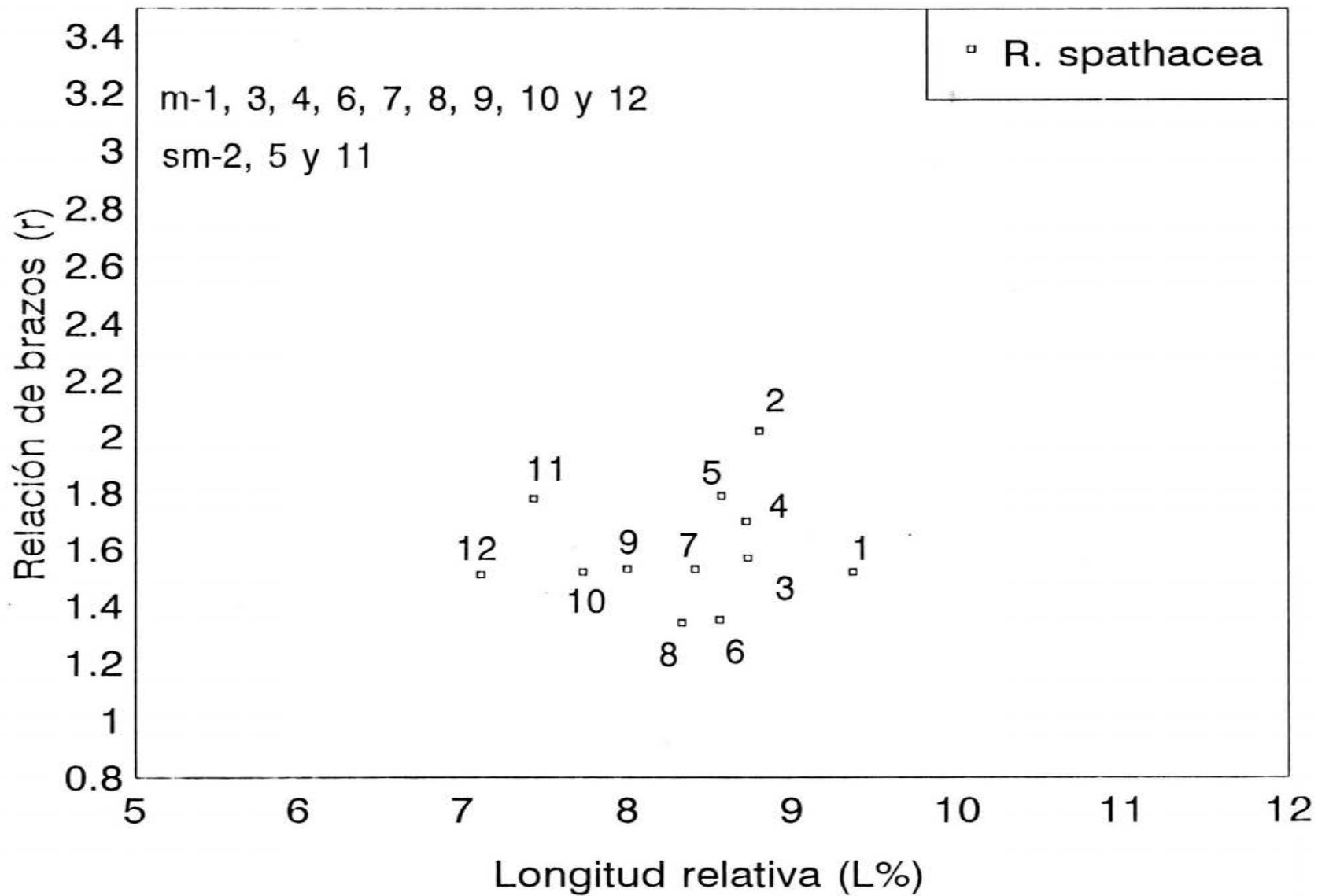


Fig.3.16. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.16 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

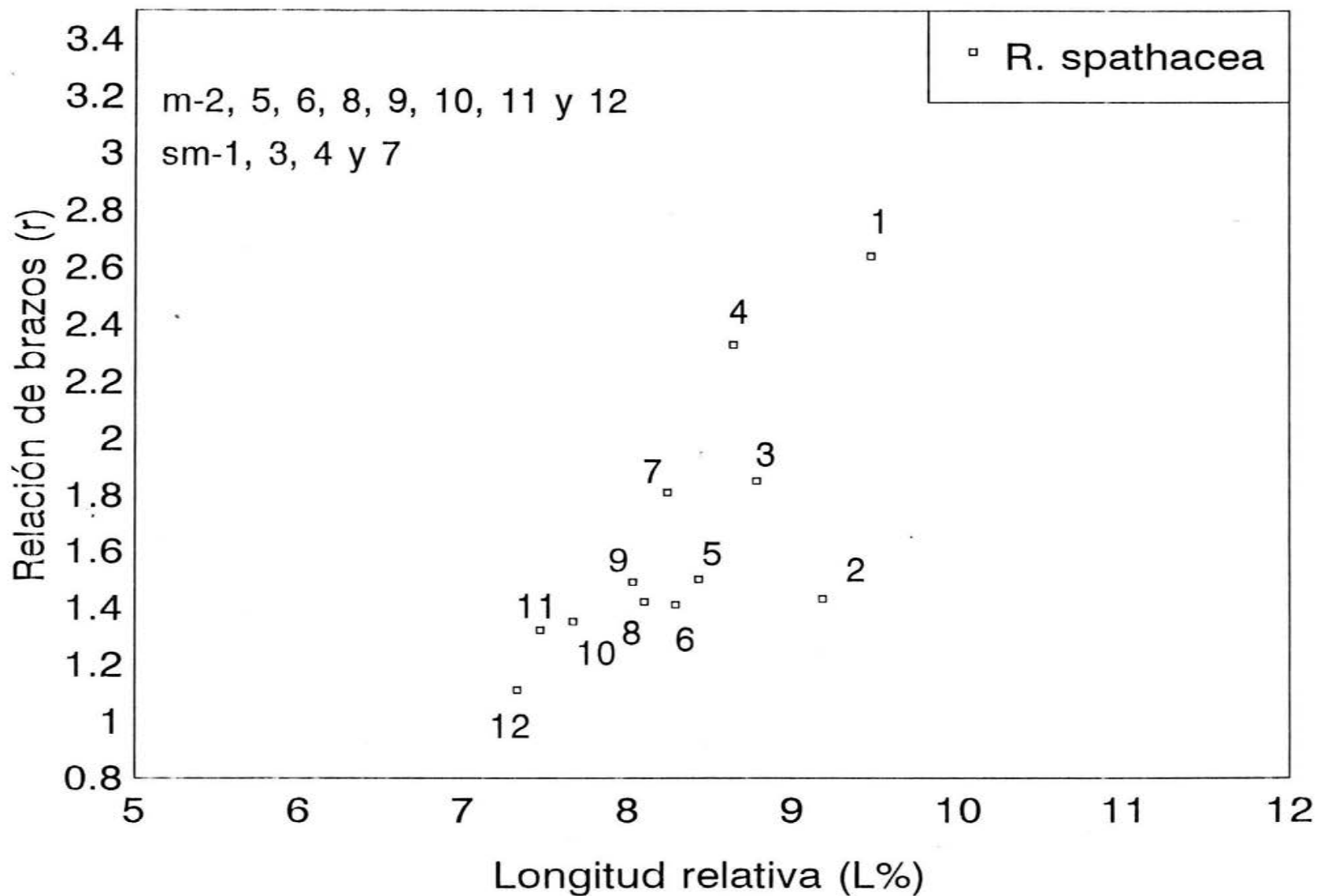


Fig.3.17. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.17 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

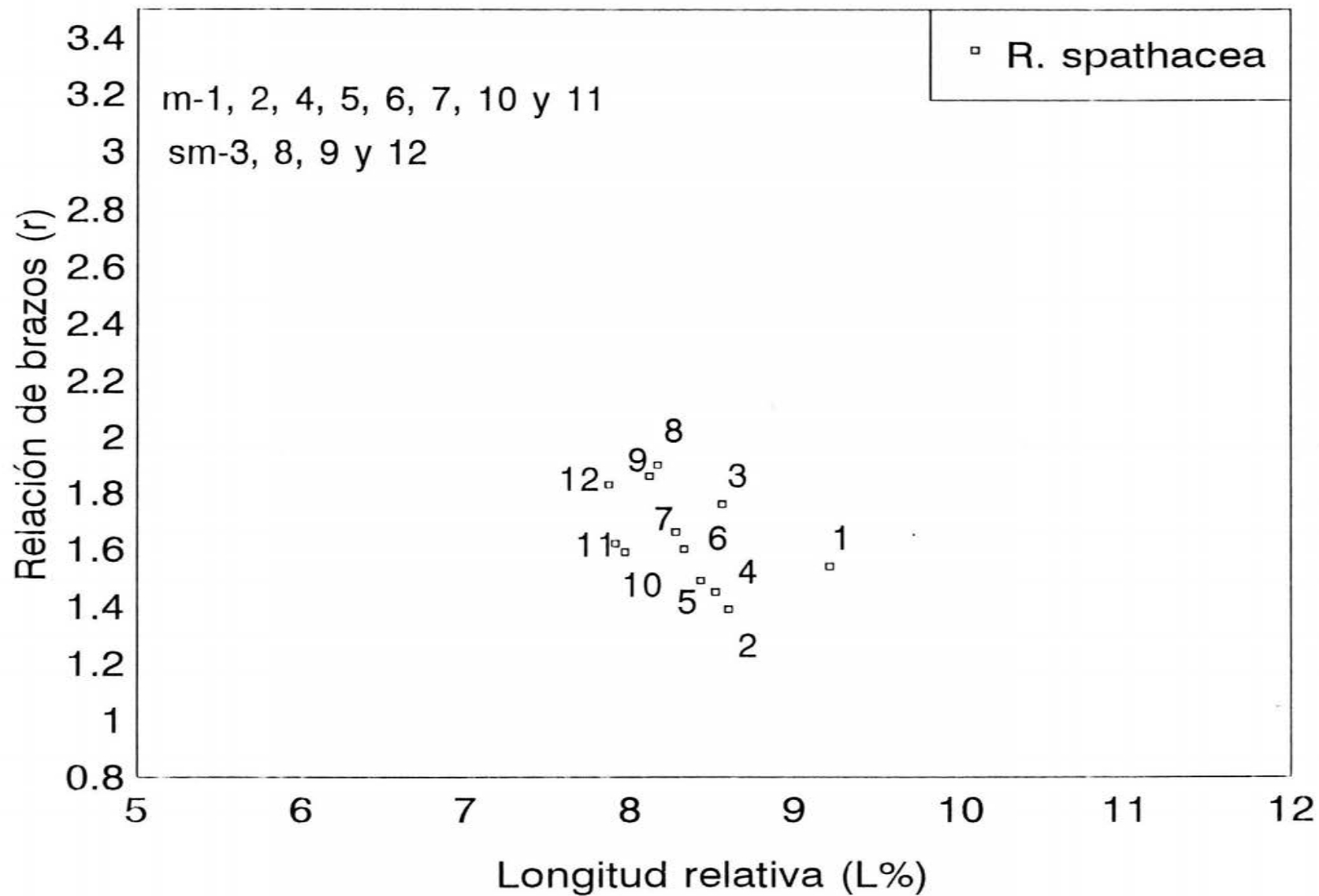


Fig.3.18. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.18 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

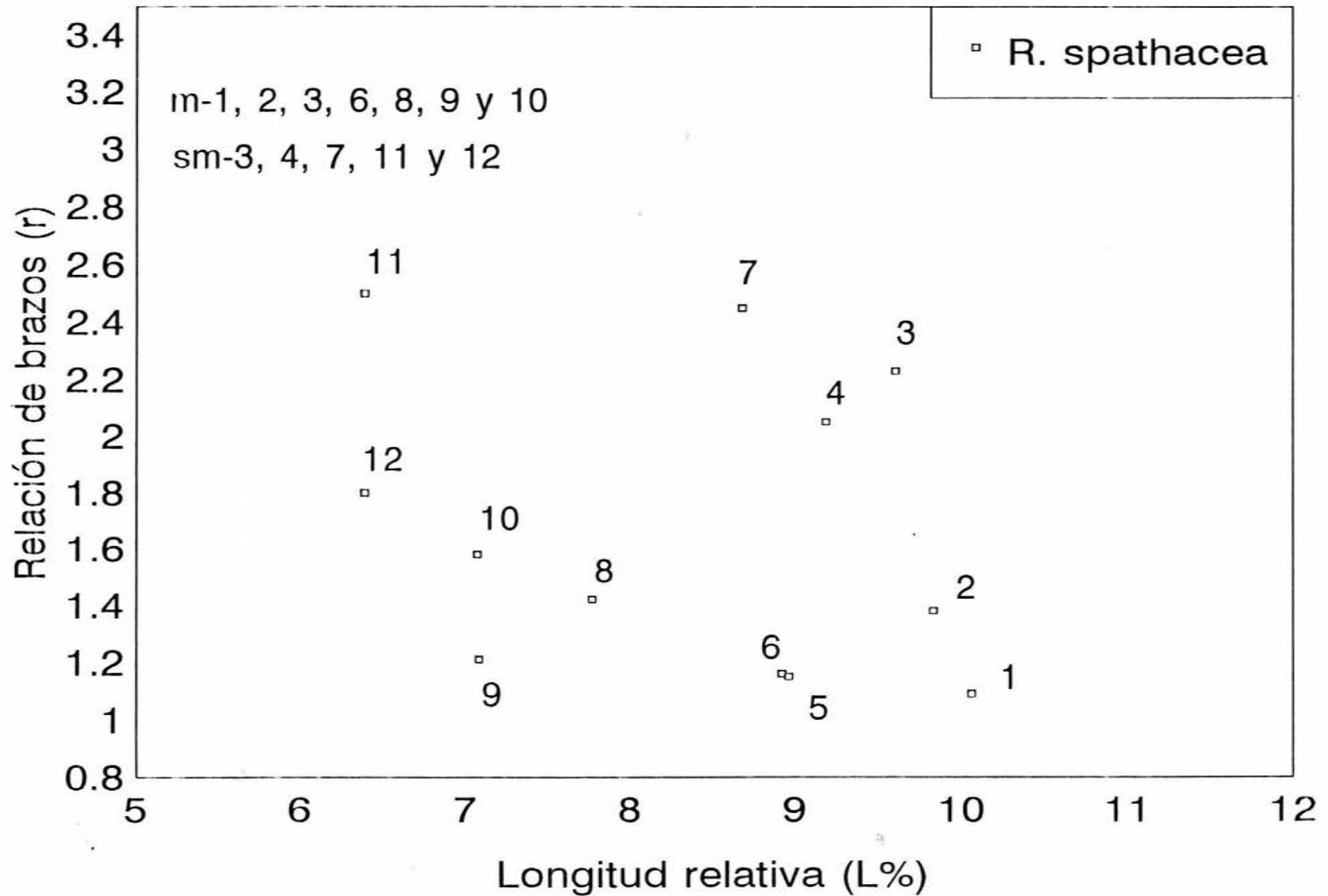


Fig.3.19. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.19 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

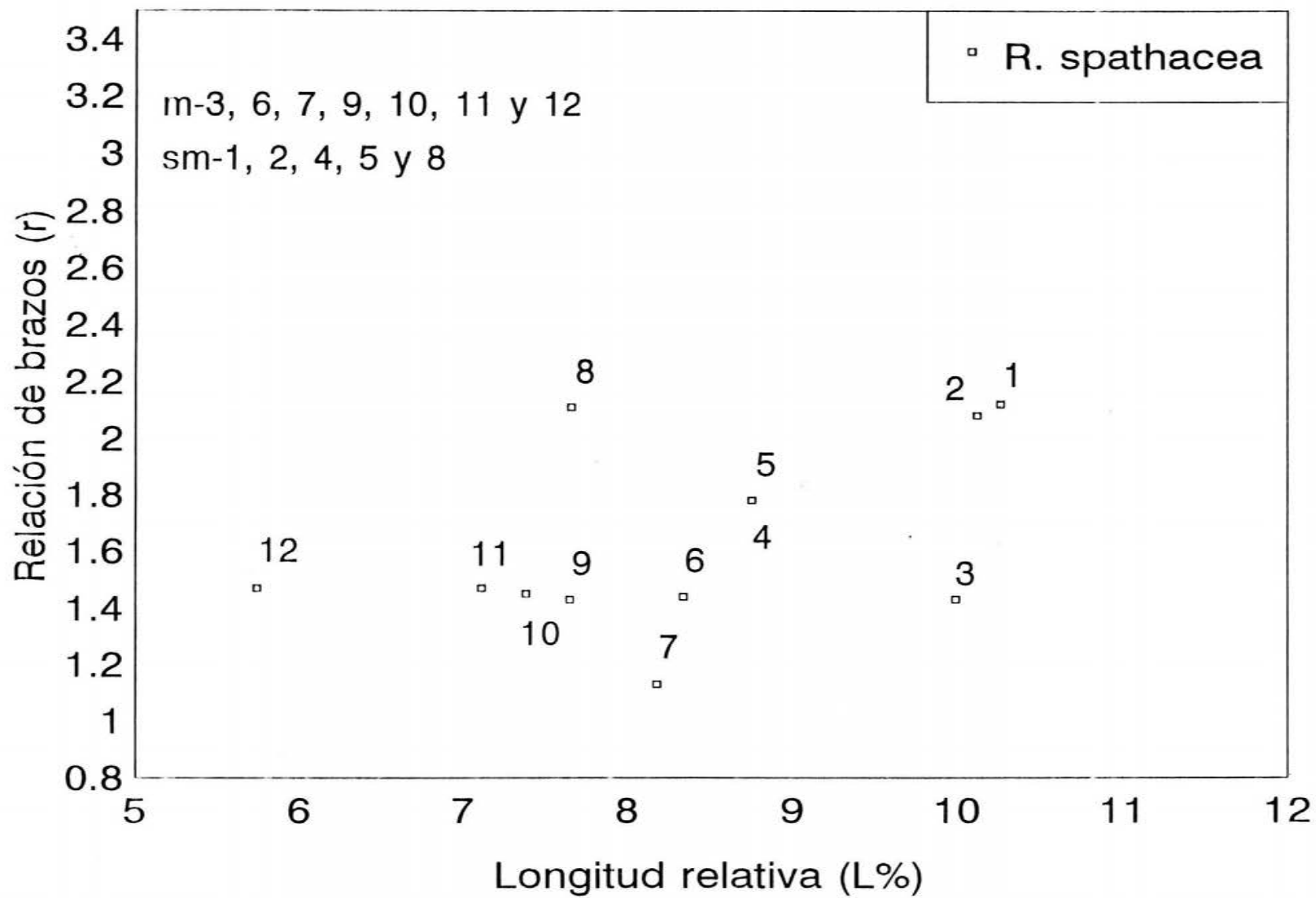


Fig.3.20. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 1.20 (var. Spathacea) mostrados en el cuadro 3 (cromosomas meta y submetacéntricos).

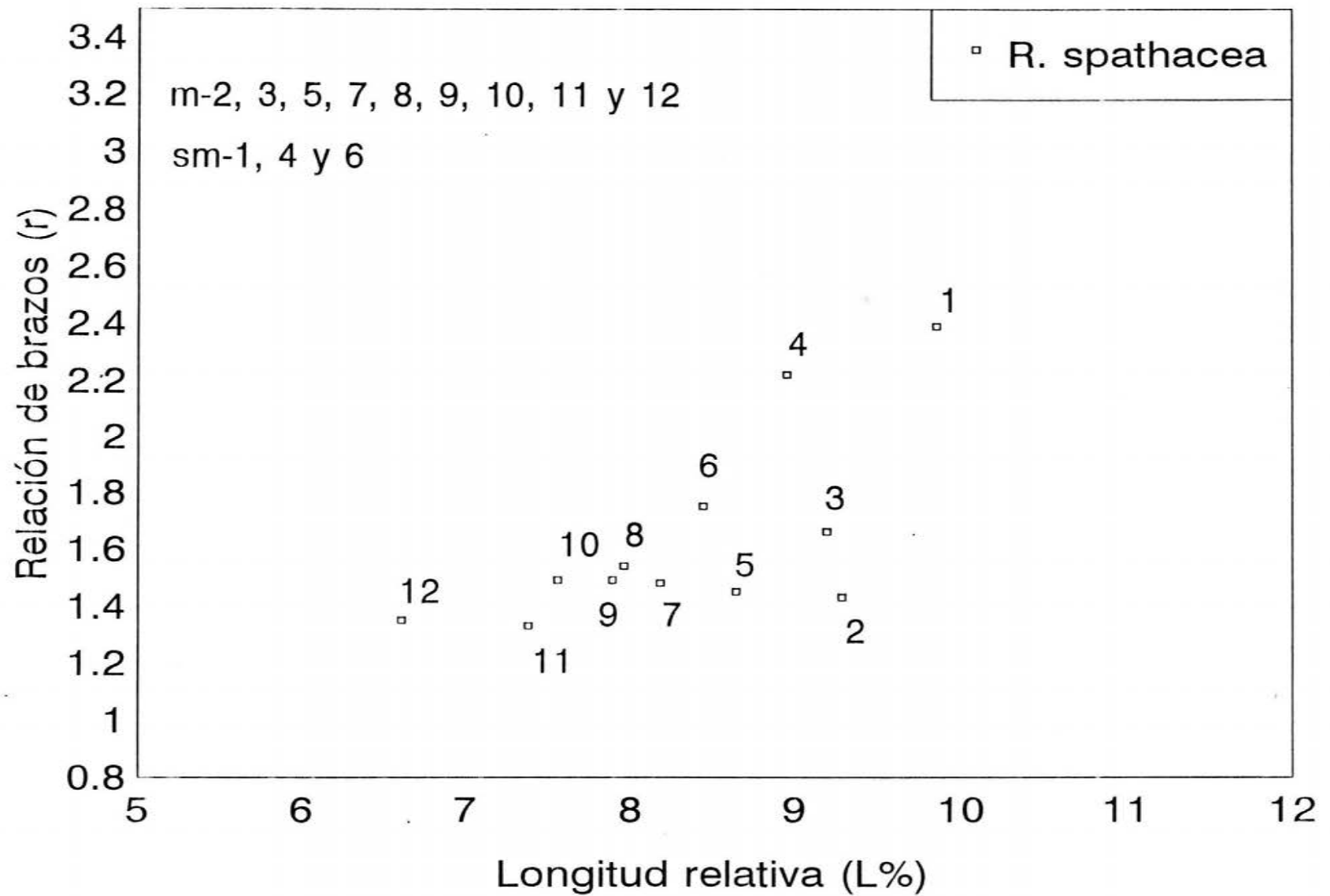


Fig.4.11. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.11 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

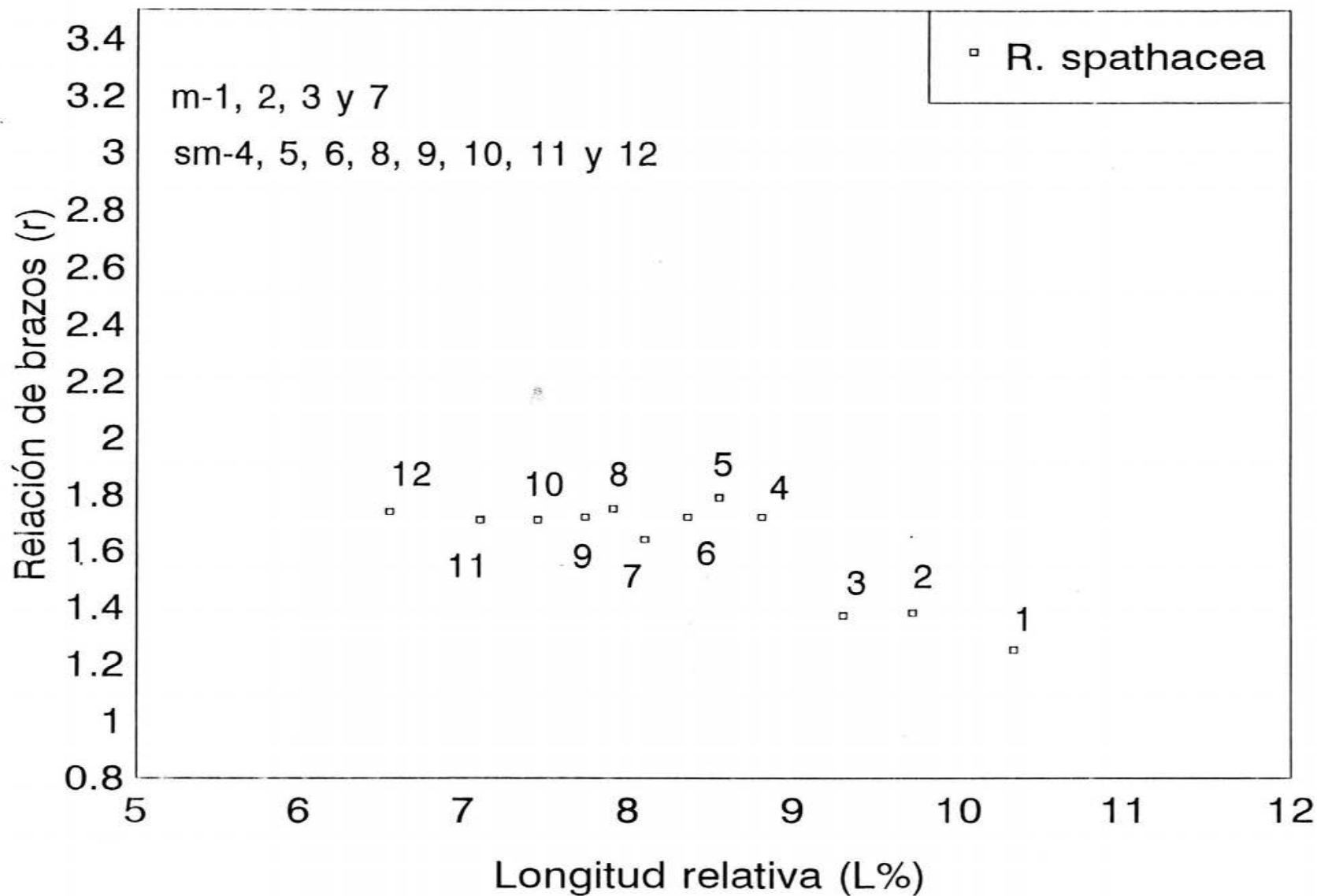


Fig.4.12. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.12 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

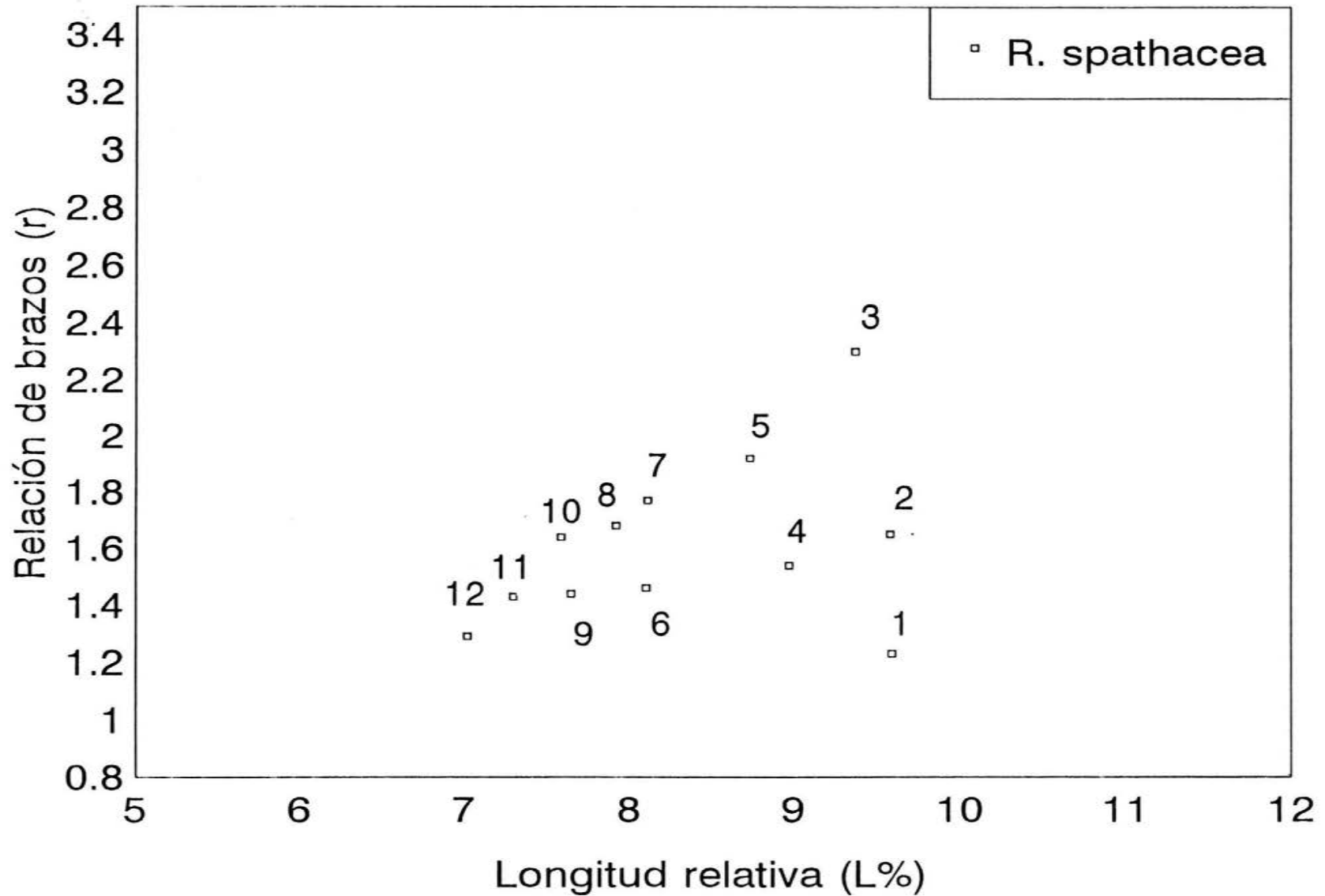


Fig.4.13. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.13 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

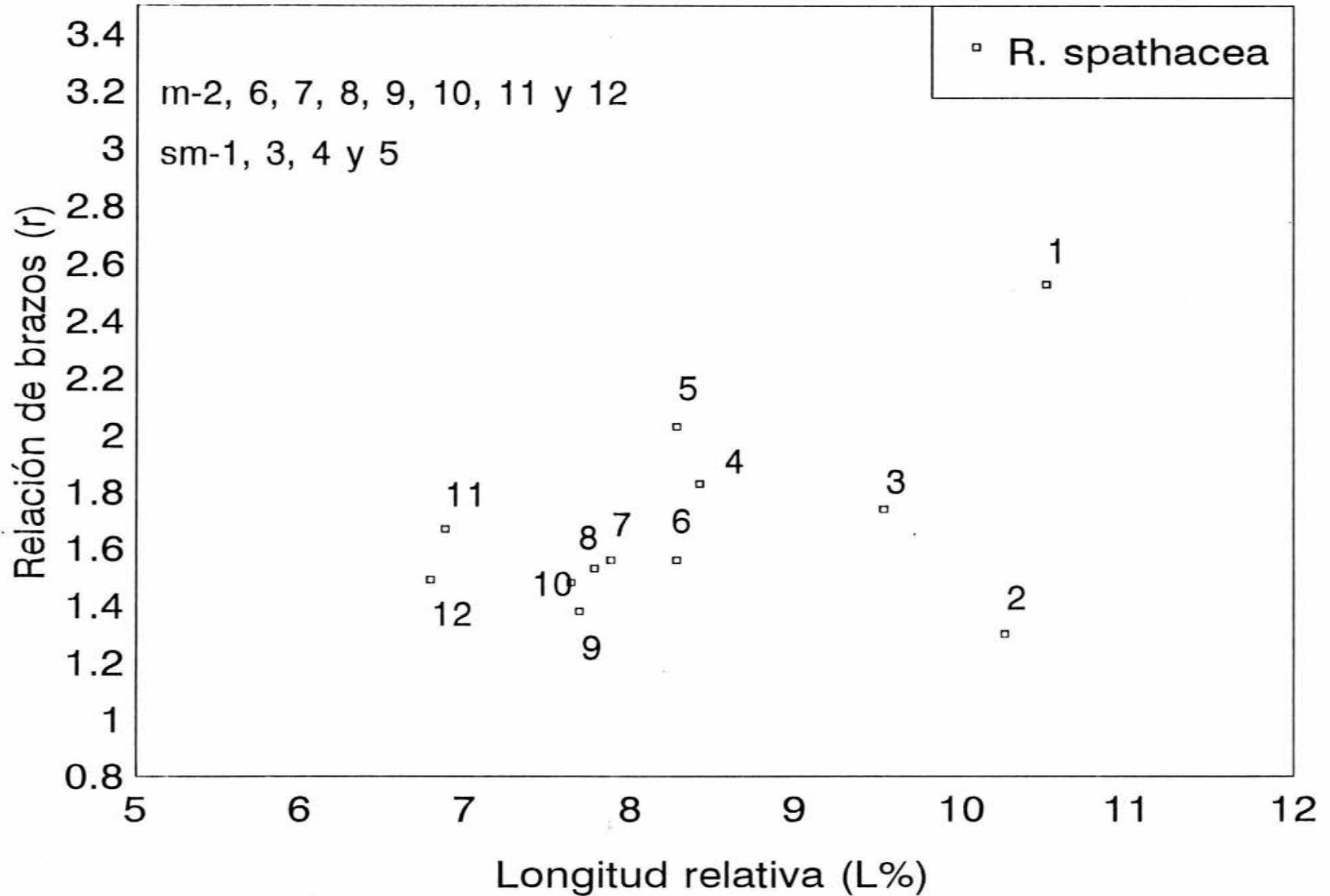


Fig.4.14. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.14 (var Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

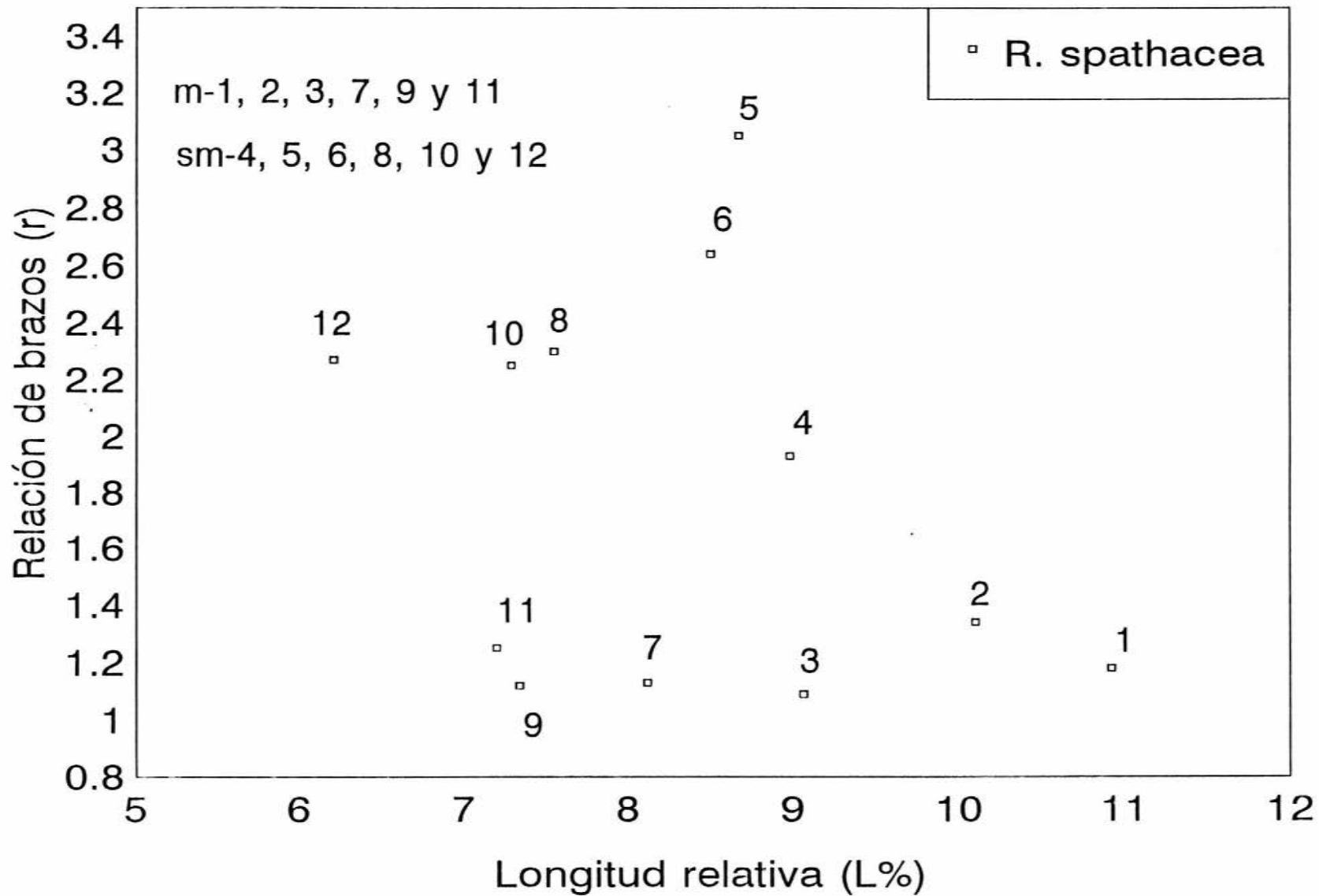


Fig.4.15. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.15 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

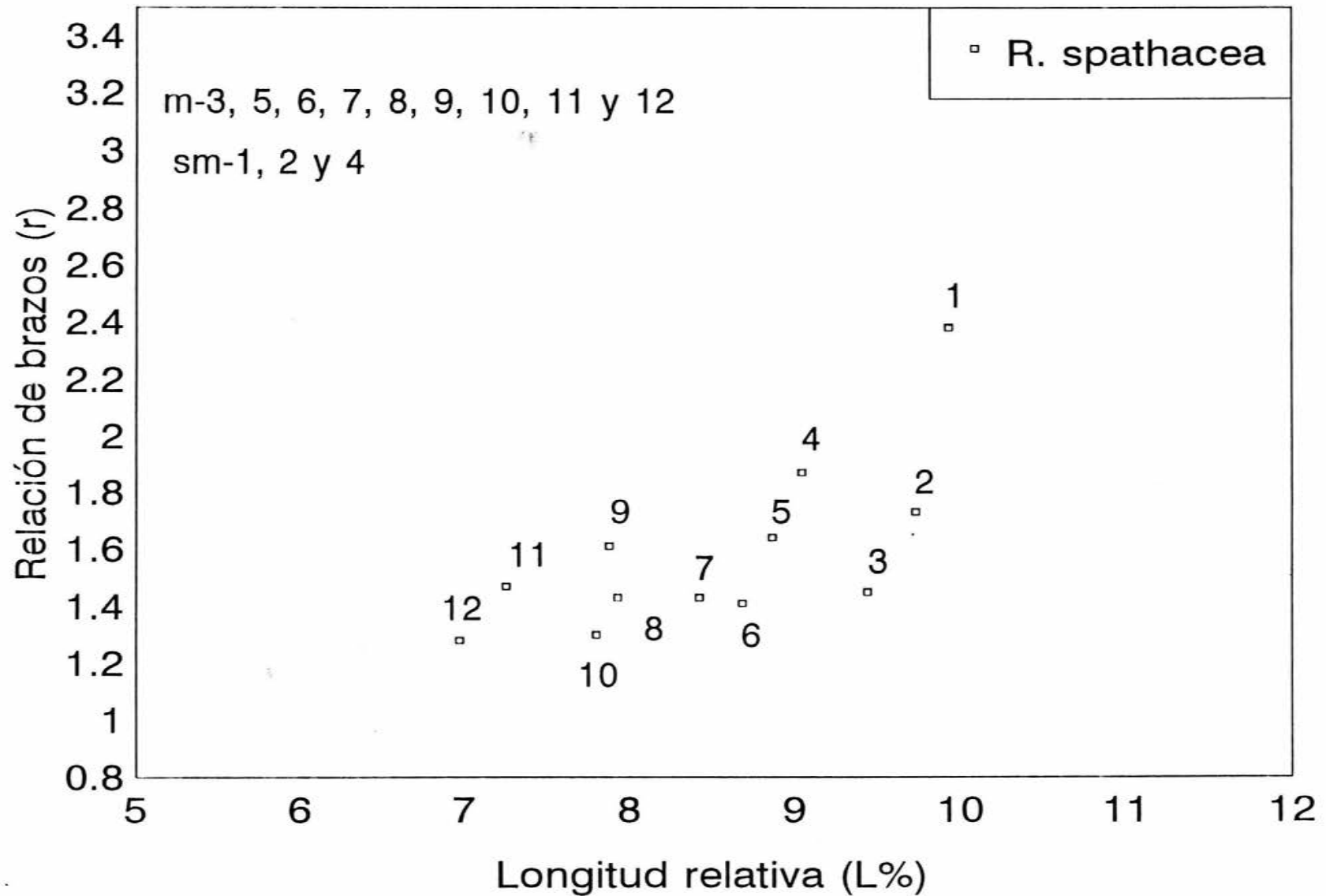


Fig.4.16. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.16 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

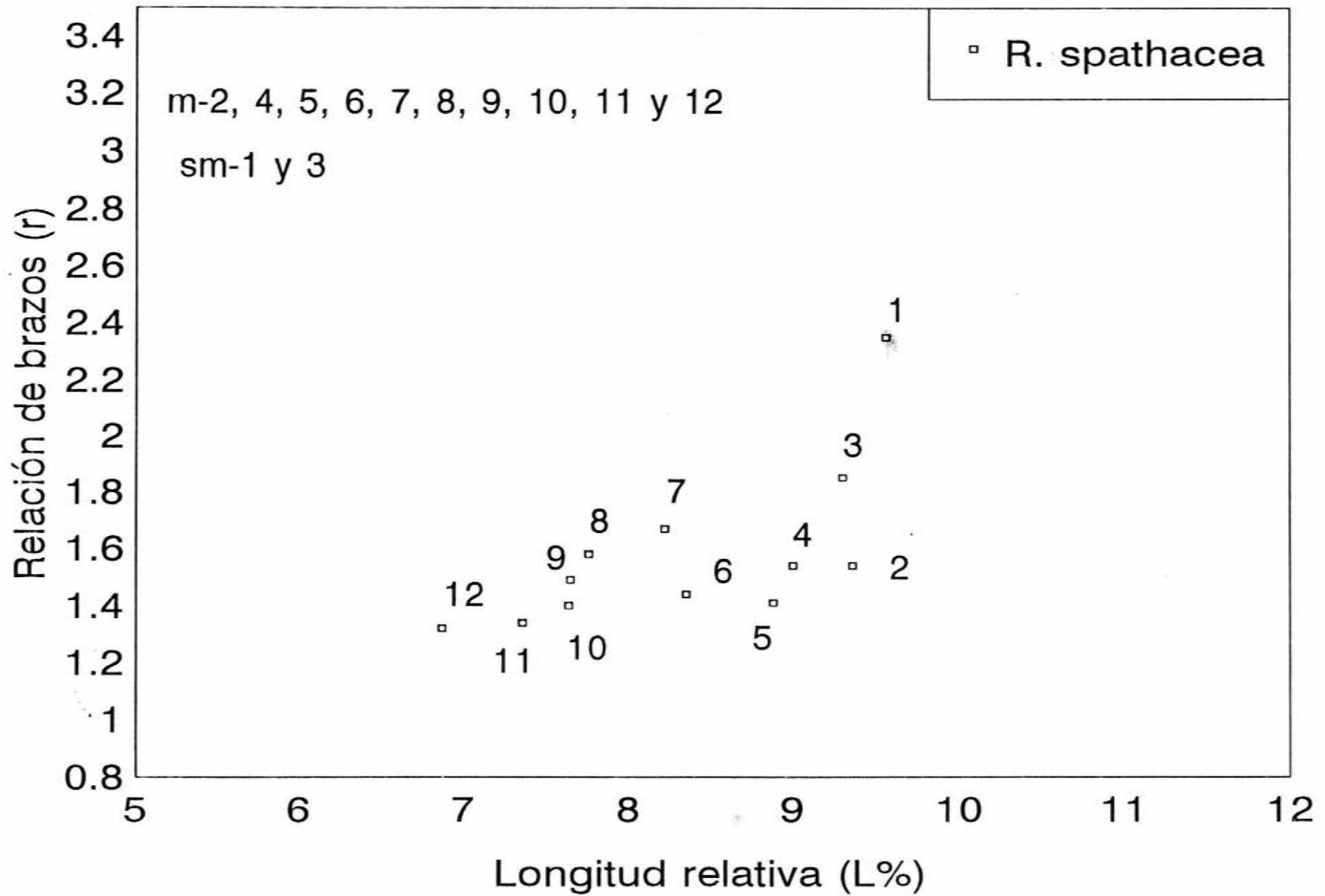


Fig.4.17. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.17 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

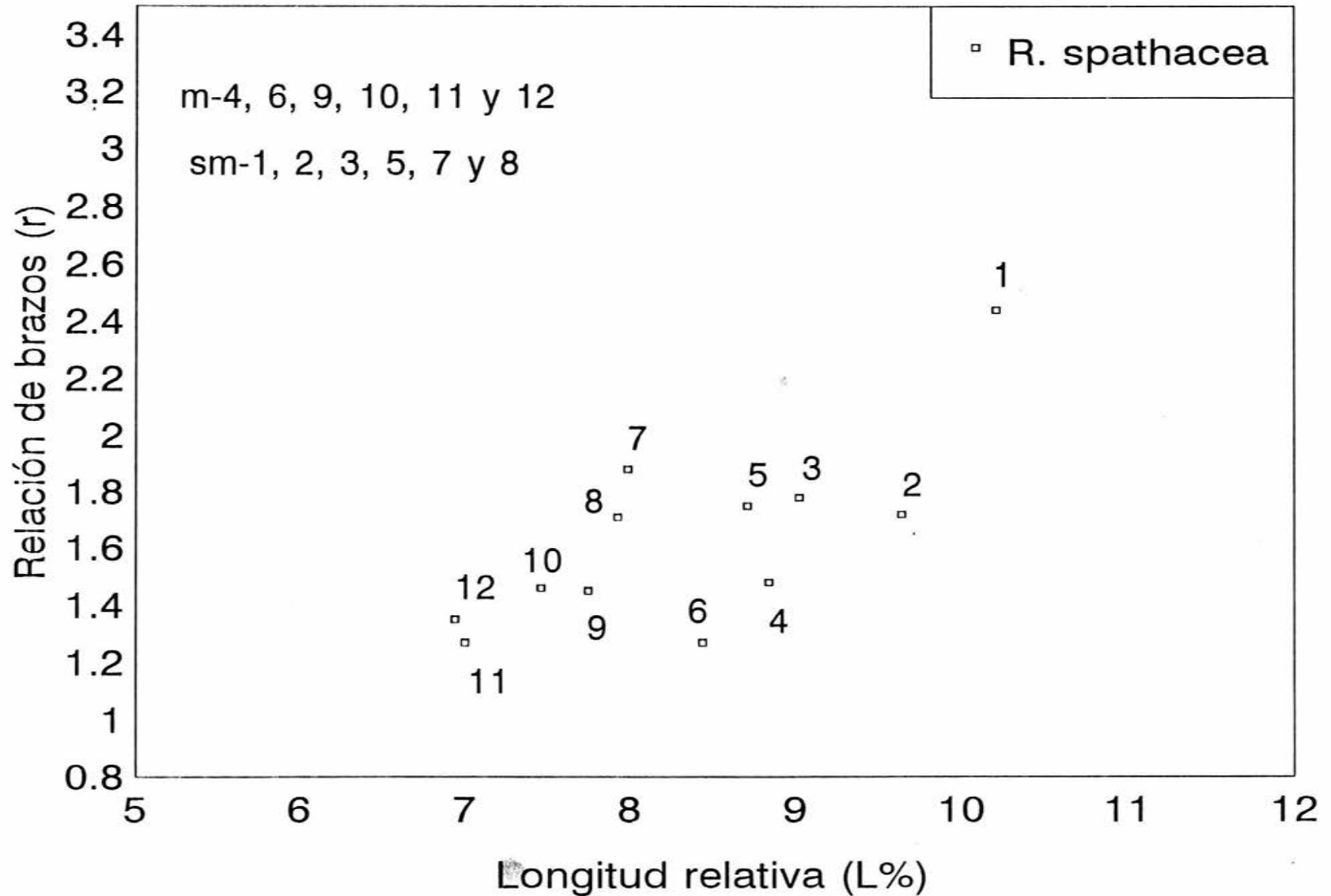


Fig.4.18.Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.18 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

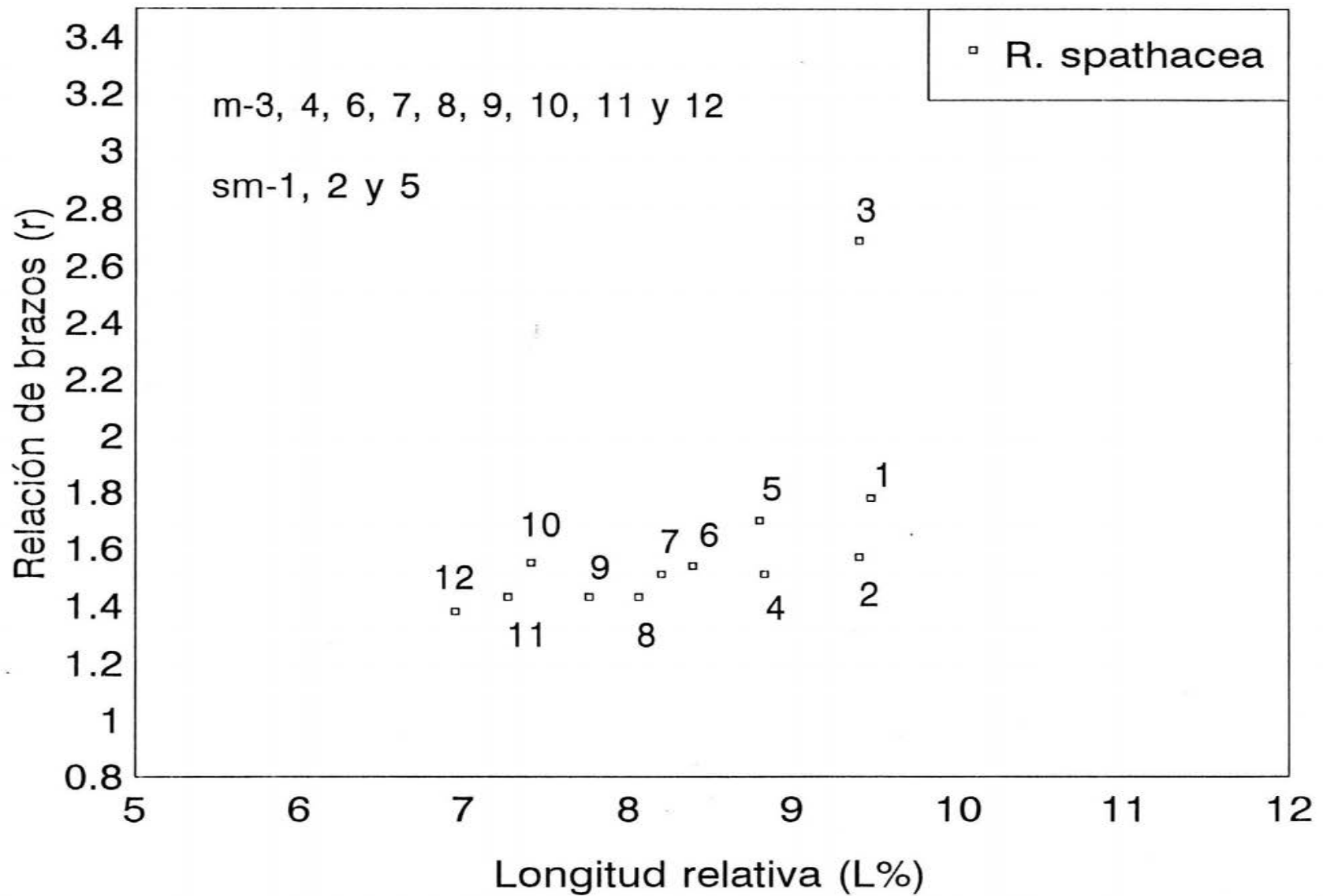


Fig.4.19. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.19 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

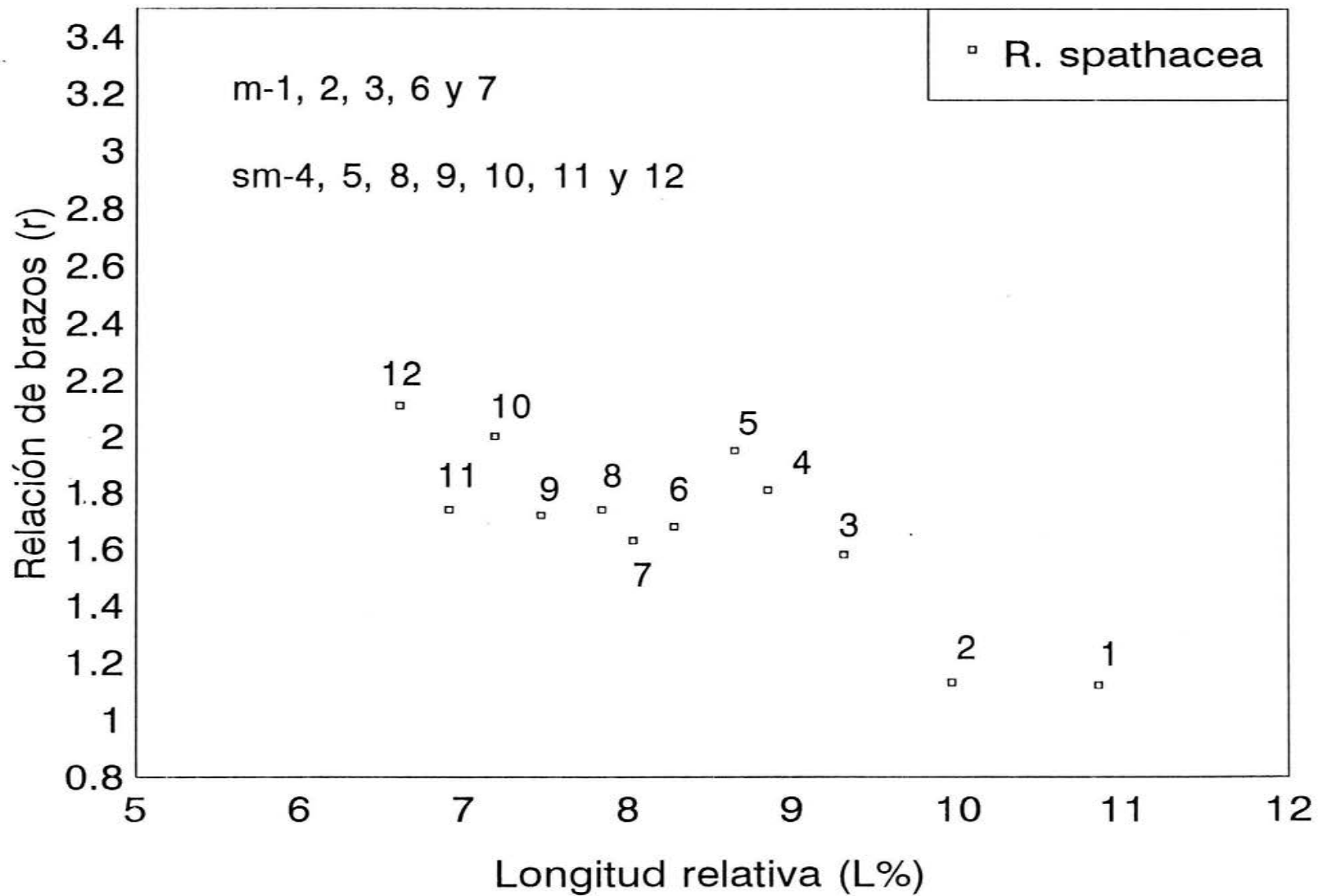


Fig.4.20. Tamaño relativo (L%) y relación de brazos (r) de GAVA 2.20 (var. Concolor) mostrados en el cuadro 4 (cromosomas meta y submetacéntricos).

5.3.1. Var. Spathacea y Concolor.

Cada uno de los 12 cromosomas de los 20 ejemplares muestran valores L% y (r) diferentes entre sí. Estas diferencias señalan a una gran variación intra e intervarietal en la posición del centrómero. En ambas variedades el número total de cromosomas que presentaron centrómeros en posición media y submedia fueron (**cuadros 5 y 6**):

Cuadro 5. Número total de cromosomas meta y submetacéntricos de Var. Spathacea.

Planta GAVA	C	R	O	M	O	S	O	M	A	S
	M				SM					
1.11				9						3
1.12				7						5
1.13				2						10
1.14				9						3
1.15				7						5
1.16				9						3
1.17				8						4
1.18				8						4
1.19				7						5
1.20				7						5

Cuadro 6. Número total de cromosomas meta y submetacéntricos de Var. Concolor.

Planta GAVA	C	R	O	M	O	S	O	M	A	S
	M				SM					
2.11				9						3
2.12				4						8
2.13				9						3
2.14				8						4
2.15				6						6
2.16				9						3
2.17				10						2
2.18				6						6
2.19				9						3
2.20				5						7

Estas posiciones centrómericas definen a los cariotipos de las dos plantas estudiadas en ambas variedades de Rhoeo como bimodales, en lo que concuerdan con Natarajan y Natarajan (1972) y Lin (1980), pero difieren en el número de cromosomas meta y submetacéntricos. Estos autores observaron 6 metas y 6 submetacéntricos. La gran variación mostrada en la posición del centrómero va de acuerdo con la teoría del intercambio segmental (Paddock *et al.*, 1980), ya que se especula que tales diferencias son debidas mayormente a cambios originados por translocaciones confinadas a segmentos terminales desiguales (García, 1995; Stack y Solliere, 1984), al igual que lo observado en Gibasis pulchella (Commelinaceae) (Kenton, *et al.*, 1987). En relación a lo anterior, en Rumex acetosa también se ha observado una hipervariabilidad en los cromosomas con respecto a la posición del centrómero y constantes en su tamaño (Wilby y Parker, 1987).

En este estudio de 20 plantas, se presentó una alta variación en la posición centromérica (**cuadros 3 y 4**) de la cual no existen dos cromosomas homólogos. Los cromosomas 1, 2, 4, 7, 11 y 12 mostraron mayor variabilidad en cuanto a la posición del centrómero se refiere en las dos variedades (**figs. 3.11 a 3.20 y 4.11 a 4.20**).

VI. CONCLUSIONES

-El número cromosómico somático en las variedades Spathacea y Concolor de Rhoeo spathacea, es diploide $2n=12$.

Plantas hermanas en las dos variedades manifiestan cariotipos bimodales con cromosomas meta y submetacéntricos.

Se exhibió alta variabilidad intra e intervarietal en el número de cromosomas meta y submetacéntricos.

El alto polimorfismo existente podría deberse a la operación de un sistema de intercambios confinados tal vez a segmentos terminales.

Se sugiere hacer exámenes más profundos como el del bandeo diferencial, para determinar con exactitud, cuáles son los segmentos translocados en los cromosomas de un mismo complemento, a fin de aclarar las diferencias observadas en los cariotipos. Ello buscando identificar plenamente la región del centrómero en cada cromosoma.

VII. LITERATURA CITADA.

- Badhuri, P. N. 1942. Cytological analysis and structural hybridity in Rhoeo discolor Hance. J.Genetics. 44:73-85.
- Barahona, E. A. 1995. La transposició y los genes saltarines de Bàrbara McClintock. Ciencia y Desarrollo 120:58-64.
- Baker, R. F. and Mertens, T. R. 1975. Meiosis in variegated and anthocyaninles varieties of Rhoeo. J. of Heredity. 66:381-383.
- Belling, J. 1927. The attachments of chromosomes at the reduction division flowering plants. J. Gen. 18:177-205.
- Brown, W. B. y Bertke, E. M. 1979. Citología. Omega. España. pp:346.
- Cervantes, S. T. 1986. Seminario Uso de la irradiació en fitomejoramiento. Mem. Salazar, Mèx. pp:109-125.
- Cronquist, A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. The New York Botanical Garden. USA. pp:555.
- Chattopadhyay, D. and Sharma, A. K. 1988. A new technique for orcein bandings with acid treatment. Stain technology. 65 (5):283-287.
- Darlington, C. D. 1929. Chromosome behavior and structural hybridity in the Tradescantiae. J. Genetics. 21:207-286.
- De La Loma, J.L. 1970. I Simposio Mexicano sobre mutaciones. Rama de Genètica. Coleg. Postgrad. Chapingo, Mèx. pp:9-15.
- Desai, S. 1965. A cytological study of a triploid Rhoeo discolor. Cytologia 30:260-265.
- Dillè, J. E. , Gustafson, J. P. and Bennett, M D. 1983. The effect of telomeric heterochromatin of the frecueny of aneuploids in tritcale (X tritico-secale). Can. J. Genet. Cytol. 26:46-49.
- Dillè, J. E., Gustafson, J. P., Brown, M., Appels, R. and Craig, S. 1987. Topographical changes in rye chromosome ultrastructure caused by the C-banding procedure. Genome. 29:817-822.
- Dillè, J. E. 1988. A technique for C-banding plant chromosomes with Wright stain. Stain technology. 63 (5):271-275.
- Dyer, J. 1979. Investigation Chromosomes. Edward Arnold. London. pp:215.

- Garcia, V. A. 1995. Cytological studies in Rhoeo spathacea (Commelinaceae). II. Characterization of an acrotrisomic plant. *Cytologia*. 60:319-327.
- Garcia, V. A. 1994. A desynaptic mutant in Rhoeo spathacea (Commelinaceae). *Cytologia* 59:399-404.
- Garcia, V. A. 1991. Citogenetical studies in Rhoeo spathacea (Commelinaceae). I. A desynaptic and second division restitution mutant. *Genome* 34:895-899.
- Garcia, V. A. 1990. Tècniques y procedimientos de Citogenètica vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mèx.
- Gill, B. S. and Kimber, G. 1974. The Giemsa C-banded karyotype of rye. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 71:1247-1249.
- Guìzar-Vázquez, V. 1988. Genètica humana. El Manual Moderno. Mèx. pp:34-35 y 78-80.
- Grant, V. 1989. Especiación vegetal. Limusa. Mèx. pp:401-421.
- Hansen-Melander, E., Melander, Y. and Olin, M. L. 1974. Chromosome preparations by air drying at low temperature and Giemsa bandings procedures. *Hereditas*. 76:35-40.
- Heywood, G. H. 1978. Flowering plants of the world. Oxford University Press. London. pp:335.
- Hunt, R. D. 1993. The Commelinaceae of Mexico. In: Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. Ramamoorthy, R. B., Bye, R., Lot, A., Fa, J. (Eds). New York. Oxford University Press. pp:421-423.
- Ibarra, O. R. 1979. Clasificación alfabética de las familias de la división Angiospermae. IMEPLAM. Mèx. pp:58.
- Jackson, R. C. 1971. The karyotype in systematics. *Ann. Rev. Ecol. Systematics*. 2:327-369.
- Jones, K. 1978. Aspects of chromosome evolution in higher plants. En: Woolhouse, H. W. (Ed.) *Advances in botanical research*. Academic Press, London. pp:117-193.
- Jones, A. and Kenton, A. 1983. Complex interchange heterocigotes and homocigotes in the Commelinaceae. *Kew Chromosome Conference II*. George Allen Un win. pp:348.
- Kenton, A., Davies, A. and Jones, K. 1987. Identification of Renner complexes and duplications in permanent hybrids of Gibasis pulchella (Commelinaceae). *Chromosome* 95:424-434.

- Kenton, A. 1986. Importancia de los cromosomas en la especiación y evolución como base para el conocimiento y caracterización de especies vegetales con valor potencial. In: G. Palomino (Ed), pp:11-36. III Seminario Maximino Martínez, 1986. La aplicación de la Citogenética en el conocimiento biológico de los recursos vegetales. en México. Jardín botánico UNAM, México.
- Kenton, A. 1983. Qualitative and quantitative chromosome change in the evolution of Gibasis. Kew Chromosome Conference II. George Allen Un win. pp:273-282.
- Lacadena, J. R. 1988. Genética. A.G.E.S.A., Madrid, España. pp:1302-1303.
- Lin, Y. J. and Paddock, F. E. 1973. Ring-position and frequency of adjacent distribution of meiotic chromosomes in Rhoeo spathacea. Am. J. Bot. 60:685-690.
- Lin, Y. J., Paddock, G. F. and King, E. L. 1984. Meiotic chromosome configuration in a triploid Rhoeo. Genetica 6:113-119.
- Matuda, E. 1956. Las Commelinaceas del Estado de México. Dirección de Agricultura y Ganadería. Toluca, Méx.
- Natarajan, A. and Natarajan, S. 1972. The heterochromatin of Rhoeo discolor. Hereditas. 72:323-330.
- Owens, S. J. 1981. Self-incompatibility in the Commelinaceae. Ann. Bot.(London) 47:567-581.
- Palomino, H. G. 1992. Investigaciones citogenéticas en plantas mexicanas. Gaceta UNAM. 2:21-22.
- Palomino, H. G. and Vázquez, R. 1991a. Citogenetic studies in Mexican population of species of Crotalaria L (Leguminosae-Papilionoideae). Cytologia 56:343-351.
- Palomino, H. G. 1991b. La importancia en el enfoque interdisciplinario en el conocimiento de los recursos vegetales de México. In: Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Ortega, P. R., Palomino, G., Castillo, F. y Livera, M. (Eds). SOMEFI. Chapingo, México. pp:63-68.
- Sampaio, T. P. 1987. Commelinaceae: Estudio do desenvolvimento pos-seminal de algumas espécies. Acta Biológica Leopoldensia. 9(1):49-80.
- Sánchez, S. O. 1979. Flora de Valle de México. Herrero. Méx. pp:518-519.
- Sharma, N. P. and Natarajan, A. T. 1973. Identification of heterochromatic regions in the chromosomes of rye. Hereditas. 74:233-238.

- Satterfield, K. S. and Mertens, T. R. 1972. Rhoeo spathacea: A tools teaching meiosis and mitosis. J. of Heredity. 63:375-378.
- Sax, K. 1931. Chromosomes ring formation in Rhoeo discolor. Cytologia. 3:36-53.
- Song, Y. and Li, L. 1983. Comparison between C-banding patterns on root tip chromosomes of different cultivars in maize (*Zea mays*). Acta Bot. Sin. 25:40-45.
- Stace, C. A. 1980. Plant taxonomy and biosistematics. Edward Arnold, Pitman Press Bath.
- Stack, S. M. and Soulliere, D. L. 1984. The relationship between sinapsis and chiasma formation in Rhoeo spathacea. Chromosoma. 90:72-83.
- Stebbins, G. L.: 1950. Variation and Evolution in Plants. New York. Columbia Univ. pp:643.
- Stebbins, G. L. 1958. Longevity, habitat and evolution in plants. Columbia University Press, New York. pp:643.
- Stebbins, G. L. 1971. Chromosomal evolution in higher plants. Edward Arnold, London. pp:216.
- Tjio, L. H. and Hagberg, A. 1951. Cytological studies on some X-ray mutants of barley. An. Estac. Exp. Aula Dei. 2:149-167.
- Swanson, C. D., T. Mertz and W. Young. 1968. Citogenética. Manuales UTEHA 310. Mèx.
- Verma, S. C, and Ohri, D. 1979. Breakdown of the classical meiotic system in Rhoeo spathacea (Commelinaceae). Cytologia 44:91-102.
- Vosa, G. C. 1985. Chromosome banding in plants. In:Advances in chromosome and cell genetics. Sharma, A. K. and Sharma, A., eds Gordon and Breach, United Kingdom.
- Vovides, P. A. 1985. El papel de los estudios biosistemáticos en los recursos genéticos. In: Memorias del seminario sobre investigación genética básica en el conocimiento y evaluación de los recursos genéticos. Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM. pp:107-119.
- Walters, M. and Gerstel, D. 1948. A cytological investigation of a tetraploid Rhoeo discolor. Am. J. Bot. 35:141-149.
- Wang, H. C. and Kao, K. N. 1988. G-banding in plant chromosome. Genome. 30:48-51.
- White, M. J. 1973. The chromosomes. Chapman and Hall. London. pp:214-215.

- Wilby, A. S. and Parker, J. S. 1987. Population structure of hypervariable Y-chromosome in Rumex acetosa. *Heredity* 59:135-143.
- Wimber, D. E. 1968. The nuclear cytology of bivalent and ring-formation Rhoeos and their hibrids. *Am. J. Bot.* 55(5):572-574.
- Zalamanca, F. 1988. Citogenètica humana. Panamericana. Mèx. pp:37-50.
- Zhang, Z. and Yang, X. 1986. An approach to the G-banding technique in rye chromosome. *Acta Bot. Sin.* 28:595-598.
- Zimmerman, E. 1968. Mechanism of nodisjuntional chromosome distribution and cause of pollen sterility in Rhoeo spathacea. *Chromosome.* 25:215-248.