

## **CARIOMORFOMETRÍA DE POBLACIONES DE SÁBILA (*Aloe barbadensis* M.) EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA**

*Tamara Molero*<sup>1</sup>, *Teresa Martínez*<sup>1</sup>, *Ana Bonilla*<sup>2</sup>, *Maribel Vilorio*<sup>1</sup> y *Tulio Maváres*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela. <sup>2</sup>Laboratorio de Ictiología, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. [taymarajo@gmail.com](mailto:taymarajo@gmail.com).

### **RESUMEN**

*Aloe barbadensis* (Miller) es una de las especies xerofíticas más importantes del mundo por sus propiedades medicinales y terapéuticas. Se estudió la cariomorfometría de *A. barbadensis* para determinar la diversidad genética de siete de sus poblaciones en el occidente de Venezuela: Tamare, los Puertos de Altigracia y los Mayales del estado Zulia y de Caramón, Carazao, Cumarebo y Adaure del estado Falcón. El estudio citogenético se realizó según la técnica del aplastado tisular y se construyó un fenograma con base en el índice de similitud entre las poblaciones a partir del coeficiente de correlación de Pearson. El complemento cromosómico de todas las poblaciones quedó constituido por 7 pares de cromosomas ( $2n=14$ ), distribuidos en cuatro pares subtelocéntricos largos (L) y tres pares submetacéntricos pequeños (S), con longitudes variables características para cada población en cuanto a la LT y longitud q y p. El análisis de varianza reveló que los cromosomas 1 y 4 son los que más difieren entre todas las poblaciones. Se observaron células poliploides en bajas cantidades en las poblaciones de Caramón, Adaure y Tamare. El fenograma muestra la separación de todas las poblaciones según su estructura cromosómica. Se discute acerca de la población original y su distribución en el resto de las poblaciones del occidente del país.

**Palabras clave:** cariotipo, cromosoma, fenograma, *Aloe*, Venezuela.

## **Karyomorphometry of Aloe's populations (*Aloe barbadensis* M.) in western Venezuela**

### **Abstract**

*Aloe barbadensis* (Miller) is one of the most important xerophytic species in the world for its medicinal and therapeutic properties. The cariomorphometry of *A. barbadensis* was studied to determine the genetic diversity of five of its populations in western Venezuela: Tamare, Puertos de Altigracia, and Mayales in Zulia state, and Caramón, Carazao, Cumarebo and Adaure in Falcón, state. The cytogenetic study was conducted according to the technique of tissue crushing, and a dendrogram based on the similarity index between the populations was constructed from the Pearson correlation coefficient. The chromosome complement of all populations was composed of 7 pairs of chromosomes ( $2n = 14$ ), divided into four long subtelocentric pairs (L) and three small submetacentrics (S), with varying characteristics lengths for each population in terms of LT p and q length. The analysis of variance revealed that chromosomes 1 and 4 differed significantly in all populations. Small amounts of polyploid cells were observed in populations the samples from Caramón, Adaure, and Tamare. The dendrogram shows the separation of all populations by their chromosome structure. The original population of *A. barbadensis* and its distribution in other western populations are discussed.

**Keywords:** karyotype, chromosome, phenogram, *Aloe*, Venezuela.

Recibido: mayo 2015

Acceptado: febrero 2016

## INTRODUCCIÓN

La familia Alolaceae está formada por 500 especies aproximadamente (Gunjan y Roy, 2010), donde la especie *Aloe barbadensis* Mill. (sábila) es una de las más importantes por sus propiedades medicinales y terapéuticas, razón por la cual es cultivada ampliamente en muchas regiones áridas y semiáridas del mundo.

En Suramérica y especialmente en Venezuela, el cultivo de la sábila ha ido en aumento, distribuyéndose desde las zonas costeras hasta otras áreas en el interior del país que presentan iguales o similares condiciones climáticas. La historia de esta planta en Venezuela indica que la sábila se cultivó en el estado Falcón desde la llegada de los españoles a América, hace 400 años, introducida desde Curazao a donde llegó desde Barbados, producto del comercio marítimo que mantenían los pobladores de estas localidades (González, 1999). Batista (1999) ha señalado que existen documentos que informan acerca de la introducción de este cultivo en áreas cercanas a la ciudad de Coro y es a partir de la década de los 1850 cuando surge el interés por el desarrollo de este cultivo. De esta manera, las plantaciones se comenzaron a propagar comercialmente en diferentes zonas del estado Falcón y hoy se registran hectáreas de sábila en los estados Zulia, Lara, Sucre, Monagas y Anzoátegui y en menor proporción en Mérida, Trujillo y Nueva Esparta (Piña y Morales, 2010).

El interés por conocer la constitución genética del *A. barbadensis* data del siglo pasado. El primer estudio genético fue realizado en la India por Sutaria (1932), quien identificó por primera vez el cariotipo de *A. barbadensis* formado por 14 cromosomas distribuidos en dos grupos claramente diferenciados por su tamaño y morfología. De allí en adelante, otros investigadores como Marshak (1934) y Sapre (1978) aplicaron diversas técnicas para realizar estudios cariomorfométricos en la misma especie.

La mayoría de las especies de la familia Alolaceae presentan un cariotipo bimodal con  $2n=14$  cromosomas, con unas pocas tetraploides y una hexaploide (Xiaohong *y col.*, 2001). Los estudios citogenéticos indican que el número básico de esta especie era de  $x=7$  cromosomas, distribuido en cuatro cromosomas acrocéntricos grandes (L1-L4), de 12 a 18  $\mu\text{m}$ , y tres cromosomas submetacéntricos pequeños (S1-S3), de 4 a 6,5  $\mu\text{m}$  (Brandham, 1971; Zheng *y col.*, 2005). Ren *y col.* (2007) señalaron que este grupo vegetal es un modelo de estabilidad cariológica, en función de la similitud en el número y la morfología de sus cromosomas mitóticos.

En la literatura científica se encuentran descritas investigaciones sobre la diversidad genética de las especies de *Aloe* en diferentes partes del mundo como en la India (Gunjan y Roy, 2010; Kumar y Kumar, 2014), Colombia (Cortina, 2009) e Irán (Nejatzadeh-Barandozi *y col.*, 2012). En Venezuela, Albornoz e Imery (2003) e Imery y Caldera (2002) se han

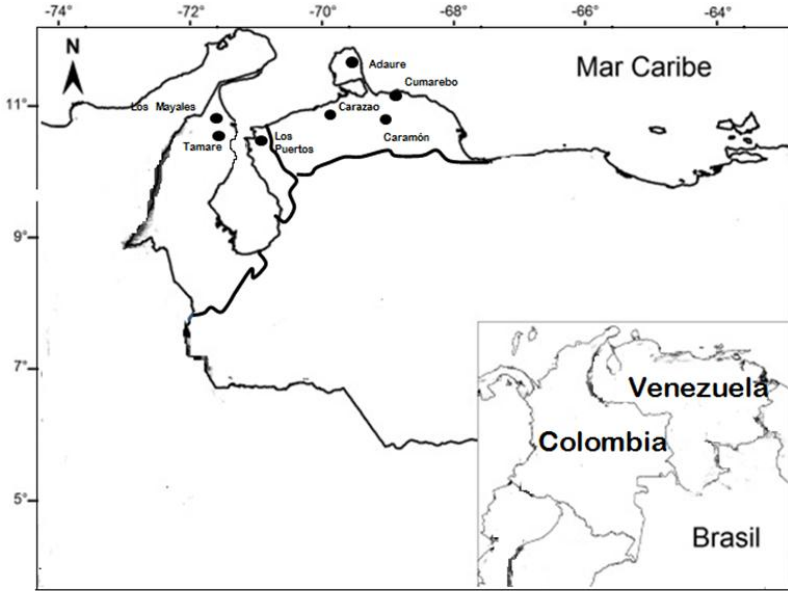
dedicado a estudiar la estructura genética de las especies y poblaciones de *Aloe* del oriente del país. En el año 2003, Albornoz e Imery realizaron un estudio citogenético en poblaciones de sábila del estado Sucre y encontraron diferencias cromosómicas entre las poblaciones en estudio. Observaron cariotipos bimodales con 8 cromosomas grandes y 6 pequeños ( $2n=14= 8L+6S$ ) y diferencias significativas entre las poblaciones en cuanto a la relación de longitud del brazo largo/corto de cada uno de los cromosomas. Este estudio permitió reconocer los recursos fitogenéticos en estas plantas del oriente de Venezuela.

Sin embargo, lo que se conoce de las poblaciones de sábila ubicadas en las zonas occidentales es muy poco. Destacan los trabajos de Matos y Molina (1997) quienes indicaron que el complemento somático de la planta estuvo compuesto por 14 cromosomas ( $8L+6S$ ), todos de tipo submetacéntrico, con longitudes que varían entre 5,55 y 17,76  $\mu\text{m}$ . y el trabajo de Molero y Matos (2008) quienes coincidieron con las autoras anteriores en cuanto al número cromosómico pero difirieron en los datos cariomorfométricos, clasificándolos en 8 cromosomas subtelocéntricos y 6 submetacéntricos. La longitud total cromosómica osciló entre 3,01 y 13,45  $\mu\text{m}$ . Se observaron constricciones secundarias en el par L1 y L4.

La obtención de estos datos cariológicos pone de manifiesto la variabilidad genética presente en las poblaciones de una especie y son fundamentales para emprender proyectos de mejoramiento tendientes a aumentar su producción y propagación, ya que permiten determinar posibles variaciones cromosómicas y en consecuencia dilucidar el origen y distribución de las poblaciones. Por lo tanto, el propósito en este trabajo fue realizar un estudio cariomorfométrico de las poblaciones de sábila (*Aloe barbadensis* Mill.) del occidente de Venezuela.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Obtención del material biológico.** Se recolectaron diez plantas completas de *A. barbadensis* M. en siete poblaciones del occidente de Venezuela. En el estado Zulia se muestreó en Tamare ( $10^{\circ}51'34''\text{N}$   $71^{\circ}45'44''\text{W}$ ), los Mayales ( $10^{\circ}54'56''\text{N}$   $71^{\circ}49'38''\text{W}$ ) y Puertos de Altagracia ( $10^{\circ}40'14''\text{N}$   $71^{\circ}31'36''\text{W}$ ), mientras que en el estado Falcón, la colecta se realizó en las poblaciones de Caramón ( $11^{\circ}03'13''\text{N}$   $69^{\circ}45'07''\text{W}$ ), Adaure ( $11^{\circ}52'22''\text{N}$   $69^{\circ}59'18''\text{W}$ ), Cumarebo ( $11^{\circ}29'16''\text{N}$   $69^{\circ}21'08''\text{W}$ ) y Carazao ( $11^{\circ}14'26''\text{N}$   $70^{\circ}06'08''\text{W}$ ) (Figura 1). Se seleccionaron plantas con buen vigor y estado sanitario, con un mínimo de 15 hojas y una altura entre 35 a 40 cm. Estas plantas fueron llevadas al vivero de la Facultad de Humanidades de la Universidad del Zulia, estado Zulia, Venezuela, donde fueron propagadas vegetativamente.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de las poblaciones estudiadas

**Morfometría cromosómica.** El estudio citogenético se realizó según la técnica descrita por Molero y Matos (2008), siguiendo un diseño descriptivo. La preparación de las láminas microscópicas fue realizada con la técnica del aplastado tisular o “squash” del meristemo radical y fueron observadas con un aumento de 400X y 1000X en un fotomicroscopio Marca Olympus CX31 con cámara digital Olympus DP12. Se estudiaron 3 raíces por cada planta y de cada raíz se examinaron 10 células para un total 300 células por localidad. En el estudio se determinó el número de cromosomas (NC), longitud total del cromosoma (LT), longitud del brazo largo (q) y corto (p), el índice r (relación q/p) y la morfología de los cromosomas según Levan *y col.* (1964) mediante el programa Olympus Camedia versión 2.0.

**Análisis estadístico.** Los datos del estudio cariomorfométrico fueron procesados mediante el programa PAST Palentological Versión 2.07 (Hammer *y col.*, 2001) aplicando estadística descriptiva univariada para los parámetros de longitud total cromosómica, longitud de brazo largo y corto e índice r, medidos para los diferentes cromosomas de las poblaciones estudiadas y entre las poblaciones. Además se calculó el índice de similitud entre las poblaciones a partir del coeficiente de correlación de Pearson, considerando los datos de “índice r” y “población”. Con estos valores se construyó un fenograma a fin de determinar las similitudes cromosómicas entre las poblaciones en estudio.

## RESULTADOS

**Número y cariomorfología.** El complemento cromosómico de las plantas de *Aloe barbadensis* de todas las poblaciones en estudio quedó constituido por 7 pares de cromosomas ( $2n=14$ ), distribuidos en cuatro pares subtelocéntricos largos (L) y tres pares submetacéntricos pequeños (S), con longitudes variables características para cada población en cuanto a la LT y longitud q y p. La fórmula cromosómica fue  $8Lst+6Ssm$ . En las Tablas 1 y 2 se muestran las medidas de LT, longitud de los brazos p y q, índice r y la clasificación para cada par cromosómico en todas las poblaciones estudiadas, y en las Figuras 2 y 3 pueden observarse las microfotografías de los cromosomas de cada una de las poblaciones de sábila estudiadas.

Los cromosomas de las plantas de la población de Carazao presentaron longitudes que oscilaron entre 13,43 a 3,54  $\mu\text{m}$ . Los cromosomas largos midieron entre 13,43 y 11,87  $\mu\text{m}$  mientras que los cortos presentaron valores entre 6,87 y 3,54  $\mu\text{m}$ . En el caso de las plantas de sábila de la población de Caramón, sus cromosomas largos midieron entre 12,60 y 9,99  $\mu\text{m}$  y los cromosomas pequeños presentaron longitudes de 4,06 y 3,02  $\mu\text{m}$  (Tabla 1). Se observaron células poliploides ocasionales, con  $2n=28$  cromosomas, en un 6,25% de la totalidad de células estudiadas. Al estudiar el cariotipo de las sábilas de Adaure, se determinó que sus cromosomas subtelocéntricos tuvieron longitudes variables entre 12,42 a 9,2  $\mu\text{m}$  y los cromosomas submetacéntricos midieron entre 3,6 a 2,7  $\mu\text{m}$  (Tabla 1). Al igual que en la población de Caramón, se observaron células poliploides ocasionales en una proporción de un 2%. El estudio de las plantas de Cumarebo indicó que sus 8 cromosomas subtelocéntricos presentaron valores entre 13,33 y 9,68  $\mu\text{m}$  y los 6 submetacéntricos midieron entre 4,47 y 3,43  $\mu\text{m}$  (Tabla 1).

Los cromosomas de las células diploides de la población de los Puertos de Altigracia también se presentaron en un cariotipo bimodal con cromosomas largos subtelocéntricos bien definidos con longitudes entre 14,69 y 11,66  $\mu\text{m}$  y cromosomas pequeños que midieron entre 5 a 3,64  $\mu\text{m}$  (Tabla 2). De igual manera, la población de Tamare quedó definida por cromosomas con longitudes variables entre 11,25 y 3,47  $\mu\text{m}$ , siendo los 8 primeros los más largos con 11,25 y 9,58  $\mu\text{m}$  y los más cortos con 4,08 y 3,47  $\mu\text{m}$  (Tabla 2). El estudio microscópico reveló células poliploides en el 1% de la totalidad de células analizadas. Finalmente, los cromosomas de las plantas provenientes de la población de los Mayales del estado Zulia presentaron longitudes de 14,21 a 10,93  $\mu\text{m}$  para los cromosomas largos, mientras que los cromosomas cortos tuvieron longitudes entre 4,42 y 3,63  $\mu\text{m}$  (Tabla 2).

Al comparar los valores de LT de los cromosomas de todas las poblaciones, se observó que los cromosomas subtelocéntricos de las

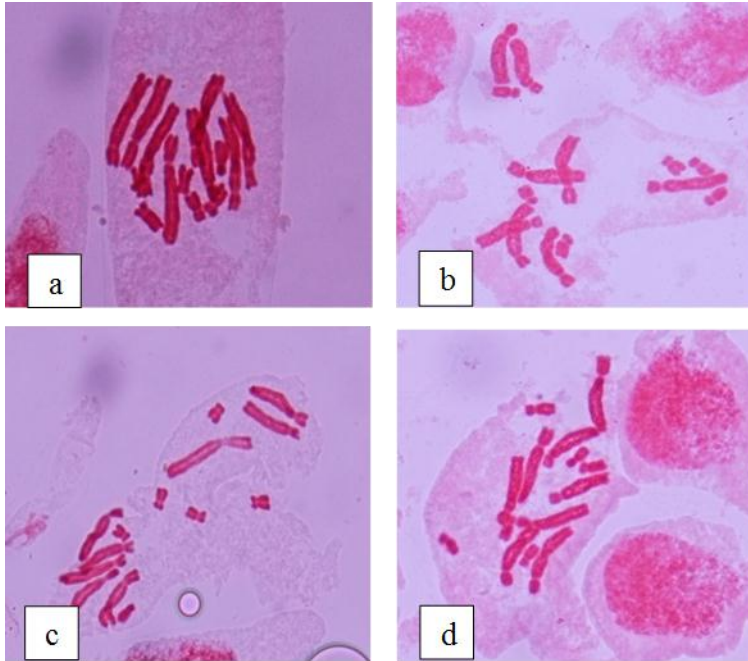
plantas provenientes de las poblaciones de los Puertos de Altagracia y los Mayales del estado Zulia, son los más largos con respecto al resto de las poblaciones.

**Tabla 1.** Cariomorfometría de las poblaciones *A. barbadensis* del estado Falcón, Venezuela.

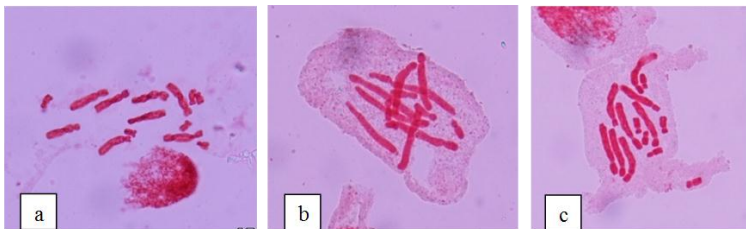
Población	Par cromosómico	LT(μm)	q (μm)	p (μm)	r (μm)	Posición del centrómero
Carazao	1	13,43±0,41	10,30±0,41	3,12± 0	3,4±0,13	St
	2	12,70±0,13	10,20±0,13	2,5± 0	4,08±0,04	St
	3	12,290±0,28	9,68±0,41	2,60±0,13	3,75±0,32	St
	4	11,87±0,41	9,16±0,27	2,5± 0	3,66±0,10	St
	5	6,87±1,66	2,5± 0	1,87± 0	1,33± 0	Sm
	6	4,37± 0	2,5± 0	1,87± 0	1,33± 0	Sm
	7	3,54±0,14	2,5± 0	1,04± 0	2,67±0,45	Sm
Adaure	1	12,42±1,62	9,4±1	2,75±0,65	3,41±0,49	St
	2	10,85±1,65	8,6±1,2	1,97±0,475	4,08±0,28	St
	3	10±1	8,1±1,1	1,9±0,1	4,33±0,83	St
	4	9,2±1,6	7,6±1,4	1,7±0,3	4,62±0,37	St
	5	3,6±0,2	2,5±0,1	1,1±0,3	2,37±0,37	Sm
	6	3,3±0,1	2,3±0,1	1±0,2	2,5±0,5	Sm
	7	2,7±0,1	1,9±0,1	0,8± 0	2,37±0,12	Sm
Cumarebo	1	13,33±0,76	10,31±0,76	2,60±0,55	3,15±0,73	St
	2	11,87±0,27	9,47±0,34	2,18±0,28	4,45±0,20	St
	3	11,14±0,34	8,75±0,55	2,08±0,28	4,27±0,53	St
	4	9,68±0,41	7,91±0,55	1,76±0,13	4,50±0,77	St
	5	4,47±0,55	3,22±0,62	1,24±0,27	2,91±1,11	Sm
	6	3,64±0,14	2,39±0,14	1,25± 0	1,91±0,11	Sm
	7	3,43±0,41	2,39±0,14	1,04±0,28	2,50±0,67	Sm
Caramón	1	12,60±1,35	9,58±1,03	3,02±0,31	3,19±0,28	St
	2	11,35±0,94	9,37±1,04	1,97±0,10	4,82±0,82	St
	3	10,62±0,83	8,75±0,83	1,87±0,20	4,73±0,63	St
	4	9,99±1,04	8,12±0,83	1,87±0,20	4,33±0,03	St
	5	4,06±0,31	2,60±0,10	1,46±0,21	1,80±0,19	Sm
	6	3,64±0,31	2,39±0,31	1,25± 0	1,91±0,25	Sm
	7	3,02±0,10	1,98±0,31	1,04±0,21	2,04±0,71	Sm

**Tabla 2.** Cariomorfometría de las poblaciones *A. barbadensis* del estado Zulia, Venezuela.

Población	Par cromosómico	LT (μm)	q (μm)	p (μm)	r (μm)	Posición del centrómero
Los Puertos de Altagracia	1	14,69±3,54	11,35±2,64	3,33±0,90	3,63±0,91	St
	2	13,64±2,98	10,73±2,43	2,92±0,63	3,79±0,32	St
	3	12,18±2,08	10,10±1,80	2,08±0,28	4,80±0,22	St
	4	11,66±1,80	9,69±1,46	1,87±0,28	5,36±0,46	St
	5	5±0,84	3,54±0,56	1,46±0,28	2,86±0,62	Sm
	6	4,27±0,90	3,02±0,48	1,25±0,42	2,76±0,85	Sm
	7	3,64±0,49	2,50±0,28	1,14±0,35	2,54±1	Sm
Los Mayales	1	14,21±2,02	11,29±1,80	2,90±0,45	3,97±0,58	St
	2	12,69±1,36	10,27±1,47	2,72±0,43	3,87±1,06	St
	3	12,14±1,38	9,95±1,47	2,23±0,31	4,54±0,87	St
	4	10,93±1,47	9,55±1,26	1,78±0,38	5,66±1,61	St
	5	4,42±0,46	2,95±0,46	1,74±0,20	2,02±0,68	Sm
	6	3,83±0,12	2,68±0,31	1,52±0,28	1,86±0,22	Sm
	7	3,63±0,21	2,50±0,24	1,29±0,20	2,02±0,38	Sm
Tamare	1	11,25±0,74	8,54±0,83	2,67±0,29	3,24±0,55	St
	2	10,76±0,51	8,61±0,23	2,22±0,37	3,20±1,33	St
	3	10,27±0,46	8,19±0,23	2,08±0,28	3,73±0,75	St
	4	9,58±0,69	7,70±0,56	1,87±0,19	4,14±0,25	St
	5	4,09±0,23	2,78±0,23	1,32±0,09	2,13±0,26	Sm
	6	3,75±0,42	2,43±0,23	1,39±0,18	1,77±0,26	Sm
	7	3,47±0,37	2,36±0,19	1,11±0,19	2,17±0,22	Sm



**Figura 2.** Microfotografía de los cromosomas de las plantas de *Aloe barbadensis* de las poblaciones de Carazao (a), Caramón (b), Adaure (c) y Cumarebo (d) del estado Falcón.



**Figura 3.** Microfotografía de los cromosomas de las plantas de *Aloe barbadensis* de las poblaciones de Tamare (a), los Puertos de Altagracia (b) y los Mayaales (c) del estado Zulia.

En el análisis de varianza de una vía y desviación estándar de los datos de LT y longitud q y p para los pares cromosómico de todas las poblaciones estudiadas, se encontró que en cuanto a la LT, los cromosomas 1 y 4 son los que presentan una mayor varianza, dando diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) (Tabla 3). El análisis de la varianza para los datos del brazo largo (q) y corto (p), indica que el cromosoma 1 fue el más variable entre todas las poblaciones en estudio.

**Tabla 3.** Estadística descriptiva para los valores de longitud total (LT), longitud del brazo largo (p) y longitud del brazo corto (q) de las poblaciones de *Aloe barbadensis* del occidente de Venezuela.

Par cromosómico	LT		p		q	
	Varianza	Des. est.	Varianza	Des. est.	Varianza	Des. est.
1	1,240 <sup>b</sup>	1,111	1,270 <sup>a</sup>	1,125	0,920 <sup>a</sup>	0,302
2	0,816 <sup>b</sup>	0,895	0,690 <sup>b</sup>	0,830	0,155 <sup>b</sup>	0,387
3	0,803 <sup>b</sup>	0,896	0,691 <sup>b</sup>	0,824	0,074 <sup>b</sup>	0,270
4	2,055 <sup>a</sup>	1,369	0,816 <sup>b</sup>	0,901	0,081 <sup>b</sup>	0,286
5	0,171 <sup>b</sup>	0,412	0,142 <sup>b</sup>	0,345	0,074 <sup>b</sup>	0,271
6	0,070 <sup>c</sup>	0,332	0,070 <sup>c</sup>	0,258	0,075 <sup>b</sup>	0,025
7	0,087 <sup>c</sup>	0,296	0,066 <sup>c</sup>	0,267	0,275 <sup>b</sup>	0,154

Valores con distintas letras indican diferencias altamente significativas según prueba de Tukey (p<0,01).

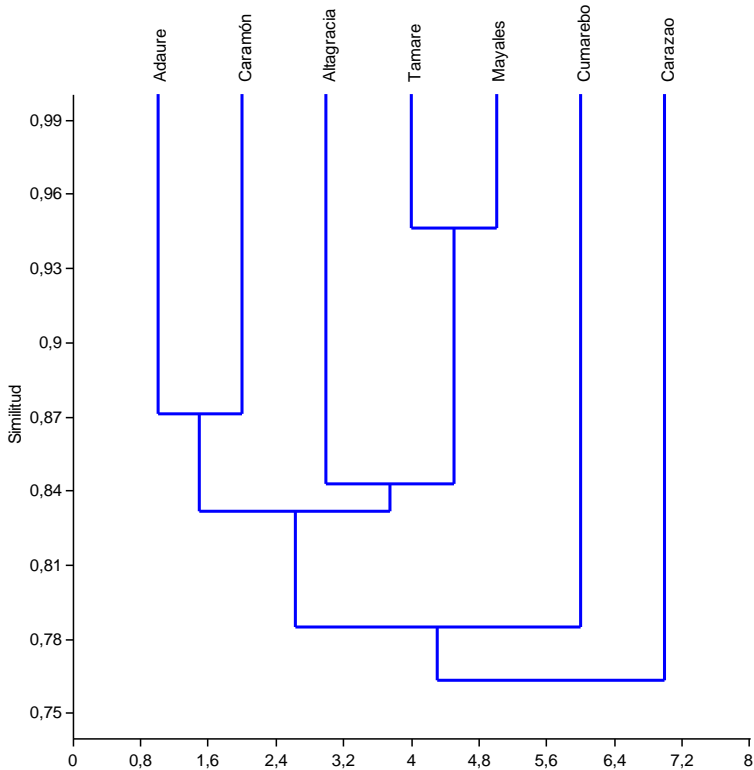
**Fenograma.** Las relaciones de similitud citogenética entre todas las poblaciones analizadas se representan en el fenograma de la Figura 4 y la Tabla 4, donde se puede apreciar la separación de todas las poblaciones según su estructura cromosómica. Los valores obtenidos a partir del “índice r” permitieron calcular el Coeficiente de Correlación de Pearson que resultó ser 0,7578 (estadísticamente significativo) para grupos pareados.

**Tabla 4.** Similitud citogenética entre las poblaciones de *Aloe barbadensis* M. del occidente de Venezuela, calculado con el índice de Correlación de Pearson.

Poblaciones	Los Puertos de						
	Caramón	Tamare	Carazao	Adaure	Altagracia	Cumarebo	Los Mayales
Caramón	0	0,170	0,161	0,129	0,215	0,189	0,179
Tamare	0,170	0	0,220	0,113	0,137	0,227	0,054
Carazao	0,161	0,220	0	0,250	0,346	0,231	0,210
Adaure	0,129	0,113	0,250	0	0,130	0,233	0,202
Los Puertos de Altagracia	0,215	0,137	0,346	0,130	0	0,171	0,177
Cumarebo	0,189	0,227	0,231	0,233	0,171	0	0,254
Los Mayales	0,179	0,0540	0,210	0,202	0,177	0,254	0

En el fenograma se puede observar un grupo basal de *A. barbadensis* constituido por la población de Carazao (Falcón), de la cual se diferencian dos grupos fenéticos, el primero conformado por la población de Cumarebo (Falcón), que es la más cercana geográficamente a la población de Carazao y el segundo grupo conformado por el resto de las poblaciones, subdividido en dos subgrupos: el primer subgrupo está representado por las restantes poblaciones del estado Falcón y el segundo está conformado por todas las poblaciones del estado Zulia.





**Figura 4.** Fenograma que muestra la similitud (basado en el índice *r*) entre las poblaciones de *Aloe barbadensis* M. del occidente de Venezuela.

## DISCUSIÓN

*Aloe barbadensis* M., oriunda de las zonas áridas del África (Chaudhari y Chaudhary, 2012), fue introducida por los españoles a los países de América, donde se incluye Venezuela. Poco se sabe acerca de la evolución, origen y dispersión geográfica de las especies del género *Aloe*, pero lo que sí está claro es que se han adaptado a casi todas las zonas semiáridas del mundo. En un estudio realizado por Imery y Caldera (2002) se comenta acerca de la probable evolución de las especies de *Aloe* y citan a Holland (1978) quien indica que el antecesor de estas plantas tuvo su origen en las tierras altas de la región africana, tiempo antes de la invasión del mar al canal de Mozambique, a mediados del periodo Cretáceo y Smith (1991) argumenta que el género *Aloe* se desarrolló plenamente a principios del Jurásico y también suministra evidencia de que el antecesor de este género fue una planta probablemente de unos 150 mm de altura.

De allí surgió la diversificación de las especies y actualmente existe una amplia clasificación taxonómica del género, probablemente debido a diferencias foliares marcadas entre la etapa juvenil y la adulta y por factores ambientales como luz, temperatura, humedad y fertilidad del suelo que tienen efectos directos sobre la fase vegetativa, haciendo que ejemplares de una misma especie que se encuentren en áreas geográficamente diferentes muestren gran variación morfológica (Riley y Majumdar, 1979; Van Wyk y Smith 1996; Imery y Caldera, 2002).

En el continente Americano, la introducción de la sábila fue realizada por Cristóbal Colón, quien la traía como parte de los "remedios" del botiquín de abordó. En Venezuela, fueron los conquistadores españoles quienes trajeron la sábila directamente al estado Falcón, desde Curazao, a donde llegó desde Barbados, estableciéndola en algunas haciendas de ese estado, donde se propagó, algunas veces inducida por el hombre para uso doméstico y otras orientadas al cultivo, que con el tiempo llegó a naturalizarse en diferentes regiones del país, entre ellas el estado Zulia (Piña y Chirino, 2008).

Los estudios citogenéticos realizados en sábila a partir de la década de 1930 en plantas de diferentes partes del mundo, también han revelado diferencias en la estructura cromosómica, así como detalles particulares en la estructura cariomorfolométricas de las especies estudiadas (Sutaria, 1932; Brandham, 1971; Imery y Caldera, 2002; Gunjan y Roy, 2010).

El número  $2n=14$  y la morfología cromosómica encontradas en todas las poblaciones de *A. barbadensis* concuerdan con los datos obtenidos previamente para la especie (Albornoz e Imery, 2003; Zheng *y col.*, 2005; Molero y Matos, 2008; Chaudhari y Chaudhary, 2012). Sin embargo, las mediciones cariomorfolométricas de LT, longitud de p y q e índice r para cada población mostraron características distintivas para cada complemento cromosómico. Similares resultados fueron obtenidos por Albornoz e Imery (2003) quienes estudiaron el cariotipo de poblaciones de sábila del oriente del país y encontraron diferencias en cuanto a la morfología cromosómica entre las poblaciones analizadas. Los resultados del trabajo antes citado son consistentes con lo encontrado en la presente investigación y confirma la idea de que poblaciones de una misma especie pueden presentar variaciones cromosómicas causadas probablemente, por diferentes factores condicionantes como por ejemplo, el estrés ambiental (temperaturas altas, radiaciones solares intensas y baja humedad), composición química del suelo, desarrollo de mecanismos de defensa, desarrollo de mecanismos fisiológicos de adaptación, entre otros (Díaz *y col.*, 1990).

Justamente las plantas procedentes de las poblaciones en estudio están ubicadas en zonas ecológicas que presentan diferencias en cuanto a temperatura, humedad, precipitación, comunidades vegetales y altura.

Ewel y Madrid (1976) indican que en el caso de las poblaciones de Adaure y Carazao, las comunidades vegetales corresponde a un monte espinoso tropical, caracterizado por tener suelos desérticos y erosionados que se extienden desde el nivel de mar hasta 200m, con poca capacidad retentiva de agua debido a la lenta producción, descomposición e incorporación de materia orgánica; las temperaturas medias anuales son superiores a 24°C, con precipitaciones que oscilan entre 250 y 500 mm anuales, con nueve meses secos y tres de estación lluviosa. Los suelos y organismos vivos de estas áreas están influidos por las areniscas provenientes de los Médanos de Coro y afectados por fuertes vientos de la costa.

En el caso de los Puertos de Altagracia, Los Mayales, Tamare y Cumarebo las comunidades vegetales se ubican en un bosque muy seco tropical caracterizado por ubicarse a una altura que se extiende desde el nivel del mar hasta unos 600 metros; presenta una temperatura media anual entre 23°C y 29°C, una humedad relativa promedio del 79% y una precipitación anual entre 500 y 1000 mm; el clima es considerado semiárido y las lluvias se presentan entre los meses de Julio hasta Noviembre. La zona ecológica de la localidad de Caramón se considera como bosque seco premontano, con precipitaciones anuales entre 550 a 1100mm/año y una temperatura media entre 18 y 24°C; las plantas ubicadas en estas áreas se encuentran en pequeñas montañas con elevaciones entre 500 a 1500 m.s.n.m. y la estación seca se presenta en los seis primeros meses de año (Ewel y Madrid, 1976).

Como se puede notar, las condiciones climáticas de cada una de las zonas donde se ubican las poblaciones en estudio son diferentes y considerando que, por un lado, algunas de estas plantaciones datan desde hacen más de 100 años (González, 1999) y, por otro lado, estas plantas están sometidas a un fuerte estrés hídrico y ambiental, se hace necesario continuar con los estudios genéticos para conocer las posibles causas de estas diferencias cariomorfológicas.

García (2011) apoyó esta idea cuando indicó que pequeñas variaciones encontradas en los cromosomas podrían estar, de alguna manera, relacionadas con los distintos grados de estrés a los que están sometidas las plantas. Estos niveles de estrés deberían actuar como procesos de selección sobre el genoma, actuando sobre regiones puntuales, aunque su identificación resulta complicada y su relación no siempre es evidente. De igual manera, Pierce (2009) ha indicado que la respuesta de una planta a estrés ambiental, adaptación a nuevos nichos ecológicos, desarrollo de mecanismos de defensa, entre otros, podría implicar cambios en la genética del organismo.

Los trabajos realizados por Molero y col., (2013) y Molero y Bermúdez (2013) confirman que las plantas de las mismas poblaciones analizadas en estudio presentaron variaciones en la producción de gel y acíbar, así como en

su tasa y velocidad de propagación, lo que podría explicarse por las diferencias cromosómicas encontradas en estas poblaciones. El análisis de varianza para LT y longitud de q y p indicó que los cromosomas más variables entre todas las poblaciones fueron el 1 y 4, lo que sugiere que los genes ubicados en estos cromosomas podrían estar involucrados en mecanismos de adaptación a nuevos nichos ecológicos y con la respuesta de la planta al estrés ambiental. Es necesario realizar nuevos estudios moleculares y bioquímicos, en conjunto con un análisis detallado de parámetros ambientales seleccionados, para tratar de confirmar esta idea.

En el estudio citogenético de las poblaciones de Caramón, Adaure y Tamare se pudo observar la presencia de células poliploides en bajas cantidades. Estos hallazgos son importantes desde el punto de vista genético, taxonómico y evolutivo porque evidencia la ocurrencia de cambios cromosómico en una especie que podrían ser el punto de partida de cambios morfológicos mayores. Dentro de la familia Alolaceae se conocen especies poliploides, como por ejemplo *A. ciliaris* y *A. tenuifolia* con  $6n = 42$  cromosomas (Parkes, 1959) y *A. cremnophila*, *A. inermis*, *A. dawei* con  $4n = 28$  (Brandham, 1975; Brandham y Johnson 1982), las cuales se ha modificado su número cromosómico básico de  $n=7$  a números cromosómicos superiores, probablemente como respuesta a un proceso de adaptación a condiciones ambientales extremas. La condición de células poliploides también ha sido reportada por Albornoz e Imery (2003) en plantas del oriente del país.

La agrupación de las poblaciones en el fenograma de acuerdo a la relación entre los brazos cromosómicos de las poblaciones de *A. barbadensis*, en concordancia con los datos históricos de la dispersión de esta especie por la acción del hombre desde el siglo XVI, podría llevar a proponer que las primeras plantas fueron cultivadas en la población de Carazao, que es la zona más cercana a la ciudad de Coro, localidad por donde se dio la introducción de la especie al país. Dichas plantas pudieron dar origen a las localizadas en Cumarebo, las que posteriormente fundaron dos grandes ramas, una hacia el resto de las poblaciones del mismo estado Falcón y otro grupo de plantas que se propagó hacia las localidades del estado Zulia. El fenograma sugiere que las plantas ubicadas en los Puertos de Altagracia pudieron haber sido las primeras que se establecieron en el estado Zulia y producto de la dispersión antropogénica, llegaron a colonizar zonas que se encuentran en la parte más occidental del país, en los municipios Mara y Guajira. Esto podría explicar la estrecha similitud cromosómica entre las plantas del primer subgrupo correspondiente a las poblaciones de los Puertos, Tamare y Los Mayales que difieren con respecto al segundo subgrupo.

Estos patrones de distribución no se pueden interpretar desde el punto de vista filogeográfico, en virtud de que el origen y la propagación de esta especie en nuestro país es producto directo de la intervención humana.

Es importante señalar que la propagación de esta planta se realiza a través de la siembra de nuevos hijuelos ya que la producción de frutos y semillas es escasa y hay pocos agentes polinizadores, factores que limitan la reproducción sexual y su dispersión de manera espontánea (Imery, 2007).

Comprender la variabilidad de la estructura cromosómica de las plantas de sábila del occidente de Venezuela en función a las condiciones agroclimática de cada zona, permitirá realizar una interpretación más precisa de la interacción genotipo-ambiente, su probable efecto sobre la remodelación del complemento cromosómico y su asociación a determinados hábitats.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento al Centro de Investigaciones Biológicas y al Laboratorio de Biología Celular y Genética de la Facultad de Humanidades y Educación-LUZ. De igual manera agradecemos a CONDES-LUZ por el financiamiento del proyecto de investigación identificado como CC-0073-14.

## LITERATURA CITADA

- Albornoz, A. y J. Imery. 2003. Evaluación citogenética de ocho poblaciones de *Aloe vera* L. de la Península de Araya-Venezuela. *Ciencia* 11: 5-13.
- Batista. C. 1999. Notas sobre la historia de la zábila en la jurisdicción de Coro. Zábila en el estado Falcón: Acciones para su desarrollo. Jornadas de trabajo. Fundacite Falcón. Coro, estado Falcón. 68p.
- Brandham P. y M. Johnson. 1982. Polyploidy and Chromosome Interchange in *Aloe* (*Liliaceae*) from Somalia. *Kew Bulletin* 37 (3): 389-395.
- Brandham, P.E. 1971. The chromosomes of the *Liliaceae*: II. Polyploidy and karyotype variation in the *Aloineae*. *Kew Bulletin*. 25(3): 381-389.
- Chaudhari, A. y B. Chaudhary. 2012. Meiotic chromosome behaviour and kariomorphology of *Aloe vera* (L.) Burm f. *Chromosome Botany* 7: 23-29.
- Cortina, M. 2009. Estudio de la variabilidad del género *Aloe* en Colombia. Tesis de grado para optar al título de Magister en Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 87p.
- Diaz M, E. Ball y U. Lüttge. 1990. Stress-induced accumulation of xanthophyll rhodoxanthin in leaves of *Aloe vera*. *Plant Physiology Biochemical* 28: 679-682.
- Ewel, J. y A. Madrid. 1976. Zonas de vida en Venezuela. Memorias explicativas sobre el mapa ecológico. MAC. Caracas. 264p.
- García, A. 2011. Cambio climático en plantas de alta montaña: una perspectiva genética. *Ecosistemas* 20 (2): 129-132.
- González, C. 1999. Antecedentes históricos del cultivo de zábila en Falcón. Jornadas de trabajo: zábila en el estado Falcón: acciones para su desarrollo. Venezuela. 57 pp.
- Gunjan, K., and B. K. Roy. 2010. Karyotype studies in dominant species of *Aloe* from eastern India. *Caryologia* 63: 41-49.
- Hammer. O., D. A. Harper y P. D. Ryan. 2001. Past. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontological Electronic* 4(1):4, 9 pp.

- Holland, P.G. 1978. An evolutionary biogeography of the genus *Aloe*. *Journal Biogeografic*5: 213-226.
- Imery, J. 2007. Inestabilidad cariológica durante la formación de células madres del polen en *Aloe vera* (Aloaceae). *Revista Biología Tropical* 55 (3-4): 805-813.
- Imery, J. y T. Caldera. 2002. Estudio cromosómico comparativo de cinco especies de *Aloe* (Aloaceae). *Acta Botánica Venezolana* 25: 47-66.
- Kumar, K. y J. Kumar. 2014. Studies on the cytotaxonomy among different species of *Aloe* collected from Ranchi, Jharkhand. *International Journal of Bioassays* 3 (3): 1846-1850
- Levan A., K. Fredga y A. Sandberg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 52: 206- 218.
- Marshak, A. 1934. Chromosomes and compatibility in the Aloinae. *American Journal Botanical* 21: 592-597.
- Matos, A. y J. Molina. 1997. Estudio citogenético en células radicales de *Aloe vera* L. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)* 14: 173-182.
- Molero, T. y A. Matos. 2008. Efectos de la inducción artificial de la poliploidía en plantas de *Aloe vera* (L.) Burm.f. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 42: 111- 133.
- Molero, T., M. Viloria, D. Patiño y M. Ocando. 2013. Producción de gel y acibar en plantaciones de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) en el occidente de Venezuela. *Bioagro* 25(1): 71-76.
- Molero-Paredes T. y L. Bermúdez-Fung. 2013. Tasa de propagación de plantas de *Aloe vera* (L.) Burm.f. del occidente de Venezuela. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 30: 392-409.
- Nejatzadeh-Barandozi F., M. R. Naghavi, M. E. Hassani, Y. Mostofi, A. Mousavi y S. Tahmasebi-Enferadi. 2012. Diversity of Iranian aloe (*Aloe vera* L.) genotypes based on aloenin contents and some morphological traits. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 87 (6) 673-677
- Parkes, H. 1959. Polyploidy in South African Species of *Aloe*. *American Journal of Botany* 46 (2): 126-129.
- Pierce, B. 2009. *Genética*. Un Enfoque conceptual. Editorial Médica Panamericana. España. p. 255-258.
- Piña, H. y L. Chirino. 2008. Mercado de la zábila (*Aloe vera* L.) en el estado Falcón. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 25: 364-392
- Piña, H. y Morales, A. 2010. *Aloe* en Venezuela: de la cadena de valor al distrito industrial Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* 41. Publicación Electrónica: <http://www.redalyc.org/>.
- Ren Q., S. Li. B. Yao, X. Wang. 2007. Studies on induction of autotetraploid of *Aloe vera* L. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* 22: 136-138.
- Riley, H.P. y S.K. Majumdar. 1979. *The Aloinae. A biosystematic survey*. The University Press, Kentucky. 386 pp.
- Sapre A. 1978. Karyotype of *Aloe barbadensis* Mill.: a reinvestigation. *Cytologia* 43: 237-241.
- Smith, G. 1991. Additional notes on the taxonomic status and habitat of *Aloe bowiea* (Asphodelaceae: Aloideae). *Aloe* 28(1): 9-17.
- Sutaria, R. N. 1932. Somatic cell divisions in *Aloe vera* L. *Indian Botanical Society* 21: 132-133.
- Van Wyk, B.E. y G. Smith. 1996. *The Aloes of South Africa*. Briza Publications, Pretoria. 236 pp.
- Xiaohong L., J. Li, Y. Zhang, L. Li y D. He. 2011. Biological research advancement in *Aloe*. *Journal of Medicinal Plants Research* 5(7):1046-1052.
- Zheng M., X. Yu, Y. Li, H. Wu y S. Zhang. 2005. Karyotype analysis of 14 species and 2 varieties in *Aloe* L. *Journal Wuhan Botanical Research* 23(6): 535- 540.