

ASOCIACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN GATOS DOMÉSTICOS CON EL GRADO DE ANTIGÜEDAD EN BARRIOS - Cali

Diana Isabel Uribe Quintero

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

correo electrónico: uribe.diana@correounivalle.edu.co

Heiber Cárdenas Henao

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

correo electrónico: heiber.cardenas@correounivalle.edu.co

Ronald Andrés Viafara

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

correo electrónico: ronald.viafara@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Los marcadores genéticos del pelaje son ampliamente utilizados para caracterizar distintas poblaciones de gatos domésticos en todo el mundo, ya que tanto la identificación de los marcadores como el acceso a estos animales se da con gran facilidad. El objetivo en este estudio fue caracterizar las poblaciones de *Felis catus*, por medio de genes asociados al pelaje, en diferentes barrios de Cali, Colombia, siguiendo un gradiente de antigüedad de los mismos.

Los barrios se clasificaron como nuevos, intermedios o antiguos, dependiendo del año en que éstos empezaron a habitarse. Se realizaron recorridos en tres barrios de cada categoría, realizando descripciones y registros fotográficos de gatos callejeros y caseros, y recolectando datos del sexo, la edad y si estaban esterilizados. A partir de los datos recolectados se determinó la presencia y ausencia de genes que codifican caracteres fenotípicos, y se calcularon las frecuencias alélicas, la heterocigosidad esperada y el índice de diferenciación de Wright (FST).

La distribución de las frecuencias de los alelos del gen *Tabby*, el cual codifica para el patrón del pelaje, parece estar relacionada con el tiempo transcurrido desde que se empezaron a habitar los barrios. La frecuencia del alelo t^+ es mayor a medida que aumenta la antigüedad de los barrios. Otros alelos en los que se detectaron diferencias significativas en la distribución por antigüedad fueron *B* y *L*, responsables de la melanina de color negro y el pelo corto, respectivamente, aunque su distribución no sigue estrictamente un gradiente de antigüedad, los barrios intermedios y nuevos muestran diferencias con los antiguos.

Palabras clave: *Felis catus*, frecuencias alélicas, marcadores fenotípicos, pelaje.

ABSTRACT

Coat genetic markers are widely used to characterize various domestic cat populations around the world, given that both the markers identification and the access to these animals is relatively easy and accessible. This study has as objective to characterize *Felis catus* populations, throughout coat associated genes, in different neighborhoods of Cali, Colombia, following an antiquity gradient.

The neighborhoods were classified as new, intermediate and antique, depending on the year they began to be inhabited. Surveys were conducted in three neighborhoods of each category, where descriptions and photographic records of stray and domestic cats were made, and data on sex, age, and sterilization status were collected. Based on the collected data, the presence and absence of genes encoding phenotypic traits were determined, and allelic frequencies, expected heterozygosity, and Wright's fixation index (FST) were calculated.

The frequencies distribution of the Tabby gen alleles, wich encodes for the fur pattern, appears to be related to the time elapsed since the neighborhoods were inhabited. The frequency of the t^+ allele increases as the antiquity of the neighborhoods increases. Other alleles that showed significant differences in distribution by antiquity were *B* and *L*, responsible for black melanin and short fur, respectively. Although their distribution does not strictly follow the antiquity gradient, the intermediate and new neighborhoods show differences compared to the old ones.

Key words: Allele frequencies, coating, *Felis catus*, phenotype markers

INTRODUCCIÓN

La familia Felidae cobija las 38 especies de felinos existentes, incluyendo al gato doméstico (*Felis catus*), que por su importancia en la medicina veterinaria ha sido un modelo de estudio para los félidos (Clavijo-Maldonado & Ramírez-Benavides, 2011). Además, por su estrecha relación con los humanos están ampliamente distribuidos, lo cual los hace un objeto de estudio de fácil acceso (Pardo et al., 2018)

Muchos estudios sobre la genética poblacional de gatos tienen como enfoque los marcadores fenotípicos que afectan la coloración, patrón y largo del pelaje (Peña-Cruz et al., 2014; Ruíz-García, 1999). Estos son ampliamente utilizados gracias a la facilidad de identificación y a que presentan diversas interacciones génicas y distintos tipos de herencia (Peña-Cruz et al., 2014; Peñuela et al., 2016).

Diversos estudios sobre las distribuciones de las frecuencias alélicas de estos marcadores se han realizado en la ciudad de Cali, por ejemplo, Peña-Cruz et al. 2014 investigaron si había diferenciación entre las dos poblaciones de gatos del norte y del sur de la ciudad, como resultado obtuvieron que las poblaciones se comportaban como una sola pero las frecuencias eran diferentes a las obtenidas por Ruiz-García et al. 1999, por esto dejan abierta la posibilidad de que a escala microgeográfica se esté presentando una estructura genética que podría estar bajo la influencia del tiempo de colonización de los barrios.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar las poblaciones de gatos domésticos, mediante genes asociados al pelaje, en distintos barrios de la ciudad de Cali y examinar si la estructura genética se encuentra relacionada con la antigüedad de estos.

MÉTODOS

Selección de sitios de muestreo

Los barrios se clasificaron en tres categorías, según el año en el que se fundaron o empezaron a poblarse, para poder tener un gradiente de antigüedad. En la categoría “Antiguos” se consideraron todos los barrios fundados hasta 1899, los barrios “Intermedios” se tomaron como aquellos fundados entre 1900 y 1960, y como “nuevos” se consideraron los barrios fundados desde 1961 hasta el 2022. De cada categoría se escogieron tres barrios para el muestreo.

Muestreo

En cada uno de los barrios seleccionados se realizaron recorridos para observar los gatos callejeros y para indagar en cada domicilio si tenían mascotas felinas. En los hogares donde la respuesta fue afirmativa, se solicitó fotografiar a los gatos y se recolectaron datos del sexo, edad (en meses) y si estaban esterilizados.

Los muestreos se realizaron según la delimitación de los barrios establecida por la IDESC (Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali).

Caracterización fenotípica

Los fenotipos de los gatos se obtuvieron directamente de la observación de los animales y del registro fotográfico de cada uno para determinar la presencia o ausencia de los genes que codifican caracteres fenotípicos de coloración, patrón y longitud del pelaje. Los fenotipos se clasificaron de acuerdo con la nomenclatura genética propuesta por el "Committee on Standardized Genetic Nomenclature for Cats (1968)", excepto los alelos propuestos por David et al. 2014 para el locus *White* y las posiciones cromosómicas que componen los patrones *Tabby*, para lo cual se siguió a Eizirik et al., (2010).

La herencia y la ausencia de ligamiento de estos loci ha sido previamente discutida en detalle por Robinson (1977), Wright & Walters (1982) y Ruiz-García (1990, 1994), siendo los caracteres genéticos estudiados: O (Orange, carácter ligado al sexo) y los loci autosómicos: A (Aguti), T (Tabby), D (Dilution), L (Long hair), W (White), C (Colorpoint), I (Inhibitor) y M (Manx) (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los 10 genes asociados a marcadores del pelaje en gatos estudiados, modificado de Ruíz-García (1994).

Locus	Alelos	Características
O	<i>o</i>	Silvestre; pigmentación no naranja
	<i>O</i>	Mutante; Pigmentación naranja; dominante
A	<i>A</i>	Silvestre; color agutí
	<i>a</i>	Mutante; color no agutí; un mismo color; epistático para la observación del locus <i>T</i> , recesivo
T	<i>t+</i>	Silvestre; patrón atigrado o <i>Mackerel tabby</i>
	<i>T^a</i>	Mutante; abisinio o <i>Abyssinian tabby</i> ; codominante con <i>t+</i>
D	<i>D</i>	Silvestre; color denso
	<i>d</i>	Mutante; color diluido; recesivo
L	<i>L</i>	Silvestre; pelo corto
	<i>l</i>	Mutante; pelo largo; recesivo
W	<i>w+</i>	Silvestre; color normal
	<i>ws</i>	Mutante; manchas blancas; dominante sobre <i>w+</i> , pero recesivo para <i>W</i>
	<i>W</i>	Mutante; todo el pelaje es blanco; dominante sobre <i>w+</i> y <i>ws</i>
C	<i>C</i>	Silvestre; color completo
	<i>c</i>	Mutante; siamés (semi-albinismo); pigmentación en hocico, orejas, patas y cola; recesivo
B	<i>B</i>	Silvestre; eumelanina negra
	<i>b</i>	Mutante; eumelanina café; recesivo
I	<i>i</i>	Silvestre; color normal
	<i>I</i>	Mutante; parte basal del pelo sin pigmento; ausencia de feomelanina; dominante
M	<i>m</i>	Silvestre; cola larga
	<i>M</i>	Mutante; cola corta; dominante

Análisis de los datos

Para los loci autosómicos recesivos las frecuencias genotípicas y alélicas se estimaron asumiendo equilibrio de Hardy-Weinberg. Las frecuencias alélicas autosómicas recesivas (*q*) fueron estimadas como la raíz cuadrada de las frecuencias fenotípicas y las frecuencias alélicas dominantes (*p*) fueron calculadas como 1-*q*.

La frecuencia del alelo “Orange” fue calculada con el método de máxima verosimilitud de Robinson & Silson (1969) y Robinson (1977), suponiendo una relación de sexos de 1:1. De esta manera $p(O) = (2a + b)/(2N)$, donde *a* = número de gatos Orange (*O/O* and *O/-*), *b* = número de hembras

“tortoiseshell” o calicó (*O/o*) y N = tamaño muestral para ese locus. a partir de la ley del equilibrio Hardy-Weinberg.

Para determinar si las poblaciones estaban en equilibrio Hardy-Weinberg para los loci *O* y *T*, se utilizó el estadístico F de Robertson & Hill (1984), con su probabilidad estadística asociada, ya que éstos son los únicos dos loci donde se puede distinguir los heterocigotos debido a que en los restantes genes morfológicos se dan fenómenos de dominancia-recesividad, lo cual impide el cálculo de los estadísticos F_{IT} y F_{IS} de Wright (1951). Para el locus *O* ligado al sexo, se calcularon los valores esperados de macho y hembra naranja con respecto al número total de machos y hembras muestreados. Las pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrado (X^2) se utilizaron tanto para el locus *O* como para el locus *T*.

La heterocigosidad esperada se calculó como $2pq$ para un locus con dos alelos y la desviación estándar de las frecuencias alélicas como $pq2n$. También se calculó el índice de diferenciación de Wright (F_{ST}) para los loci *O*, *a*, *Ta(b)*, *d*, *S*, *I*, *W*, *l* y *cs*.

Se calculó el índice de similitud de Jaccard (1912) entre los barrios y las matrices obtenidas se analizaron para generar dendrogramas a partir del algoritmo UPGMA en el programa Mega 11 (Tamura et al., 2021).

RESULTADOS

Se observaron un total de 234 individuos. Los datos registrados en la tabla 2 corresponden a las frecuencias alélicas de los loci estudiados con sus respectivas desviaciones estándar. Los alelos con frecuencias más bajas fueron el alelo *W* y el alelo *M*. El alelo *W* solo estuvo presente en dos de las ocho poblaciones de gatos observadas y la frecuencia en cada una fue menor a 0.02, y el alelo *M* tuvo una frecuencia de 0 en todas las poblaciones muestreadas.

El alelo *a* tuvo una mayor frecuencia en el barrio La Merced y el alelo *A* en el barrio San Fernando Nuevo. Por otro lado, el alelo *Ta* tuvo una mayor frecuencia en el barrio La Flora y el alelo *t+* en los

barrios de San Antonio, La Merced y El Ingenio. El alelo *D* tuvo una mayor frecuencia en el barrio Prados del Norte y el alelo *d* en el barrio San Fernando Nuevo.

Tabla 2. Frecuencias alélicas y desviación estándar de 10 genes que afectan las características del pelaje de *Felis catus* en barrios de la ciudad de Cali.

Gen	Alelo	Clasificación	Antigüedad (años)	Barrio	Frecuencia Relativa	Desviación Estándar	N
<i>Agutí</i> *	A	Antiguos	223	San Antonio	0,34	0,07	25
			483	La Merced	0,32	0,06	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,42	0,06	30
			73	El Refugio	0,41	0,06	29
			103	El Peñón	0,32	0,06	35
			43	El ingenio	0,35	0,06	28
		Nuevos	55	Prados del Norte	0,33	0,06	31
			59	La Flora	0,41	0,06	29
			223	San Antonio	0,66	0,07	25
	a	Antiguos	483	La Merced	0,68	0,06	26
			95	San Fernando Nuevo	0,58	0,06	30
		Intermedios	73	El Refugio	0,59	0,06	29
			103	El Peñón	0,68	0,06	35
			43	El ingenio	0,65	0,06	28
			55	Prados del Norte	0,67	0,06	31
		Nuevos	59	La Flora	0,59	0,06	29
			223	San Antonio	0,00	0,00	14
			483	La Merced	0,00	0,00	14
<i>Tabby</i> ¹	T ^a	Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,08	0,04	20
			73	El Refugio	0,05	0,04	19
			103	El Peñón	0,11	0,05	19
			43	El ingenio	0,00	0,00	16
		Nuevos	55	Prados del Norte	0,12	0,06	17
			59	La Flora	0,54	0,08	19
		Antiguos	223	San Antonio	1,00	0,00	14
			483	La Merced	1,00	0,00	14
	t ⁺	Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,92	0,04	20
			73	El Refugio	0,95	0,04	19
			103	El Peñón	0,89	0,05	19
			43	El ingenio	1,00	0,00	16
		Nuevos	55	Prados del Norte	0,88	0,06	17
			59	La Flora	0,46	0,08	19
<i>Dilution</i> *	D	Antiguos	223	San Antonio	0,43	0,07	25
			483	La Merced	0,48	0,07	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,34	0,06	30
			73	El Refugio	0,47	0,07	29
			103	El Peñón	0,52	0,06	35
			43	El ingenio	0,50	0,07	28
		Nuevos	43	El ingenio	0,50	0,07	28
			43	El ingenio	0,50	0,07	28

Gen	Alelo	Clasificación	Antigüedad (años)	Barrio	Frecuencia Relativa	Desviación Estándar	N
<i>Colourpoint</i> *	<i>d</i>	Antiguos	55	Prados del Norte	0,60	0,06	31
			59	La Flora	0,43	0,07	29
			223	San Antonio	0,57	0,07	25
			483	La Merced	0,52	0,07	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,66	0,06	30
			73	El Refugio	0,53	0,07	29
			103	El Peñón	0,48	0,06	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,50	0,07	28
			55	Prados del Norte	0,40	0,06	31
			59	La Flora	0,57	0,07	29
	<i>C</i>	Antiguos	223	San Antonio	0,80	0,06	25
			483	La Merced	1,00	0,00	26
			95	San Fernando Nuevo	0,59	0,06	30
			73	El Refugio	0,68	0,06	29
		Intermedios	103	El Peñón	0,62	0,06	35
			43	El ingenio	0,67	0,06	28
			55	Prados del Norte	0,69	0,06	31
		Nuevos	59	La Flora	0,55	0,07	29
			223	San Antonio	0,20	0,06	25
			483	La Merced	0,00	0,00	26
<i>Long hair</i> *	<i>cs</i>	Antiguos	95	San Fernando Nuevo	0,41	0,06	30
			73	El Refugio	0,32	0,06	29
			103	El Peñón	0,38	0,06	35
		Intermedios	43	El ingenio	0,33	0,06	28
			55	Prados del Norte	0,31	0,06	31
			59	La Flora	0,45	0,07	29
	<i>L</i>	Antiguos	223	San Antonio	0,43	0,07	25
			483	La Merced	1,00	0,00	26
			95	San Fernando Nuevo	0,46	0,06	30
			73	El Refugio	0,38	0,06	29
		Intermedios	103	El Peñón	0,62	0,06	35
			43	El ingenio	0,54	0,07	28
			55	Prados del Norte	0,56	0,06	31
		Nuevos	59	La Flora	0,63	0,06	29
			223	San Antonio	0,57	0,07	25
			483	La Merced	0,00	0,00	26
<i>White</i> ²	<i>w+</i>	Antiguos	95	San Fernando Nuevo	0,54	0,06	30
			73	El Refugio	0,62	0,06	29
			103	El Peñón	0,38	0,06	35
			43	El ingenio	0,46	0,07	28
			55	Prados del Norte	0,44	0,06	31
			59	La Flora	0,37	0,06	29
			223	San Antonio	0,57	0,0662	25
			483	La Merced	0,62	0,0616	26

Gen	Alelo	Clasificación	Antigüedad (años)	Barrio	Frecuencia Relativa	Desviación Estándar	N
<i>Orange</i> ³	<i>ws</i>	Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,57	0,0662	31
			73	El Refugio	0,37	0,0614	29
			103	El Peñón	0,61	0,0641	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,57	0,0662	28
			55	Prados del Norte	0,67	0,0596	31
			59	La Flora	0,69	0,0605	29
		Antiguos	223	San Antonio	0,43	0,0662	25
			483	La Merced	0,38	0,0616	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,42	0,0659	31
			73	El Refugio	0,63	0,0614	29
			103	El Peñón	0,39	0,0641	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,43	0,0662	28
			55	Prados del Norte	0,33	0,0596	31
			59	La Flora	0,29	0,0594	29
	<i>W</i>	Antiguos	223	San Antonio	0,00	0,00	25
			483	La Merced	0,00	0,00	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,02	0,0169	31
			73	El Refugio	0,00	0,00	29
			103	El Peñón	0,00	0,00	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,00	0,00	28
			55	Prados del Norte	0,00	0,00	31
			59	La Flora	0,02	0,0172	29
	<i>O</i>	Antiguos	223	San Antonio	0,23	0,06	25
			483	La Merced	0,39	0,08	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,13	0,04	30
			73	El Refugio	0,20	0,05	29
			103	El Peñón	0,25	0,06	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,27	0,07	28
			55	Prados del Norte	0,19	0,05	31
			59	La Flora	0,21	0,05	29
	<i>o</i>	Antiguos	223	San Antonio	0,77	0,06	25
			483	La Merced	0,61	0,08	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,88	0,04	30
			73	El Refugio	0,80	0,05	29
			103	El Peñón	0,75	0,06	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,73	0,07	28
			55	Prados del Norte	0,81	0,05	31
			59	La Flora	0,79	0,05	29
<i>Black *</i>	<i>B</i>	Antiguos	223	San Antonio	1,00	0,00	18
			483	La Merced	0,75	0,08	16
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,51	0,07	25
			73	El Refugio	0,41	0,07	23
			103	El Peñón	0,55	0,06	30
		Nuevos	43	El ingenio	0,58	0,07	23

Gen	Alelo	Clasificación	Antigüedad (años)	Barrio	Frecuencia Relativa	Desviación Estándar	N
<i>Inhibitor</i> *	<i>b</i>	Antiguos	55	Prados del Norte	0,62	0,06	28
			59	La Flora	0,54	0,07	24
			223	San Antonio	0,00	0,00	18
			483	La Merced	0,25	0,08	16
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,49	0,07	25
			73	El Refugio	0,59	0,07	23
			103	El Peñón	0,45	0,06	30
		Nuevos	43	El ingenio	0,42	0,07	23
			55	Prados del Norte	0,38	0,06	28
			59	La Flora	0,46	0,07	24
		Antiguos	223	San Antonio	0,15	0,05	25
			483	La Merced	0,32	0,06	26
			95	San Fernando Nuevo	0,42	0,06	30
			73	El Refugio	0,28	0,06	29
			103	El Peñón	0,13	0,04	35
		Nuevos	43	El ingenio	0,24	0,06	28
			55	Prados del Norte	0,22	0,05	31
			59	La Flora	0,28	0,06	29
<i>Manx</i> ⁴	<i>i</i>	Antiguos	223	San Antonio	0,85	0,05	25
			483	La Merced	0,68	0,06	26
			95	San Fernando Nuevo	0,58	0,06	30
			73	El Refugio	0,72	0,06	29
		Intermedios	103	El Peñón	0,87	0,04	34
			43	El ingenio	0,76	0,06	28
			55	Prados del Norte	0,78	0,05	31
		Nuevos	59	La Flora	0,72	0,06	29
			223	San Antonio	0,00	0,00	25
			483	La Merced	0,00	0,00	26
		Intermedios	95	San Fernando Nuevo	0,00	0,00	30
			73	El Refugio	0,00	0,00	29
			103	El Peñón	0,00	0,00	35
			43	El ingenio	0,00	0,00	28
		Nuevos	55	Prados del Norte	0,00	0,00	31
			59	La Flora	0,00	0,00	29
			223	San Antonio	1,00	0,00	25
		Intermedios	483	La Merced	1,00	0,00	26
			95	San Fernando Nuevo	1,00	0,00	30
			73	El Refugio	1,00	0,00	29
			103	El Peñón	1,00	0,00	35
	<i>m</i>	Nuevos	43	El ingenio	1,00	0,00	28
			55	Prados del Norte	1,00	0,00	31
			59	La Flora	1,00	0,00	29
		Intermedios	223	San Antonio	1,00	0,00	25
			483	La Merced	1,00	0,00	26
			95	San Fernando Nuevo	1,00	0,00	30
		Nuevos	73	El Refugio	1,00	0,00	29
			103	El Peñón	1,00	0,00	35
			43	El ingenio	1,00	0,00	28
		Nuevos	55	Prados del Norte	1,00	0,00	31
			59	La Flora	1,00	0,00	29

*Loci autosómico dialélico; 1 Locus autosómico con dos alelos codominantes.; 2 Locus autosómico trialelico; 3 Locus dialélico ligado al cromosoma X, los valores se obtuvieron de la población de hembras; 4 Locus autosómico con alelo “m” fijado en todas las poblaciones muestreadas

En los loci *agutí*, *dilution*, *colourpoint*, *white*, *orange*, *black*, *inhibitor* y *manx* los barrios de cada clasificación de antigüedad no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con los valores del índice de fijación de la tabla 3. Los valores del F_{ST} de los barrios nuevos para el locus *tabby* y de los barrios antiguos para locus *long hair* indican que al menos uno de los barrios de cada una de estas categorías se comporta de manera diferente a los otros.

En la tabla 3 se observa un alto F_{ST} para los barrios antiguos en el locus *Colourpoint* ($0,413 \pm 0,063$), mientras que en los otros genes estos valores son muy bajos. Lo mismo ocurre con la diversidad, la heterocigosidad esperada es menor en barrios antiguos que en intermedio y nuevos.

Tabla 3. Valores de la heterocigosidad esperada (H_e) y del índice de fijación (F_{ST}) de 10 genes asociados a las características del pelaje de *Felis catus* en barrios de la ciudad de Cali.

Gen	Clasificación	Barrio	Valor p	F _{ST}	F _{IS}	F _{IT}	H _O	H _e	N
Agutí	Antiguos	San Antonio	0,857	0,024 ± 0,019				0,447	25
		La Merced						0,436	26
	Intermedios	San Fernando	0,946	0,007 ± 0,009				0,488	30
		Nuevo						0,485	29
		El Refugio						0,438	35
	Nuevos	El Peñón	0,966	0,005 ± 0,007				0,452	28
		El ingenio						0,441	31
		Prados del Norte						0,485	29
		La Flora							
Tabby	Antiguos	San Antonio			0,000		0,000	0,000	14
		La Merced					0,000	0,000	14
	Intermedios	San Fernando	0,952	1,9*10 ⁻⁵ ± 0,001	0,763	0,770	0,100	0,180	20
		Nuevo					0,053	0,145	19
		El Refugio					0,000	0,332	19
	Nuevos	El Peñón	0,940	-0,011 ± 0,014	0,912	0,922	0,000	0,250	16
		El ingenio					0,000	0,205	17
		Prados del Norte					0,053	0,497	19
		La Flora							
Dilution	Antiguos	San Antonio	0,965	0,002 ± 0,005				0,491	25
		La Merced						0,499	26
	Intermedios	San Fernando	0,980	0,003 ± 0,005				0,450	30
		Nuevo						0,499	29
		El Refugio						0,499	35
	Nuevos	El Peñón	0,859	0,019 ± 0,01					
		El ingenio						0,500	28

Gen	Clasificación	Barrio	Valor p	F _{ST}	F _{IS}	F _{IT}	H _O	H _e	N	
Colourpoint	Antiguos	Prados del Norte	0,001	0,413 ± 0,063				0,409	31	
		La Flora						0,491	29	
		San Antonio						0,320	25	
		La Merced						0,000	26	
	Intermedios	San Fernando	0,981	0,003 ± 0,005				0,483	30	
		Nuevo						0,436	29	
		El Refugio						0,470	35	
		El Peñón						0,440	28	
	Nuevos	El ingenio	0,823	0,024 ± 0,012				0,429	31	
		Prados del Norte						0,496	29	
		La Flora						0,497	25	
		San Antonio						0,000	26	
Long hair	Antiguos	San Fernando	0,001	0,004 ± 0,008	0,495	30				
		Nuevo			0,473	29				
		El Refugio			0,470	35				
		El Peñón			0,497	28				
	Intermedios	El ingenio	0,955	0,007 ± 0,009	0,493	31				
		Prados del Norte			0,467	29				
		La Flora			0,491	25				
		San Antonio			0,471	26				
	Nuevos	San Fernando	0,332	0,040 ± 0,020	0,504	31				
		Nuevo			0,467	29				
		El Refugio			0,476	35				
		El Peñón			0,491	28				
White	Antiguos	El ingenio	0,907	0,012 ± 0,011	0,441	31				
		Prados del Norte			0,434	29				
		La Flora			0,270	0,350	11			
		San Antonio			0,330	0,480	9			
	Intermedios	La Merced	0,865	0,031 ± 0,040	0,140	0,146	0,220	0,250	16	
		San Fernando					0,320	0,130	15	
		Nuevo					0,380	0,500	12	
		El Refugio					0,360	0,400	11	
	Nuevos	El Peñón	0,935	0,007 ± 0,013	0,263	0,286	0,380	0,300	16	
		El ingenio					0,140	0,340	14	
		Prados del Norte					0,256	0,003 ± 0,008	0,257	18
		La Merced					0,436	16		
Black	Antiguos	San Fernando	0,904	0,003 ± 0,006	0,488	25				
		Nuevo			0,404	23				
		El Refugio			0,220	30				
	Intermedios	El Peñón			0,369	23				
		El ingenio			0,970	0,005 ± 0,008				
		Nuevos								

Gen	Clasificación	Barrio	Valor p	F _{ST}	F _{IS}	F _{IT}	Ho	He	N
Inhibitor	Antiguos	Prados del Norte	0,705	0,000 ± 0,002				0,340	28
		La Flora						0,404	24
		San Antonio						0,000	25
		La Merced						0,375	26
		San Fernando						0,500	30
		Nuevo						0,484	29
	Intermedios	El Refugio	0,463	0,002 ± 0,005				0,494	34
		El Peñón						0,486	28
		El ingenio						0,470	31
	Nuevos	Prados del Norte	0,973	0,002 ± 0,005				0,496	29
		La Flora						0,000	25
		San Antonio						0,000	26
manx	Antiguos	La Merced						0,000	30
		San Fernando						0,000	29
		Nuevo						0,000	35
	Intermedios	El Refugio						0,000	28
		El Peñón						0,000	31
		El ingenio						0,000	29
	Nuevos	Prados del Norte						0,000	29
		La Flora							

La tabla 4 contiene los valores del F_{ST} entre las categorías de antigüedad de los barrios y la heterocigosidad esperada de estos. Los barrios de las diferentes categorías de antigüedad no presentan diferencias significativas entre sí en la mayoría de loci evaluados, los loci que presentan diferencias significativas en la distribución son *tabby*, *long hair* y *black*.

Tabla 4. Valores del índice de diferenciación de 10 genes que alteran las características del pelaje de *Felis catus* en barrios de la ciudad de Cali.

Gen	Clasificación	Valor p	F _{ST}	He	N
<i>Agutí</i>	Antiguos	0,769	0,019 ± 0,009	0,400	51
	Intermedios			0,468	94
	Nuevos			0,459	88
<i>Tabby</i>	Antiguos	0,001	0,276 ± 0,038	0,000	28
	Intermedios			0,148	58
	Nuevos			0,250	52
<i>Dilution</i>	Antiguos	0,858	0,012 ± 0,007	0,490	51
	Intermedios			0,483	94
	Nuevos			0,490	88

Gen	Clasificación	Valor p	F _{ST}	He	N
<i>Colourpoint</i>	Antiguos	0,142	0,095 ± 0,019	0,131	51
	Intermedios			0,464	94
	Nuevos			0,455	88
<i>Long hair</i>	Antiguos	0,023	0,146 ± 0,023	0,201	51
	Intermedios			0,479	94
	Nuevos			0,486	88
<i>White</i>	Antiguos	0,809	0,015 ±0,008	0,483	51
	Intermedios			0,483	95
	Nuevos			0,473	88
<i>Orange</i>	Antiguos	0,874	0,026 ± 0,016	0,345	20
	Intermedios			0,303	43
	Nuevos			0,343	41
<i>Black</i>	Antiguos	0,073	0,128 ± 0,024	0,136	34
	Intermedios			0,493	78
	Nuevos			0,483	75
<i>Inhibitor</i>	Antiguos	0,4731	0,046 ± 0,014	0,322	51
	Intermedios			0,364	93
	Nuevos			0,370	88
<i>Manx</i>	Antiguos			0,000	51
	Intermedios			0,000	94
	Nuevos			0,000	88

En la tabla 5 se registran los porcentajes de gatos callejeros y esterilizados en cada una de las categorías de antigüedad asignada a los barrios de la ciudad. A medida que disminuye la edad de los barrios aumenta el porcentaje de gatos esterilizados y disminuye el de gatos callejeros.

Tabla 5. Porcentaje de gatos callejeros y esterilizados en los barrios de cada categoría de antigüedad.

Clasificación	Barrio	Antigüedad (años)	N	% Gatos callejeros	% Gatos esterilizados
Antiguos	San Antonio	223	25	68.63	23.53
	La Merced	483	26		
Intermedios	San Fernando		31	63,16	40,00
	Nuevo	95			
	El Refugio	73	29		
	El Peñón	103	35		
Nuevos	El ingenio	43	28	44,32	54,55
	Prados del Norte	55	31		
	La Flora	59	29		

La figura 1 se obtuvo a partir de los resultados del índice de similitud de Jaccard (1912) calculado entre los barrios muestreados.

El dendograma muestra una similitud entre barrios mayor a 0.35 y agrupa a los barrios antiguos, La Merced y San Antonio, con un índice aproximado de 0.40. El barrio San Fernando, clasificado como intermedio, también hace parte de esta agrupación.

Los barrios Prados del Norte y La Flora, clasificados como nuevos, se agrupan con una similitud poco mayor a 0.40. Por otra parte, el resto de los barrios presenta una similitud mayor a 0.45.

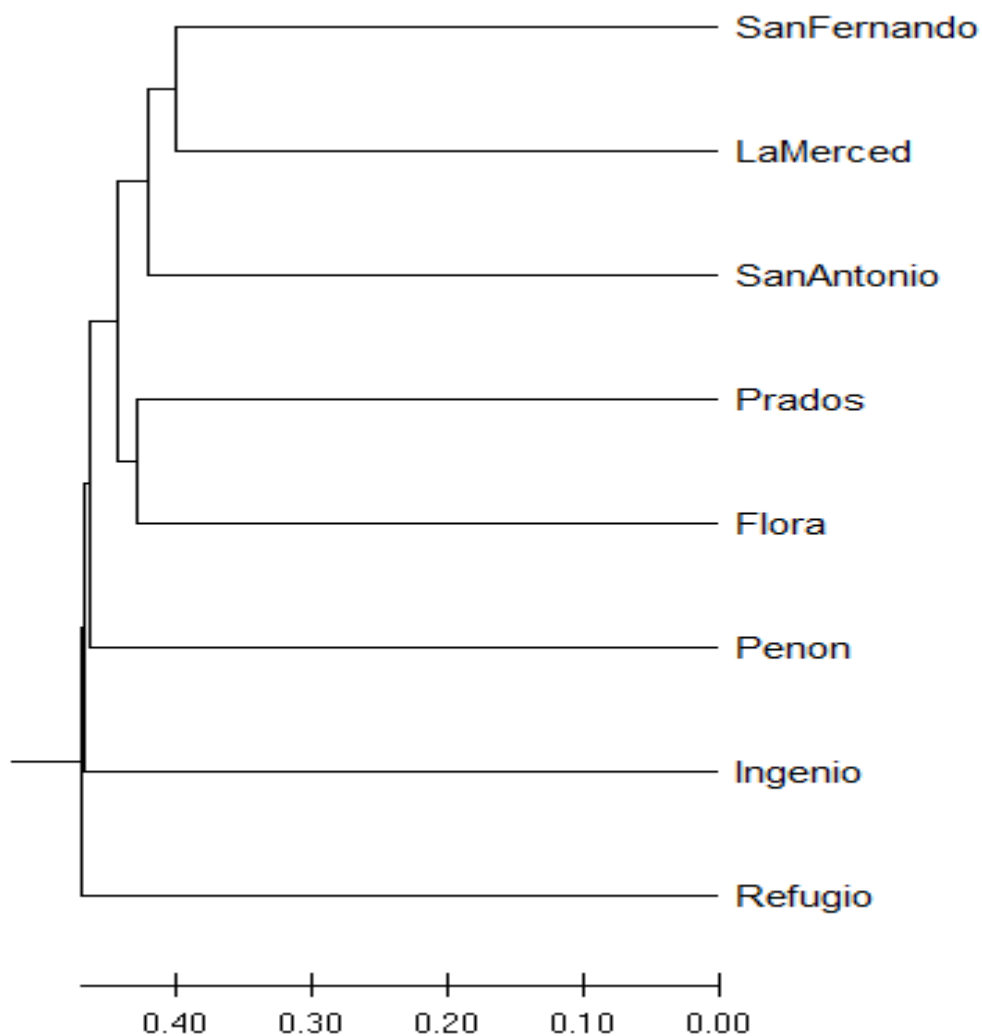


Figura 1. Dendograma generado a partir de los resultados del índice de similitud de Jaccard y el método UPGMA.

DISCUSIÓN

Los loci de los genes *A*, *D*, *C*, *W*, *O*, *I* y *M* no presentaron diferencias de sus frecuencias alélicas entre los barrios de diferentes antigüedades, es decir que sus frecuencias no están determinadas por el tiempo que ha transcurrido desde que se empezaron a habitar los barrios.

Mientras que los loci para los genes *T*, *L* y *B* si mostraron diferencias significativas (Tabla 4) en la distribución de sus frecuencias alélicas entre los barrios nuevos, intermedios y antiguos, lo cual sugiere que existe una relación entre la distribución alélica y la antigüedad de los barrios.

Para el locus que determina el patrón tabby se observó que existen diferencias en la manera en la que se distribuyen las frecuencias genotípicas de acuerdo con la gradiente de antigüedad (Tabla 4). En la tabla 2 se observa un aumento en la frecuencia del alelo T^a a medida que disminuye la edad de los barrios, de tal manera que parece que la gradiente de antigüedad de estos estuviera relacionada con la distribución alélica.

La ausencia total del alelo T^a en los barrios antiguos podría explicarse porque no fue sino hasta el año 1900 que llegó al continente americano la raza Abyssinian (Abyssinian – the cat fanciers' association, inc, s/f), la cual tiene como rasgo principal el patrón ticked asociado al alelo T^a , por lo tanto, solo los barrios formados durante y después de esta fecha (categorías intermedios y nuevos) podrían tener este alelo.

Se considera que los barrios La Merced y San Antonio tienen un gran valor cultural e histórico, haciéndolos un gran atractivo turístico de la ciudad, esto hace que se presente un constante flujo de personas por diversas actividades culturales y turísticas (Esquivel, 2011; Noguera, 2017). Al ser un destino popular, tanto para turistas como para ciudadanos locales, estos barrios tienen niveles altos de ruido, inseguridad e invasión del espacio público (Anónimo, 2023). Estas problemáticas pueden hacer que las personas no tengan a estos lugares como opción para vivir, ya que las personas prefieren vivir en zonas silenciosas y con un entorno positivo, donde su bienestar no se vea afectado (Shepherd et al., 2013). El rechazo hacia las zonas con mucho ruido como vivienda puede hacer que

sea menos la cantidad de personas que se quieran establecer en estos lugares y aumente el desplazamiento hacia otras zonas más tranquilas, lo cual puede llevar a una disminución en la diversidad genética (Alcala et al., 2013) y explicaría por que no hubo presencia del alelo T^a en los barrios antiguos.

En el locus del gen L se observa que la heterocigosidad esperada (H_e) es menor para los barrios antiguos que para los intermedios o nuevos (Tabla 4). En Glasgow, Clark (1975) realizó un estudio sobre los efectos de las preferencias humanas sobre las frecuencias genéticas que afectan el pelaje de los gatos urbanos, en este se menciona que la frecuencia del alelo l , correspondiente al fenotipo de pelo largo, tiende a aumentar porque es un rasgo favorecido por los humanos.

Las frecuencias alélicas pueden ser alteradas por los humanos cuando hay selección por novedad, que ocurre cuando un carácter “raro” genera atracción, o por la migración selectiva que se presenta cuando existe una preferencia por cierta apariencia en los gatos (Todd, 1977). Estos escenarios podrían explicar la distribución del alelo l , previamente mencionado, y el alelo cs .

A pesar de no existir diferencias significativas entre las distribuciones alélicas por antigüedad en el locus C , si se observa un pequeño incremento en las frecuencias del alelo cs en los barrios intermedios y nuevos, con respecto a los antiguos (Tabla 2). Este alelo es responsable del fenotipo con una pigmentación más oscura en las extremidades, y está fuertemente asociado con la raza exótica “Siamese”, por lo que se podría generar una predilección por tener gatos con este tipo de pigmentación y explicaría el que la frecuencia de este fenotipo sea mayor en los barrios donde hay un mayor porcentaje de gatos caseros, como lo son los barrios nuevos e intermedios (Tabla 5).

Otro punto para mencionar sobre este gen es que, como se observa en la tabla 3, el valor de F_{ST} entre barrios antiguos es alto ($0,413 \pm 0,063$), indicando que los dos barrios en esta categoría se comportan diferente, esto se evidencia al observar los valores de H_e de La Merced y San Antonio (0.000 y 0.320). Estas diferencias pueden ser el resultado de la presencia de una colonia de gatos en el barrio La Merced, ninguno de los individuos que se pudieron observar en esta colonia era

homocigoto para el alelo *cs*, por lo que todos los gatos observados tenían un pelaje con coloración uniforme. A pesar de no encontrar registros de cuanto tiempo lleva la colonia en el barrio, algunos habitantes coinciden en que llevan más de 5 años en el mismo lugar, al no estar bajo el cuidado de alguien en particular no se sabe si estos gatos están esterilizados, pero al momento de hacer el muestreo se identificaron 3 gatas que estaban en estado de embarazo y también se observaron gatos juveniles, por lo que se podría decir que por lo menos algunos de los individuos se reproducen entre ellos, lo que hace posible que el alelo *C* se mantenga a lo largo del tiempo en la colonia.

Para el gen *B* se obtuvieron valores de H_e bastante bajos en la categoría de “Antiguos” en comparación con los de las categorías “Intermedios” y “Nuevos”, como se observa en la tabla 4. En los barrios antiguos hay un gran porcentaje de gatos callejeros (Tabla 5), lo cual podría explicar las altas frecuencias del alelo *B* en estos (Tabla 2), ya que, junto con las altas frecuencias de individuos no agutí (Tabla 2), los gatos serían menos conspicuos, lo cual representa una ventaja a la hora de conseguir alimento, y también los hace menos susceptibles a ser detectados y/o capturados (Wang et al., 2022).

La relación entre genes de coloración y rasgos comportamentales ha sido estudiada en ratas (Keeler, 1942) y zorros (Keeler et al., 1968) y se ha revelado que, en zonas urbanas, los individuos más melánicos son menos agresivos, menos temerosos y presentan una mayor resistencia ante el estrés. Esto ha sido discutido por Causil et al. (2017), quienes mencionan que la distribución de gatos portadores del alelo *B* se ve afectada por su tendencia a ser “menos temerosos y más resistentes al estrés”. Esta ventaja asociada a este fenotipo también podría explicar la baja frecuencia del alelo *W* en todos los barrios.

Ruíz-García & Álvarez (1999) plantean que el locus *W* puede utilizarse para detectar qué tanta intervención humana existe en las poblaciones de gatos, y dado que en los barrios antiguos hay una ausencia total del alelo *W*, mientras que los barrios intermedios y nuevos, a pesar de ser muy baja, hay presencia de este alelo, se podría decir que estos barrios se ven afectados en mayor medida por

la selección humana. Esto concuerda con los datos de la tabla 5, ya que justamente en los barrios intermedios y nuevos hay un mayor porcentaje de gatos caseros, lo cual implica que los humanos han tomado decisiones en cuanto a qué tipo de individuos permanecen o salen de los barrios.

Las gatas pueden empezar la pubertad tan temprano como los 4 meses de edad, en el año pueden llegar a tener de 1 a 3 camadas, y cada camada puede tener de 1 a 5 crías (Little, 2012), de acuerdo con esto, en un año se pueden tener entre 3 y 4 generaciones diferentes.

Los barrios La Merced y San Antonio tienen sus inicios en 1540 (IDESC, s/f) y 1746 (Zapata et al. 2011), respectivamente, mientras que el barrio más viejo de la categoría “Intermedios” fue fundado en 1920 (Vásquez, 1990), por lo que hay más de 170 años de diferencia entre estos barrios. Estos 100 años representan una diferencia de entre 510 y 680 generaciones con los barrios intermedios y nuevos, mientras que entre los barrios de estas categorías solo hay una diferencia de aproximadamente 14 años, es decir, de alrededor de 42 generaciones. Esta es una posible explicación para la distribución de las frecuencias alélicas de los loci *L* y *B*, ya que esta puede verse afectada por la diferencia entre los rangos asignados para este trabajo.

En la figura 1 se observa que todos los barrios tienen una similitud mayor a 0.35, esto podría ser un indicativo de que se deberían reducir los rangos en los que clasifican los barrios. A pesar de esto, los barrios antiguos muestran una similitud menor con respecto a los barrios intermedios y nuevos.

Los barrios La Flora y Prados del norte se encuentra muy cerca el uno del otro, la zona norte del barrio Prados colinda con la zona sur del barrio La Flora y la división está dada por una avenida, es posible que estos dos barrios se agruparan en la figura 1 por su cercanía geográfica y por tener una edad parecida, ya que la urbanización de La Flora empezó en 1964 y la de Prados del Norte en 1965 (Anónimo, 2003).

Queda abierta la duda de si los resultados obtenidos tendrían algún cambio si se redujeran los rangos de antigüedad para clasificar los barrios, ya que existe una gran diferencia entre los rangos de antigüedad para clasificar los barrios, por lo que hay muchas generaciones que separan a las

poblaciones de gatos en barrios antiguos de los intermedios y nuevos.

Por último, los loci *T*, *L* y *B* evidencian cambios en las frecuencias alélicas dependiendo de la antigüedad de los barrios, pero estos cambios también parecen estar ligados a la intervención de los humanos, por sus preferencias sobre la apariencia del pelaje al escoger un gato como mascota.

AGRADECIMIENTOS

A mi director y codirector, Heiber Cárdenas y Ronald Viafara, por la guía y apoyo durante la construcción y desarrollo de este proyecto. A Manuela Gutiérrez, Nicolas Girón y Dora Quintero por su colaboración en los muestreos, y por acompañarme durante mi proceso académico.

LITERATURA CITADA

Alcala, N. *et al.* (2013) “Peak and persistent excess of genetic diversity following an abrupt migration increase”, *Genetics*, 193(3), pp. 953–971. doi: 10.1534/genetics.112.147785.

Abyssinian – the cat fanciers’ association, inc (sin fecha) *Cfa.org*. Disponible en: <https://cfa.org/abyssinian/> (Consultado: el 14 de junio de 2023).

Causil, L. A., Pardo Pérez, E. y Muñoz Mass, B. L. (2017) “Estructura genética-poblacional de gatos domésticos (*Felis catus*), usando marcadores fenotípicos en Santa Marta, Colombia”, *Revista logos ciencia & tecnología*, 8(2). doi: 10.22335/rlct.v8i2.293.

Clark, J. M. (1975) “The effects of selection and human preference on coat colour gene frequencies in urban cats”, *Heredity*, 35(2), pp. 195–210. doi: 10.1038/hdy.1975.84.

Clavijo-Maldonado, A. y Ramírez-Benavides, G. F. (2011) “Características cromosómicas de la familia Felidae”, *Veterinaria y zootecnia*, 5(1), pp. 87–95. Disponible en: <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4509> (Consultado: el 8 de junio de 2023).

David, V. A. *et al.* (2014) “Endogenous retrovirus insertion in the KIT oncogene determines white and white spotting in domestic cats”, *G3 (Bethesda, Md.)*, 4(10), pp. 1881–1891. doi: 10.1534/g3.114.013425.

Eizirik, E. *et al.* (2010) “Defining and mapping mammalian coat pattern genes: Multiple genomic regions implicated in domestic cat stripes and spots”, *Genetics*, 184(1), pp. 267–275. doi: 10.1534/genetics.109.109629.

Esquivel, R. M. (2011) *Los tesoros de San Antonio: arquitectura, magia e identidad para los caleños*, *El País*. Disponible en: <https://www.elpais.com.co/cali/los-tesoros-de-san-antonio-arquitectura-magia-e-identidad-para-los-calenos.html> (Consultado: el 2 de agosto de 2023).

- IDESC (sin fecha) *Bienes Inmuebles de Interés de Santiago de Cali*, Gov.co. Disponible en: https://idesc.cali.gov.co/download/bic_2014/BICN-23.pdf (Consultado: el 26 de abril de 2023).
- Jaccard, P. (1912) “The distribution of the flora in the alpine zone.1”, *The new phytologist*, 11(2), pp. 37–50. doi: 10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x.
- Keeler, C. *et al.* (1968) “The genetics of adrenal size and tameness in colorphase foxes”, *The journal of heredity*, 59(1), pp. 82–84. doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a107655.
- Keeler, C. E. (1942) “The association of the black (non-agouti) gene with behavior”, *The journal of heredity*, 33(11), pp. 371–384. doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a105097.
- Little, S. E. (2012) “Female Reproduction”, en *The Cat*. Elsevier, pp. 1195–1227.
- MUNICIPIO SANTIAGO DE CALI DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACION PLAN DE DESARROLLO ESTRATÉGICO COMUNA DOS PERIODO 2004-2008 CENTRO DE ADMINISTRACIÓN LOCAL INTEGRADA COMUNA DOS (2003) Gov.co. Disponible en: <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/planeacion/planterritorial/com02.pdf> (Consultado: el 2 de agosto de 2023).
- Noguera, I. (2017) *El reto de conservar el centro histórico de Cali*, *El Tiempo*. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/cali/centro-historico-de-cali-y-el-reto-de-su-conservacion-89336> (Consultado: el 2 de agosto de 2023).
- Pardo, E., Castro, A. y Begambre, M. (2018) “Diversidad genética de la población de gatos domésticos (*Felis catus*) de la ciudad de Mompox, Bolívar, mediante marcadores del pelaje”, *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 29(3), pp. 790–799. doi: 10.15381/rivep.v29i3.14830.
- Peña-Cruz, A. F. *et al.* (2014) “Genetic analysis of the cat population of north and south of Cali, Colombia”, *Acta biologica colombiana*, 20(1), pp. 109–116. doi: 10.15446/abc.v20n1.41610.
- Robinson, R. (1977) *Genetics for cat breeders*. Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann.
- Robinson, R. y Silson, M. (1969) “Mutant gene frequencies in cats of Southern England”, *Theoretical and applied genetics*, 39(7), pp. 326–329. doi: 10.1007/bf00281914.
- Ruíz-García, M. (1990) “Mutant allele frequencies in domestic cat populations on the Spanish Mediterranean coast, and their genetic distances from other European and North African cat populations”, *Genética*, 82(3), pp. 215–221. doi: 10.1007/bf00056365.
- Ruíz-García, M. (1994) “Genetic structure of the Marseilles cat population: is there really a strong founder effect?” *Genet Sel Evol*, 26, pp. 317–331.
- Ruíz-García, M. y Álvarez, D. (1999) “Análisis filogenético de 21 poblaciones latinoamericanas de gatos, mediante 10 loci morfológicos, utilizando métodos de matrices de distancias genéticas y de máxima parsimonia”, *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 95, pp. 3–4.

Se cansaron de la bulla y el desorden: habitantes de San Antonio piden medidas para frenar el caos en su barrio (2023) *El País*. Disponible en: <https://www.elpais.com.co/cal/se-cansaron-de-la-bulla-y-el-desorden-habitantes-de-san-antonio-piden-medidas-para-frenar-el-caos-en-su-barrio.html> (Consultado: el 2 de agosto de 2023).

Shepherd, D. *et al.* (2013) “Do quiet areas afford greater health-related quality of life than noisy areas?”, *International journal of environmental research and public health*, 10(4), pp. 1284–1303. doi: 10.3390/ijerph10041284.

Tamura, K., Stecher, G. y Kumar, S. (2021) “MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11”, *Molecular biology and evolution*, 38(7), pp. 3022–3027. doi: 10.1093/molbev/msab120.

Todd, N. B. (1977) “Cats and Commerce”, *Scientific American*, 237(5), pp. 100–107. doi: 10.1038/scientificamerican1177-100.

Wright, M. y Walters, S. (1982) *El gato*. Ed. Blume, Barcelona. 225pp.