

¿QUÉ MAMÍFERO TIENE EL PELO PROPORCIONALMENTE MÁS RESISTENTE?

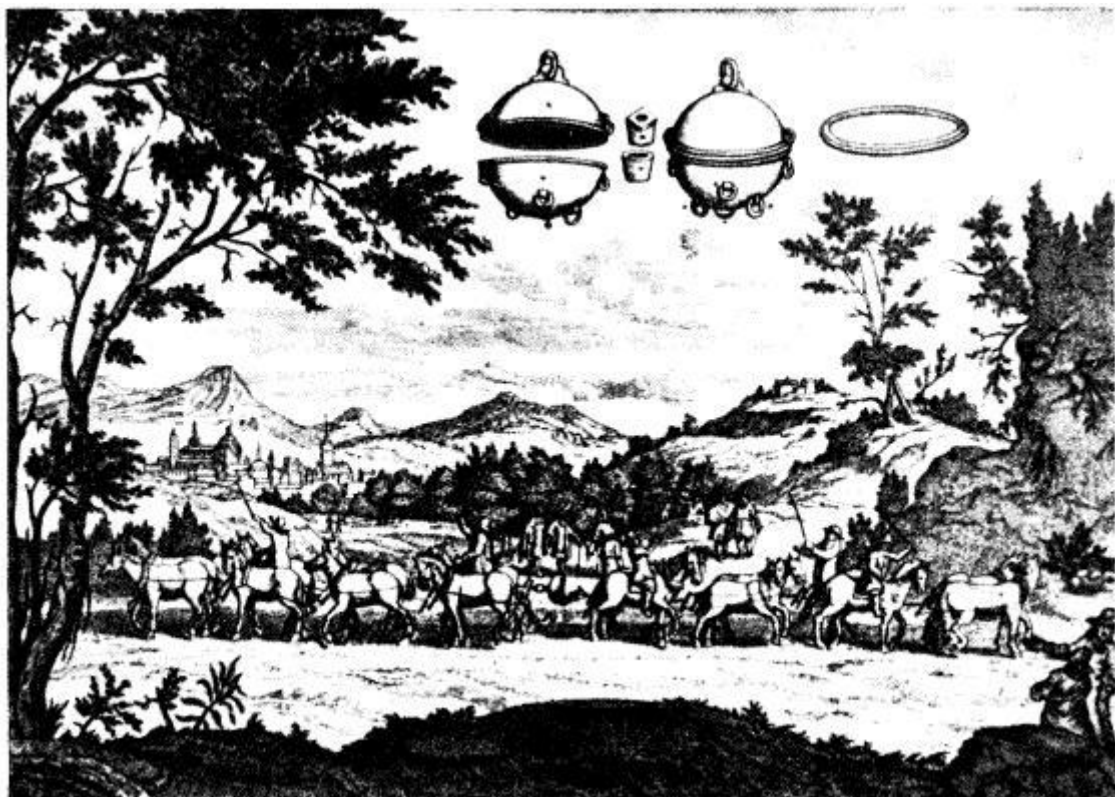


Fig. Experimento con los "hemisferios de Magdeburgo". Ilustración del libro de Otto Von Guericke.

I.E.S.DORAMAS (MOYA)

JUAN A. NAVARRO DE TUERO
(Dpto. Biología y Geología)
&
JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
(Dpto. Física y Química)

Agradecimientos a:

- Jorge Castellano, por sugerir la idea de escanear los pelos para determinar su diámetro.
- Los alumnos y alumnas que han trabajado en los distintos cursos y niveles realizando las prácticas de laboratorio, así como a los que nos han traído muestras de pelos, ya fueran propios o de animales.
- Los compañeros que han cubierto nuestras guardias de recreo para así poder estar con los alumnos dirigiéndoles el trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN E HIPÓTESIS.	4
2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS.	6
2.1. Cálculo de la masa que soporta cada tipo de pelo (<i>MS</i>).	6
2.2. Cálculo del diámetro (<i>D</i>) de cada unidad de pelo.	8
2.3. Cálculo de la masa que soporta (<i>MS</i>) cada tipo de pelo frente a su diámetro (<i>D</i>)	9
2.4. Cálculo de la resistencia (<i>R</i>) que presenta un pelo a ser roto por fricción.	10
2.5. Determinación de la resistencia de los pelos frente al ataque de productos químicos y/o de fenómenos físicos (calor).	11
3. RESULTADOS.	13
Tabla resumen de los parámetros estudiados para cada tipo de pelo y fibra.	14
Tablas de los parámetros estudiados para cada tipo de pelo y fibra.	15
Variabilidad de los pelos de cada especie en cuanto a la masa que soporta (<i>MS</i>).	19
Variabilidad de los pelos de cada especie en cuanto a su diámetro (<i>D</i>).	25
3.1. Cálculo de la masa que soporta cada tipo de pelo (<i>MS</i>).	31
3.2. Estimación de la variación de <i>MS</i> en un mismo sujeto.	31
3.3. Cálculo del diámetro (<i>D</i>) de cada unidad de pelo.	33
3.4. Estimación de la variación de <i>D</i> en un mismo sujeto.	33
3.5. Determinación del pelo proporcionalmente más resistente (con mayor capacidad para sostener peso).	35
3.6. Valoración de la resistencia (<i>R</i>) que presenta un pelo a ser roto por la fricción.	38
3.7. Determinación de la resistencia de los pelos frente al ataque de productos químicos y/o de fenómenos físicos (calor)	38
4. CONCLUSIONES.	41
A) Específicas	
B) Generales	
5. UNA PINCELADA HISTÓRICA: LOS HEMISFERIOS DE MAGDEBURGO Y LOS PELOS.	43
ANEXO.	46
* Fotografías de los tipos de pelo.	47
* Muestras plastificadas de pelos.	51-54

1. INTRODUCCIÓN E HIPÓTESIS

En busca de algo original o novedoso, nos pareció interesante averiguar qué mamífero tiene el pelo más resistente. *A priori*, nuestra hipótesis sugería que probablemente aquel que tenía el pelo más grueso, pero ¿era esto cierto? ¡Habría que investigar para averiguarlo!

Además, suponiendo que así fuera, ¿qué pasaría si los pelos de los diferentes mamíferos estudiados tuvieran el mismo grosor? ¿Quién sería entonces el más resistente?

Por curiosidad decidimos realizar una encuesta en nuestro instituto, donde los alumnos (desde 1º ESO hasta 2º BACH), profesores y personal laboral debían de responder a dos cuestiones:

1. *¿Qué pelo crees tú que es el más resistente? Rodéalo con un círculo.*

Caballo (cola)	caballo (melena)	cabra	caniche (perro)
Conejo blanco	conejo gris	gato	oveja
Humano liso	humano rizado	vaca	

2. *Como sabes, el pelo de unos animales (por ejemplo, de vaca) es más grueso que el de otros (por ejemplo, de conejo). Si tuvieran igual grosor, ¿qué pelo crees tú que sería el más resistente? Rodéalo con un círculo.*

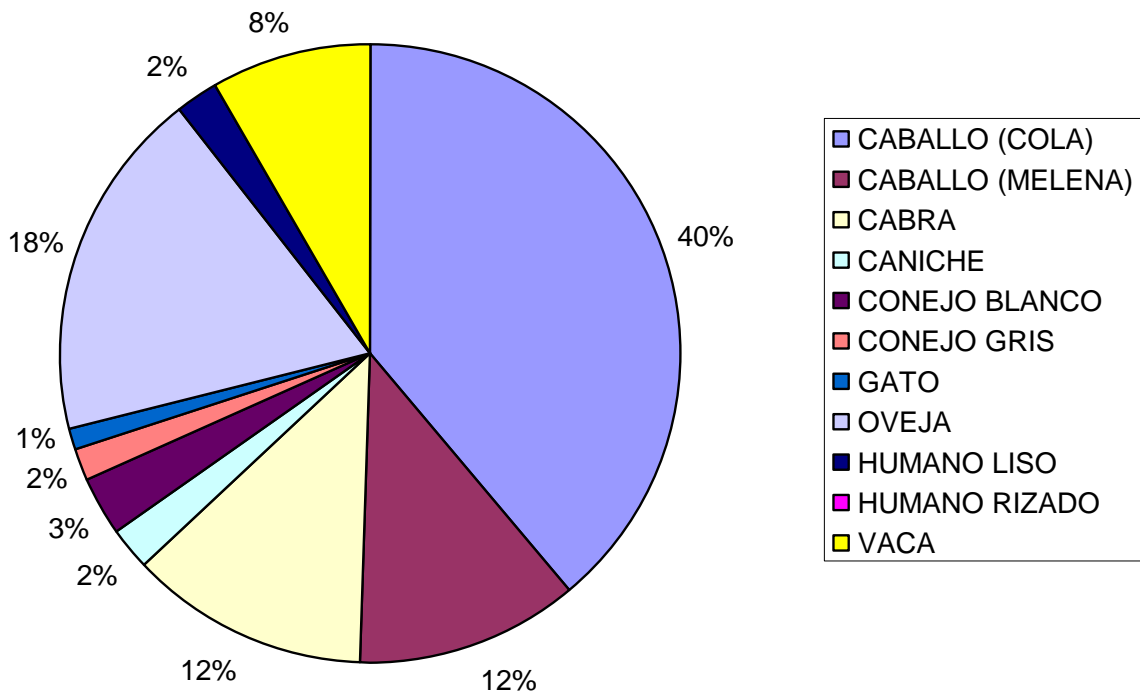
Caballo (cola)	caballo (melena)	cabra	caniche (perro)
Conejo blanco	conejo gris	gato	oveja
Humano liso	humano rizado	vaca	

El resultado obtenido fue el siguiente:

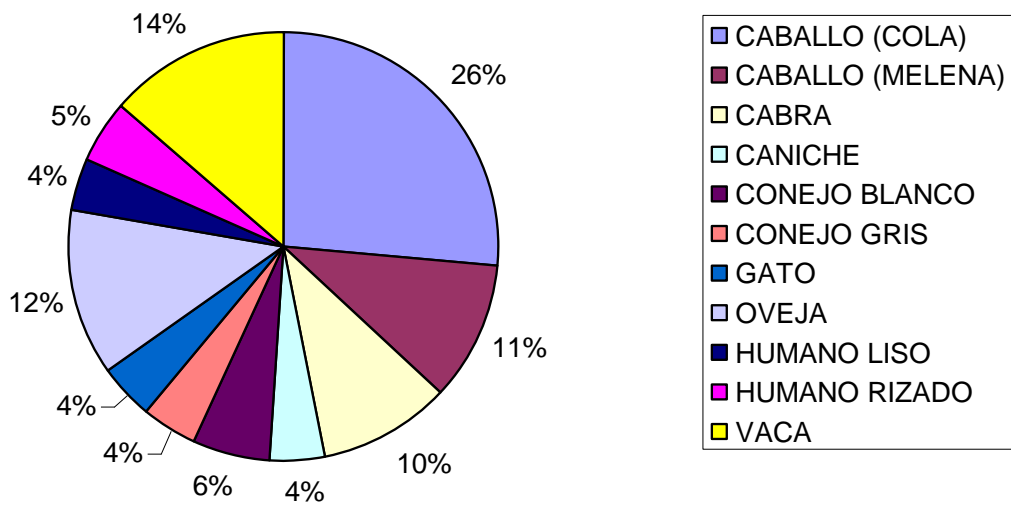
	PREGUNTA 1	PREGUNTA 2
CABALLO (COLA)	66	45
CABALLO (MELENA)	20	18
CABRA	21	17
CANICHE	4	7
CONEJO BLANCO	5	10
CONEJO GRIS	3	7
GATO	2	7
OVEJA	31	21
HUMANO LISO	4	7
HUMANO RIZADO	0	8
VACA	14	23
TOTAL	170	170

Hemos considerado interesante representar los datos mediante "quesillos" en un afán de una mejor visualización.

DISTRIBUCIÓN DE RESPUESTAS PREGUNTA 1



DISTRIBUCIÓN DE RESPUESTAS PREGUNTA 2



2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

Lo primero que hicimos fue proveernos de una buena variedad de pelos de diferentes especies e incluso de una misma especie tomamos muestras de ejemplares distintos. Así obtuvimos pelos de caballo (tanto de la cola como de la melena), vaca, humanos (tanto rizados x4, como lisos x3), cabra, caniches (x2), oveja, gatos (x3: blanco, marrón y negro) y conejos (x2: negro y blanco).



Se nos ocurrió que podíamos contrastar la resistencia de los mismos comparándola con la de "pelos" de origen distinto al animal, y así añadimos al estudio fibras de cáñamo, hilo de coser, sogá y cordel.

En el anexo final se incluyen fotografías de todas las muestras tomadas, así como de los originales plastificados para su mejor observación.

Para calcular qué resistencia tiene cada pelo procedimos a determinar la **masa** que era **capaz de soportar (MS)** sin que se partiera. Obviamente, aquel que aguantara más sería el que tendría la mayor resistencia absoluta. Con ello responderíamos a la primera pregunta del cuestionario.

Sin embargo, si queríamos saber cuál tenía la mayor resistencia proporcional, había que determinar el grosor o **diámetro (D)** de cada pelo, y posteriormente calcular el cociente **MS/D**. Sólo así daríamos respuesta a la segunda pregunta del cuestionario.

2.1. CÁLCULO DE LA MASA QUE SOPORTA CADA TIPO DE PELO (MS)

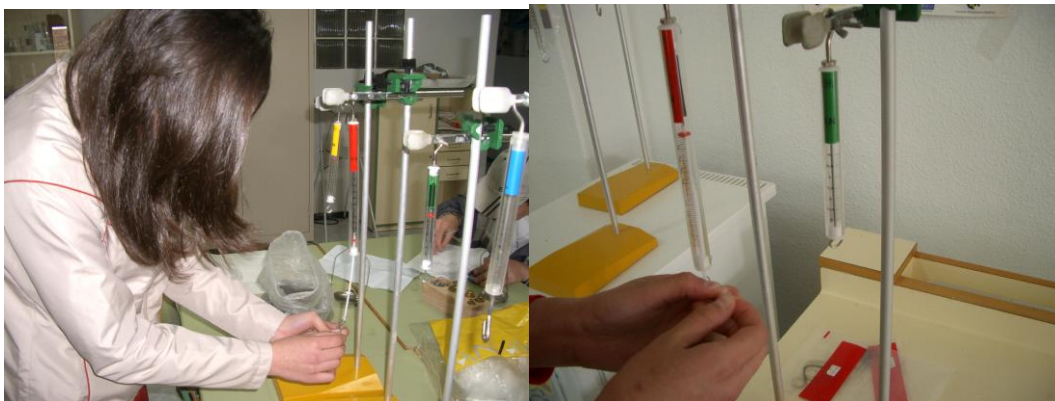
Para determinar este parámetro utilizamos tres métodos distintos. Uno consistió en sostener con el pelo, el plato de una balanza sobre la que colocamos unas pesas calibradas de diferentes valores (1g, 2g, 5g, 10g, 20g, 30g, 50g, 100g, 500g) hasta que el pelo se partía. Por supuesto, al valor obtenido le añadimos la masa del plato de la balanza.



Este método cayó prácticamente en desuso (sólo se volvió a utilizar para valores superiores a 500g e inferiores a 1 kg) cuando el profesor de Física y Química nos prestó dinamómetros de 1N, 2N, 3N y 5N.

Como quiera que la fuerza es igual a la masa por la aceleración ($F = m \cdot a$), tenemos que el peso (expresado en Newton) es igual a la masa por la gravedad ($P = m \cdot g$). Tan sólo había que despejar el valor de la masa dividiendo los Newton registrados en el dinamómetro entre la gravedad terrestre (9.8 m/s^2), y multiplicar el resultado por 1000 para expresarlo en gramos.

Si un determinado pelo superaba la prueba del dinamómetro de 1 N, pasaba al de 2 N y así sucesivamente hasta que por fin se partiera.



¿Cómo determinar la masa de aquellos pelos capaces de soportar masas elevadas? El dinamómetro de 5 N cuantificaba un máximo de 510 g, y por otro lado el método del platillo con las pesas se antojaba engorroso e

imposible para pesos considerables (ino cabían en el monoplato!). Es por ello por lo que improvisamos la tercera variante.

Cogimos una garrafa vacía 5 litros (previamente determinamos su masa con ayuda de una balanza) y pasamos por su asa el pelo problema. A continuación fuimos echando agua paulatinamente hasta que el pelo quebró. Acto seguido determinamos el volumen de agua. Para calcular la masa soportada (MS) nos basamos en la fórmula de la densidad ($D = M/V$) (densidad = masa / volumen). Para simplificar los cálculos consideramos que el agua del grifo del instituto tenía una densidad de 1 g/l. Al valor obtenido le sumamos el de la garrafa vacía.



Por supuesto, si queríamos ser medianamente serios en nuestra investigación, a la hora de determinar las MS para cada tipo de pelo era necesario coger un número apropiado de pelos que sirviera para reducir el factor del error humano por un lado, y por otro, que nos diera una idea de la variabilidad en las MS de cada especie y de cada individuo. Nos pareció que 20 pelos era un número que se ajustaba bien al esfuerzo que había que hacer para obtener un dato creíble.

2.2. CÁLCULO DEL DIÁMETRO (D) DE CADA UNIDAD DE PELO

Fue ésta una empresa ardua, pues nos costó más de "un tirón de pelos" idear un método para calcular el diámetro de algo tan sumamente delgado como un pelo.

Al principio pensamos que quizás podríamos contabilizar el número de pelos que cabían en 0.5 cm ó 1 cm, pero ¿cómo hacerlo? Además, unos pelos se montarían sobre otros, amén de que serían muchos.

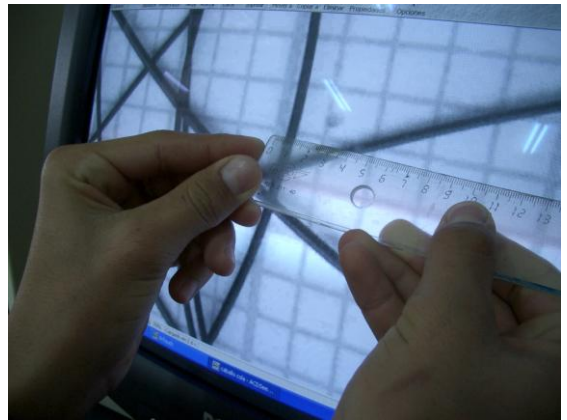
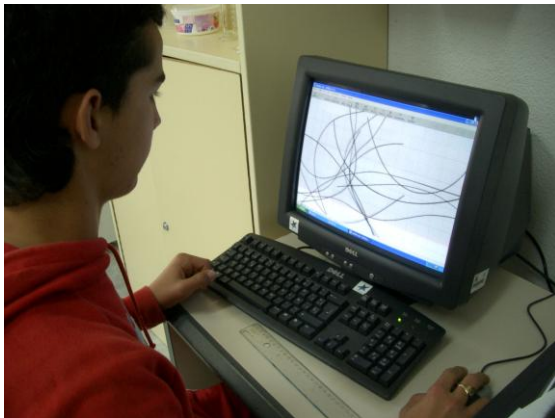
Desechada esta idea inicial pensamos que quizás con ayuda de la lupa binocular o del microscopio óptico podríamos determinar



el diámetro. Bastaría con colocar un papel milimetrado y contar cuántos pelos cabían en un milímetro y luego hallar el inverso de dicho número. Lo intentamos pero fue imposible: los pelos se movían, se era muy impreciso a la hora de que los pelos se quedaran en el cuadradito del mm, ... ¡y ni qué decir si usábamos el microscopio!, pues si bien el pelo se veía de maravilla no así la escala - toda ella difusa-, que procedía de una fotocopia de un papel milimetrado en una lámina de acetato.



La luz apareció al escanear con alta resolución muestras de pelos sobre los que se había colocado un papel milimetrado. Con el ordenador se podía acercar o alejar la imagen y con la regla medimos a cuántos centímetros



equivalía 1 mm del cuadradito y cuántos milímetros tenía el pelo.

Tal y como comentamos en el apartado anterior, aquí también se midió el diámetro de 20 pelos de cada individuo y de cada especie.

2.3. CÁLCULO DE LA MASA QUE SOPORTA (MS) CADA TIPO DE PELO FRENTE A SU DIÁMETRO (D).

Este apartado es de lápiz, papel y calculadora. En primer lugar se obtuvo la media aritmética de los 20 pelos en cuanto a la masa soportada (MS) y al diámetro (D). A continuación se calculó el cociente entre estos dos parámetros.

2.4. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA (R) QUE PRESENTA UN PELO A SER ROTO POR FRICCIÓN.

En nuestro afán por ser rigurosos en el estudio, planteamos un método diferente para medir la resistencia de un pelo: *¿Cuánto tiempo es capaz de durar sin romperse, si está sometido al rozamiento de un motorcillo que gira movido por una pila de petaca?*

¡Y echamos mano del bricolaje! Le pedimos al profesor de Tecnología un motorcillo de esos que ellos usan en clase para confeccionar coches o molinos - ... ¡si Don Quijote levantara la cabeza, ... qué sorpresa se llevaría! - y lo ajustamos con unas piezas metálicas y unos tornillos a una pequeña tabla de madera. Le aplicamos la fuerza eléctrica y sobre el eje del motor en rotación apoyamos el pelo haciendo presión hacia abajo.



El resultado al principio fue decepcionante, pues si bien la rotación del eje era elevada, el pelo permanecía intacto, esto es, no se rompía. Había que buscar algo que creara más fricción y lo encontramos en un taco de pared (ver figuras anexas). Mientras un operario procedía a colocar el pelo sobre el motor,



otro controlaba el reloj. Como quiera que el cronómetro tiene dos escalas (sexagesimal y centesimal), utilizamos la centesimal por ser más precisa.



Hemos de reconocer que este método fue de difícil ejecución, en especial a lo que se refiere a sostener el pelo hasta que se rompiera - lo hacía rápidamente. Además se cometían errores claros de cronometraje, por lo que ya en el mismo momento que ejecutábamos este procedimiento, nos entraban serias dudas acerca de su validez. A esto hay que añadir que los pelos más gruesos no se rompían.

No obstante, como comentaremos en los resultados, el método aportó su granito de arena en la investigación.

2.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS PELOS FRENTE AL ATAQUE DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y/O DE FENÓMENOS FÍSICOS (CALOR).

Sabemos que la capa externa de la piel, el pelo y las uñas en el ser humano y las escamas, pezuñas, cuernos y plumas en los animales están constituidos, desde el punto de vista químico, por la proteína queratina. La beta queratina es una proteína filamentosa alargada cuya función es estructural (mantiene unidos diferentes elementos celulares o de tejidos animales), de protección o ambas a la vez. Confiere fuerza y/o elasticidad y es insoluble en agua (predominan aminoácidos hidrófobos) y en soluciones salinas. Sus numerosos enlaces disulfuro le confieren una gran estabilidad y le permiten resistir la acción de las enzimas proteolíticas (que hidrolizan a las proteínas).

En relación con esto, en general las proteínas muestran una estructura nativa que se puede alterar (desnaturalizar) debido a ciertos agentes, entre ellos: calor, radiaciones ultravioleta, ácidos y bases fuertes, sales, urea, metales pesados (plata, plomo, mercurio) o solventes orgánicos (alcohol, acetona). Esta alteración causa cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Con esta información recabada en internet nos planteamos varias preguntas: ¿A qué agente desnaturalizador serán más sensibles los pelos? ¿Habrá diferencias entre especies en dichos tratamientos? ¿Mantienen los pelos su **MS** y su **D** tras el ataque con uno de estos agentes?

Para responder a estas cuestiones diseñamos las siguientes experiencias. Tomamos muestras de pelos de diferentes especies animales (caballo -tanto cola como melena-, vaca, humano -tanto liso como rizado-, gato, cabra y perro caniche) y por otra parte fibras vegetales o sintéticas (cordel, hilo de coser, cáñamo y sogá).

***EXPERIENCIA 1:**

Cada muestra se trató en diferentes tubos de ensayo con ácido clorhídrico



concentrado (HCl), **sosa** concentrada (NaOH 0.5 g/ml) y **xileno** concentrado (como ejemplo de solvente orgánico). Los tubos se dejaron todo el fin de semana con los diferentes tratamientos.

Al disolver la sosa en agua tiene lugar una reacción muy exotérmica, por lo que aquellos tubos tratados con sosa en realidad estaban siendo sometidos simultáneamente a dos ataques: el de una base fuerte y el de una temperatura elevada. Es importante resaltar este aspecto para poder entender mejor los resultados.

**EXPERIENCIA 2:*

Se trataron las mismas muestras con NaOH, pero en esta ocasión esperamos a que la sosa estuviera a temperatura ambiente.

**EXPERIENCIA 3:*

Se sometió a las muestras anteriores a un tratamiento con agua caliente (85° C).

El sentido de estas experiencias consistió en discriminar qué agente exactamente actuaba sobre los pelos: una base fuerte, el calor o una combinación de ambos.

3. RESULTADOS

A continuación se muestra una TABLA RESUMEN de los parámetros estudiados para cada tipo de pelo, es decir, una tabla donde colocamos los valores medios o medias aritméticas de Masa soportada (*MS*), Diámetro (*D*) y Resistencia a la fricción (*R*).

Se anexan después cuatro tablas con los datos de *MS*, *D* y *R* de cada especie o ejemplar para cada uno de los 20 pelos analizados, así como la media aritmética y la desviación típica.

¿Qué **VARIABILIDAD** presentan los pelos de un mismo individuo, en cada una de las diferentes especies, en cuanto a la masa que son capaces de soportar (*MS*) y a su diámetro (*D*)?

Para poder responder a esta pregunta mostramos en las tablas el valor de la desviación típica. No obstante, para **visualizar mejor** dicha variabilidad, hemos representado gráficamente los 20 datos de cada pelo.

Para la variabilidad de la masa soportada (*MS*), hemos empleado 6 gráficas de fondo naranja; para la variabilidad del diámetro (*D*) empleamos otras 6 gráficas de fondo verde. Así resulta más fácil diferenciar estos dos parámetros.

Obviamente, cuanto menos distanciados estén los 20 pelos de un mismo sujeto respecto a una recta imaginaria que pase entre ellos, menos variable será dicho sujeto respecto al pelo; y viceversa.

TABLA RESUMEN DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS PARA CADA TIPO DE PELO Y FIBRA

		MASA (g) soportada <i>MS</i>	Media <i>MS</i>	DIÁMETRO <i>D</i> (micrómetros)	Media de <i>D</i>	<i>MS/D</i>	Media <i>MS/D</i>	Resistencia <i>R</i> (escala centesimal)	Media de <i>R</i>
PELOS DE ANIMALES	CABALLO (COLA)	928+ 64		198+29.59		4.68			
	CABALLO (MELENA)	270+35		68+16		3.97		2.87+0.74	
	VACA	573+127		128.9+59.6		4.44		4.5+1.32	
	HUMANO RIZADO 1	197+42	152	52+19.4	46.75	3.78	3.17	2.65+1.07	2.40
	HUMANO RIZADO 2	137+29		45+12.4		3.04		2.30+0.49	
	HUMANO RIZADO 3	122+64		45+8.6		2.71		2.27+0.66	
	HUMANO RIZADO 4			45+10.7					
	HUMANO LISO 1	202+23	144	60+20	51.3	2.13	2.37	2.65+0.55	2.9
	HUMANO LISO 2	122+61		54+15		2.26		2.30+0.55	
	HUMANO LISO 3	109+30		40+0		2.72		3.75+1.13	
	CABRA	179+34		97+41		1.84		2.68+0.84	
	PERRO CANICHE 1	110+22	68.5	59+16	55.05	1.86	1.19	2.1+0.49	2.2
	PERRO CANICHE 2	27+7		51+16		0.53		2.30+3.32	
	OVEJA	51.6+15		70+24.5		0.73		2.07+0.59	
	GATO BLANCO	24+9	31.33	40+0	45.33	0.6	0.66	2.85+0.55	2.29
	GATO MARRÓN	51+26		56+13.5		0.91		1.99+0.37	
GATO NEGRO	19+7	40+0		0.47		2.05+0.57			
CONEJO NEGRO	16+7.6	17.25	31.6+11.37	43.8	0.5	0.41	1.2+0.4	1.16	
CONEJO BLANCO	18.5+13		56+28.7		0.33		1.12+0.31		
FIBRA VEGETAL	CÁÑAMO	2191+422		205+35.7		10.68			
	HILO DE COSER	3055+309		322.5+64		9.47			
	SOGA	1887+413		275+70		6.86			
	CORDEL	153+51		62+20		2.46		2.10+0.40	

TABLA DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS PARA CADA TIPO DE PELO

	CABALLO (COLA)			CABALLO (MELENA)			VACA			HUMANO RIZADO 1			HUMANO RIZADO 2			HUMANO RIZADO 3			HUMANO RIZADO 4		
	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D
Pelo 1	975		240	255	3	80	395	4	166	204	1.5	40	102	3	40	122	1.5	40			40
Pelo 2	895		200	204	3	80	465	3	166	153	4	40	122	2	40	143	3	40			40
Pelo 3	1145		200	275	2.5	40	465	3	55,5	143	1	40	132	3	40	132	2	40			60
Pelo 4	945		160	306	4	60	495	3	111	204	2	80	143	2.5	40	153	3	60			40
Pelo 5	995		200	357	2.5	40	495	4	194	102	3	80	163	2.5	40	163	2	40			40
Pelo 6	945		200	204	3	80	635	4	139	255	3	40	183	2	40	20	2.5	60			40
Pelo 7	895		200	255	2	80	625	5	55,5	204	3	40	102	2	40	183	2	40			60
Pelo 8	985		200	255	4	80	745	5	278	153	4	40	122	2.1	40	41	2.5	40			60
Pelo 9	895		160	306	1	80	595	4	55,5	173	1	40	143	2	40	183	1	40			40
Pelo 10	895		280	255	2	60	745	4	166	275	2	80	163	1.9	40	51	3.5	60			40
Pelo 11	1015		200	306	3	80	695	3	222	204	2.5	40	183	1.9	40	183	3	60			40
Pelo 12	995		200	255	4	80	645	7	55,5	224	1	80	122	2	40	10	2	40			40
Pelo 13	985		160	285	2	80	645	8	139	153	4	60	102	2	40	204	2.5	40			80
Pelo 14	1095		200	255	2.5	40	745	4	166	173	5	40	143	2	40	71	1	40			40
Pelo 15	995		160	306	3	60	695	6	111	204	3	40	183	1.2	60	122	2.5	40			40
Pelo 16	985		200	255	3.5	80	395	6	139	255	2	40	122	3	80	112	3	40			40
Pelo 17	1015		160	306	3	80	445	4	55,5	204	3	100	102	3	40	234	2.5	40			40
Pelo 18	1060		200	255	3	60	495	5	111	204	3	40	183	2.5	40	153	1.5	40			40
Pelo 19	995		200	255	3	80	345	4	83	255	2	40	122	3	80	20	2	60			40
Pelo 20	945		240	255	3.5	40	695	4	111	204	3	40	102	2.5	40	153	2.5	40			40
<i>MEDIA ARITMÉTICA</i>	982.75		198	270.25	2.875	68	573	4,5	128,9	197.3	2.65	52	136.95	2.305	45	122.65	2.275	45			45
<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	64.31		29.59	35.53	0.739	16	127.3	1.32	59,6	42.54	1.07	19.4	29.32	0.49	12.4	64.49	0.66	8.6			10.7

TABLA DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS PARA CADA TIPO DE PELO

	<i>HUMANO LISO 1</i>			<i>HUMANO LISO 2</i>			<i>HUMANO LISO 3</i>			<i>CABRA</i>			<i>PERRO CANICHE 1</i>			<i>PERRO CANICHE 2</i>		
	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>
Pelo 1	183	3	60	204	1	80	70	5	40	125	4	40	95	1,5	52.6	30	2	80
Pelo 2	183	2	60	153	2	60	115	4	40	195	3	180	145	2	52.6	10	2.5	40
Pelo 3	234	2	40	51	3	60	95	2	40	235	3	40	95	2	52.6	30	2.5	40
Pelo 4	255	3	80	41	3	40	95	3	40	265	3	80	95	3	52.6	30	2.1	60
Pelo 5	173	3.5	40	204	2	40	85	5	40	165	2	80	145	3	52.6	30	2.5	60
Pelo 6	204	2	20	71	2.5	40	105	5	40	165	4	120	95	2	52.6	30	2.5	60
Pelo 7	204	2	40	102	2	60	105	6	40	145	3	80	95	2	105	41	2.5	80
Pelo 8	194	3	80	122	2	80	95	3	40	145	4	100	145	3	52.6	30	2	40
Pelo 9	204	3.5	80	132	2.5	40	85	3	40	195	3	80	145	2	52.6	30	2	40
Pelo 10	204	2	80	20	3.5	80	47	4	40	215	4	80	95	2	52.6	20	3	40
Pelo 11	204	3	80	183	2.5	40	145	2	40	195	2	80	95	2	52.6	30	2	40
Pelo 12	234	3	80	51	2	40	116	3	40	165	2,50	160	95	2	52.6	30	2.2	80
Pelo 13	183	3	80	183	3	60	95	5	40	195	2,50	80	95	3	52.6	20	3	80
Pelo 14	255	2	40	193	2.5	40	85	4	40	145	2	200	145	2	52.6	10	2.5	40
Pelo 15	183	3	80	20	1	40	105	3	40	135	2,1	80	95	1,5	52.6	30	2.5	40
Pelo 16	194	2	60	132	2.5	60	165	4	40	168	1,50	120	135	2	52.6	30	2	40
Pelo 17	204	3	80	143	2	60	145	5	40	145	2	80	105	2	105	30	2	40
Pelo 18	194	3	40	173	2.5	40	165	3	40	195	2	80	95	1,5	78.9	20	2	40
Pelo 19	183	2	40	183	2.5	40	145	4	40	195	1,1	120	85	2	52.6	30	2.5	40
Pelo 20	183	3	40	92	2.5	80	105	2	40	195	3	60	103	1,5	52.6	30	2	40
<i>MEDIA ARITMÉTICA</i>	202.75	2.65	60	122.65	2.325	54	108,8	3,75	40	179.15	2,685	97	109.9	2,1	59.1	27.05	2.315	51
<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	23.32	0.55	20	61.32	0.597	15.6	30.14	1.13	0	34.5	0.84	41.1	22.27	0.49	16.3	7.23	0.321	16.1

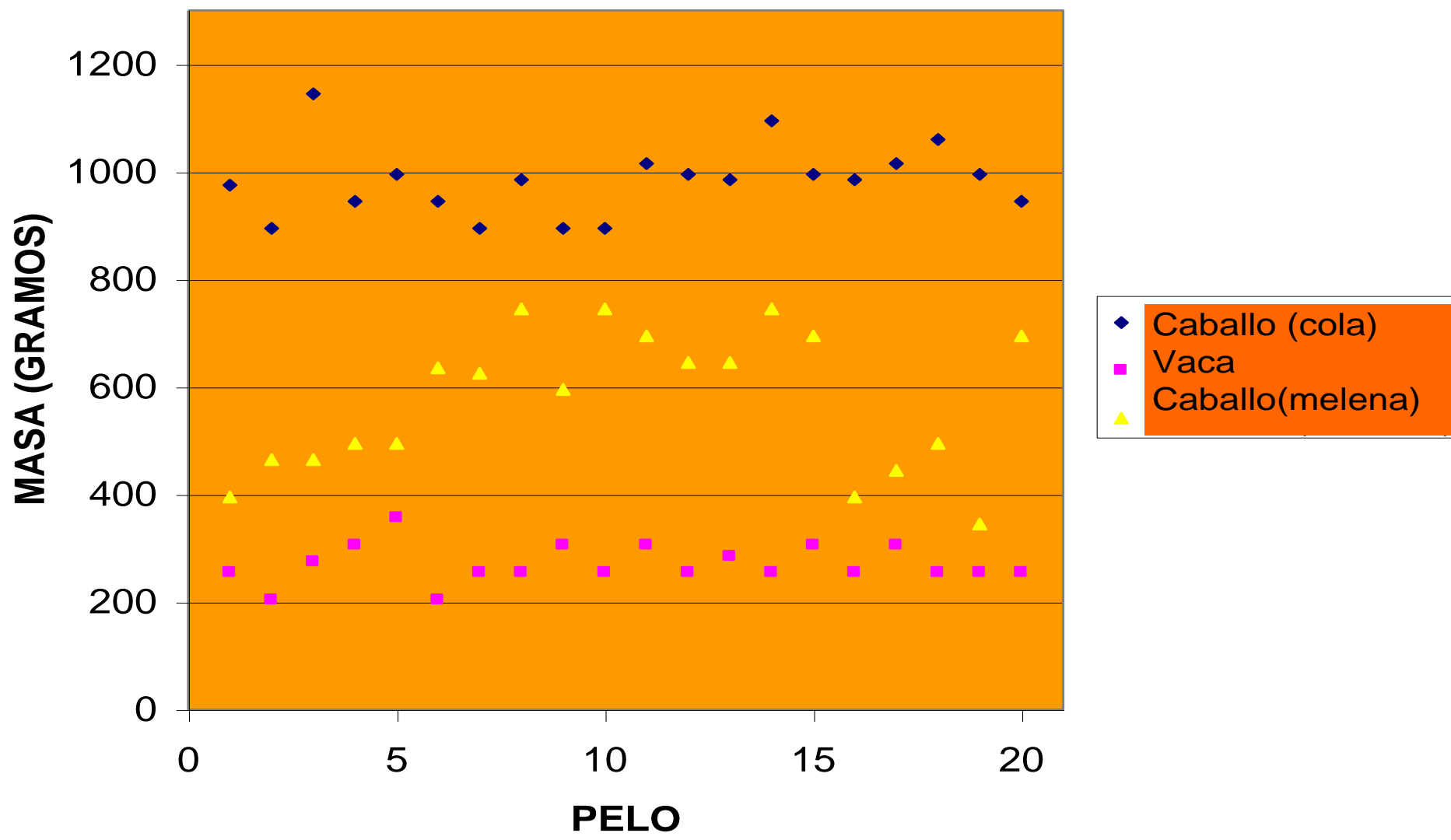
TABLA DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS PARA CADA TIPO DE PELO

	OVEJA			GATO BLANCO			GATO MARRÓN			GATO NEGRO			CONEJO NEGRO			CONEJO BLANCO		
	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>MS</i>	<i>R</i>	<i>D</i>
Pelo 1	51	3	100	10.2	2	40	30	2	60	30.6	2.5	40	11	1	80	19,5	1,5	40
Pelo 2	51	3	100	30.6	2.5	40	41	2.5	40	20.4	1.5	40	10.2	2	40	16	1,5	80
Pelo 3	31	2	100	20.4	2	40	30	2.5	60	20.4	2.1	40	8.2	1	28.5	15	1	100
Pelo 4	41	1	50	10.2	2.2	40	92	2	40	20.4	2	40	14.2	1	28.5	29,8	1	40
Pelo 5	51	2	50	10.2	3	40	10	2	60	10.2	3.9	40	30.6	1	28.5	17,5	1	80
Pelo 6	51	3	50	30.6	2.1	40	51	1	80	10.2	2	40	30.6	2	28.5	8,1	1	80
Pelo 7	51	2	50	20.4	3.5	40	92	1.5	80	20.4	2.1	40	15.08	1	28.5	8,8	0,5	40
Pelo 8	51	2	100	20.4	2.5	40	30	2	60	30.6	2	40	15.3	1	28.5	9.5	1,5	20
Pelo 9	31	2	50	20.4	3	40	41	2	60	20.4	2	40	1.95	2	28.5	45	1	40
Pelo 10	51	3	50	30.6	2	40	30	2	60	10.2	1.5	40	10.2	2	28.5	9.9	1	40
Pelo 11	41	1	50	40.8	4	40	41	2	60	20.4	1.5	40	16	1	28.5	13.9	1,5	80
Pelo 12	71	2	50	30.6	3	40	41	2.1	80	20.4	2	40	20.4	1	28.5	65	1	40
Pelo 13	31	2	100	30.6	2.9	40	51	2.9	40	20.4	2	40	12.24	1	28.5	18.3	1,5	20
Pelo 14	82	2	100	20.4	3	40	10	1.9	60	10.2	1	40	25.5	1	28.5	9.5	1,5	20
Pelo 15	51	1	100	20.4	2.2	40	92	2.1	40	20.4	2	40	30.6	1	28.5	27.5	1	60
Pelo 16	61	2	100	30.6	3	40	71	2	60	30.6	3	40	17	1	28.5	9.5	1	80
Pelo 17	51	2	50	40.8	2.6	40	30	2	40	30.6	2	40	15.3	1	28.5	7.25	1	20
Pelo 18	71	2	50	20.4	2.5	40	81	1.5	40	10.2	2	40	15.3	1	28.5	16.48	0,5	120
Pelo 19	82	2.5	50	10.2	3	40	81	1.9	60	10.2	2	40	10.2	1	28.5	13.16	1	80
Pelo 20	31	2	50	30.6	3	40	71	2	40	10.2	2	40	13.6	1	28.5	11.8	1,5	40
<i>MEDIA ARITMÉTICA</i>	51.6	2.075	70	23.97	2.85	40	50.8	1.995	56	18.87	2.055	40	16.17	1,2	31.65	18,57	1,125	56
<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	15.19	0.59	24.5	9.27	0.55	0	26.08	0.37	13.5	7.40	0.57	0	7.61	0.4	11.37	13,85	0.31	28.7

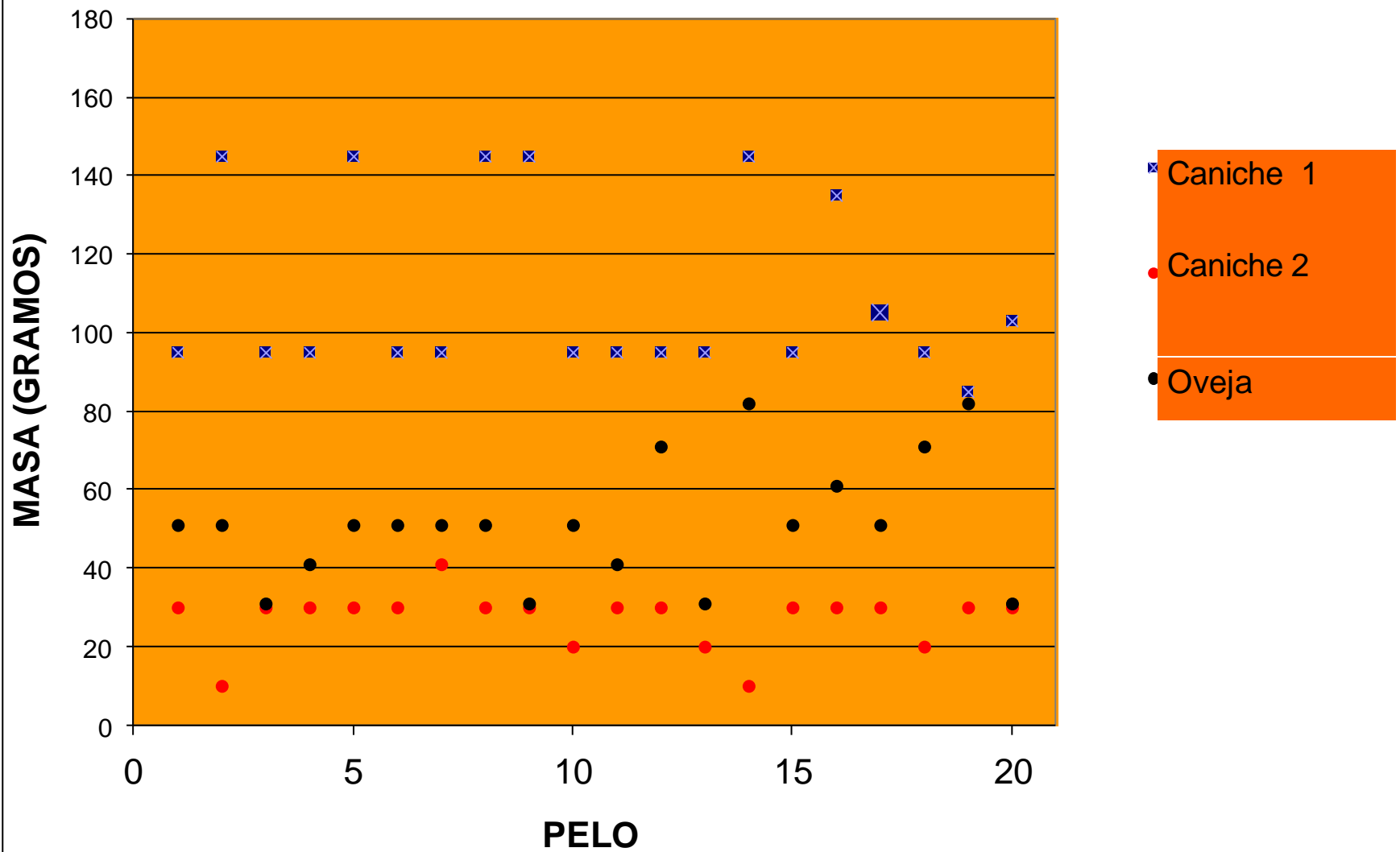
TABLA DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS PARA CADA TIPO DE FIBRA

	CÁÑAMO			HILO DE COSER			SOGA			CORDEL		
	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D	MS	R	D
Pelo 1	2461		200	3351,5		300	2741		300	163	2.1	40
Pelo 2	1761		200	3661,5		300	2678		300	163	2.1	40
Pelo 3	2211		160	2961,5		200	1411		250	173	2.5	40
Pelo 4	1711		240	2961,5		400	1511		350	183	2	80
Pelo 5	1811		200	2911,5		400	2961		350	173	2	40
Pelo 6	2211		200	2911,5		300	1911		300	122	3.2	60
Pelo 7	2611		200	2711,5		400	1561		350	153	2	40
Pelo 8	1711		280	3106,5		300	1561		300	183	2	80
Pelo 9	2211		240	3436,5		200	2086		350	204	2	80
Pelo 10	2661		160	3361,5		400	1711		300	183	2	60
Pelo 11	1611		200	3261,5		400	1911		300	163	2	40
Pelo 12	2511		120	3261,5		300	1911		250	204	2	80
Pelo 13	1711		240	3061,5		300	1711		200	204	1.1	100
Pelo 14	2211		240	3061,5		250	1711		200	204	2	40
Pelo 15	3111		200	2911,5		400	1711		150	183	2.1	80
Pelo 16	3011		220	3111,5		300	1711		300	41	2	80
Pelo 17	2111		240	2111,5		400	1711		400	31	2	60
Pelo 18	2011		200	2816,5		300	1911		150	71	3	80
Pelo 19	2261		160	3066,5		300	1711		200	102	2	40
Pelo 20	1911		200	2961,5		300	1611		200	153	2	80
<i>MEDIA ARITMÉTICA</i>	2191		205	3055		322.5	1887.1		275	152.8	2.105	62
<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	422.6		35.7	309.5		64.1	413.75		69.8	51.38	0.406	19.9

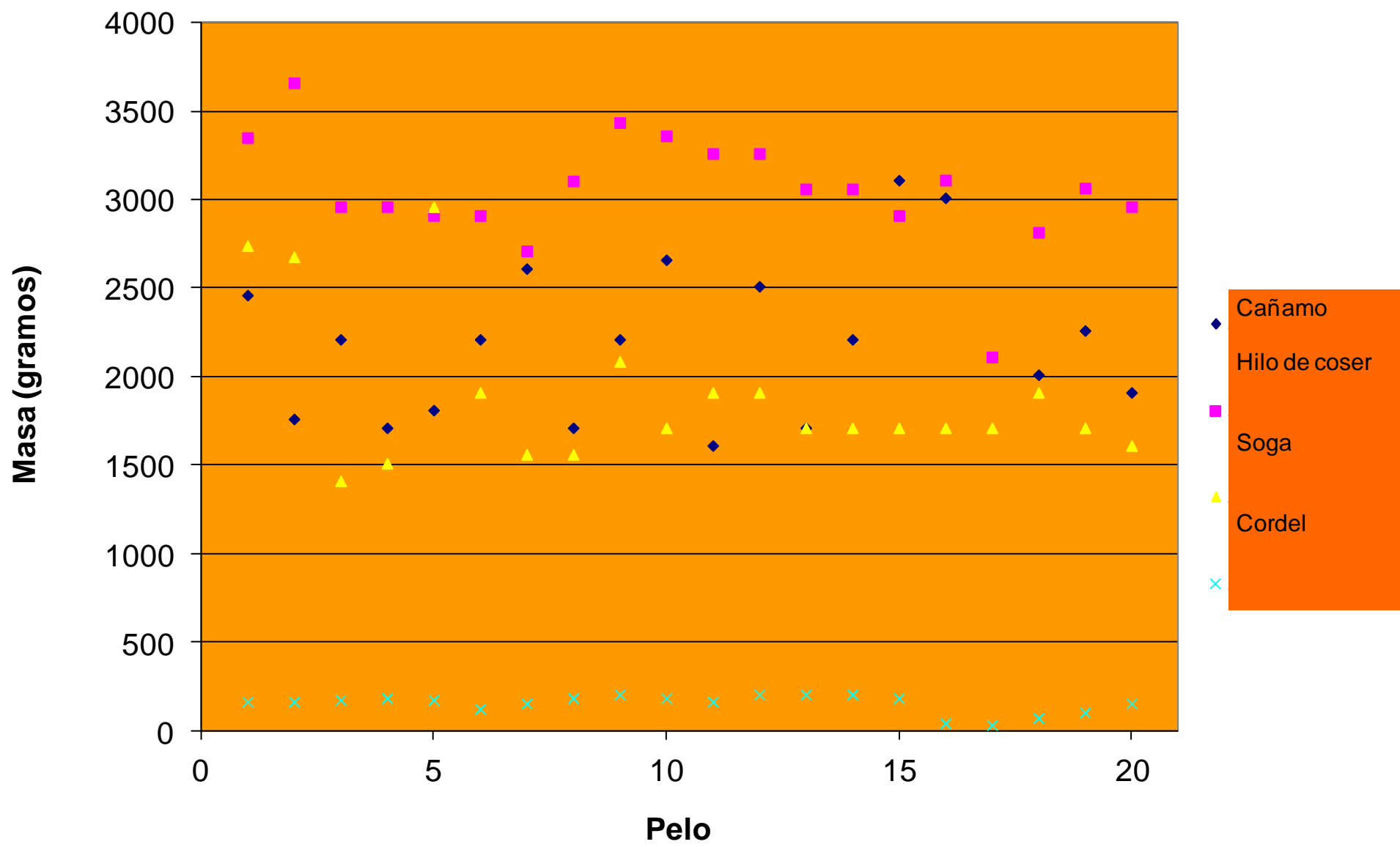
masa que soporta cada unidad de los distintos tipos de pelo



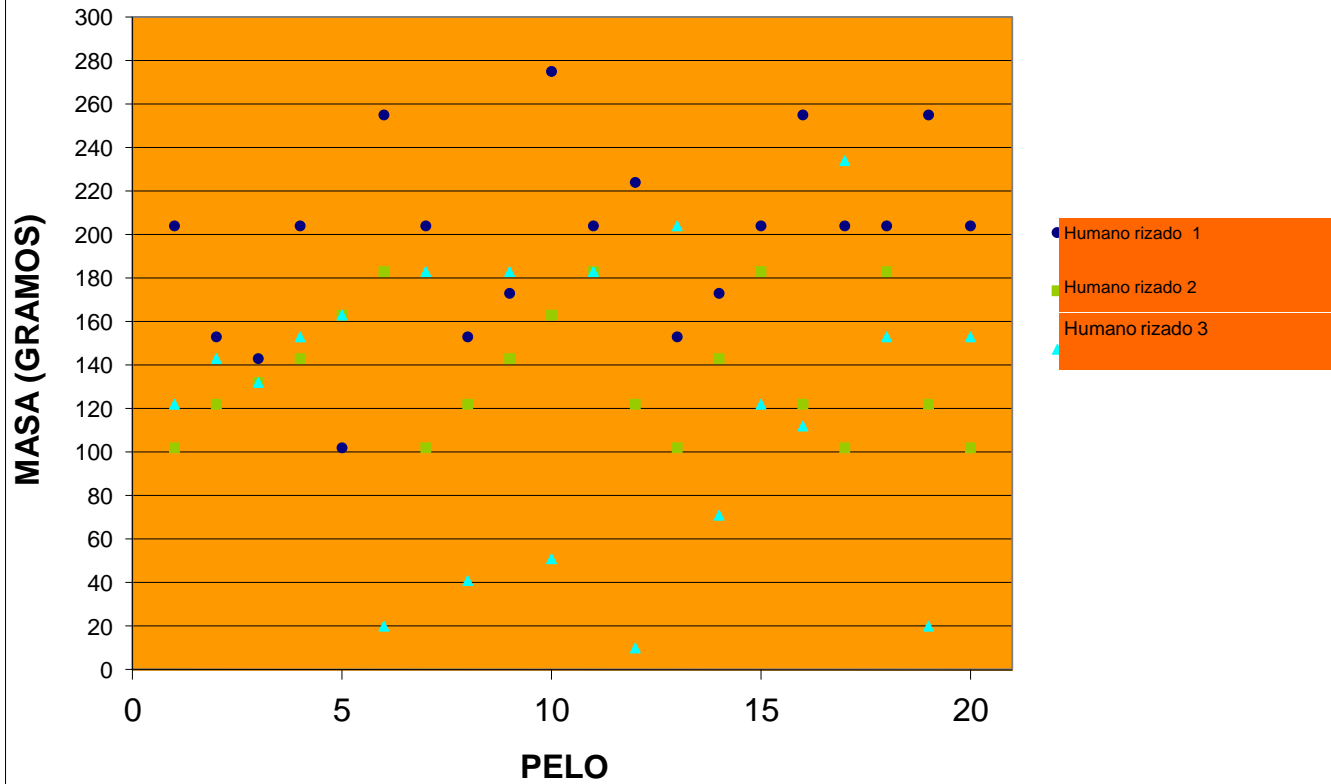
masa que soporta cada unidad de los distintos tipos de pelo



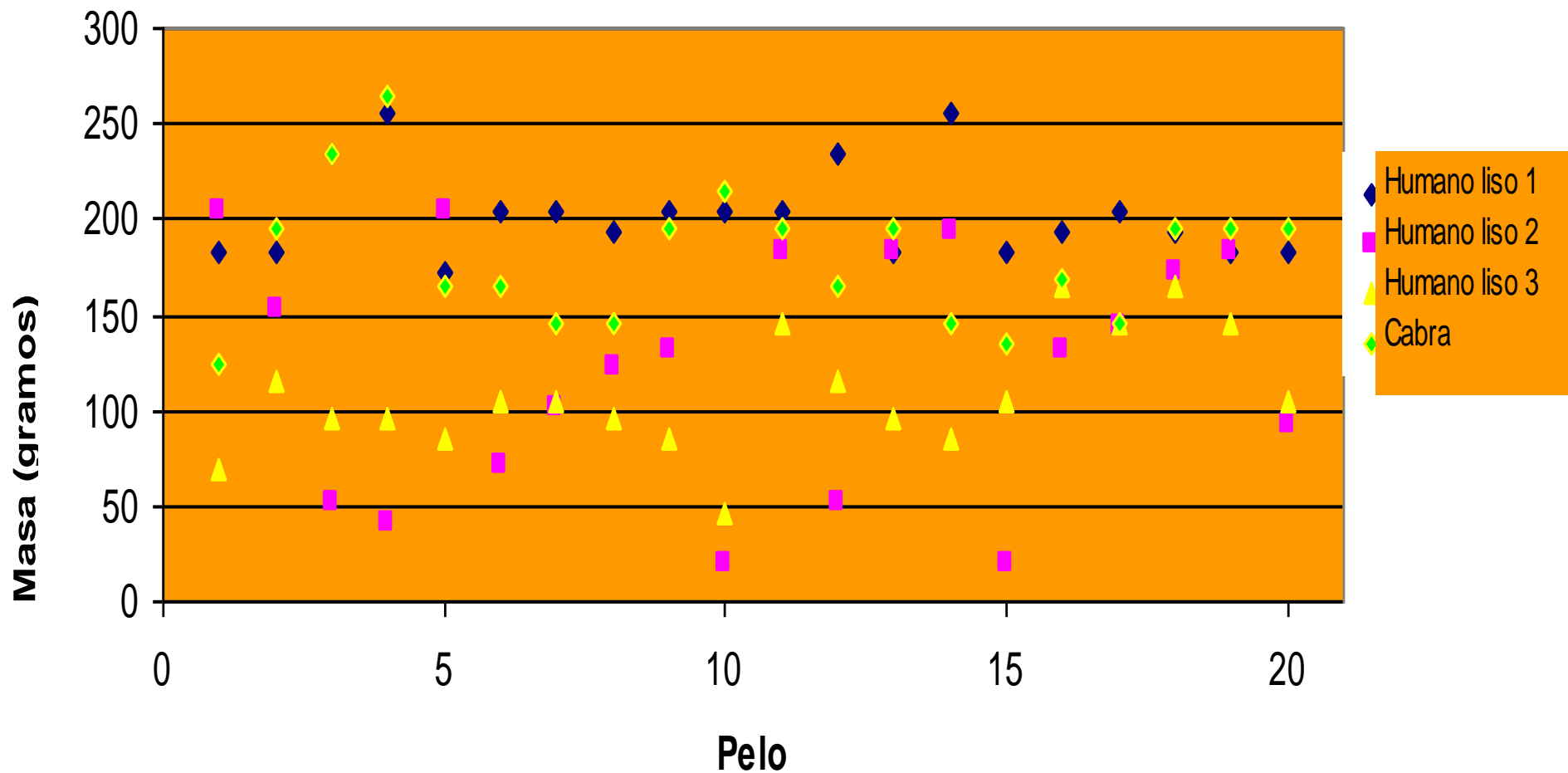
masa que soporta cada unidad de los diferentes pelos



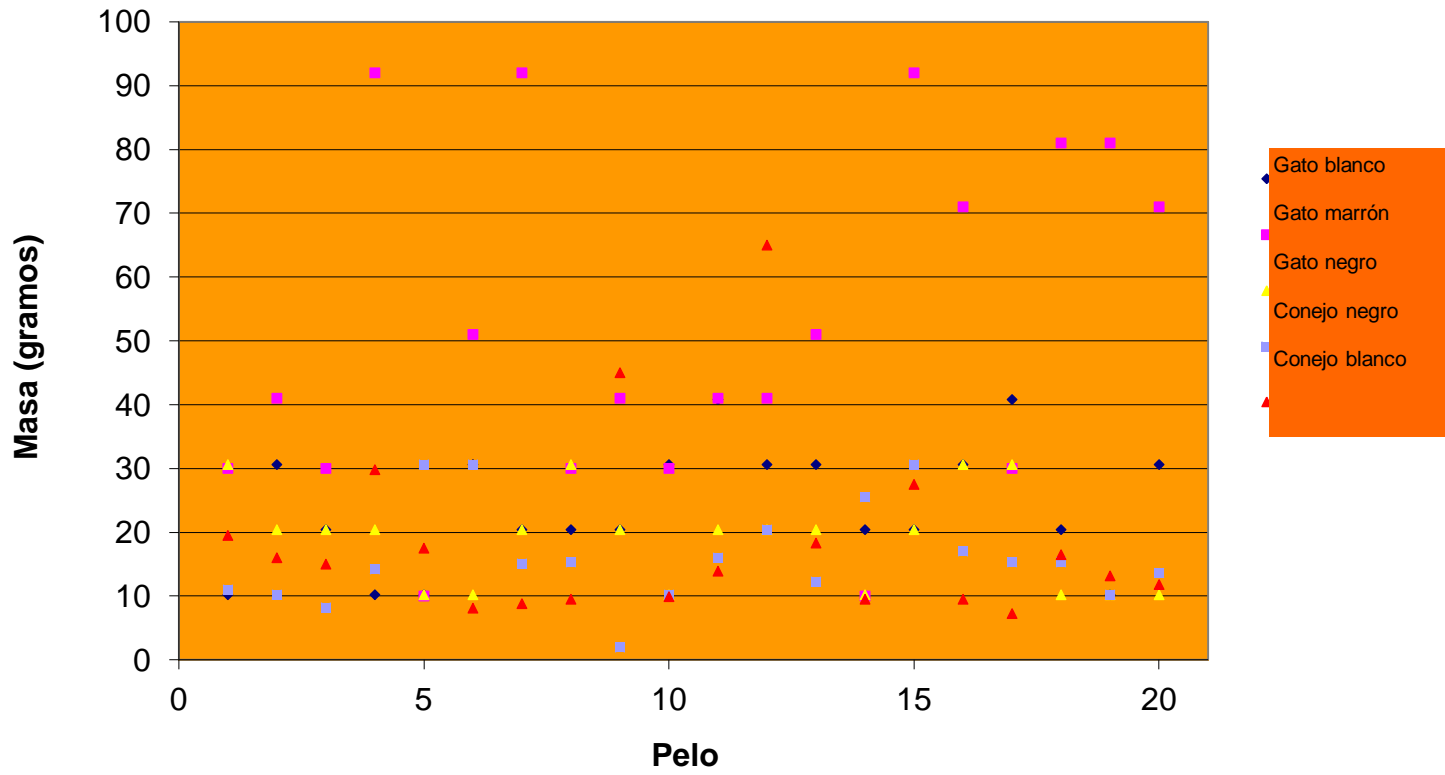
masa que soporta cada unidad de los distintos tipos de pelo



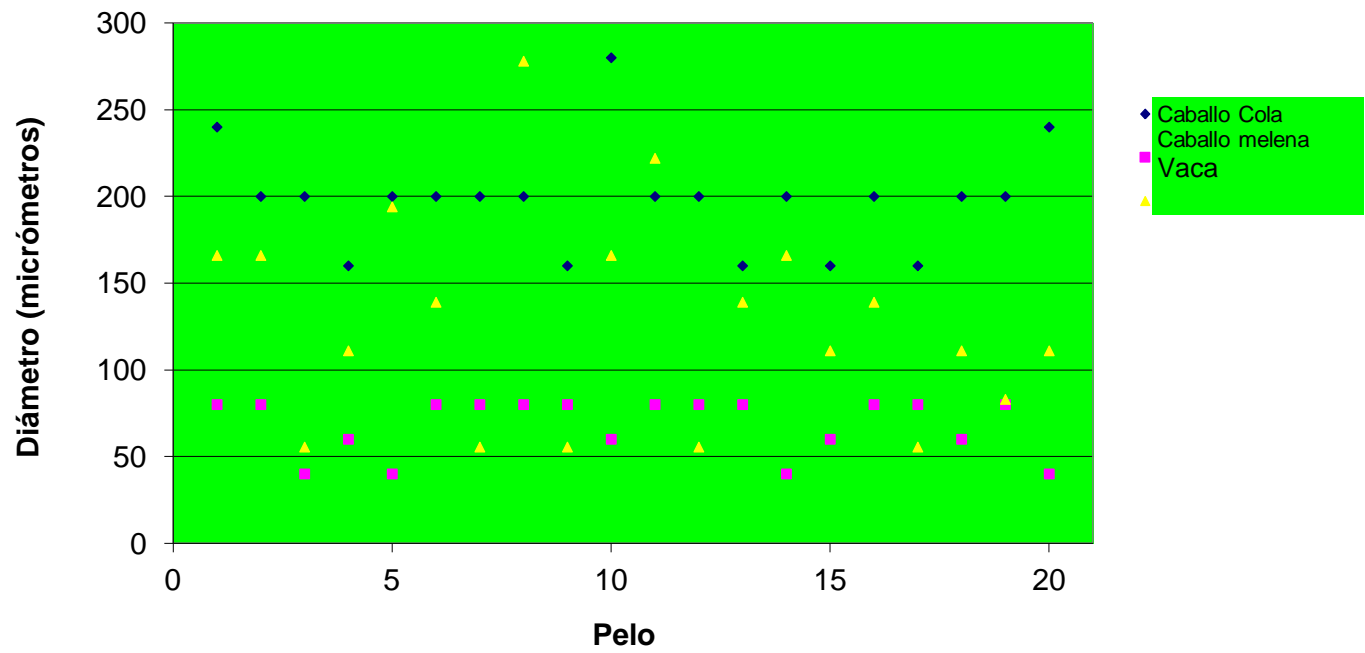
Masa que soporta cada unidad de los distintos tipos de pelos

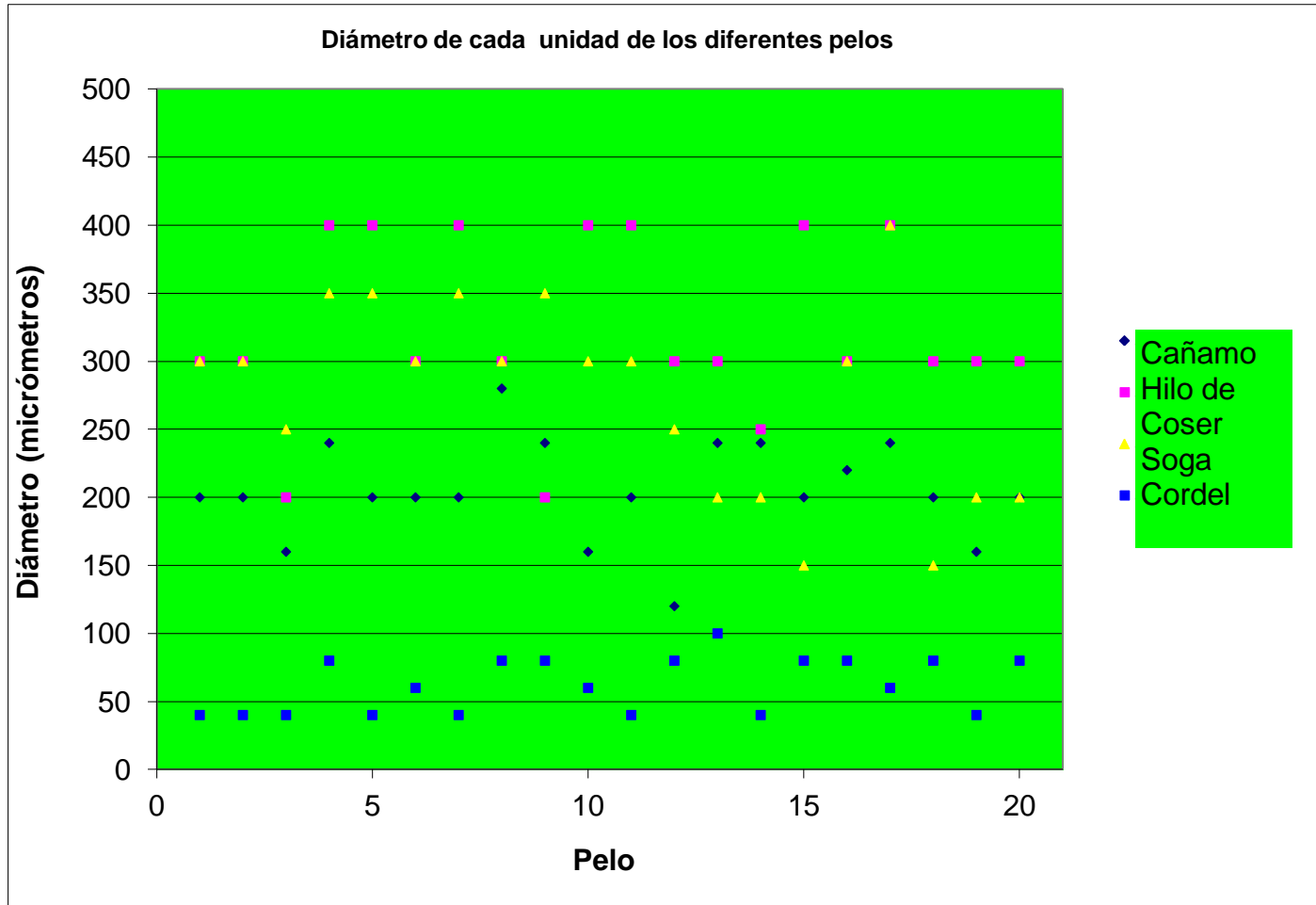


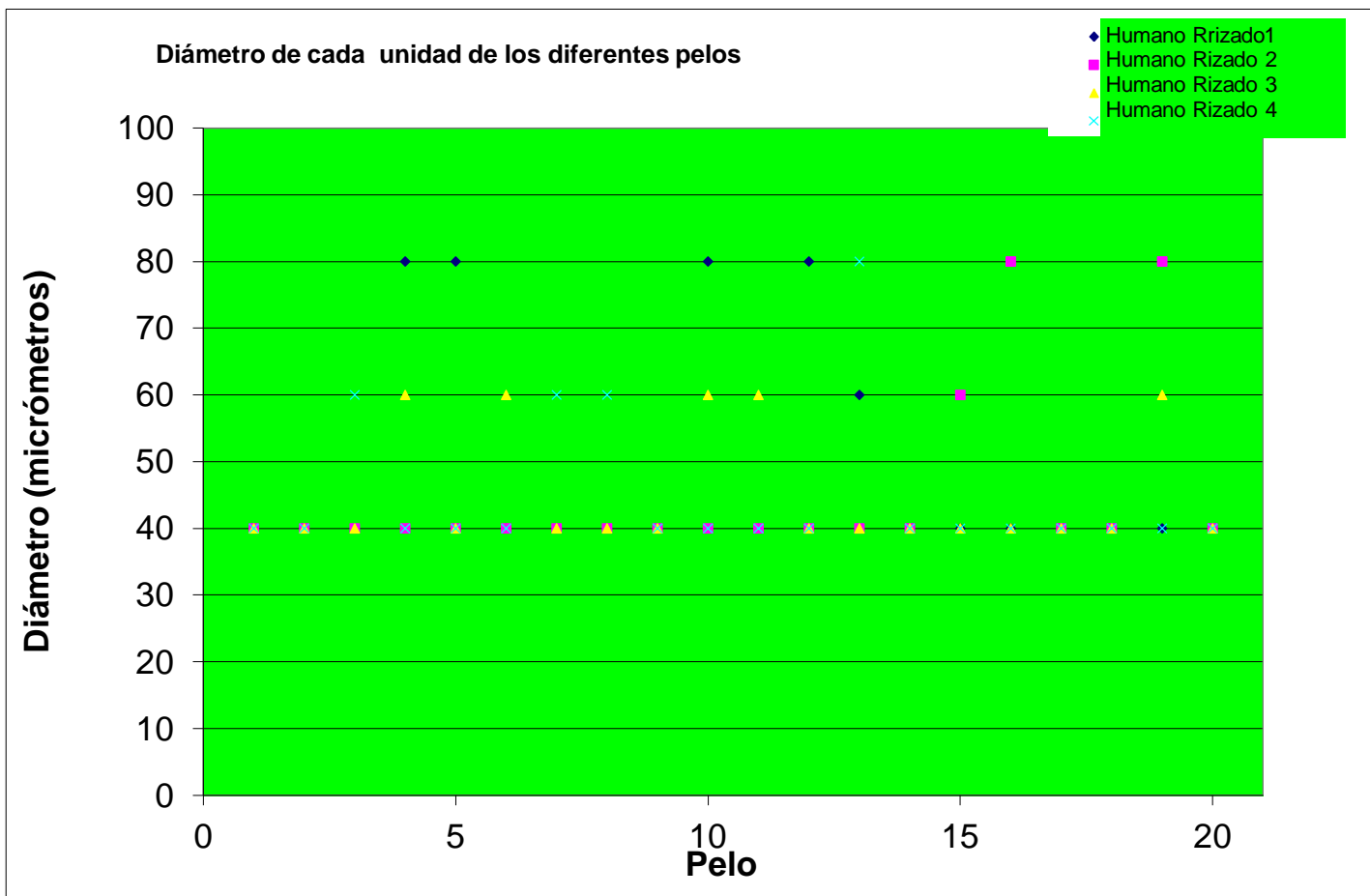
masa que soporta cada unidad de los distintos tipos de pelo

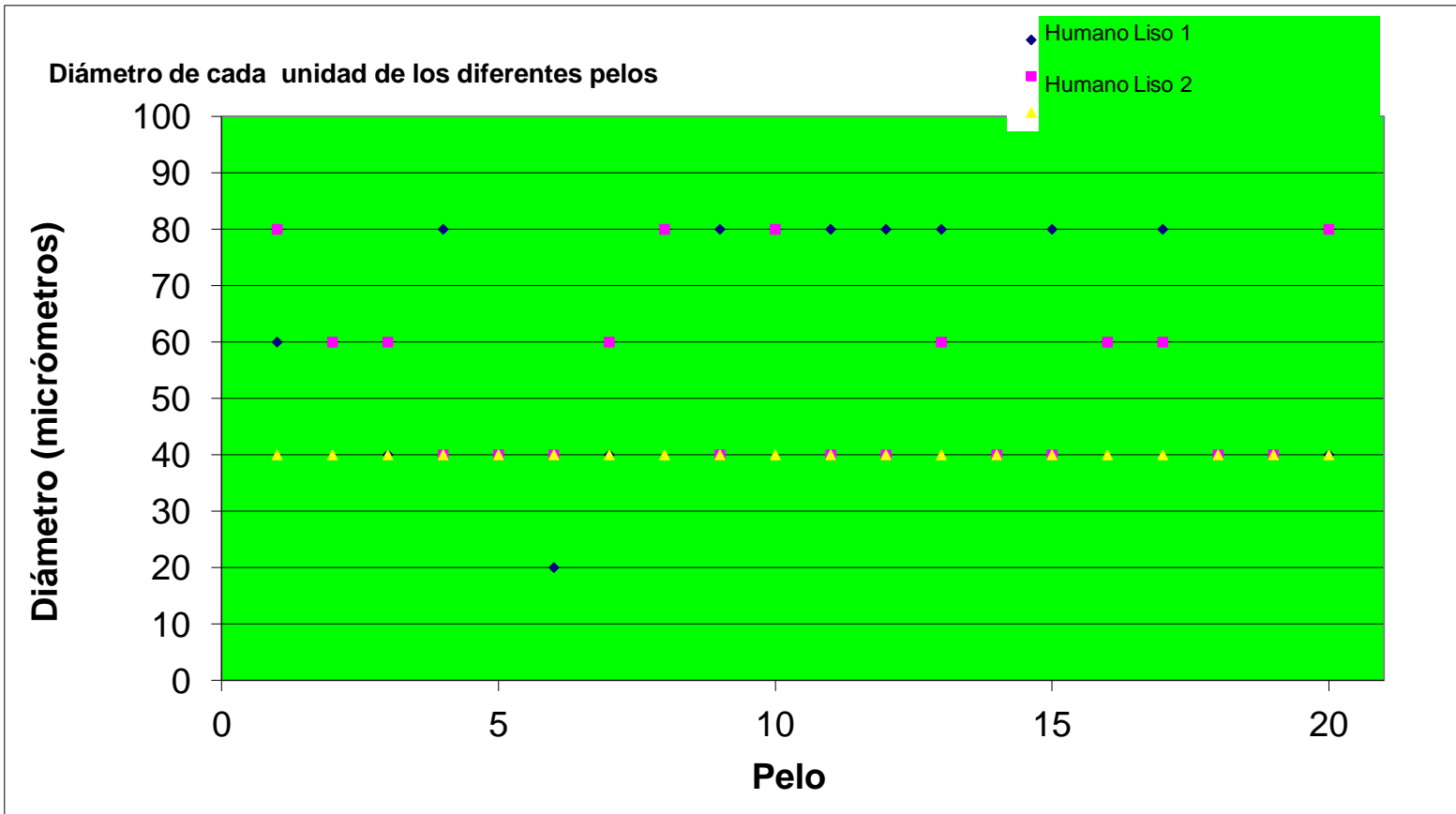


Diámetro de cada unidad de los diferentes pelos

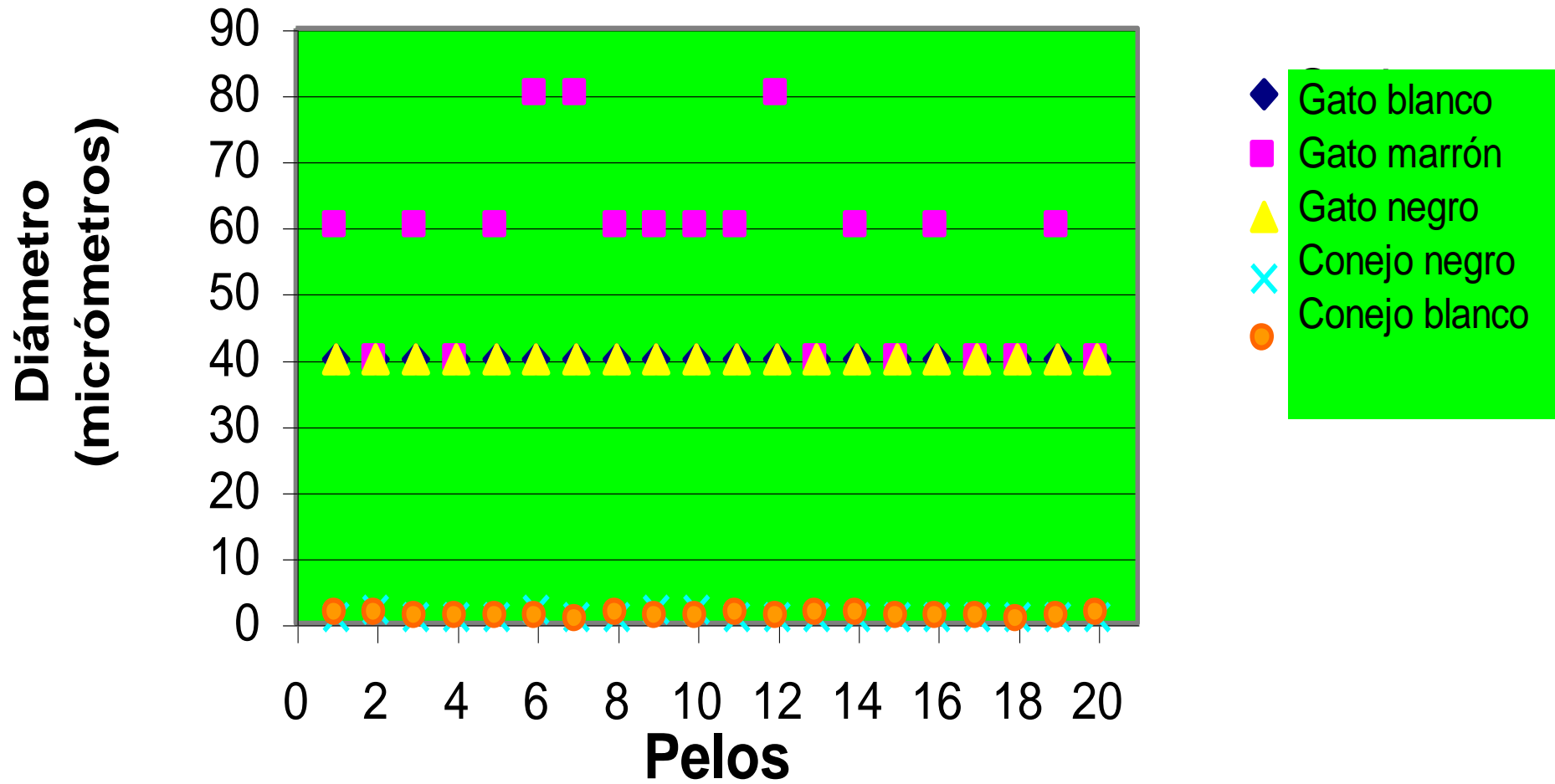




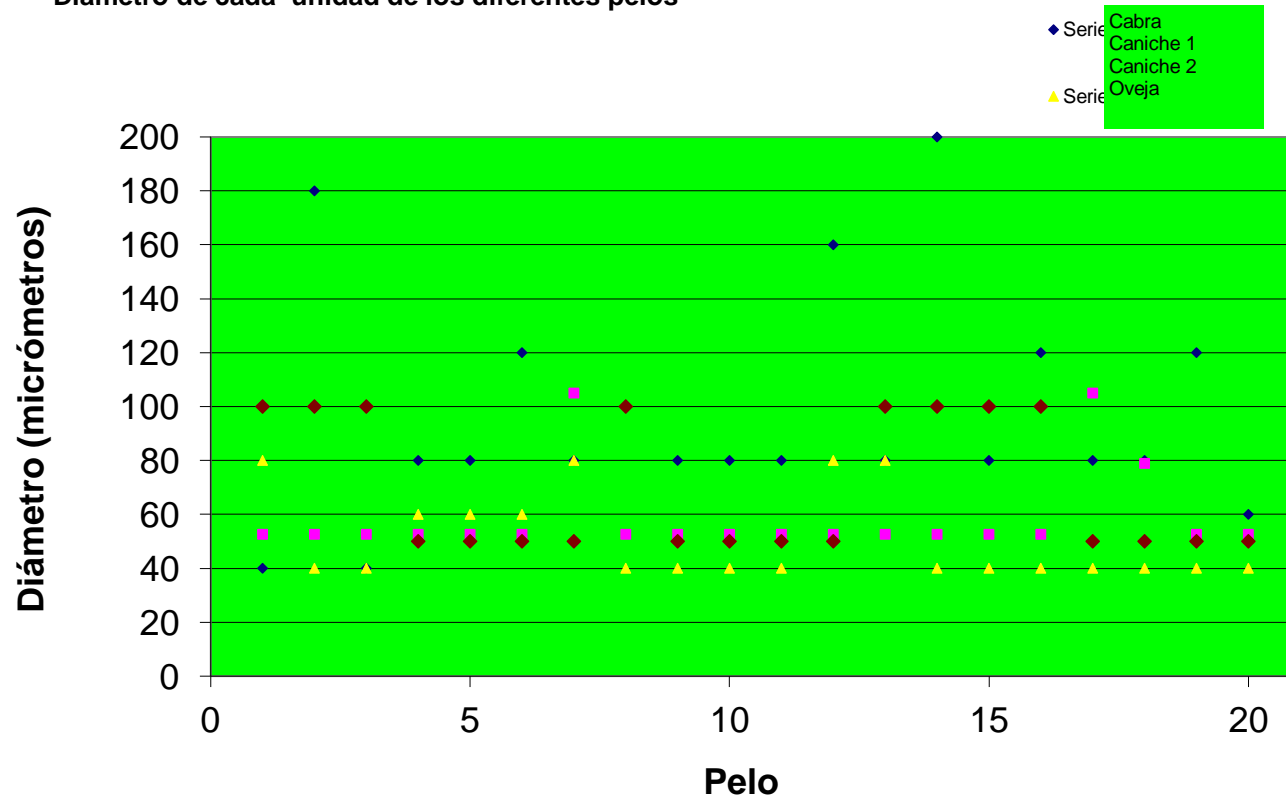




Diámetro de las unidades de los distintos pelos



Diámetro de cada unidad de los diferentes pelos



3.1. CÁLCULO DE LA MASA QUE SOPORTA CADA TIPO DE PELO (MS)

Como se representa en la gráfica siguiente a través de un diagrama de barras, los resultados muestran que el pelo del animal que es capaz de soportar más peso es el de la *cola de caballo* (*ii hasta 928 g !!*). Le siguen el pelo de la vaca (573 g), la melena del caballo (270 g), el de cabra (179 g), los pelos humanos rizado (152 g) y liso (144 g), el de caniche (68 g), gato (31 g) y conejo (17 g). Con esto queda definitivamente respondida la primera pregunta del cuestionario, que por cierto acertó el 40% de los encuestados.

En cuanto a las fibras vegetales o sintéticas, el *hilo de coser* es el que aguanta más peso sin romperse (*ii hasta 3055 g !!*), seguido del cáñamo (2191 g) y la soga (1887 g). A gran distancia aparece el cordel, con una **MS** similar a la del pelo humano (153 g).

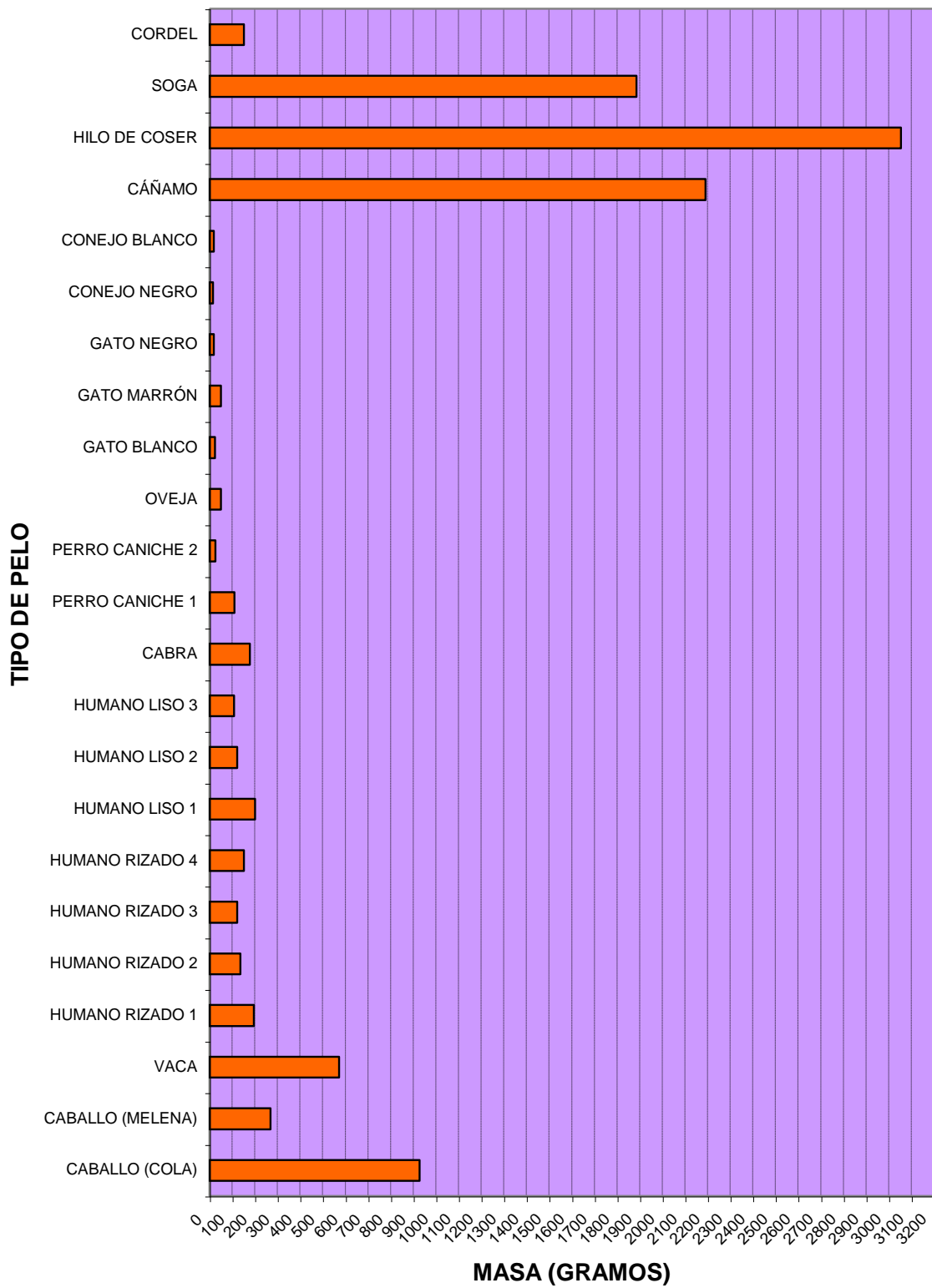
3.2. ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE MS EN UN MISMO SUJETO

En general, los valores fluctúan en torno a un 20% ó 30% dentro de un mismo individuo, aunque hay casos donde este porcentaje se reduce mucho, como en el caballo (7% para la cola, 13% para la melena) y otros donde se eleva, como en el conejo negro 47%.

Destacar que la variabilidad entre el pelo humano rizado y liso es prácticamente inexistente, con un 31% y un 29% respectivamente.

En cuanto a las fibras vegetales o sintéticas, la variación está entre el 10% (hilo de coser) y el 33% (cordel).

MASA QUE SOPORTA CADA TIPO DE PELO



3.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO (D) QUE SOPORTA CADA TIPO DE PELO

En el diagrama de barras de la gráfica siguiente, los resultados muestran que el animal que tiene el pelo más grueso (de mayor diámetro) es el de la *cola de caballo* (ii hasta 198 micrómetros Mm !!). Le siguen el pelo de la vaca (129 Mm), el de cabra (97Mm), la melena del caballo y la oveja (70 Mm), y los de caniche, humano liso y rizado, gato y conejo (que oscilan entre 55 Mm y 44 Mm).

Cabe resaltar el alto grado de similitud de grosor de pelo que presentan el conejo (43.8 Mm) y el gato (45.33Mm). ¿Será ello una prueba más del famoso dicho: "*Te dan gato por conejo*"?

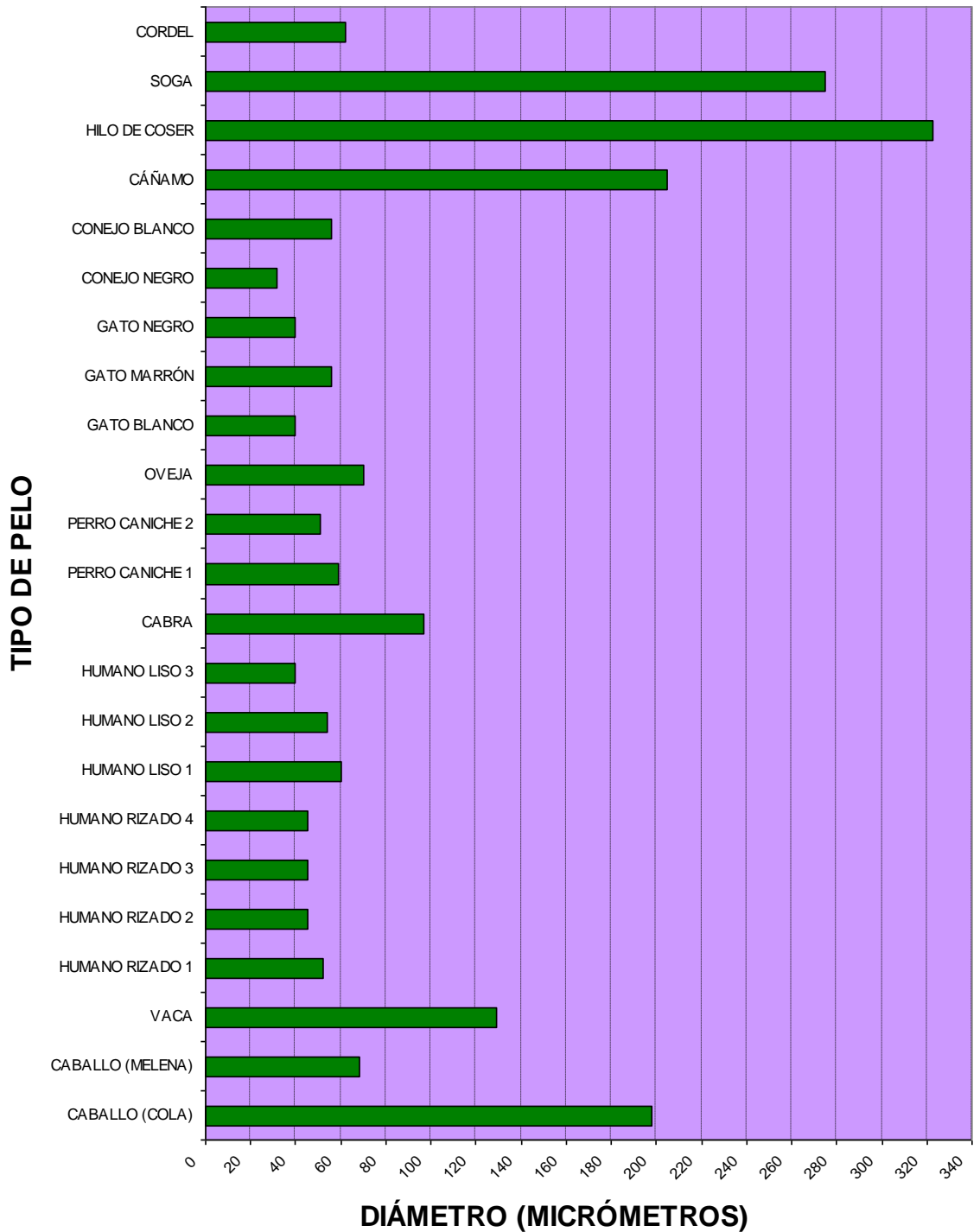
Por otro lado, entre las fibras vegetales y sintéticas, el hilo de coser presenta un diámetro de 322 Mm, seguido por la soga (275 Mm) y el cáñamo (205 Mm). Mucho más delgado es el cordel, con 62 Mm.

3.4. ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE D EN UN MISMO SUJETO

En general, los valores fluctúan en torno a un 20% ó 30% dentro de un mismo individuo, aunque hay casos donde este porcentaje se reduce, como en el caballo (15% para la cola) y otros donde se eleva, como en la cabra y el conejo (43%), y la vaca (46%).

La variabilidad entre el pelo humano rizado y liso es poco significativa, pues la variabilidad es del 27% en los sujetos con pelo rizado y del 20% en los del pelo liso.

GROSOR DE CADA TIPO DE PELO



3.5. DETERMINACIÓN DEL PELO PROPORCIONALMENTE MÁS RESISTENTE (CON MAYOR CAPACIDAD DE SOSTENER PESO).

La manera de responder a la segunda pregunta del cuestionario pasa por hallar el cociente entre MS y D . Destacar que el 26% de los encuestados en el centro intuyó el resultado.

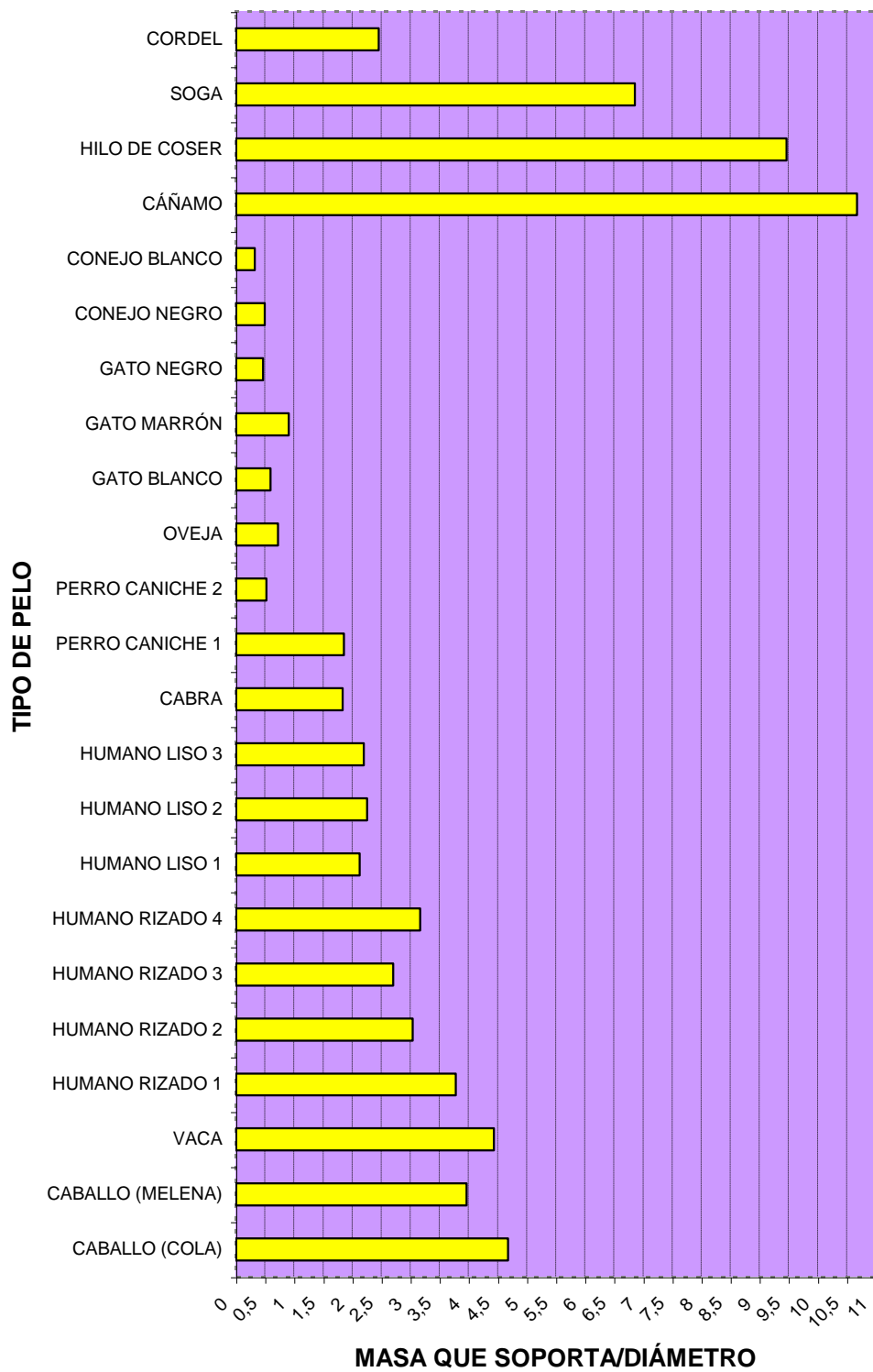
El resultado refleja que, proporcionalmente, por micrómetro de grosor, el pelo con mayor capacidad de soporte es el de la cola de caballo (4.68), seguido del de la vaca (4.44) y la melena del caballo (3.97). A continuación vendría el humano rizado, el humano liso, el de cabra, caniche, oveja, gato y conejo (0.41). Obsérvese que en los extremos opuestos, el pelo más resistente es once veces menos frágil que el de conejo.

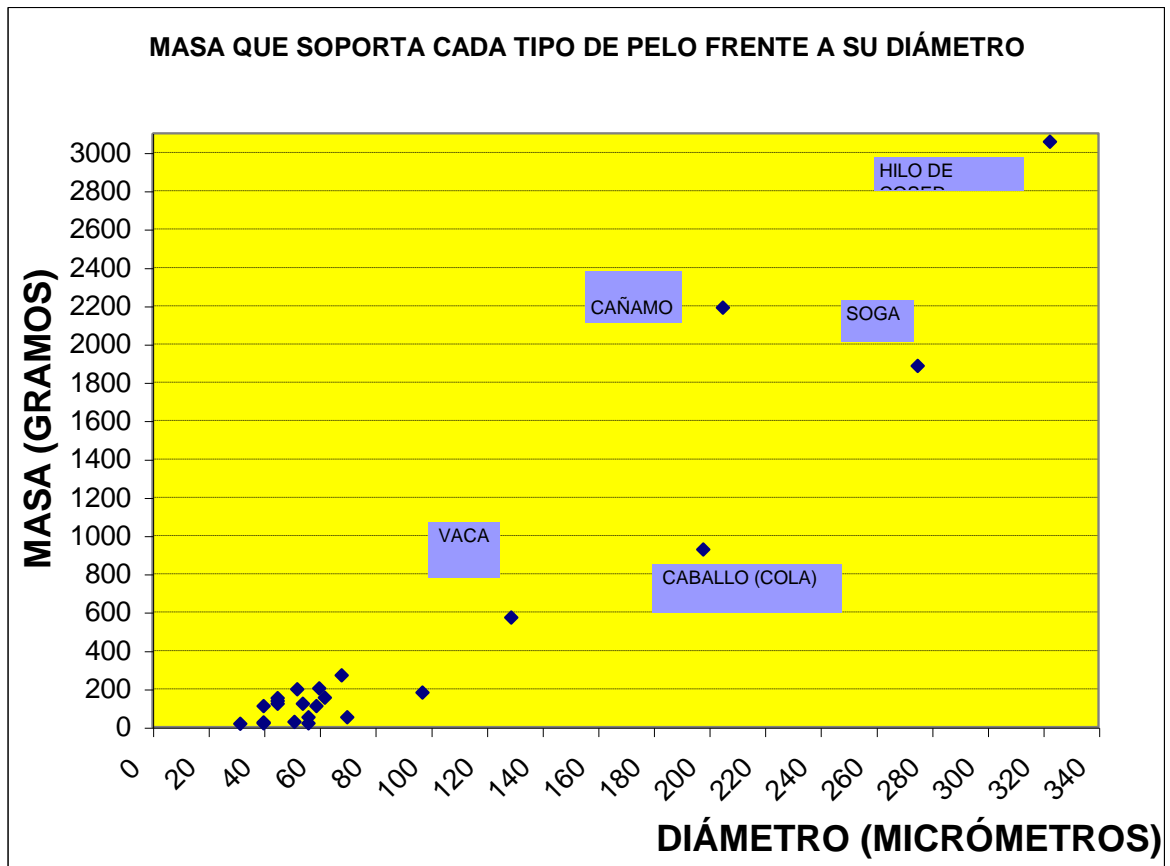
Las fibras vegetales o sintéticas arrojaron el siguiente balance: cáñamo (10.68), hilo de coser (9.47), soga (6.86) y cordel (2.46). Comparando estos valores con los datos anteriores, la cola de caballo es tan sólo 2.3 veces menos resistente que la del cáñamo. Sin embargo resulta evidente que las fibras vegetales son más resistentes que los pelos animales. ¿Por qué?

Probablemente se deba a su composición química. Como ya comentamos, los pelos están formados de la proteína queratina, mientras que las fibras vegetales constan de polisacáridos (glúcidos) como la celulosa.

La relación MS/D se representa en los siguientes folios a través de un diagrama de barras y en valores absolutos. A la luz de este último queda claro que existe una correlación positiva entre la masa soportada del pelo (MS) y su diámetro (D).

RELACIÓN MASA/DIÁMETRO PARA CADA TIPO DE PELO





3.6. VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA (R) QUE PRESENTA UN PELO A SER ROTO POR LA FRICCIÓN

Este trabajo presentó una serie de dificultades, como fue el no poder determinar el valor R en la cola del caballo, cáñamo, hilo de coser y sogá, porque rompían el taco del taladro debido a su dureza. Además, ya comentamos en los procedimientos que el cronometraje no podía ser muy preciso.

No obstante, a nivel cualitativo sí que se recogen una serie de resultados que muestran coherencia. Así, tenemos una clara correlación entre el cociente MS/D ("resistencia proporcional") y R (resistencia a la fricción). De los 9 valores analizados (vaca, melena de caballo, cabra, humano liso y rizado, caniche, oveja, gato y conejo), tan solo el del gato es el que parece no estar correlacionado.

3.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS PELOS FRENTE AL ATAQUE DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y/O DE FENÓMENOS FÍSICOS (CALOR)

*EXPERIENCIA 1:

- a) Tras el tratamiento de las muestras con el disolvente orgánico *xileno* (sin diluir) no observamos cambios en la morfología o en el color de los pelos. Aparentemente estaban intactos. Incluso cuando se tocaban, su rigidez aparente era similar a la del pelo sin tratar. Por supuesto esta es una mera observación visual, y tenemos pendiente el estudio de su resistencia MS postratamiento.



- b) En las muestras tratadas con *ácido clorhídrico* concentrado (sin diluir), todos los pelos mantenían la misma morfología aparente, aunque el color varió en la vaca (pasó de amarillo a rosado), el cordel (de marrón a rojo), el cáñamo (de color hueso a rojo) y la sogá (de blanquecino a rojo).

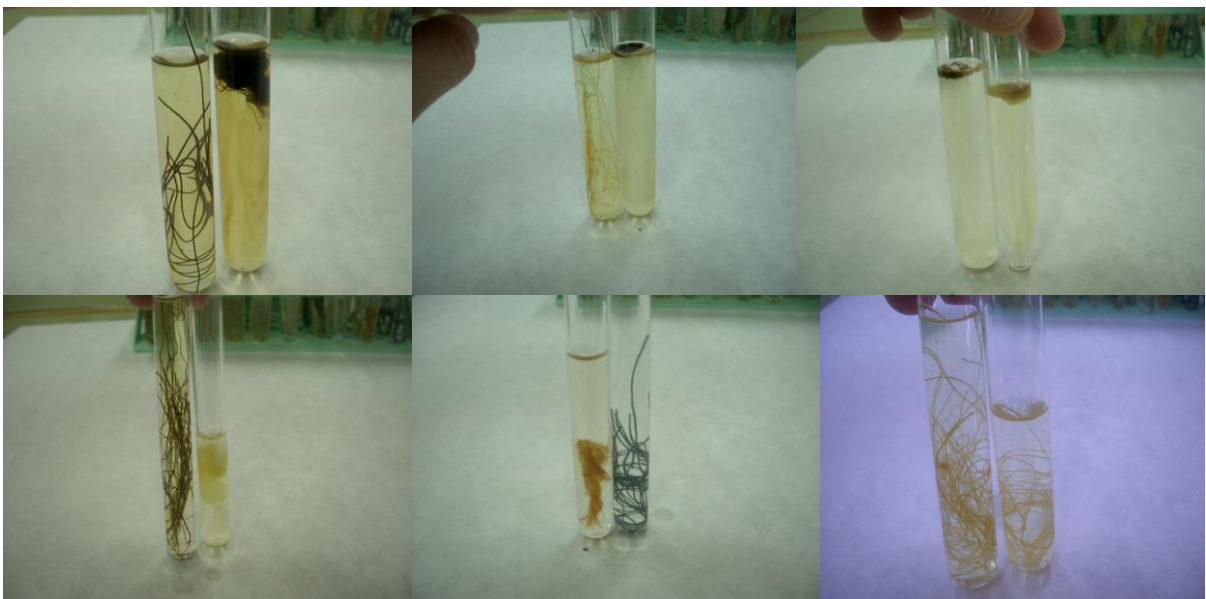


Además, cuando se miraron los pelos tratados con ácido a la lupa binocular se comprobó que habían perdido su rigidez y que cuando los apretabas parecía que estrujaras un chicle. El resultado era muy similar al que nos encontramos cuando sometemos a un hueso a ácido clorhídrico, lo que provoca la pérdida de sales

minerales (como el calcio) y por ende de su consistencia. Aquí no podemos hablar de pérdida de sales minerales por parte del pelo, y probablemente su debilitamiento se deba a su desnaturalización. Recordemos que una cosa es que el pH natural del pelo esté en torno a 5, y otra es que se vea sometido a valores cercanos al pH 1.

Se tomó una muestra de pelo de vaca tratada con ácido y se comprobó que su **MS** había disminuido mucho. Estos datos hay que completarlos.

c) EL tratamiento con NaOH a elevada concentración (0.5 g/ml) tuvo un efecto visual inmediato. En la mayoría de los tubos el pelo comenzaba a



retorcerse y a ascender hacia la superficie (tubos 2: melena caballo; 3: vaca; 4: humano liso; 5: humano rizado; 6: gato blanco; 8: caniche). Terminaba siendo literalmente desintegrado. Recordemos que en esta experiencia se añadió la base, que estaba bastante caliente como consecuencia de la reacción exotérmica que se producía en contacto con el agua.

Soportaron - tan solo unos pocos minutos más- el ataque de la sosa la cola del caballo (tubo 1), el pelo de vaca (tubo 3) y el de cabra (tubo 7). Los tubos 9, 10, 11 y 12 (cordel, hilo de coser, cáñamo y sogá, respectivamente) aguantaron este tratamiento tras 48 h, al menos en el aspecto externo. Recordemos que las fibras vegetales no son de naturaleza proteica y por ello no se pueden desnaturalizar. Sí se observó una decoloración del hilo de coser del gris al blanco y de los demás hacia una tonalidad amarillenta.

La pregunta que se presentaba ahora era clara: ¿Qué desnaturizó a las proteínas de queratina, la base o el calor?. Para dilucidarlo hicimos las experiencias 2 y 3.

**EXPERIENCIA 3:*

Tras someter a las muestras de pelos a agua a temperatura superior a 85° C, se evidenció que semejantes temperaturas no desnaturizaban aparentemente la queratina, puesto que ninguna cambió su aspecto físico.

**EXPERIENCIA 2:*

Cuando se trataron las muestras con sosa a temperatura ambiente (es decir, no recién preparada), se vio que los pelos se desnaturizaban hasta desintegrarse, aunque esto les llevara mucho más tiempo que en la experiencia 1.

De todo esto concluimos que la desnaturización de los pelos es más eficaz con sosa caliente.

4. CONCLUSIONES

A) *ESPECÍFICAS:*

1. De los pelos animales estudiados (cola y melena de caballo, vaca, humano, cabra, perro, oveja, gato y conejo), la cola de caballo es el más capacitado para soportar peso, ii hasta 928 g por pelo !! (casi 1 Kg) y el menos resistente es el del conejo (17 g).

2. En cuanto a las fibras vegetales o sintéticas estudiadas (hilo de coser, cáñamo, sogá y cordel), el hilo de coser es el que aguanta más peso sin romperse: ii hasta 3055 g por "pelo"!! (3 Kg).

3. En general los valores de masa soportada por pelo (*MS*) varían en un mismo individuo en torno al 20% ó 30%. Lo mismo ocurre con los valores de diámetro.

4. De los pelos animales estudiados, el de la cola de caballo es el más grueso (198 micrómetros) y el más delgado es el de conejo (44 micrómetros).

5. Apenas existen diferencias entre el pelo humano liso y rizado a nivel de masa soportada y diámetro.

6. El pelo proporcionalmente más resistente (consideramos el cociente entre masa soportada y diámetro: *MS/D*) es el de la cola de caballo (4.68 g/Mm) y el más frágil el del conejo (0.41 g/Mm).

Se reconoce la existencia de una clara correlación positiva entre la masa soportada por el pelo (*MS*) y su diámetro (*D*), es decir, a mayor *MS*, mayor *D*.

7. Cuanto más resistente es un pelo (*MS/D*), mayor oposición presenta a ser roto por fricción.

8. El tratamiento que desnaturaliza más eficazmente al pelo es una combinación de una base fuerte y calor, aunque la base por sí sola o un ácido fuerte solo, también la desnaturalizan.

Estos tratamientos parecen mostrarse ineficaces ante las fibras vegetales o sintéticas, al menos externamente.

B) GENERALES:

Gracias a este trabajo hemos aprendido:

1. cómo funciona el método científico.
2. cómo utilizar la lupa binocular y el microscopio óptico.
3. cómo interpretar gráficas y tablas.
4. las precauciones que hay que tomar cuando se manipulan ácidos o bases fuertes.
5. que las cosas se consiguen con esfuerzo (...ii y con muchos recreos !!!).

5. UNA PINCELADA HISTÓRICA: LOS HEMISFERIOS DE MAGDEBURGO Y LOS PELOS.

En el siglo XVII, 12 caballos de una fábrica de cerveza y dos esferas de bronce hicieron famosa a Magdeburgo entre los científicos y sabios de toda Europa. Con su primer experimento con los hemisferios Otto von Guericke demostró en 1657 en Magdeburgo la existencia del vacío, brindando a la vez un grandioso espectáculo de entretenimiento a los numerosos espectadores:

En el patio de una casa de la ciudad von Guericke ató 12 caballos a dos hemisferios que unió formando una esfera. Luego extrajo el aire de su interior creando un vacío en la esfera. A pesar de la enorme fuerza de tracción y después de varios intentos, los animales



no consiguieron separar los hemisferios, que se desacoplaron casi por sí mismos al abrirse la válvula de presión y entrar aire en la esfera. El experimento con los hemisferios tuvo una gran repercusión científica en Alemania y el resto de mundo, por lo que von Guericke lo repitió frecuentemente en los años siguientes, a veces incluso con 16 caballos.

¿Qué unía entre sí a estas dos semiesferas? "Nada", el aire. Y no obstante, ocho caballos tirando hacia un lado y ocho tirando hacia otro no pudieran separarlas. De esta forma el burgomaestre Otto Von Guericke demostró públicamente que el aire es algo que tiene peso y que presiona con bastante fuerza sobre todos los objetos que hay en la Tierra.

A partir de unos cálculos en los que ahora no vamos a entrar, se determinó que la presión de la atmósfera sobre cada hemisferio será mayor de 1000 kg de fuerza (1t de fuerza = 9800 N). Cada uno de los tiros de los 8 caballos tenía, pues, que tirar con una fuerza de una tonelada para poder contrarrestar la presión del aire exterior.

Llegados a este punto nos planteamos la siguiente cuestión. Supongamos que los caballos han de tirar de unas "*cuerdas de pelos*".

¿Cuántos pelos serán necesarios en cada una de esas cuerdas desde donde se realizará la fuerza?

Para responder a esta pregunta basta con realizar el siguiente cálculo.

$$N^{\circ} \text{ pelos} = 1 \text{ t} / \text{masa soportada por pelo} = 1.000.000 \text{ g} / MS(g)$$

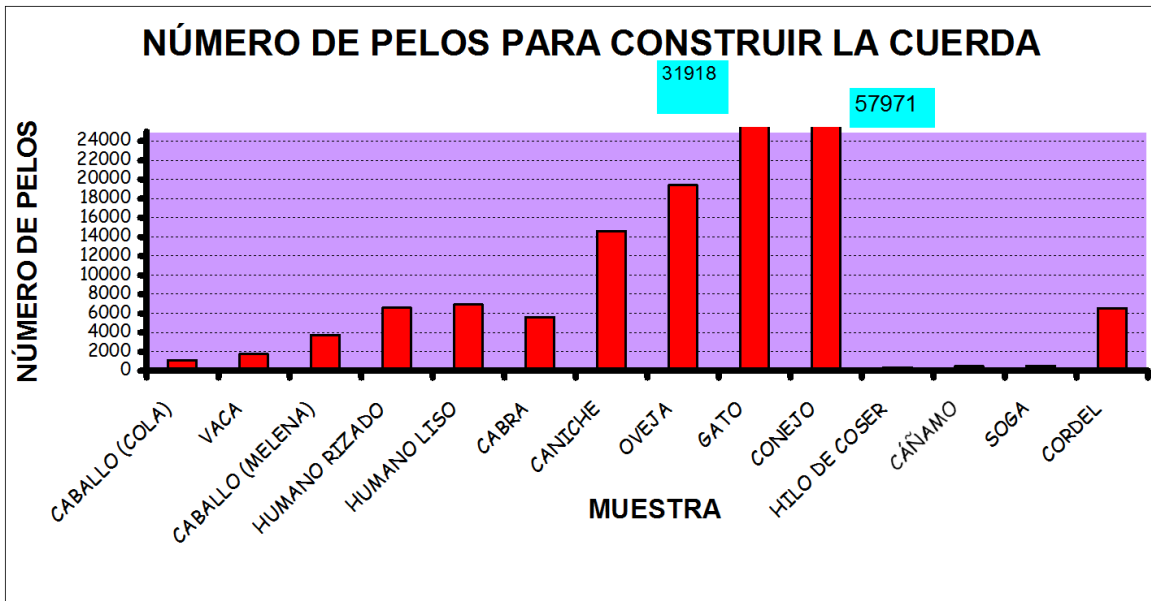
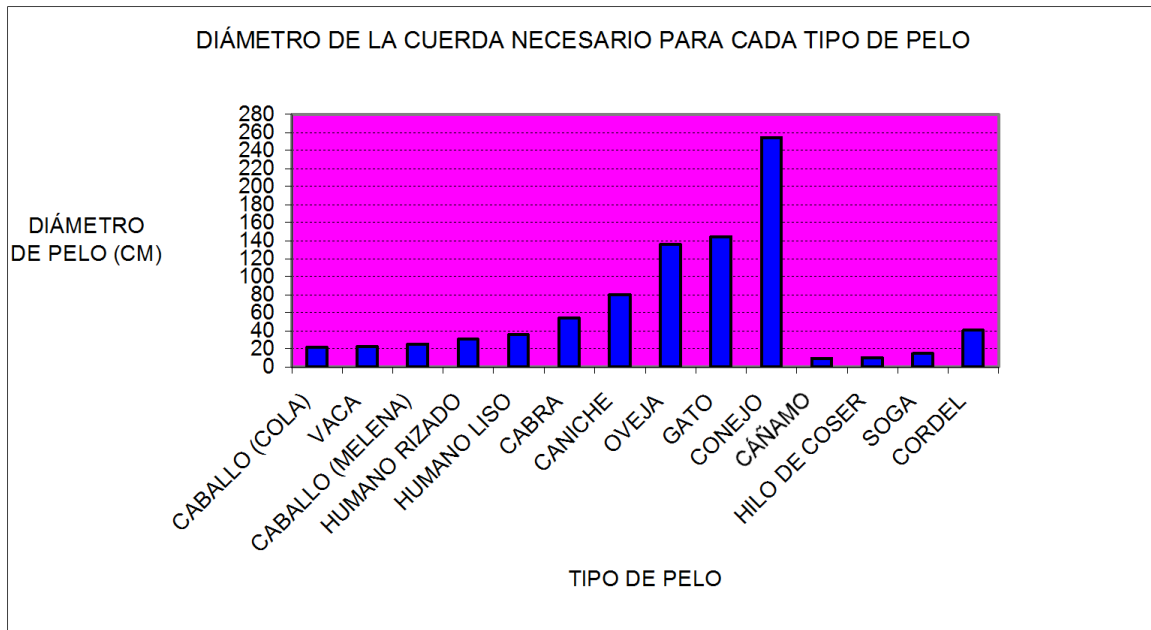
¿Y qué grosor tendrán dichas cuerdas?

Esto se responde multiplicando el número de pelos obtenido anteriormente por el diámetro medio de cada pelo.

Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla.

		NÚMERO DE PELOS	DIÁMETRO DE LA CUERDA (CM)
PELOS ANIMALES	CABALLO (COLA)	1077	21.32
	VACA	1745	22.49
	CABALLO (MELENA)	3703	25.18
	HUMANO RIZADO	6579	30.75
	HUMANO LISO	6944	35.62
	CABRA	5586	54.18
	CANICHE	14598	80.36
	OVEJA	19379	135.6 (= 1.35 m !!!)
	GATO	31918	144.6 (= 1.44 m !!!)
	CONEJO	57971	253.91 (= 2.53 m !!!)
FIBRAS VEGETALES	CÁÑAMO	456	9.34
	HILO DE COSER	327	10.54
	SOGA	530	14.57
	CORDEL	6536	40.52

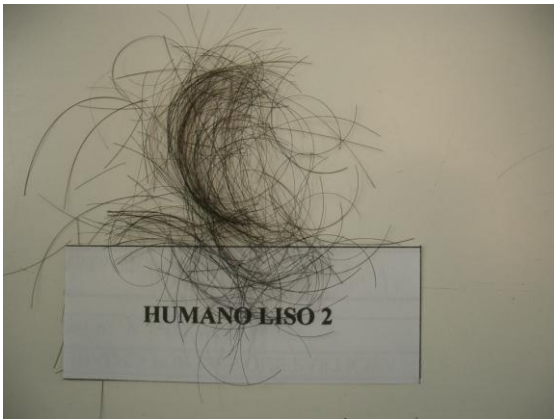
A continuación se representa en sendos diagramas de barras el número de pelos de cada especie necesarios para construir dicha cuerda, así como el diámetro de dicha cuerda.



ANEXO

- **FOTOGRAFÍAS DE LOS TIPOS DE PELOS**
- **MUESTRAS PLASTIFICADAS DE PELOS**









PELOS - I



CABALLO (COLA)



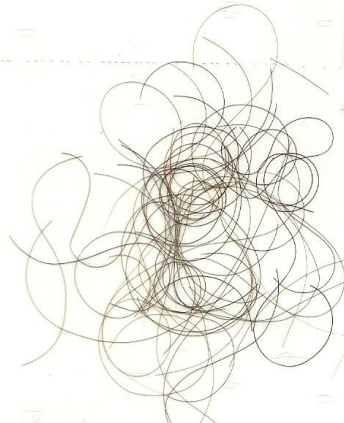
CABALLO (MELENA)



VACA



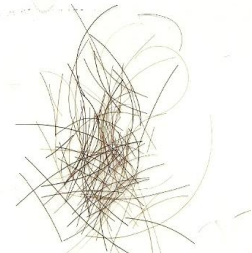
HUMANO RIZADO 1



HUMANO RIZADO 2



HUMANO RIZ. 3



HUMANO RIZ. 4



HUMANO LISO 1



HUMANO LISO 2

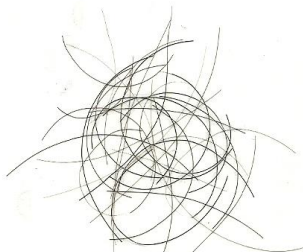


HUMANO LISO 3

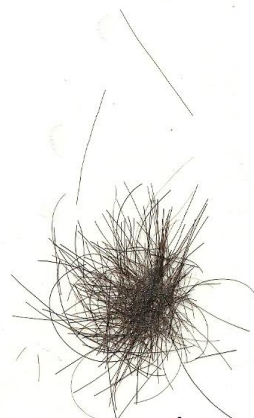
PELOS - II



HUMANO LISO 1



HUMANO LISO 2



HUMANO LISO 3



CABRA



FERRO CANICHE 1



FERRO CANICHE 2

PELOS - III



OVEJA




GATO BLANCO




GATO MARRÓN



GATO NEGRO



CONEJO NEGRO

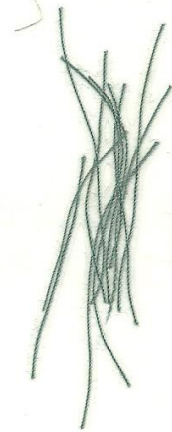


CONEJO BLANCO

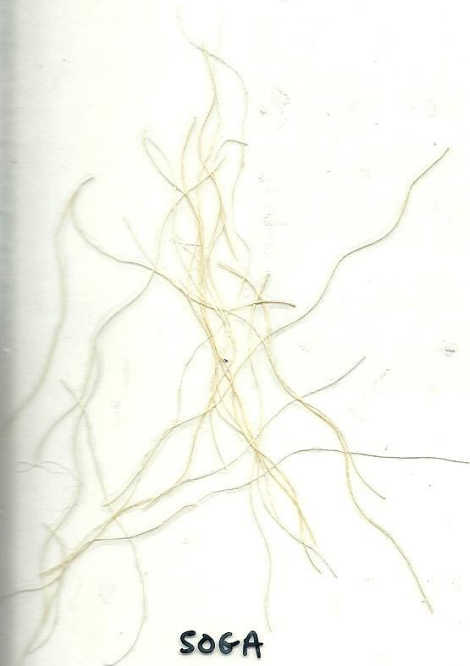
FIBRAS VEGETALES O SINTÉTICAS



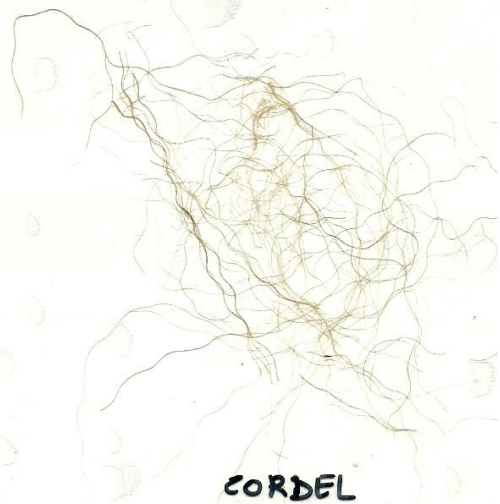
CAÑAMO



HILO DE COSER (GRIS)



SOGA



CORDEL