



**LARCO QUÍMICA Y ARTES L.**

Tlf 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la Cañada. Madrid. *email*  
[larcoquimica@larcoquimicayarte.es](mailto:larcoquimica@larcoquimicayarte.es), [larcoquimica@hotmail.com](mailto:larcoquimica@hotmail.com)

**ANÁLISIS QUÍMICO DE DOS MUESTRAS DE POLVO  
RECOGIDAS EN DIFERENTES SALAS DEL EDIFICIO DE LA  
REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES DE SAN FERNANDO  
(MADRID)**

Enrique Parra Crego  
Dr. en CC. Químicas

13 de agosto de 2019



## **ANÁLISIS QUÍMICO DE DOS MUESTRAS DE POLVO RECOGIDAS EN DIFERENTES SALAS DEL EDIFICIO DE LA REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES DE SAN FERNANDO (MADRID)**

### **1.- Introducción**

Con motivo de las obras en la calle Alcalá y en las proximidades de la sede de la Real Academia, se han incrementado la deposición de polvo en las superficies de los objetos, obras y partes arquitectónicas del interior del inmueble.

Se pretende, por lo tanto:

- Conocer la composición química de dicho polvo
- Conocer el grado de contaminación microbiológica (sólo bacterias y hongos) del mismo

para así determinar la potencial insalubridad del mismo para las personas, así como el potencial peligro para las obras de arte.

### **2.- Técnicas de análisis y muestras extraídas**

Para este estudio se han empleado las siguientes técnicas de análisis químico y microbiológico:

- Microscopía estereoscópica, trabajando entre 10 y 50 X. Esta es una técnica básica que individualizar las partículas del polvo para posteriormente caracterizarlas químicamente.
- Espectroscopía IR por transformada de Fourier. Este estudio se emplea principalmente para la determinación de moléculas, incluidas las poliméricas, inorgánicas u orgánicas por lo que permite realizar un análisis global de la muestra en busca de los componentes mayoritarios. Los análisis se llevan a cabo entre  $4000\text{ cm}^{-1}$  y  $550\text{ cm}^{-1}$ , mediante análisis superficial usando la técnica UATR (Universal Attenuated Total Reflectance)
- Microscopía electrónica de barrido/análisis elemental por energía dispersiva de rayos X (MEB/EDX). Se emplea para el análisis elemental de granos individuales de partículas sólidas, con el fin de determinar de forma inequívoca su composición a nivel atómico.
- Cromatografía en fase gaseosa acoplada a espectrometría de masas. Se usa para la determinación de sustancias volátiles, pequeñas moléculas orgánicas que viajan con el polvo, normalmente absorbidas en partículas de carbonilla. Las muestras se extrajeron con amoníaco concentrado, y el extracto seco se derivó usando bis – trimetilsililtrifluoroacetamida en acetonitrilo. La mezcla se evaporó y el residuo seco se disolvió en acetato de etilo.
- Análisis microbiológico directo sobre el polvo que fue suspendido en una disolución de salinidad y pH adecuado, para posteriormente cultivar en placa de petri. Tras el periodo de incubación, se recontaron las colonias de microorganismos (hongos y bacterias), centrando la atención en aquellos que pudieran ser patógenos para el ser humano. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de análisis microbiológico de la empresa acreditada SGS-Tecnos (Madrid)



Las muestras extraídas se enumeran a continuación:

Muestra N°	Localización
V-1	Polvo. Hércules Farnese/Patio Lucernario
715	Polvo. Cuadro Jean Rana. Primera planta del museo

### 3.- Resultados

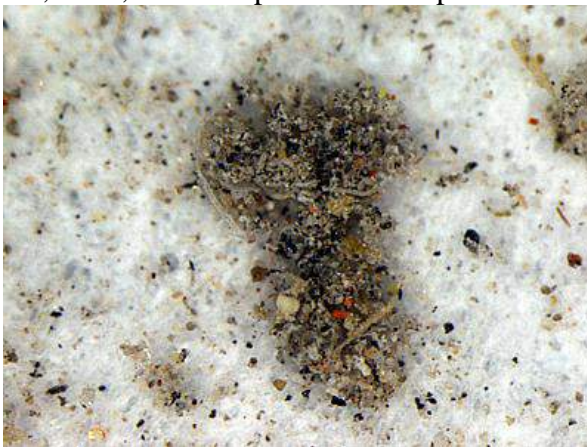
V-1: Polvo. Hércules Farnese/Patio Lucernario



V1, 10 X, microscopio estereoscópico



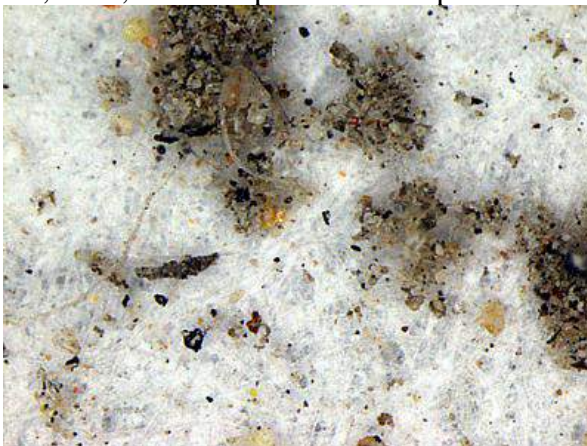
V1, corte transversal, microscopio, 150 X



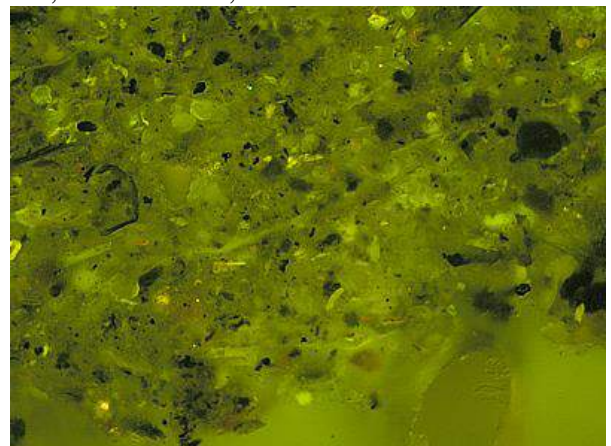
V1, 20 X, microscopio esteresocópico



V1, nicoles a 45°, 150 X



V1, 30 X microscopio estereoscópico

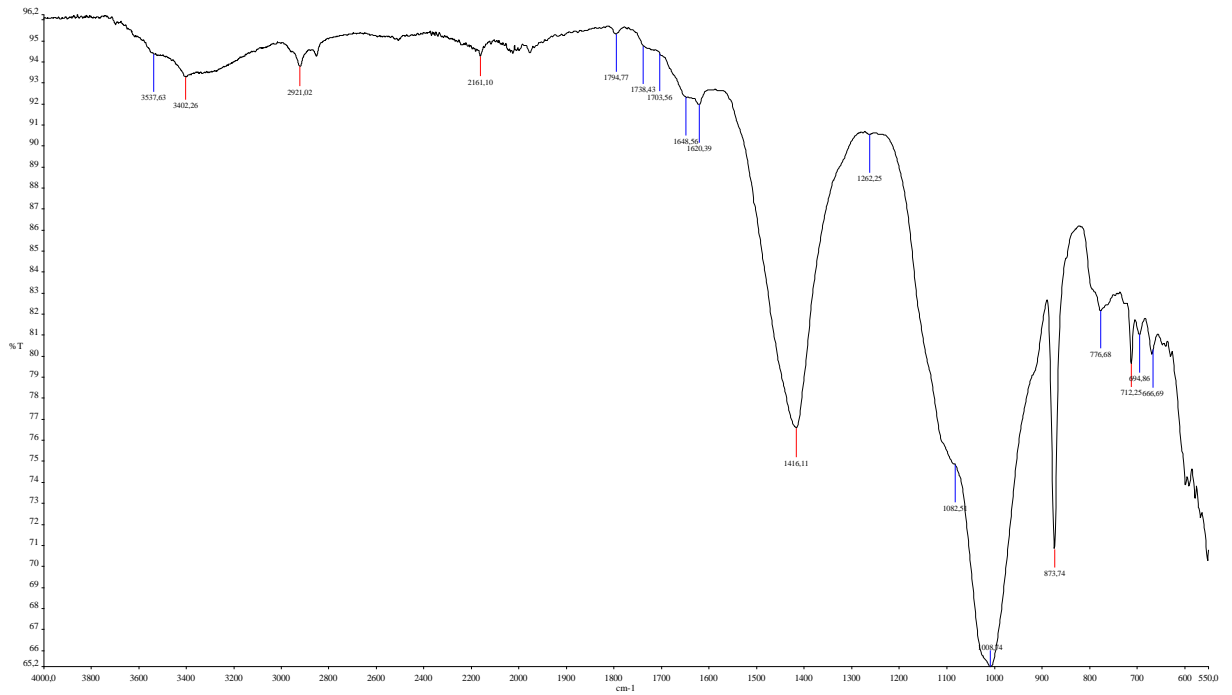


V1, luz UV, 150 X

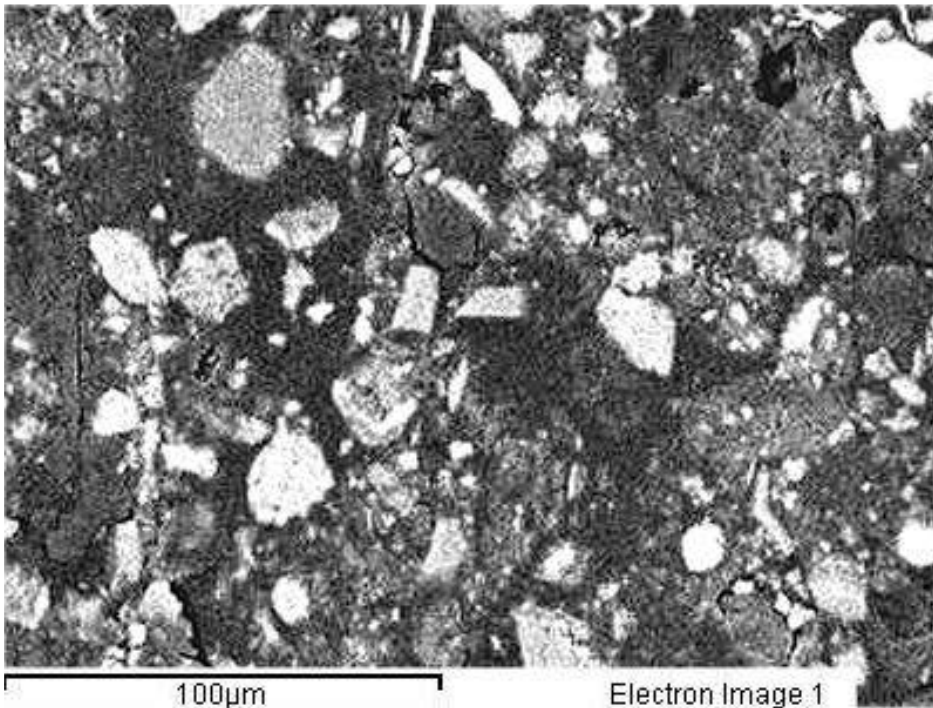


**LARCO QUÍMICA Y ARTES S.L.**

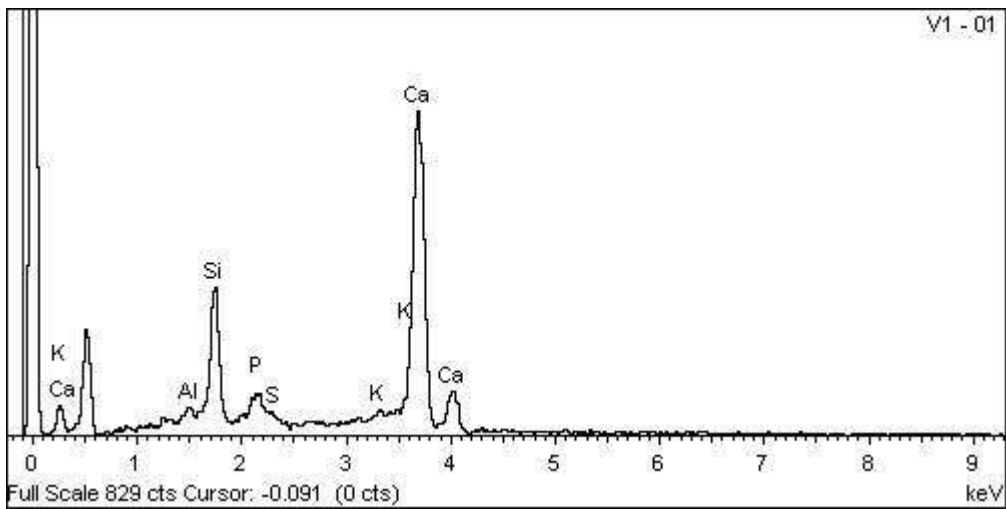
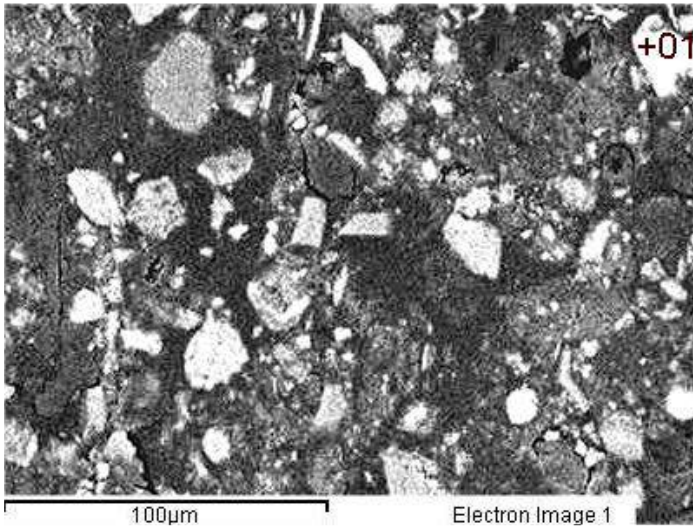
Tlf 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la Cañada. Madrid. *email*  
[larcoquimica@larcoquimicayarte.es](mailto:larcoquimica@larcoquimicayarte.es), [larcoquimica@hotmail.com](mailto:larcoquimica@hotmail.com)



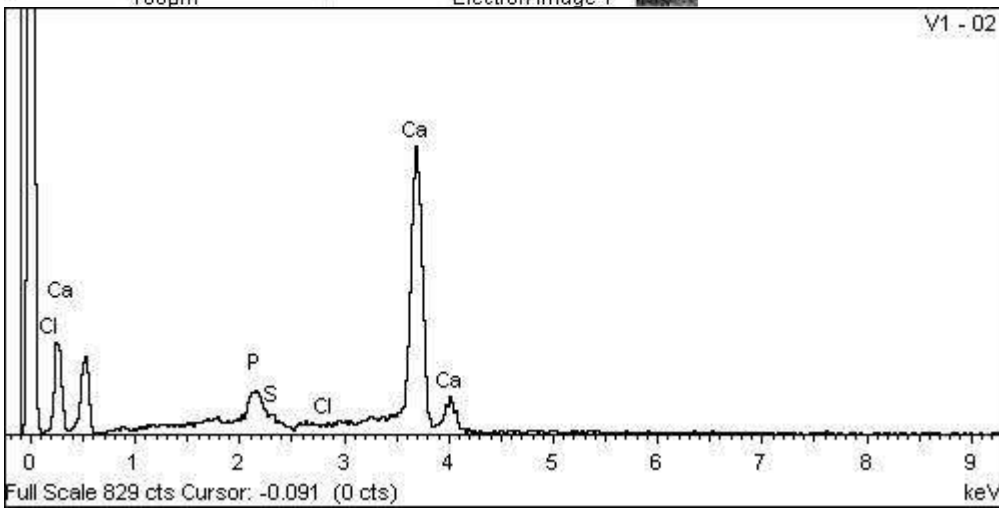
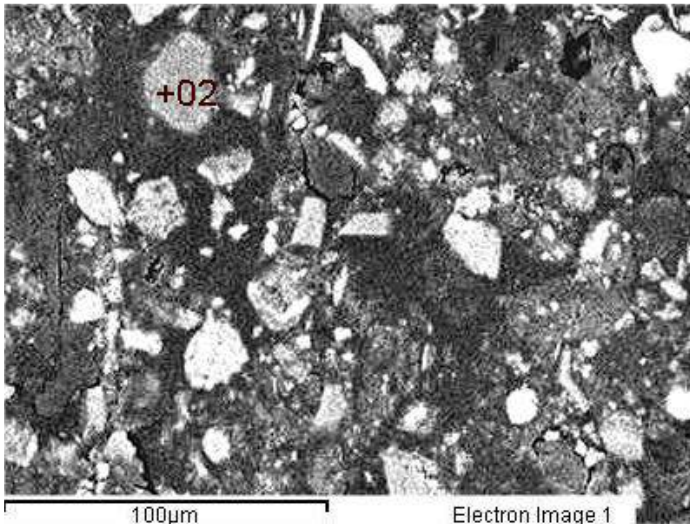
Espectro IR del polvo V1



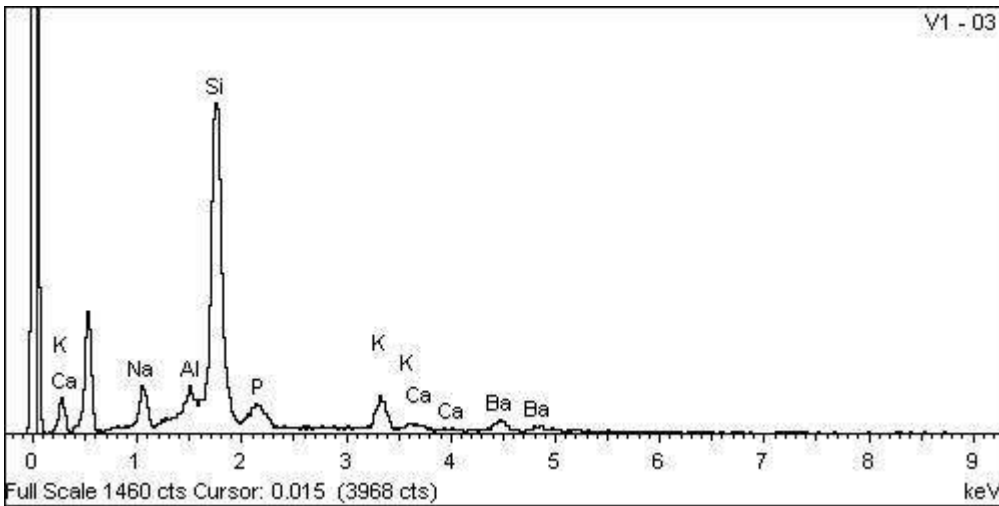
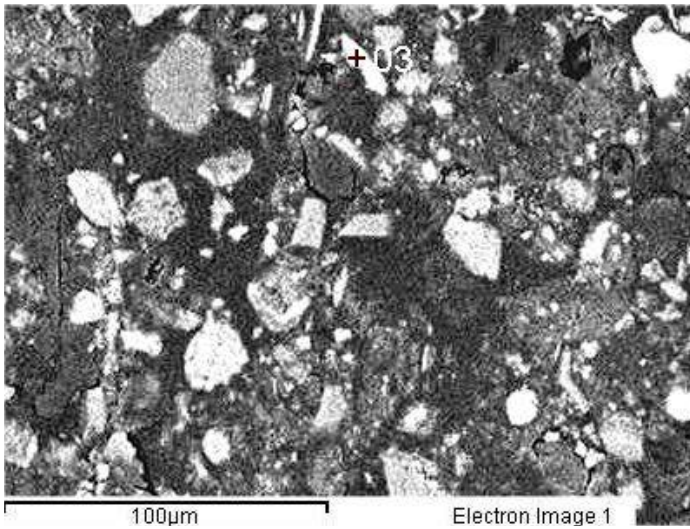
V1 imagen MEB (corte transversal)



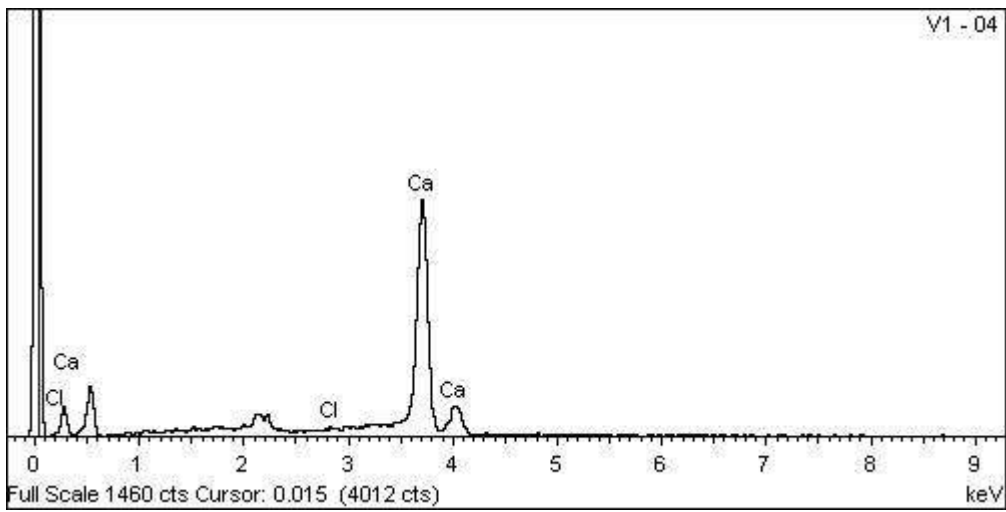
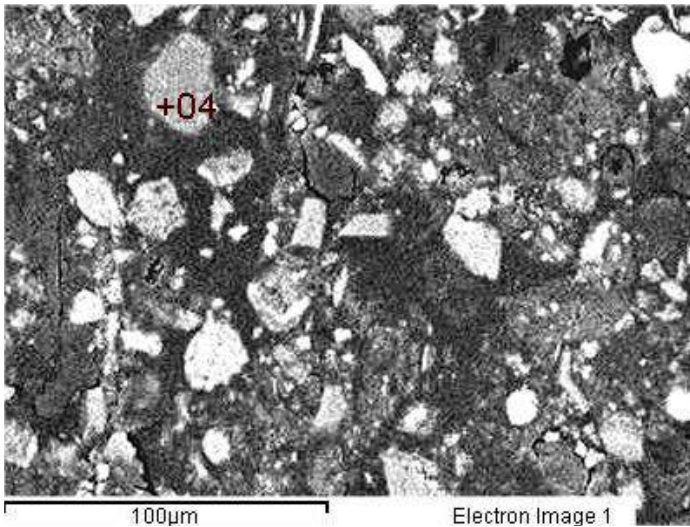
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Al K	1.11	0.7831	1.70	0.49	2.29
Si K	13.50	0.8795	18.45	0.76	23.96
P K	1.49	1.0938	1.64	0.77	1.93
S K	1.63	0.7599	2.58	0.68	2.94
K K	1.41	1.0973	1.54	0.56	1.44
Ca K	59.30	0.9619	74.09	1.20	67.44
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
P K	0.89	1.3164	1.30	0.95	1.66
S K	1.16	0.8879	2.50	0.87	3.08
Cl K	0.53	0.8295	1.23	0.59	1.38
Ca K	50.32	1.0154	94.98	1.37	93.88
Totals			100.00		

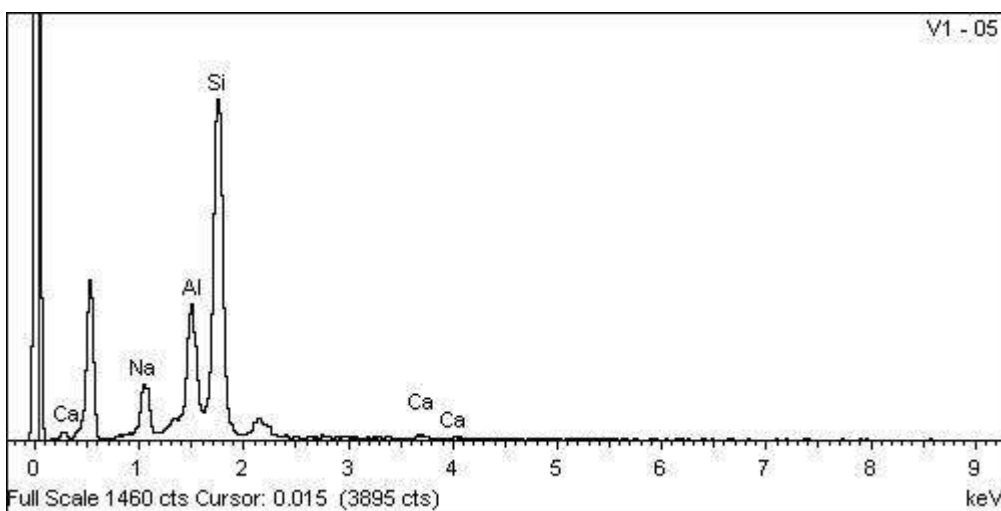
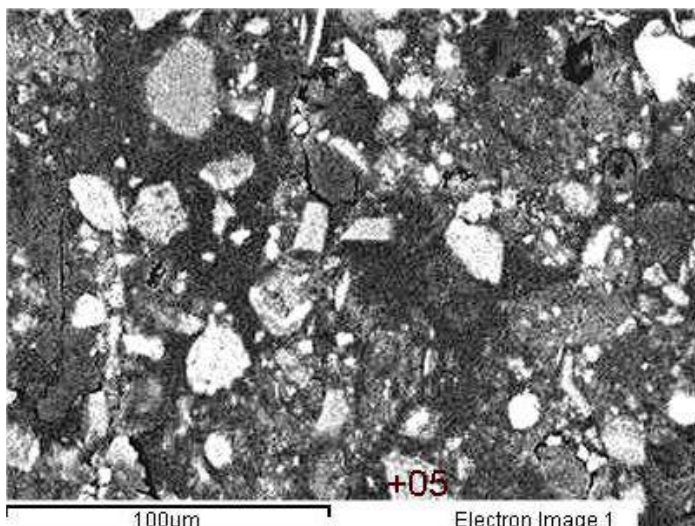


Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Na K	10.89	0.9279	10.86	0.70	14.85
Al K	3.41	0.7949	3.97	0.59	4.62
Si K	53.65	0.8422	58.94	1.38	65.95
P K	1.40	0.7234	1.79	1.05	1.82
K K	10.40	0.8725	11.03	0.64	8.87
Ca K	1.36	0.8381	1.50	0.45	1.17
Ba L	9.52	0.7398	11.91	1.27	2.73
Totals			100.00		

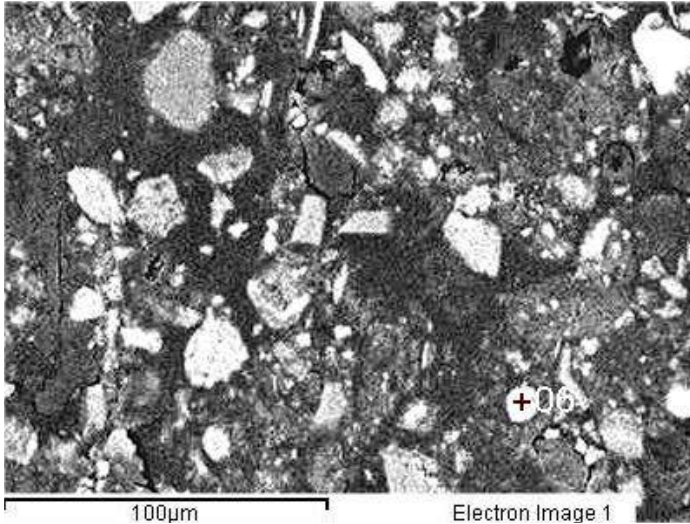


Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Cl K	0.09	0.8616	0.14	0.43	0.16
Ca K	75.65	1.0317	99.86	0.43	99.84
Totals			100.00		



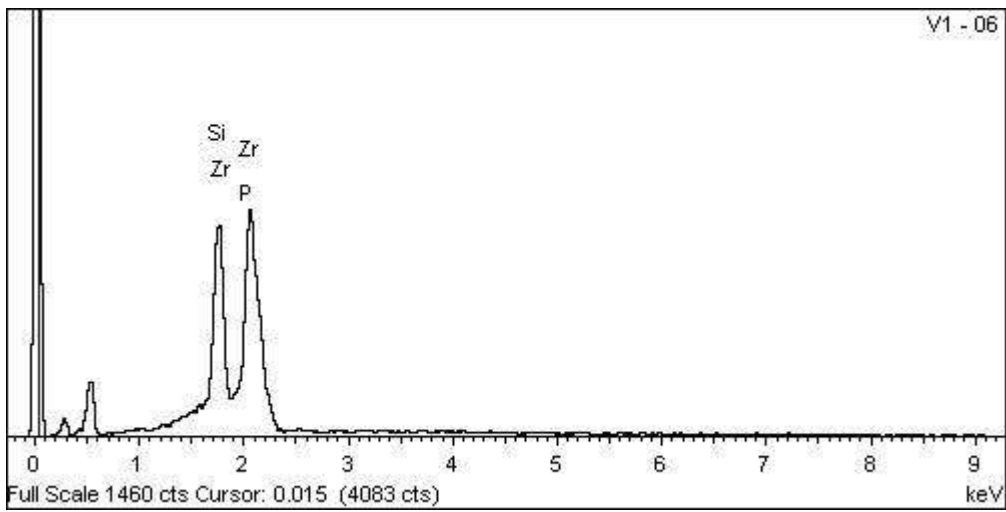


Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Na K	14.07	1.2979	10.45	0.56	12.43
Al K	18.95	0.9985	18.29	0.65	18.54
Si K	58.61	0.8071	69.98	0.81	68.15
Ca K	1.10	0.8246	1.28	0.36	0.88
Totals			100.00		

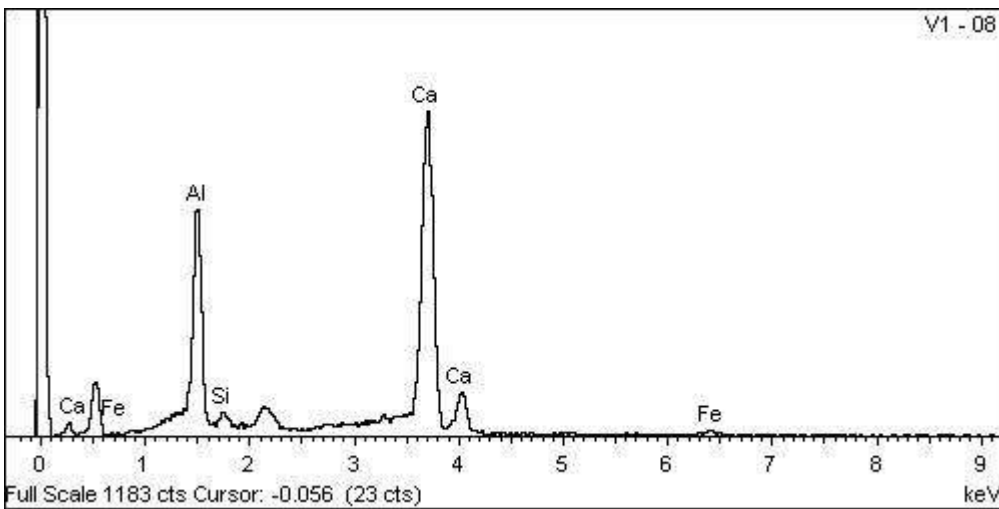
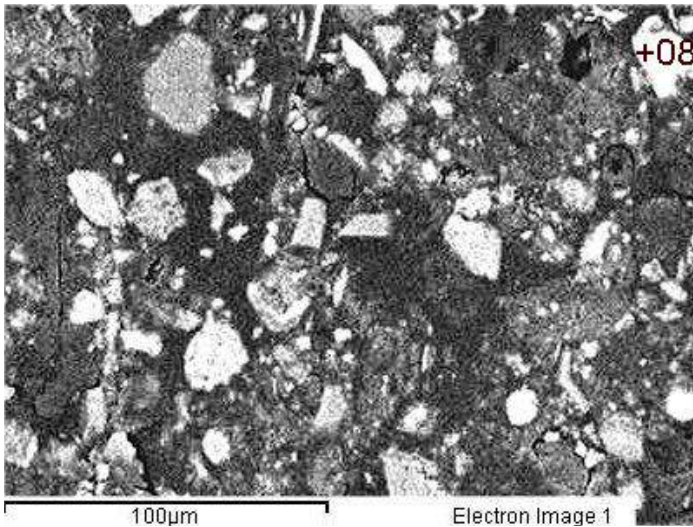


100µm

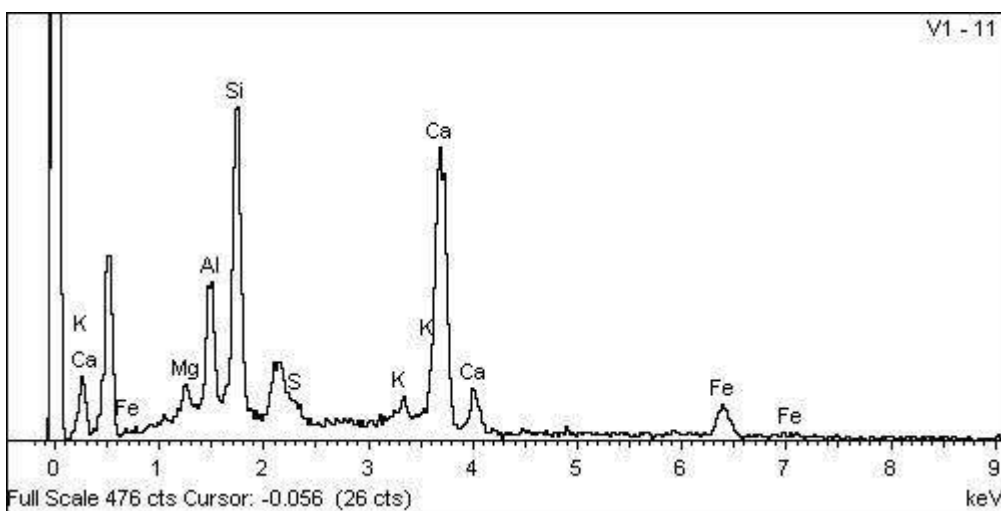
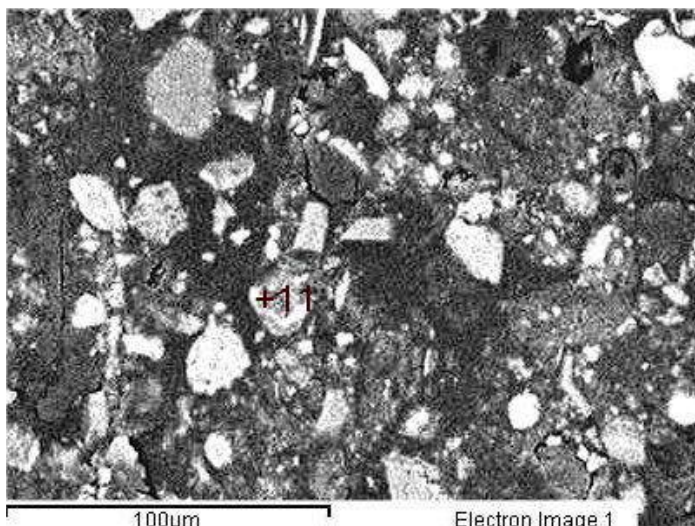
Electron Image 1



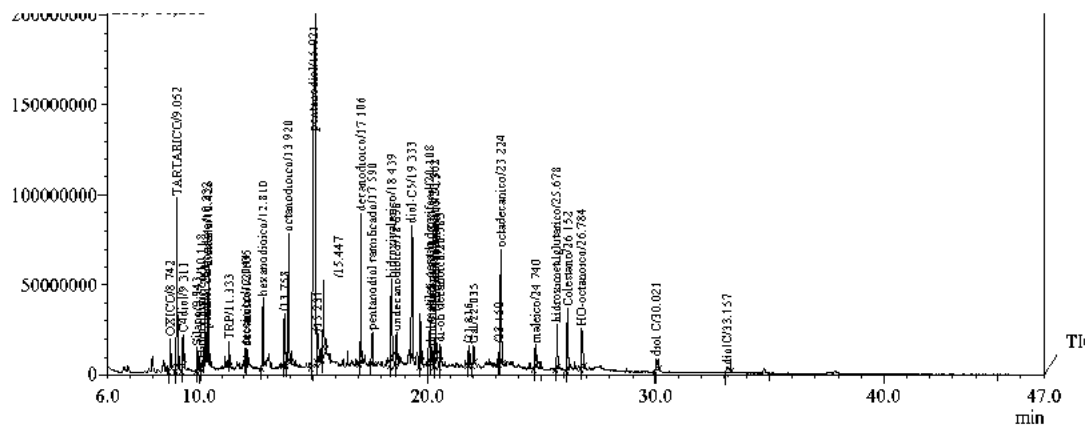
Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Si K	33.08	1.0557	22.44	0.95	46.33
P K	5.93	1.2023	3.53	1.25	6.61
Zr L	77.20	0.7467	74.03	1.38	47.06
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
Al K	28.93	0.8015	28.30	0.67	36.80
Si K	2.05	0.6539	2.46	0.42	3.07
Ca K	83.72	0.9761	67.22	0.80	58.86
Fe K	2.10	0.8117	2.02	0.55	1.27
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Mg K	1.67	0.6683	3.05	0.64	4.29
Al K	7.18	0.7695	11.41	0.72	14.44
Si K	17.77	0.7646	28.42	0.96	34.56
S K	1.66	0.6570	3.08	0.75	3.29
K K	1.86	0.9773	2.33	0.56	2.03
Ca K	30.53	0.9188	40.62	1.09	34.62
Fe K	7.51	0.8279	11.09	0.97	6.78
Totals			100.00		



GCMS Peak Report TIC

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Height	A/H	Mark	Name	Area%	Height%
1	8.742	8.683	8.825	66354524	17998460	3.68		OXICO	1.62	1.59
2	9.052	8.967	9.117	320085293	95055904	3.36		TARTARICO	7.80	8.40
3	9.311	9.258	9.375	55697652	18997648	2.93		C4diol	1.36	1.68
4	9.943	9.892	10.000	34592617	12316476	2.80		Silano	0.84	1.09
5	10.118	10.075	10.183	9972719	3599446	2.77	MI	Hidroxibutirico	0.24	0.32
6	10.261	10.200	10.300	86660026	29004598	2.98	MI		2.11	2.56
7	10.333	10.308	10.358	19947427	12109605	1.64		pentitol carboxilato	0.49	1.07
8	10.426	10.367	10.500	163606920	49209717	3.32		dioxano	3.99	4.35
9	11.333	11.292	11.392	23097407	11608739	1.98		TRP	0.56	1.03
10	12.044	12.017	12.067	10566569	6085632	1.73	MI	succinico	0.26	0.54
11	12.105	12.075	12.133	16013256	7645564	2.09	MI	decanoico	0.39	0.68
12	12.810	12.750	12.850	81872685	37381302	2.19		hexanodioico	2.00	3.30
13	13.758	13.700	13.825	72221167	28040703	2.57			1.76	2.48
14	13.920	13.825	14.042	227501033	72236939	3.14	V	octanodioico	5.55	6.38
15	15.021	14.925	15.175	1158446874	128739696	8.99	E	pentanodiol	28.24	11.37
16	15.231	15.175	15.317	69557737	15845349	4.38	V		1.70	1.40
17	15.447	15.392	15.567	151170263	42924072	3.52			3.69	3.79
18	17.106	17.025	17.158	253656185	83432151	3.04		decanodioico	6.18	7.37
19	17.590	17.542	17.650	44145721	17751930	2.48		pentanodiol ramificado	1.08	1.57
20	18.439	18.383	18.483	106413743	45172978	2.35		hidroxivalerico	2.59	3.99
21	18.656	18.608	18.717	39528219	17879455	2.21		undecanodioico	0.96	1.58
22	19.333	19.267	19.383	182123125	72457065	2.51		diol-C5	4.44	6.40
23	19.713	19.658	19.775	68963032	27619507	2.49		Fenilisotiocianato	1.68	2.44
24	20.108	20.025	20.150	72402008	21352389	3.39		metilen-para-hidroxifenil	1.77	1.89
25	20.183	20.150	20.217	18710535	8516069	2.19	V	dodecanodioico	0.46	0.75
26	20.362	20.300	20.408	114229168	41621845	2.74		hexadecanoico	2.78	3.68
27	20.583	20.542	20.625	23185539	10961605	2.11		di-oh decanoico	0.57	0.97
28	21.816	21.775	21.867	22592717	10216747	2.21			0.55	0.90
29	22.035	21.992	22.075	22475785	9790840	2.29		Gal	0.55	0.86
30	23.150	23.108	23.175	24945662	9812977	2.54			0.61	0.87
31	23.224	23.175	23.300	178395538	63470917	2.81	V	octadecanico	4.35	5.61
32	24.740	24.675	24.800	43800535	12753174	3.43		maleico	1.07	1.13
33	25.678	25.617	25.758	84084743	24926676	3.37		hidroximetilglutarico	2.05	2.20
34	26.152	26.092	26.208	90250294	33832860	2.66		Coolestano	2.20	2.99
35	26.784	26.725	26.875	79000175	21691455	3.64		HO-octanoico	1.93	1.92
36	30.021	29.967	30.150	41764040	6938028	6.01	MI	diol C	1.02	0.61



## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DEL POLVO V1

Polvo abundante (ca 0'2 g) de color gris. La observación microscópica indica e primer lugar que se trata de un material compuesto por

- fibras textiles y fragmentos de cabellos, algunas de ellas coloreadas de longitudes no superiores a 2 mm y diámetros de entorno a los 10-20 micrometros.
- partículas coloreadas (pigmentos) de menos de 5 micrometros
- partículas blanquecinas – grises – pardas, normalmente agregados minerales cálcicos o silíceos de tamaños inferiores a 10 micrometros
- partículas negras (carbonilla – agregados cerámicos carbonosos) de tamaños inferiores a 20 micrometros

A simple vista predomina la fase mineral, en particular, los agregados policristalinos de naturaleza cálcica y silícea.

## RESULTADOS ANALÍTICOS DE LA FRACCIÓN MINERAL

La caracterización de la fracción mineral indica la presencia de los siguientes componentes:

Muestra	Mayoritarios	Minoritarios
V1	calcita cuarzo	silicatos de calcio aluminatos de calcio arcillas óxido de hierro tierras* fragmentos metálicos (Fe) zirconita cloruros fosfato de calcio yeso sulfato de bario rojo óxido de hierro

\*Agregados microcristalinos de minerales arcillosos, cuarzo, calcita y óxidos de hierro

## RESULTADOS ANALÍTICOS DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA

La concentración global de sustancias pequeñas sustancias orgánicas en el polvo es elevada pudiendo cifrarse, de manera aproximada entre el 1 y el 5 % en peso.

Hay que tener en cuenta que la mayoría de la fracción orgánica son

- fibras textiles (algunas de ellas sintéticas),
- fragmentos de pelos, posiblemente de plumas y
- carbonilla.

El análisis IR no obstante, indica que la fracción orgánica global correspondiente a las pequeñas moléculas es baja, compuesta esencialmente por proteínas y grasas, hidrocarburos pesados, compuestos poliméricos sintéticos y compuestos fenólicos.



La caracterización de un extracto amoniacal del polvo indica la presencia de los siguientes componentes:

Muestra	Mayoritarios	Minoritarios
V1	ácidos grasos hidrocarburos metabolitos (hidroxiácidos)	aminoácidos compuestos fenolicos

#### PELIGROSIDAD DEL POLVO V1 PARA EL SER HUMANO

Dado que el componente principal del polvo son silicatos y aluminosilicatos, el mayor peligro potencial en caso de inhalación de altas concentraciones de este polvo durante largos periodos es la inflamación de las mucosas por acumulación de estos minerales, que termina en silicosis en casos de grupos profesionales bien conocidos. No hay componentes orgánicos en el polvo que sean especialmente peligrosos, ya que los únicos potencialmente peligrosos están en concentraciones bajas, como son los compuestos fenólicos. También los fosfatos, cuyo origen podría ser la presencia de detritos de excrementos de aves en el polvo, están presentes, si bien en baja proporción.

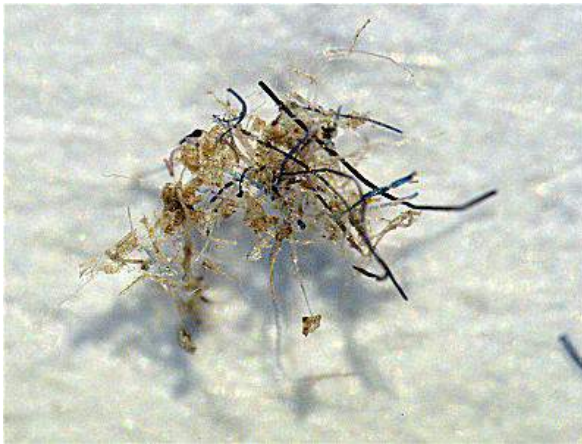
#### PELIGROSIDAD PARA LAS OBRAS DE ARTE

La composición esencialmente mineral, silíceo y cálcico del polvo indica que no es especialmente reactivo para con los materiales que forman parte de barnices y superficies protectoras de las obras de arte, si bien su presencia en concentraciones elevadas en el ambiente del museo contribuye al enmugrecimiento prematuro de dichas superficies, especialmente las protegidas con barnices blandos como los de almáciga o determinados barnices acrílicos.

Cuestión aparte es la capacidad de retener humedad y de favorecer el desarrollo de biodeterioro, producido por bacterias y hongos. La presencia de pequeñas proporciones de cloruros y sulfatos que son sales higroscópicas en su mayoría favorece la retención de humedad en las superficies cubiertas por el polvo, lo que a su vez favorecerá procesos de corrosión de metales, afectará a la transparencia de los barnices y favorecerá el biodeterioro. En este supuesto, la presencia de pequeñas cantidades de materia orgánica en el hollín, fibras, pelos, etc... proporcionan el caldo de cultivo de microorganismos y pequeños insectos, como son los ácaros.



715 Polvo. Cuadro Jean Rana. Primera planta del museo



Muestra 715, 20 X, microscopio estereoscópico



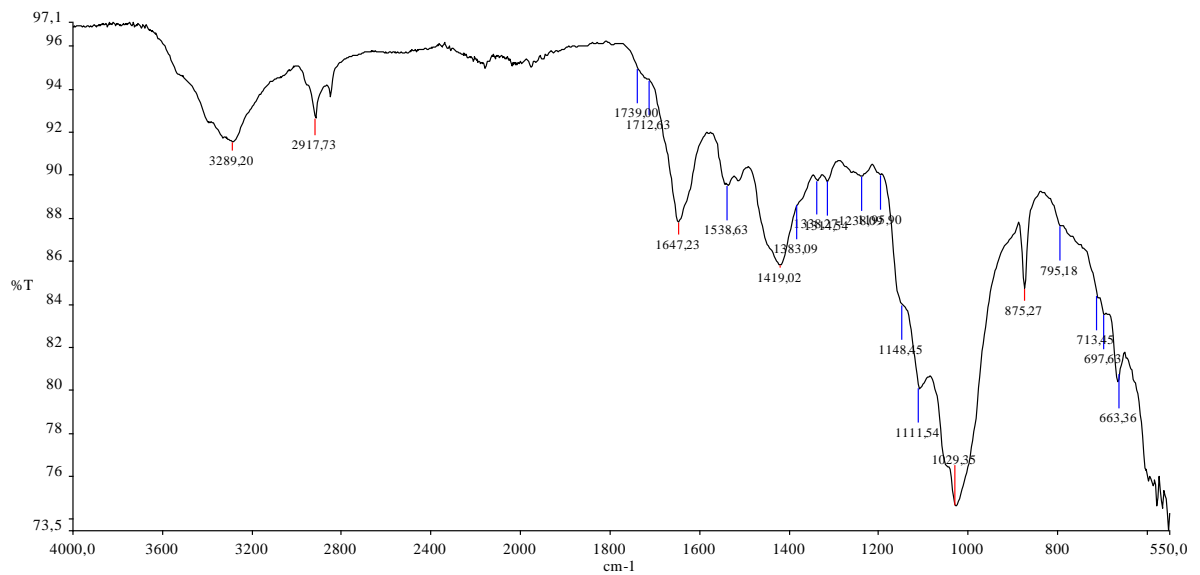
Muestra 715, 40 X



Muestra 715, detalle (pelo animal), 40 X



Corte transversal, muestra 715, 150 X



Espectro IR de la muestra 715





**LARCO QUÍMICA Y ARTES, S.L.**

Tlf 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la Cañada. Madrid. *email*  
[larcoquimica@larcoquimicayarte.es](mailto:larcoquimica@larcoquimicayarte.es), [larcoquimica@hotmail.com](mailto:larcoquimica@hotmail.com)

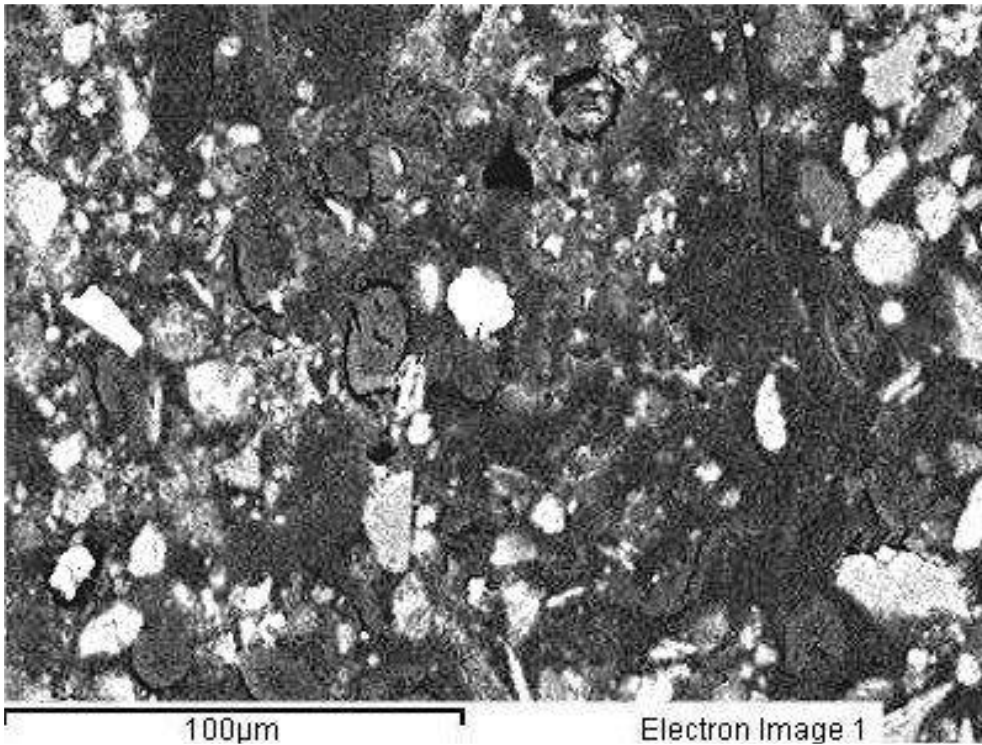
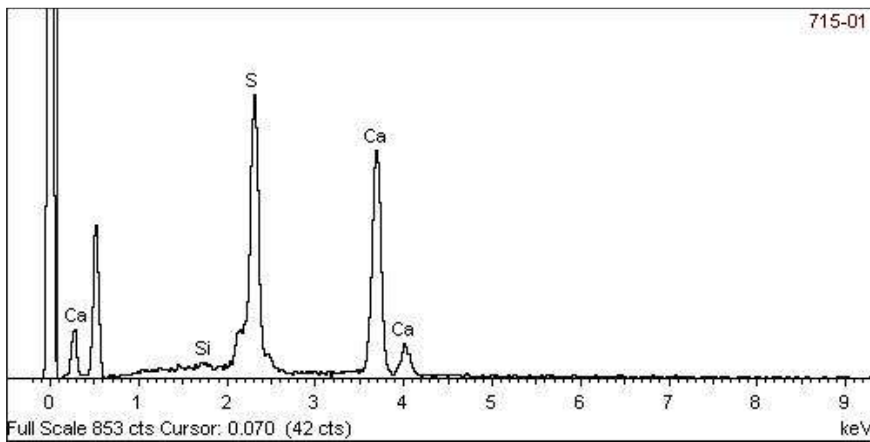
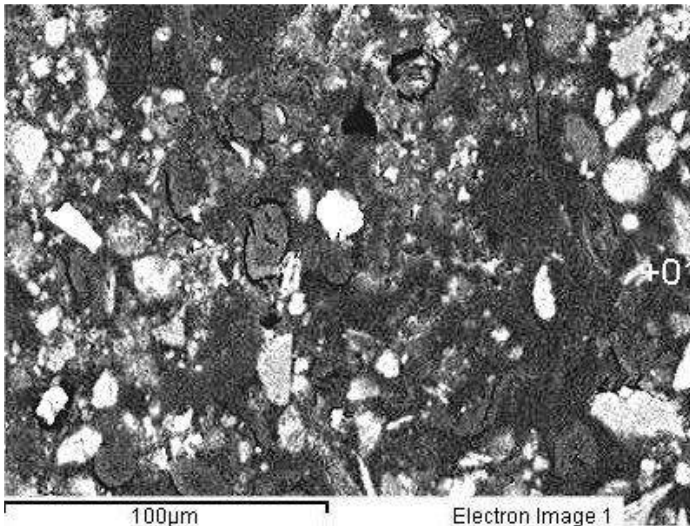
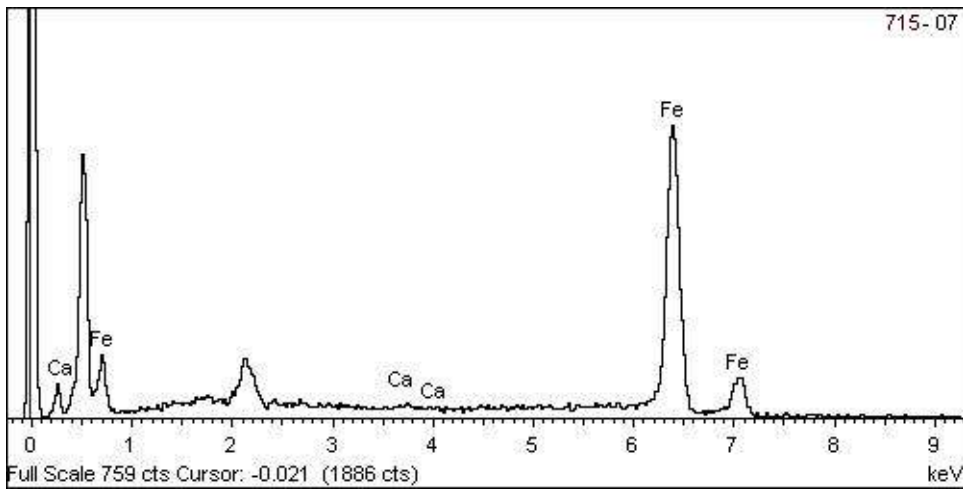
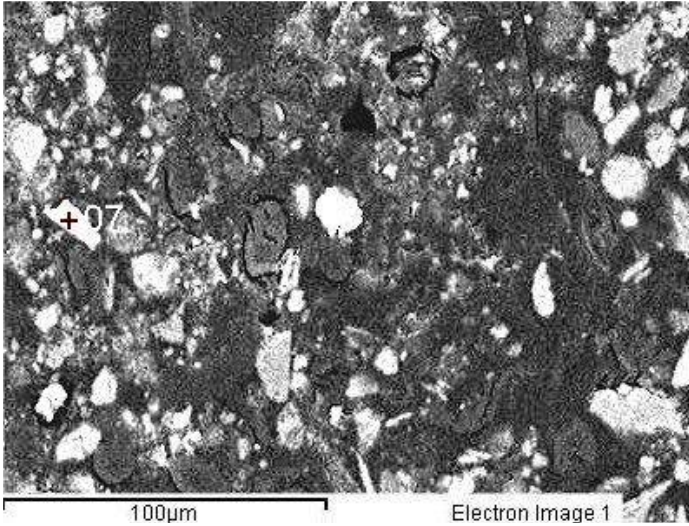


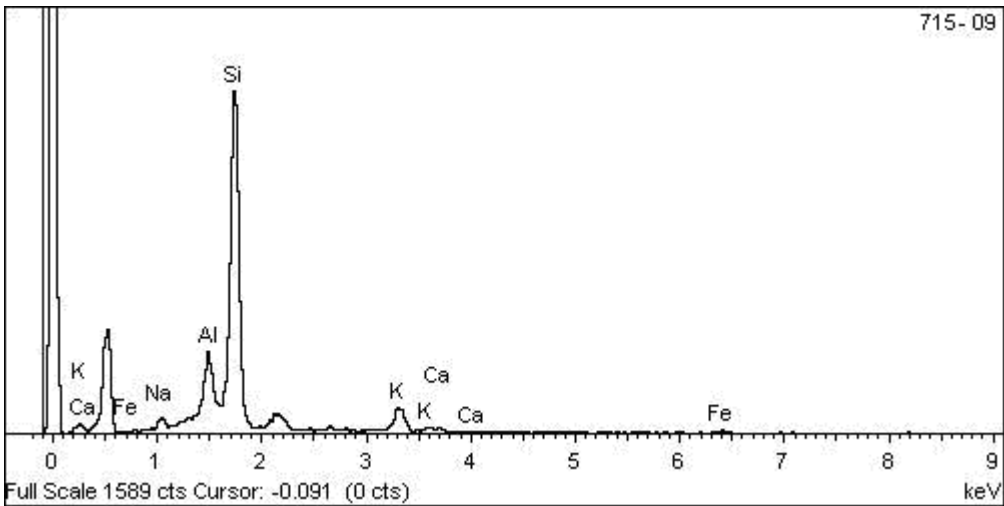
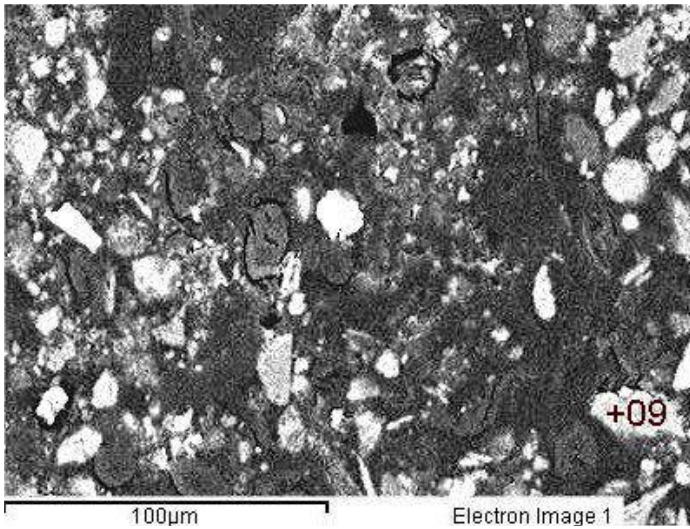
Imagen MEB de la muestra 715. Las partículas ovaladas son fibras textiles. El resto son partículas minerales.



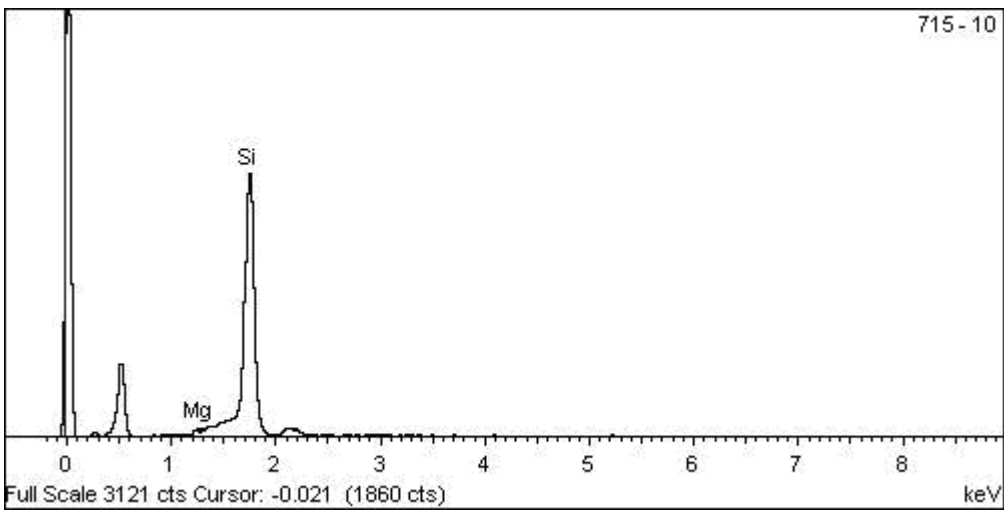
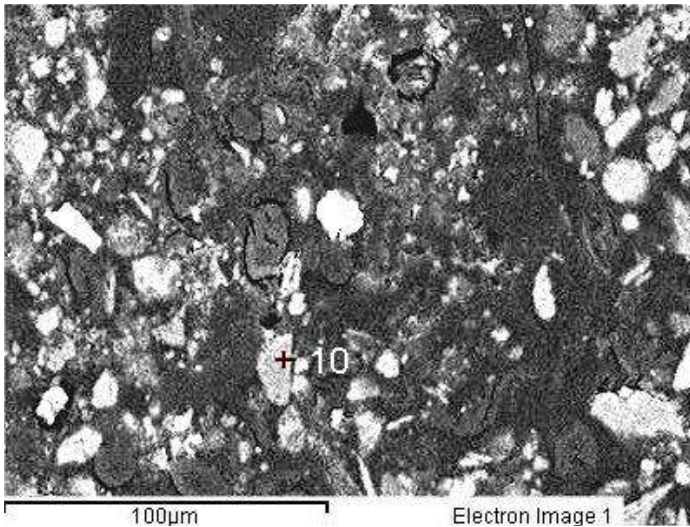
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Cornn.		Sigma	
Si K	0.24	0.9388	0.66	0.30	0.84
S K	15.25	0.9095	43.63	0.83	49.05
Ca K	19.01	0.8877	55.71	0.83	50.11
Totals			100.00		



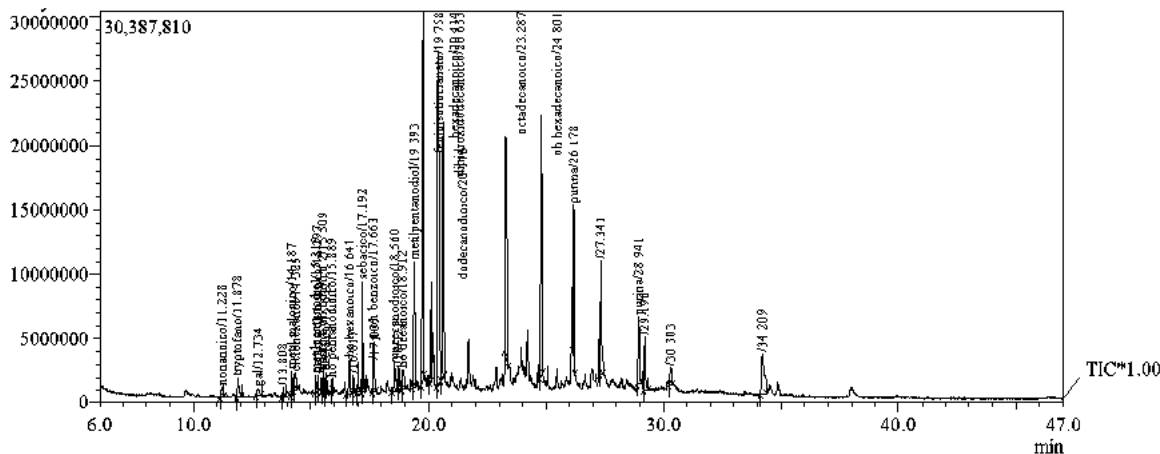
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
Ca K	0.71	1.0824	0.53	0.29	0.74
Fe K	120.78	0.9797	99.47	0.29	99.26
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Na K	3.28	1.0679	3.16	0.48	4.00
Al K	10.23	1.0208	10.33	0.61	11.15
Si K	64.07	0.9121	72.43	1.00	75.05
K K	7.91	0.8310	9.81	0.63	7.30
Ca K	1.03	0.8041	1.32	0.43	0.96
Fe K	2.37	0.8296	2.94	0.58	1.53
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Mg K	0.61	1.0989	0.63	0.38	0.73
Si K	97.98	1.1319	99.37	0.38	99.27
Totals			100.00		



GCMS Peak Report TIC

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Height	A/H	Mark	Name	Area%	Height%
1	11.228	11.167	11.300	3054061	750166	4.07	MI	nonanoico	0.44	0.37
2	11.878	11.825	12.058	8312740	1483861	5.60	MI	tryptofano	1.20	0.74
3	12.734	12.675	12.883	4029678	582623	6.91	MI	gal	0.58	0.29
4	13.808	13.758	13.917	1732537	678101	2.55	MI		0.25	0.34
5	14.187	14.150	14.242	5122061	1987982	2.57	MI	metil malonico	0.74	0.99
6	14.325	14.275	14.433	7990235	1327160	6.02	MI	ciclohexanol	1.16	0.66
7	15.219	15.183	15.275	3680661	1394960	2.63	MI	metilpentanodiol	0.53	0.69
8	15.297	15.275	15.400	3191320	1216327	2.62	MI	gamma oh butirico	0.46	0.60
9	15.509	15.467	15.583	3442113	1476687	2.33	MI	gamma oh butirico 2	0.50	0.73
10	15.632	15.600	15.717	4411861	1718239	2.56	MI	azelaico	0.64	0.85
11	15.889	15.858	15.925	1809802	900022	2.01	MI	ho pentanodioico	0.26	0.45
12	16.641	16.525	16.758	8461223	2726598	3.10	MI	ho hexanoico	1.22	1.35
13	16.817	16.775	16.867	4051209	1445430	2.80	MI		0.59	0.72
14	17.005	16.958	17.108	7652481	2356787	3.24	MI		1.11	1.17
15	17.192	17.150	17.292	21317783	8651101	2.46	MI	sebacico	3.08	4.29
16	17.663	17.608	17.750	11841061	3821684	3.09	MI	p-oh benzotico	1.71	1.89
17	18.560	18.458	18.642	9659252	2263437	4.26	MI	unecanodioico	1.40	1.12
18	18.721	18.692	18.767	3913848	1608342	2.43	MI		0.57	0.80
19	18.912	18.858	19.017	7390956	1527435	4.83	MI	ho decanoico	1.07	0.76
20	19.393	19.317	19.458	26312047	9790681	2.68	MI	metilpentanodiol	3.81	4.85
21	19.758	19.700	19.817	74665141	28629684	2.60		fenoisotiocianato	10.80	14.20
22	20.116	20.058	20.125	19054740	7811632	2.43	MI	dodecanodioico	2.76	3.87
23	20.414	20.350	20.533	120504553	25894945	4.65		hexadecanoico	17.43	12.84
24	20.633	20.533	20.700	57840633	19856219	2.91	V	dihidroxidodecanoico	8.36	9.84
25	23.287	23.225	23.383	75605666	17229905	4.38		octadecanoico	10.93	8.54
26	24.801	24.742	24.867	59763469	20276918	2.94		oh hexadecanoico	8.64	10.05
27	26.178	26.142	26.242	27416359	11550024	2.37		purina	3.96	5.73
28	27.341	27.300	27.458	34770150	8822985	3.94	MI		5.03	4.37
29	28.941	28.858	29.067	23031477	5234945	4.39	MI	purina	3.33	2.60
30	29.190	29.158	29.367	15217875	4112345	3.70	MI		2.20	2.04
31	30.303	30.225	30.383	7767055	1342310	5.78	MI		1.12	0.67
32	34.209	34.133	34.417	28447117	3236206	8.79	MI		4.11	1.60
				691461164	201685741				100.00	100.00



## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DEL POLVO 715

Polvo escaso (ca 0'1 mg) de color gris. La observación microscópica indica e primer lugar que se trata de un material compuesto por

- fibras textiles y fragmentos de pelos de mamífero, algunas de ellas coloreadas de longitudes no superiores a 2 mm y diámetros de entorno a los 10-20 micrometros.
- partículas coloreadas (pigmentos) de menos de 5 micrometros
- partículas blanquecinas – grises – pardas, normalmente agregados minerales cálcicos o silíceos de tamaños inferiores a 10 micrometros
- partículas negras (carbonilla – agregados cerámicos carbonosos) de tamaños inferiores a 20 micrometros
- Agregados amorfos de color marronáceo, compuestos de materia orgánica principalmente

A simple vista predominan las fibras textiles y los pelo animal.

## RESULTADOS ANALÍTICOS DE LA FRACCIÓN MINERAL

La caracterización de la fracción mineral indica la presencia de los siguientes componentes:

Muestra	Mayoritarios	Minoritarios
V1	calcita cuarzo silicatos de calcio aluminatos de calcio arcillas	óxido de hierro tierras* fragmentos metálicos (Fe) cloruros yeso rojo óxido de hierro

\*Agregados microcristalinos de minerales arcillosos, cuarzo, calcita y óxidos de hierro

## RESULTADOS ANALÍTICOS DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA

La concentración global de sustancias pequeñas sustancias orgánicas en el polvo es elevada pudiendo cifrarse, de manera aproximada entre el 1 y el 5 % en peso.

Hay que tener en cuenta que la mayoría de la fracción orgánica, como en el caso de la muestra V1, son

- fibras textiles (algunas de ellas sintéticas),
- fragmentos de pelos, posiblemente de plumas y
- carbonilla.

El análisis IR indica que la fracción orgánica global correspondiente a las pequeñas moléculas es elevada, compuesta esencialmente por proteínas y grasas, hidrocarburos pesados, compuestos poliméricos sintéticos y compuestos fenólicos.

La caracterización de un extracto amoniacal del polvo 715 indica la presencia de los siguientes componentes:

Muestra	Mayoritarios	Minoritarios
---------	--------------	--------------



715	ácidos grasos oxidados hidrocarburos metabolitos (hidroxiácidos)	aminoácidos compuestos fenolicos purinas
-----	--	--

#### PELIGROSIDAD DEL POLVO V1 PARA EL SER HUMANO

Dado que el componente principal de este polvo no son silicatos y aluminosilicatos, no hay mayor peligro de inflamación de la mucosa pulmonar. No es recomendable desde luego, respirar un aire con fibras textiles en suspensión, entre otras cosas por la posibilidad de que vayan acompañadas por ácaros y porque pueden producir reacciones alérgicas en personas con especial sensibilidad.

#### PELIGROSIDAD PARA LAS OBRAS DE ARTE

La composición esencialmente orgánica, polimérica, el mayor peligro es el de favorecer el desarrollo de biodeterioro, producido por bacterias y hongos. En este supuesto, la presencia de pequeñas cantidades de materia orgánica en el hollín, fibras, pelos, etc... proporcionan el caldo de cultivo de microorganismos y pequeños insectos, como son los ácaros.





**LARCO QUÍMICA Y ARTE S.L.**

Tlf 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la Cañada. Madrid. *email*  
[larcoquimica@larcoquimicayarte.es](mailto:larcoquimica@larcoquimicayarte.es), [larcoquimica@hotmail.com](mailto:larcoquimica@hotmail.com)

## **ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS DOS MUESTRAS DE POLVO**

ANÁLISIS REALIZADO EN LA EMPRESA SGS-TEKNOS (MADRID) Y ESTÁ  
CENTRADO EN MICROORGANISMOS POTENCIALMENTE PELIGROSOS PARA LA  
SALUD HUMANA  
14 de agosto de 2019

**1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS**CLIENTE: LARCO QUÍMICA Y ARTE  
FECHA DE RECEPCIÓN: 23/07/2019

ID SGS	REF. CLIENTE	PROCEDENCIA	TIPO	IMAGEN DE LA MUESTRA
001	RAB 715	desconocida (muestra tomada por el cliente)	muestra en polvo (contenida en tubo "ependorf")	
002	RAB V-I	desconocida (muestra tomada por el cliente)	muestra en polvo (contenida en tubo "ependorf")	

**2 RESULTADOS DEL ENSAYO**

ID SGS	BACTERIAS (Ufc <sup>1</sup> aisladas)					HONGOS (Ufc aisladas)								
	Staphilococcus spp.	Micrococcus spp.	Bacillaceas		Total	CLASES		FAMILIA						Total
			Gram(+)	Gram(-)		Zygomycotas <sup>2</sup>	Ascomycotas <sup>3</sup>	Aspergillus spp	Mucor spp	Rhizopus spp	Scedosporium spp	Penicilium spp.		
001 <sup>4</sup>	0	2	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
002	4	35	2	0	41	1	5	2 <sup>5</sup>	0	1	0	0	0	6

<sup>1</sup> Ufc: unidades formadoras de colonias<sup>2</sup> Zygomycotas: incluye la clase Zygomycetes y los órdenes Mucorales, Mortieriales y Entomophthorales<sup>3</sup> Ascomycotas: incluye la clase Euascomycetes y los órdenes Euloniales, Microascales, Dematiaceos, Hypocreales y Sacaromycetas<sup>4</sup> La muestra 001 presentaba muy poca cantidad de polvo (ver tabla 1) por lo que no se puede garantizar que la "no identificación" de ciertos microorganismos implique necesariamente su ausencia en el medio original<sup>5</sup> Se han identificado dos tipos de Aspergillus: Aspergillus niger (1 ufc) y Aspergillus ochraceus (1 ufc)

FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO: 23/07/2019 a 21/07/2019

MÉTODO DE ENSAYO: PE-T-043-LAB/CAIN-05  
INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO: MA19-12813**NOTAS**Resultado 0: Muestra sin crecimiento de ufc.  
INC: (Incontables). No es posible realizar el recuento de ufc por placa.  
CON: (Confluentes). Crecimiento confluyente. Nº indeterminado de ufc.  
EXT: (Extendidas). Colonias extendidas que impiden el recuento. Nº indeterminado de ufc.SUPERVISADO POR:  
  
02523406F  
MIGUEL ANGEL  
GUTIERREZ  
(C:A28345577)  
2019.08.08  
13:07:03 +02'00'  
Fdo.: Miguel A. Gutiérrez  
Coordinador técnico ENDLos resultados se refieren únicamente a la o las muestras presentadas a ensayo.  
Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.  
Este informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito de la Dirección del Laboratorio que lo emite.  
El laboratorio dispone de las incertidumbres estimada para cada uno de los ensayos acreditados, las cuales se encuentran a disposición del cliente. (0000279082).  
Todos los datos se la toma de muestra y su identificación han sido facilitados por la entidad solicitante.  
Las interpretaciones y los datos expresados en los comentarios no están incluidos en el alcance de la acreditación.  
Todos aquellos métodos que el laboratorio realiza siguiendo una norma concreta, están referidos a la última revisión de la misma excepto que se indique el año en el método de ensayo.Este informe solamente afecta a los componentes y partes sometidas a ensayo, identificados en los registros adjuntos. Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, a las que se puede acceder en [http://www.sgs.com/terms\\_and\\_conditions.htm](http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm). La responsabilidad de SGS queda limitada en los términos establecidos en las citadas condiciones Generales que resultan de aplicación a la prestación de sus servicios. Se advierte al poseedor de este documento que la información en él recogida refleja los resultados obtenidos por la Compañía en el momento de su intervención, habiendo sido llevada a cabo exclusivamente dentro de los límites establecidos tanto en el contrato como en las Condiciones Generales de Servicio. La compañía responde únicamente frente a su cliente, sin que pueda derivarse responsabilidad de ningún tipo de SGS frente a terceros ante los que se presenta el certificado o reporte derivado de su intervención. El presente documento no podrá ser alterado ni modificado, ni en su contenido ni en su apariencia. En caso de modificación del mismo, SGS se reserva las acciones legales que estime oportunas para la defensa de sus legítimos intereses.  
The scope of this report is limited to the extent of the tested components and parts, identified in the attached records. This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at [http://www.sgs.com/terms\\_and\\_conditions.aspx](http://www.sgs.com/terms_and_conditions.aspx). Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein.  
Any holder of this document is advised that information contained herein reflects the Company's findings at the time of its information only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not associate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.



**LARCO QUÍMICA Y ARTES S.L.**

Tlf 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la Cañada. Madrid. *email*  
[larcoquimica@larcoquimicayarte.es](mailto:larcoquimica@larcoquimicayarte.es), [larcoquimica@hotmail.com](mailto:larcoquimica@hotmail.com)

## COMENTARIOS AL ANÁLISIS BIOLÓGICO

Podemos observar que el polvo V1 es mucho más rico en microorganismos una vez cultivado en las condiciones adecuadas. Destacar por su peligrosidad entre las bacterias los Estafilococos y los Bacilos; y entre los hongos, los *Aspergillus*.

El desarrollo de colonias por parte del polvo 715 es casi nula. Hay que tener en cuenta que la masa inicial de polvo era muy inferior al V1, lo que limita de entrada la capacidad cuantitativa de desarrollo microbiano.

14 de agosto de 2019

Fdo. Enrique Parra Crego  
Dr. en CC. Químicas

Nº de inventario V 1

Nº de informe 241

Fecha 2005

Título Hércules Farnese

Colección Velázquez

Materiales Vaciado yeso

**Anexo 5**

**Análisis químicos**

**Enrique Parra Crego**



**LARCO QUÍMICA Y ARTE S.L.**

Tlf y Fax 91 8162636 // Móvil 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la Cañada. Madrid. *email* larcoquimica@hotmail.com

**ANÁLISIS QUÍMICO DEL VACIADO “HERCULES FARNESE”. VACIADOS ANTIGUOS. REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES DE S. FERNANDO**

## ANÁLISIS QUÍMICO DEL VACIADO “HERCULES FARNESE”. VACIADOS ANTIGUOS. REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES DE S. FERNANDO

### 1.- Introducción

Durante la restauración de esta obra se han tomado varias micromuestras para analizarlas químicamente. Este proceso se realiza como apoyo a las tareas de conservación, intentando conocer los materiales presentes, así como su disposición en capas, tanto los originales como los pertenecientes a los recubrimientos o a los repintes posteriores.

Se pretende, por lo tanto:

- Conocer la composición de la capa de preparación, en lo que se refiere a la base inorgánica y al aglutinante orgánico
- Determinar los pigmentos y aglutinantes de las capas de color originales y de los repintes
- Analizar las capas de recubrimiento presentes.

### 2.- Técnicas de análisis y muestras extraídas

Para este estudio se han empleado las técnicas habituales de análisis de pintura artística. Estas se enumeran a continuación:

- Microscopía óptica por reflexión y por transmisión, con luz polarizada. Esta es una técnica básica que permite el estudio de la superposición de capas pictóricas, así como el análisis preliminar de pigmentos, aglutinantes y barnices, empleando ensayos microquímicos y de coloración selectiva de capas de temple y óleo. Las microfotografías obtenidas se realizaron con luz reflejada a 300 X y con nícoles cruzados, a no ser que se especifiquen otras condiciones.
- Espectroscopía IR por transformada de Fourier. Este estudio se emplea principalmente en el análisis de las preparaciones y los componentes de recubrimientos o barnices. Los análisis, en el caso de realizarse, se llevan a cabo entre  $4400\text{ cm}^{-1}$  y  $370\text{ cm}^{-1}$ , en pastillas de KBr o mediante análisis superficial usando la técnica UATR (Universal Attenuated Total Reflectance)
- Microscopía electrónica de barrido/análisis elemental por energía dispersiva de rayos X (MEB/EDX). Se emplea para el análisis elemental de granos de pigmentos, con el fin de determinar de forma inequívoca la naturaleza de los mismos.
- Cromatografía en fase gaseosa, para la determinación de sustancias lipófilas, como aceites secantes, resinas y ceras; y de sustancias hidrófilas, como las proteínas y las gomas – polisacárido (goma arábiga y productos afines). Para los análisis de sustancias lipófilas, las muestras se tratan con el reactivo de metilación Meth-prep II. Para los hidratos de carbono y las proteínas se lleva a cabo una hidrólisis con HCl 6M y una derivatización con MTBSTFA en piridina de los ácidos grasos, aminoácidos y monosacáridos resultantes.

Las muestras extraídas se enumeran a continuación:

Muestra N°	Localización
HF-2	Torso, pectoral izquierdo
HF-3	Cintura (reintegración de yeso)
HF-4	Rostro, pómulo
HF-5	Pierna derecha
HF-8	Cabello

### 3.- Resultados

#### ESCAYOLA

La escayola de estas muestras es bastante similar de unas a otras, excluyendo el de la muestra n° 3. Contiene esencialmente sulfato de calcio en forma de yeso. También aparece sulfato de calcio anhidro (anhidrita) a nivel de trazas lo mismo que la calcita y las arcillas.

La muestra n° 9, con yeso de reintegración contiene un yeso más impuro, con mayor proporción de arcillas, anhidrita y óxidos de hierro. Aquí no se detecta zinc en el análisis de la preparación. Aún así, es un yeso similar en textura y en el resto de la composición al de la muestra n° 9 de la Flora de Farnese.

La materia orgánica está representada por la presencia de cola animal y material óleo – resinoso, este último sobre todo en la superficie. Este material contiene aceite de linaza, cera de parafina y trazas de resina de conífera.

## CAPAS DE COLOR

### HF-2: Torso, pectoral izquierdo

Capa N°	Color	Espesor ( $\mu$ )	Pigmentos	Aglutinantes
1	blanco – marrón	600	yeso, anhidrita (tr.), calcita (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza, cola animal, resina de conífera
2	blanco	45	blanco de plomo (albayalde), tierras (tr.)	aceite de linaza
3	pardo claro	35	blanco de plomo, calcita, tierras, blanco de zinc (tr.), blanco de titanio (tr.)	aceite de linaza
4	blanco irregular	10	blanco de plomo, calcita, blanco de zinc (tr.)	aceite de linaza
5	gris	15-25	albayalde, negro carbón, blanco de zinc, calcita, tierras	aceite de linaza
6	blanco (dos capas)	90	blanco de plomo, sulfato de bario, calcita (tr.), cuarzo (tr.)	aceite de linaza
7	pardo translúcido	5-30	-	barniz óleo – resinoso
8	blanco	30	albayalde, calcita, sulfato de bario, cuarzo (tr.)	aceite de linaza
9	pardo - negro	5	negro de humo	barniz óleo – resinoso oxidado
10	blanco	50-100	blanco de titanio, calcita, blanco de zinc (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza, cera de abeja, cera de parafina

tr.: trazas

5

Esta muestra tiene casi las mismas capas de la muestra FL-2, si exceptuamos el estrato marrón. La primera capa con albayalde y calcita. Dos capas (la 3 y la 4) que conforman una única intervención con blanco de plomo y de zinc. Hay una traza de blanco de titanio en una de estas capas que indica que podrían ser ya del siglo XX (posteriores a 1920), o podría ser una contaminación natural de la calcita. Después viene la capa gris y después las dos capas con bario. Aquí aparece un barniz óleo – resinoso con negro de humo como en la FL-11 y finalmente, también como en la FL-11 la pintura con blanco de titanio – calcio.



Esta muestra tiene las mismas capas que la muestra HF-4, excepto la capa gris y la blanca inmediatamente superior (capas 5 y 6 de aquella muestra). Las finas capas translúcidas n° 2 y n° 5 pueden ser barnices o también capas de decantación del aglutinante de la pintura blanca.

HF-5: Pierna derecha

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Agglutinantes
1	blanco – marrón	800	yeso, anhidrita (tr.), calcita (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza, cola animal, resina de conífera
2	blanco	35	blanco de plomo (albayalde), calcita (tr.)	aceite de linaza
3	translúcido	5	-	barniz óleo – resinoso
4	blanco – pardo claro	30	blanco de plomo, calcita, tierras, blanco de zinc (tr.)	aceite de linaza
5	blanco	55	blanco de plomo, calcita, blanco de zinc, negro carbón (tr.)	aceite de linaza
6	pardo translúcido	5	-	barniz óleo – resinoso
7	blanco	190	albayalde, calcita, sulfato de bario, cuarzo (tr.)	aceite de linaza
8	pardo - negro	15	negro de humo	barniz óleo – resinoso oxidado
9	blanco	75-100	blanco de titanio, calcita, blanco de zinc (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza, cera de abeja, cera de parafina

tr.: trazas

Esta muestra tiene las mismas capas que la HL-4, pero con el yeso del soporte.

HF-8: Cabello

Capa N°	Color	Espesor ( $\mu$ )	Pigmentos	Aglutinantes
1	blanco – marrón	350	yeso, anhidrita (tr.), calcita (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza, cola animal, resina de conífera
2	blanco	15-40	blanco de plomo (albayaide), calcita (tr.)	aceite de linaza
3	translúcido	5-15	-	barniz óleo – resinoso
4	blanco – pardo claro	30	blanco de plomo, calcita, tierras, blanco de zinc (tr.)	aceite de linaza
5	blanco	55	blanco de plomo, calcita, blanco de zinc, negro carbón (tr.)	aceite de linaza
6	pardo translúcido	5	negro carbón de humo, tierras (tr.)	barniz óleo – resinoso
7	blanco	75	albayaide, calcita, sulfato de bario, cuarzo (tr.)	aceite de linaza
8	pardo - negro	15	negro de humo	barniz óleo – resinoso oxidado
9	blanco	30	blanco de titanio, calcita, blanco de zinc (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza, cera de abeja, cera de parafina

tr.: trazas

De nuevo aparecen las mismas capas que en muestras anteriores.

#### 4.- Conclusiones

##### ESCAYOLA

La escayola de estas muestras es bastante similar de unas a otras, excluyendo el de la muestra nº 3. Contiene esencialmente sulfato de calcio en forma de yeso. También aparece sulfato de calcio anhidro (anhidrita) a nivel de trazas lo mismo que la calcita y las arcillas.

La muestra nº 9, con yeso de reintegración contiene un yeso más impuro, con mayor proporción de arcillas, anhidrita y óxidos de hierro. Aquí no se detecta zinc en el análisis de la preparación. Aún así, es un yeso similar en textura y en el resto de la composición al de la muestra nº 9 de la Flora de Farnese.

La materia orgánica está representada por la presencia de cola animal y material óleo – resinoso, este último sobre todo en la superficie. Este material contiene aceite de linaza, cera de parafina y trazas de resina de conífera.

##### CAPAS DE COLOR

Tiene las mismas capas que se han encontrado en la Flora de Farnese corroborado por métodos cromatográficos y espectroscópicos.

Hay más similitudes que diferencias en la muestra de la reintegración (muestra HF-3) respecto a la misma de la Flora (muestra FL-9). No aparece zinc en la preparación pero son yesos de composición y textura semejantes. Las capas que hay sobre el yeso coinciden parte en cronología. Aquí aparecen una de las capas de blanco de zinc y de plomo, que sí coincide y luego la de bario y la de titanio que son posteriores a lo que había en Flora.

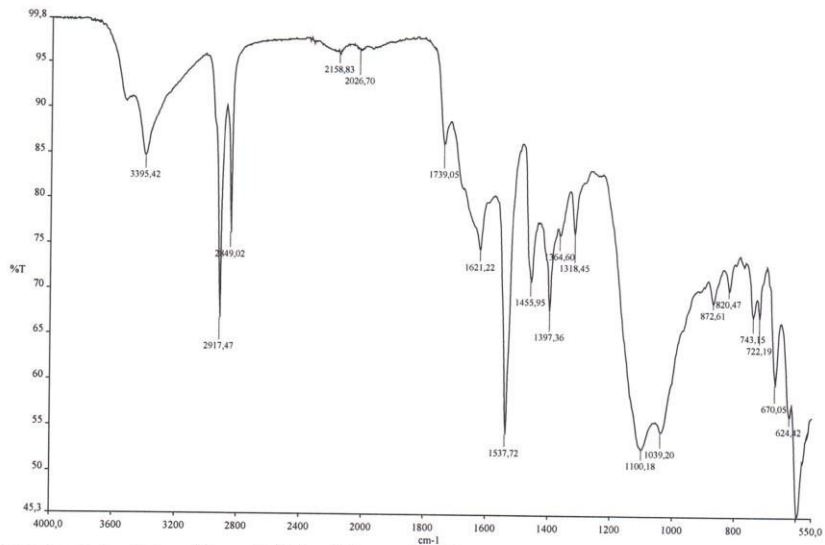
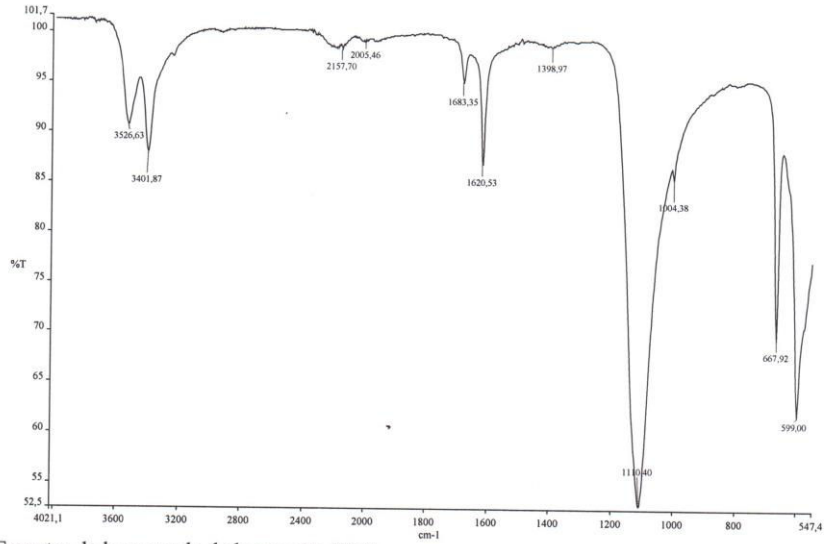
18 de marzo de 2007

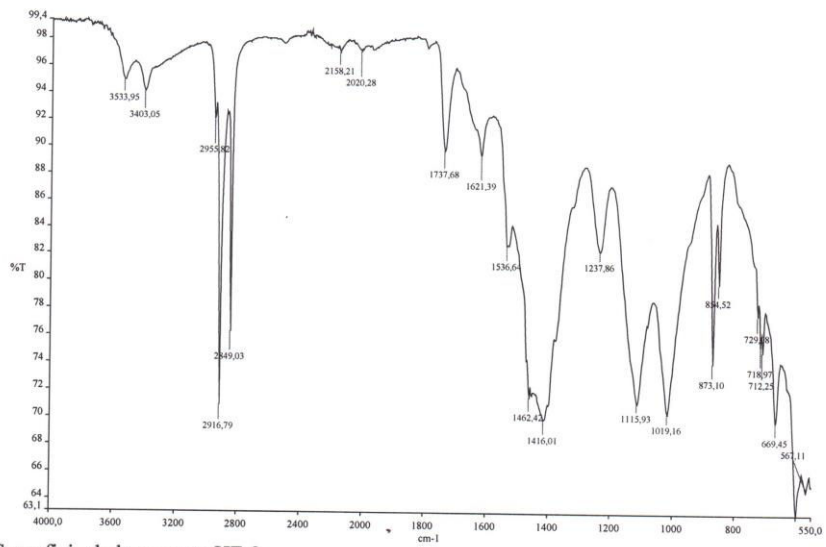


Fdo. Enrique Parra Crego  
Dr. en CC. Químicas

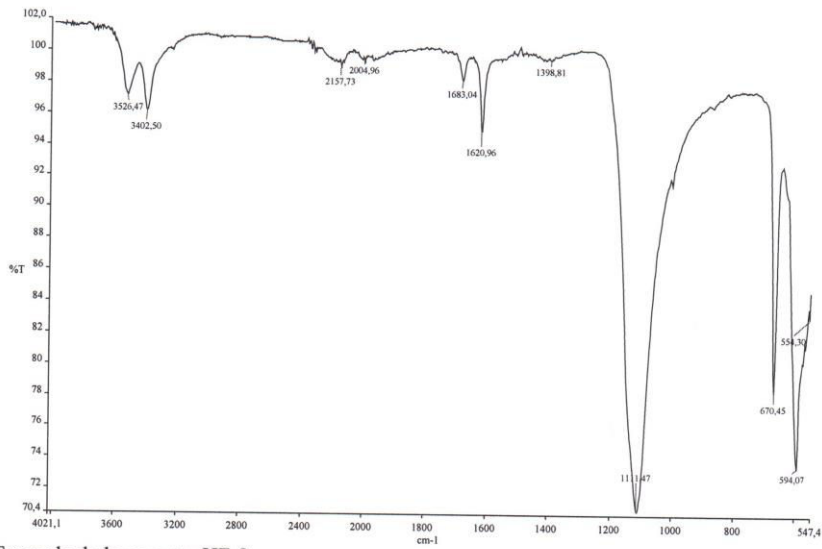
## ANEXO GRÁFICO

### ESPECTROSCOPIA DE IR

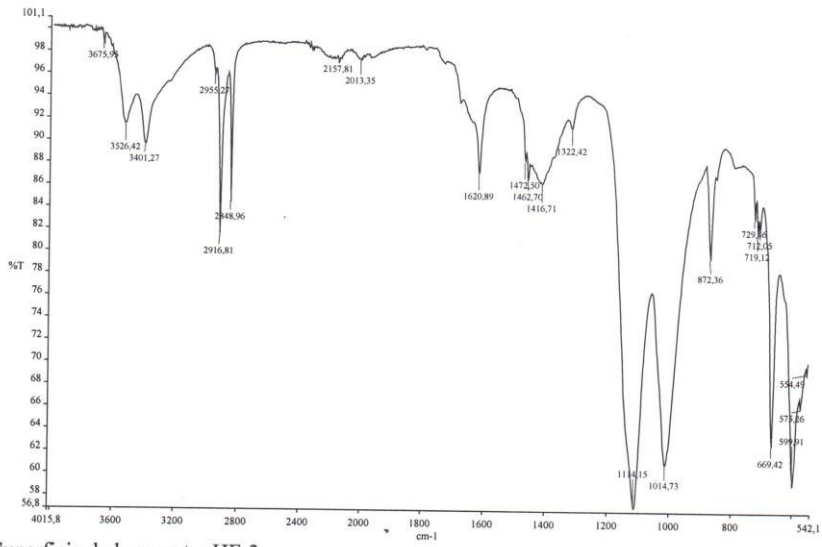




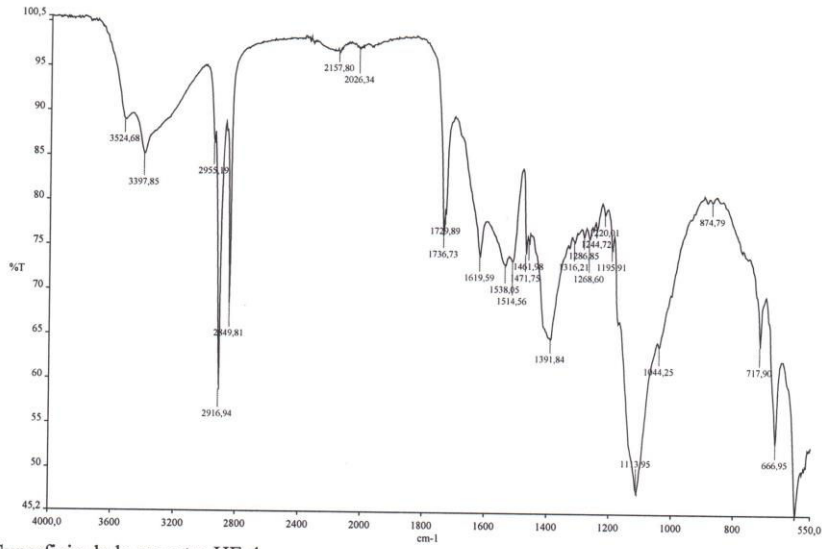
Superficie de la muestra HF-2



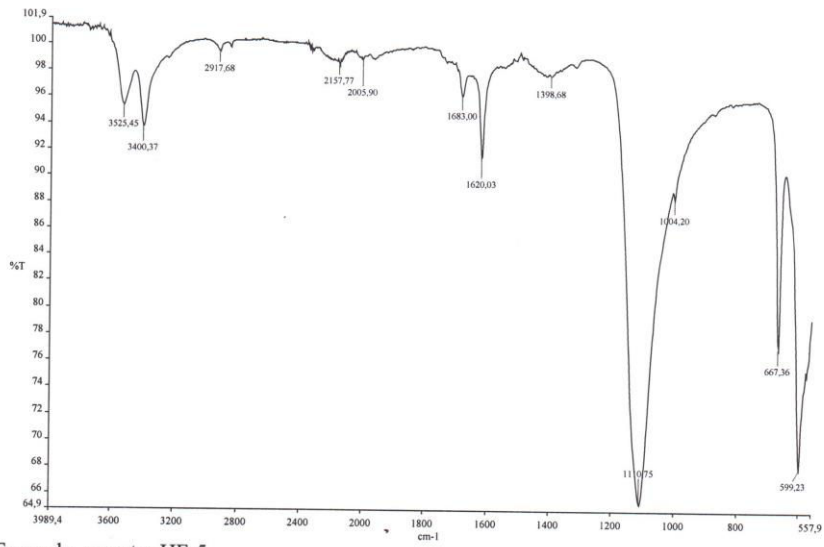
Escayola de la muestra HF-3



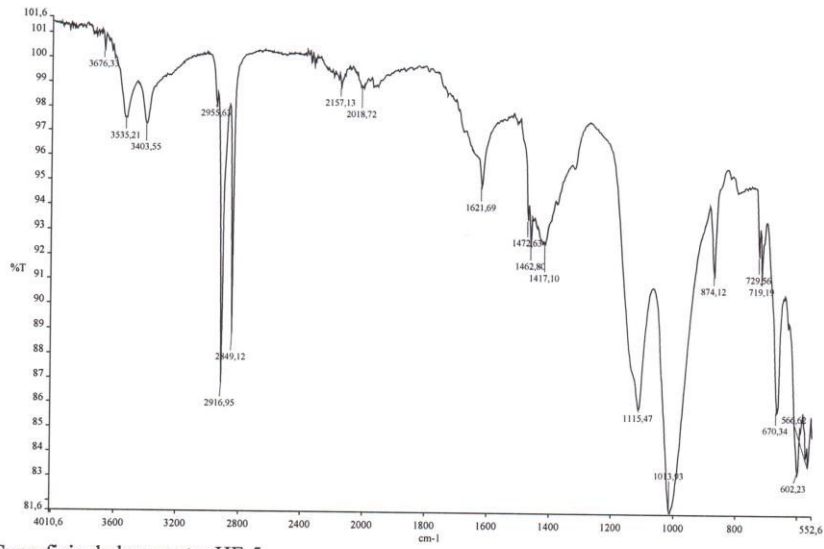
Superficie de la muestra HF-3



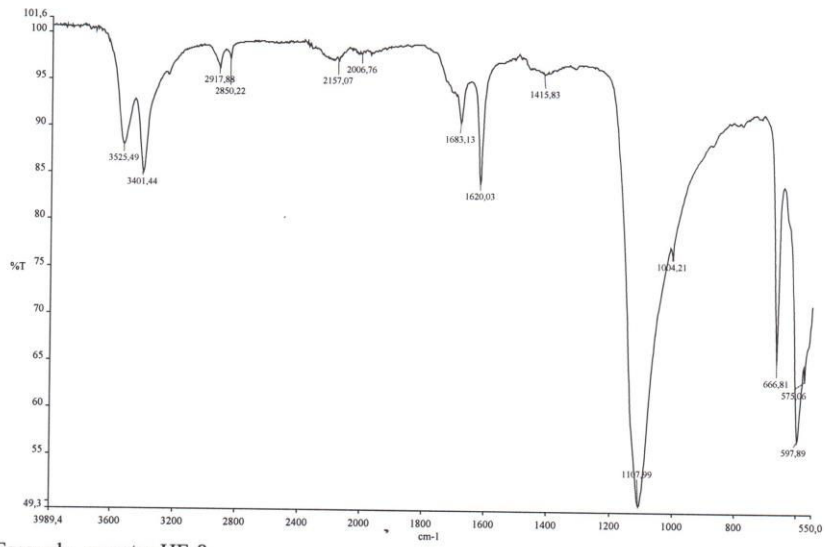
Superficie de la muestra HF-4



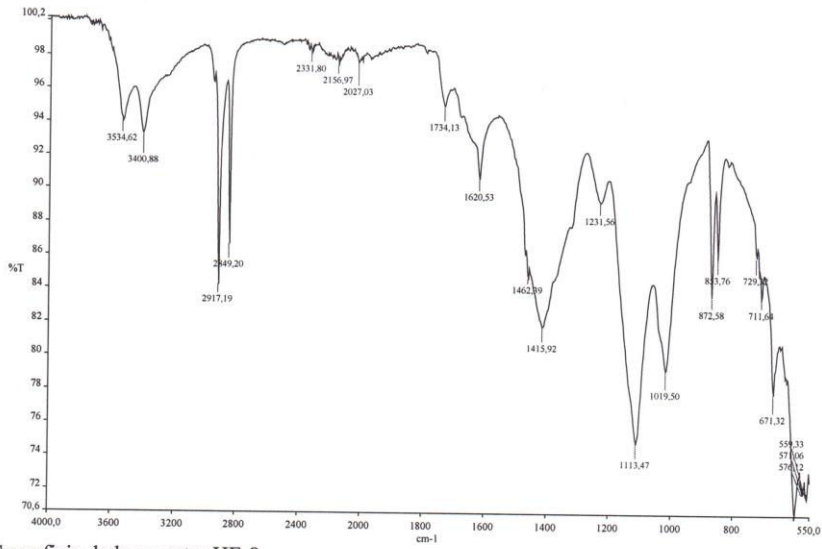
Escayola, muestra HF-5



Superficie de la muestra HF-5



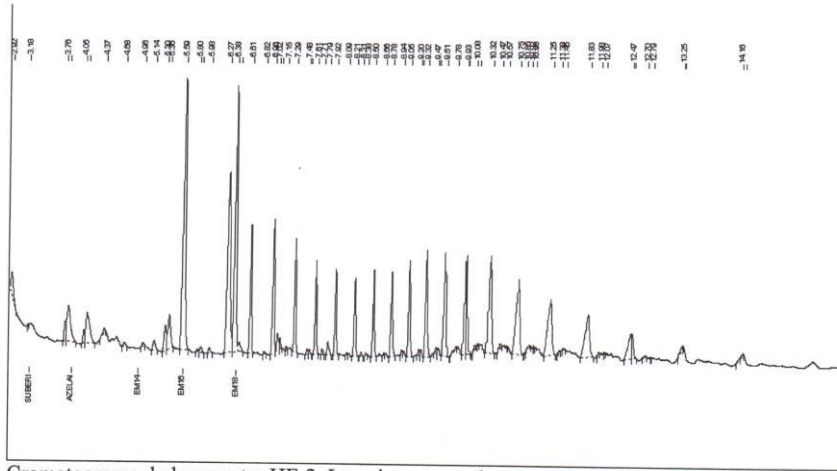
Escayola, muestra HF-8



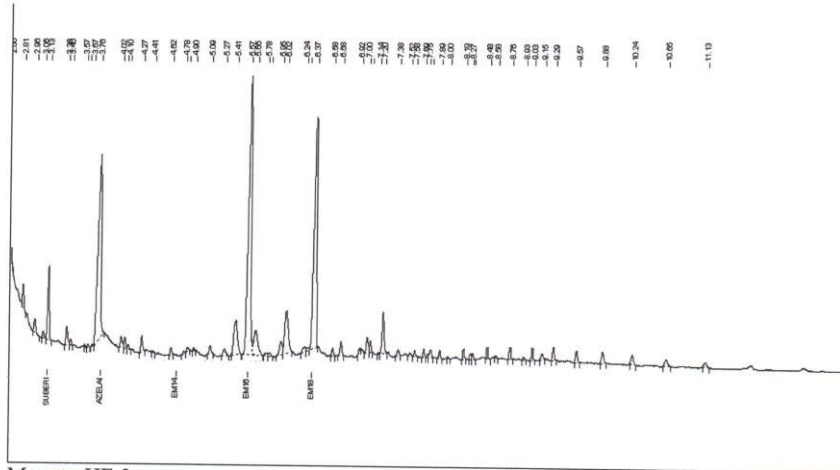
Superficie de la muestra HF-8



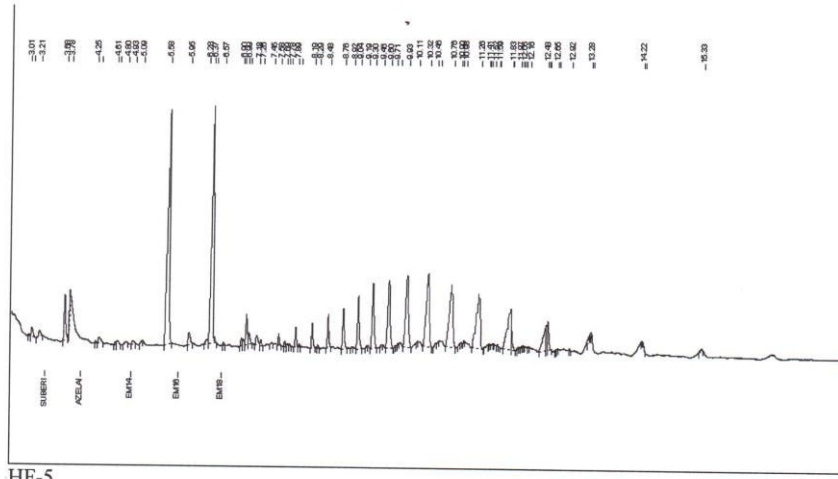
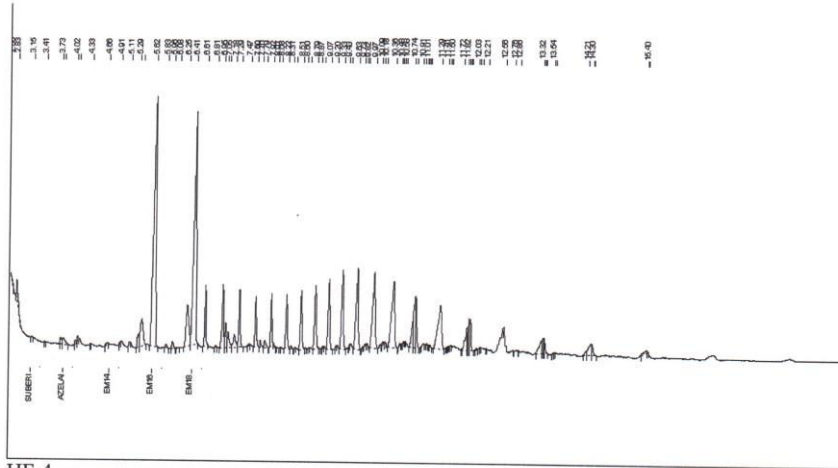
CROMATOGRAFÍA DE GASES

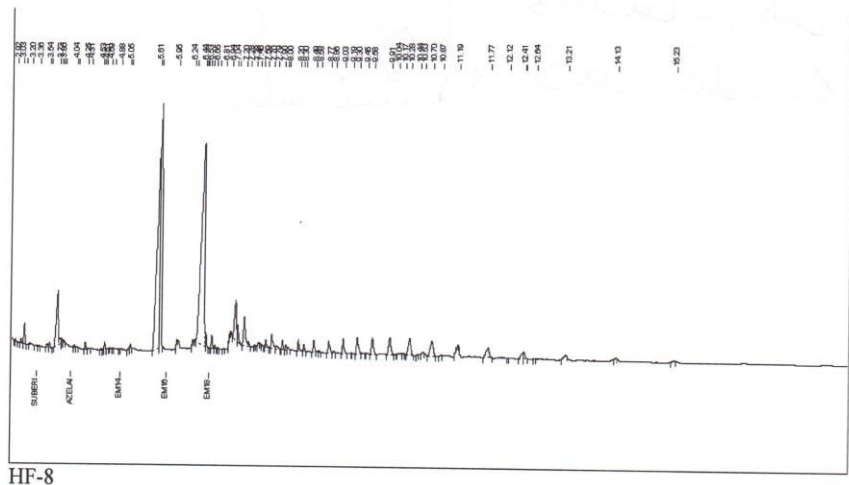


Cromatograma de la muestra HF-2. Los picos marcados son del aceite de linaza. Los picos posteriores son de la cera de parafina. Entre los grandes picos de la cera de parafina hay pequeños picos de la resina de conífera, en torno a 7-8 minutos.



Muestra HF-3





HF-8

MICROANÁLISIS MEB/EDX

Los elementos entre paréntesis son minoritarios:

Muestra nº	Capa/color	Elementos
HF-2	escayola	Ca, S (Na, Mg, Al, Si, K)
HF-2	2	Pb (Na, Al, Si, K)
HF-2	3	Pb, Ca (Na, Si, Cl, Ti, Zn)
HF-2	4	Pb, Ca (Na, Si, Cl, Zn)
HF-2	5	Pb, Zn (Ca, Si, Cl)
HF-2	6	Pb, Ca, Ba, S (Si)
HF-2	8	Pb, Ca, Ba, S (Si, Ti)
HF-2	10	Ca, Ti, Si (Na, Al, S, K)
HF-3	escayola	Ca, S, Si (Al, Fe, Cl, K)
HF-3	2	Pb, Zn (Al, Si, Ca, K)
HF-3	4	Pb, Ca, Ba, S (Si)
HF-3	6	Ti, Ca (Zn, Si, Al)
HF-3	8	Ti, Ca (S, Si, Al, K)
HF-4	1	Pb (Ca)
HF-4	3	Pb, Ca (Zn, Al, Si, Cl)
HF-4	4	Pb, Ca (Zn, Ti)
HF-4	6	Pb, Ca, Ba, S (Si)
HF-4	8	Ti, Ca (Zn, Si, K, Cl)
HF-5	escayola	Ca, S (Na, Mg, Al, Si, K, Pb)
HF-5	2	Pb (Ca, Si)
HF-5	4	Pb, Ca (Si, Al, Zn, K, Cl)
HF-5	5	Pb, Zn (Ca, Si, Al, Mg, Cl)
HF-5	7	Pb, Ca, S, Ba (Si)
HF-5	8	Si (Pb, Ba, S, Ca, Ti)
HF-5	9	Ti, Ca (Zn, Al, Si, K, Cl, Na?)
HF-8	escayola	Ca, S (Si, Al, K)
HF-8	2	Pb (Ca)
HF-8	4	Pb, Ca, Si, Al (Mg, K, Fe, Zn)
HF-8	5	Pb, Ca, Zn (Al, K)
HF-8	6	Si, Al, K, Ca (Mg, Zn, Ti, Ba?)



LARCO QUÍMICA Y ARTE S.L.  
Tlf y Fax 91 8162636 // Móvil 687 910312. C/. Nebli 54. 28691 Villanueva de la  
Cañada. Madrid. *email* larcoquimica@hotmail.com

**ANEXO FOTOGRÁFICO**



HF-2



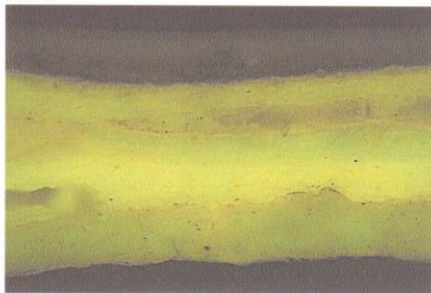
HF-3, 150 X, luz UV



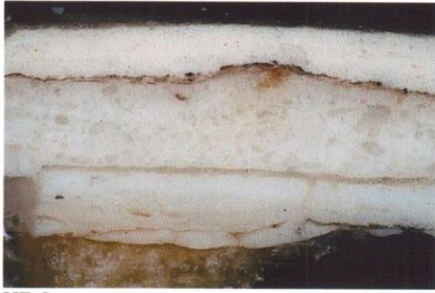
HF-3, 150 X



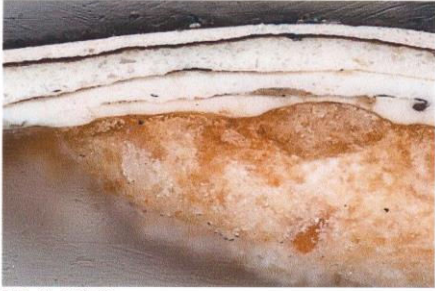
HF-4



HF-4, luz UV



HF-5



HF-8, 150 X



HF-8, 300 X



Nº de inventario V 1  
Nº de informe 241 S  
Fecha 2005  
Titulo Hércules Farnese  
Colección Velázquez  
Materiales Vaciado yeso

1

**ANEXO 3**  
**Informe sobre el estudio piloto sobre muestras de yeso, procedentes de la**  
**Colección de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando**  
**Christian Dietz y Gian Luca Catanzaritti**

**UCM**



Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Ciudad Universitaria

28040 Madrid

Tfno.: 91.394.41.46

Fax.: 91.394.43.29

E-mail: cdietz@quim.ucm.es

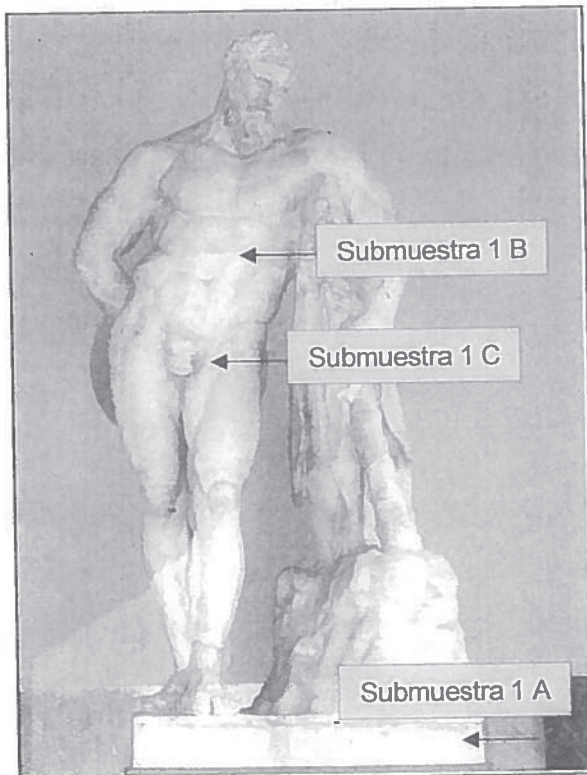
653 808 188

## Informe sobre el estudio piloto sobre muestras de yeso, procedentes de la colección del Real Colegio de Bellas Artes, Madrid

Antecedentes: En una reunión del día 23.10.2008, en la Facultad de Geografía e Historia, en presencia del director del C.A.I. AAA, Alfredo Jimeno Martínez, el técnico del mismo, Christian Dietz y el Prof. Luzón, se acordó de proceder a un estudio piloto para evaluar la posibilidad de elaborar una base de datos de referencia que caracteriza los materiales empleados en los diferentes vaciados de la colección de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Los datos que comprenden esta base de datos (morfológicas, cristalográficas, químicas) deberán servir para ayudar a determinar el origen, la edad y zonas de restauración posteriores de obras de yesería en general y de estatuas en particular.

### Descripción de las muestras

El día 27.10.2008 dos técnicos del C.A.I. (C. Dietz y G. Catanzariti) efectúan, en presencia de la restauradora del Centro, Silvia Viana, la toma de muestra sobre cuatro vaciados de diferentes colecciones, cuya descripción se detalla en lo siguiente:



Formador: Cesare Sebastini, altura 3.18 m, original conservado e e Museo Arqueológico de Nápoles, inv. Nº 6001.

#### Descripción: Hércules Farnese

Colección Velásquez

Copia en yeso, adquirido por D. Velásquez durante su segundo viaje a Italia (1649-1651).

Muestra 1 A:

Yeso Peana, Zona trasera, rotulo inferior, probablemente solo relleno.



Muestra 1 B:

Unión cintura, yeso original.



Muestra 1 C:

Testículos, con primeras capas de pintura, aprox. siglo XVIII.



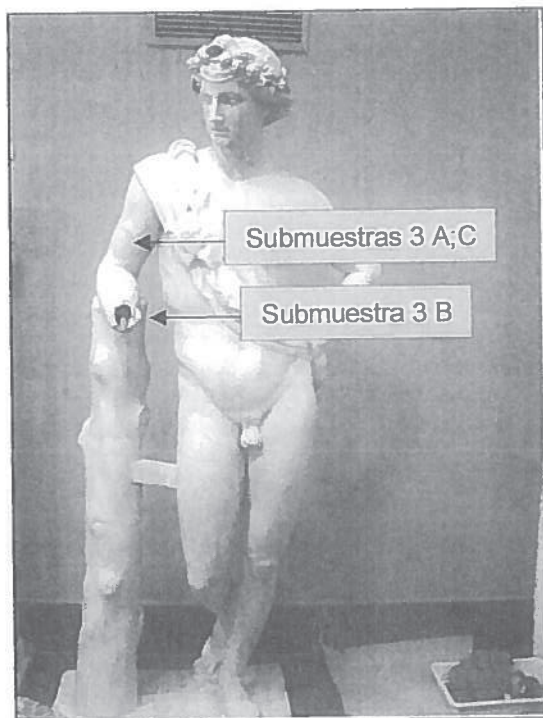




Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Ciudad Universitaria  
28040 Madrid  
Tfno.: 91.394.41.46  
Fax: 91.394.43.29  
E-mail: cdietz@quim.ucm.es



**Descripción: Baco Médico**  
Nº Restauración 359/08/S

Muestra 3A:

Capa superficial,  
rotura brazo



Muestra 3B:

Brazo derecho



Muestra 3C:  
Capa inferior, rotura  
brazo

Tabla 1: Características de las muestras tomadas

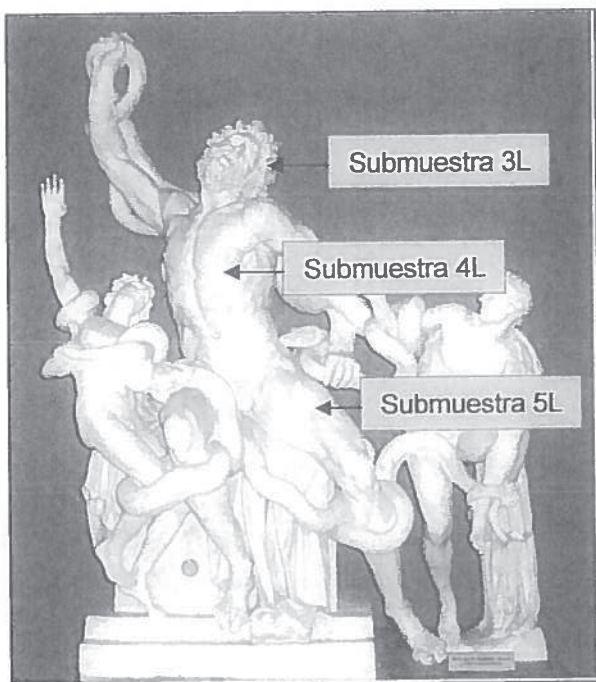
Código	Descripción	Peso [g]
HF 1a	Tres piezas de yeso de tamaño grande (ca 1 cm <sup>3</sup> )	0.3672/0.5157/0.5113
HF 1b	Una pieza plana 2.5 × 1.3 cm	0.6315
HF 1c	Seis micromuestras, ca 2 mm	0.0242
BM 3a	Una pieza pequeña ca 4×2 mm, plana	0.0398
BM 3b	Una pieza plana ca 4×3 mm	0.0257
BM 3c	Una pieza grande, ca 15×8mm	0.3574
L3I	Varias micromuestras debajo de 1 mm <sup>2</sup>	0.0062
L4I	Una pieza pequeña ca 4×3 mm	0.0311
L5I	Una pieza pequeña 2×2 mm	0.0088
SN 4a	Dos micromuestras inferior a 1 mm <sup>2</sup> , polvo	0.0085
SN 4b	5 piezas pequeñas de 1 a 3 mm <sup>2</sup>	0.0104



Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Ciudad Universitaria  
28040 Madrid  
Tfno.: 91.394.41.46  
Fax.: 91.394.43.29  
E-mail: cdietz@quim.ucm.es



Copia del original conservado en el patio octagonal de los Museos Vaticanos, inv. N° 1039, altura 1.84 m, fecha fabricación ca. 1811.

**Descripción: Laocönte**

Real Fábrica de Cerámica del Buen Retiro

Muestra 3L:

Pelo figura central  
(padre)



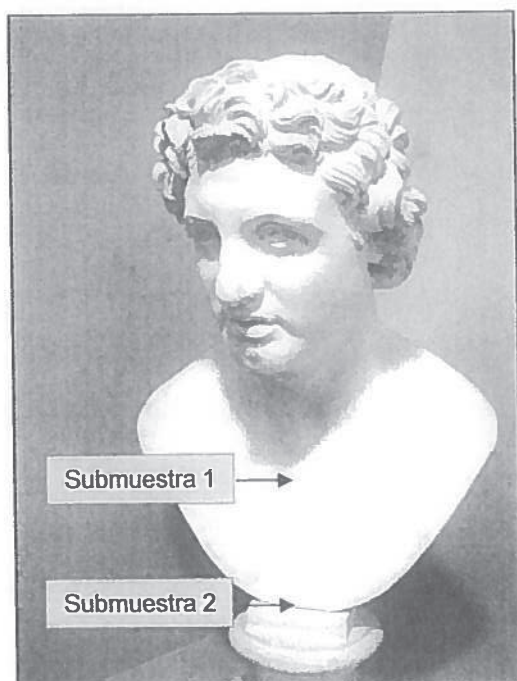
Muestra 4L:

Torso pectoral



Muestra 5L:

Muslo izquierdo



**Descripción: Seleuco I Nicator**

Colección Herculaneo

Muestra 4A:

Reverso borde



Muestra 4B:

Unión busto zócalo  
(revés)



Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Ciudad Universitaria  
28040 Madrid  
Tfno.: 91.394.41.46  
Fax.: 91.394.43.29  
E-mail: cdietz@quim.ucm.es

#### Antecedentes

Las obras estudiadas cuentan con informe de análisis previo, donde se estimaban las siguientes características:

- análisis de la capa de preparación (yeso y aglutinante)
- pigmentos y aglutinantes en las diferentes capas pictóricas
- recubrimiento presente

Las técnicas empleadas a este fin fueron microscopía óptica, FTIR, SEM/EDX y GC.

#### Este estudio

El objetivo es el de elaborar una base de datos de referencia que caracteriza los materiales empleados en el vaciado de la colección de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Los datos que comprenden esta base de datos (morfológicas, cristalográficas, químicas) deberán servir para ayudar a determinar el origen, la edad y zonas de restauración posteriores de obras de yesería en general y de estatuas en particular.

### Descripción servicios

#### **Preparación de las muestras**

Se necesitan, según la técnica de análisis empleado, tres submuestras con tratamiento diferentes:

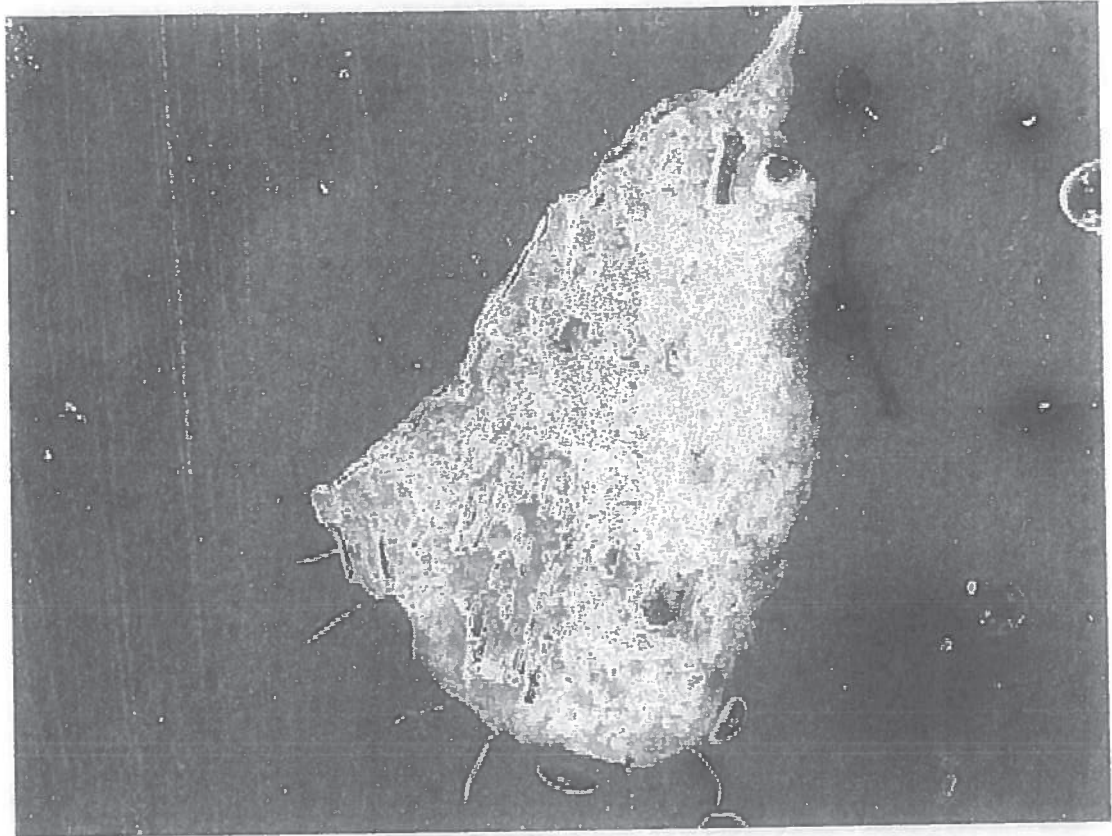
- a.) Lupa-Microscopía óptica / SEM-EDX: Se han preparado muestras embutidas en resina, que permiten observar todas las capas presentes. Se aplica un proceso de pulido con diferentes tamaños de grano (180, 400, 600, 1200, pasta de diamante. Para observaciones en el microscopio electrónico, la superficie fue metalizada con oro.
- b.) ICP-MS: Alrededor de 200 mg de muestra fueron tamizadas en un mortero de agata. La muestra fue secada en horno a 45 °C durante 12h, después el polvo fue disuelto en 3.076 ml HNO<sub>3</sub> 32.5 % y 100 µL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y tratado 5 min en baño de ultrasonidos. Posteriormente la solución fue filtrada por filtros de cartucho de 0.22µm y diluido a 50 mL con agua destilada.

#### **A. SEM/EDX**

El microscopio electrónico utiliza electrones para iluminar un objeto. Dado que los electrones tienen una longitud de onda mucho menor que la de la luz (0.5 ángstroms) pueden mostrar estructuras mucho más pequeñas. Si el microscopio dispone de varios sistemas de detección es posible diferenciar entre energías electrónicas, principalmente entre la señal producida por los electrones secundarios (imagen tridimensional) y la generada por los electrones retrodispersados (revela diferencias en la composición química por diferencias de contraste).

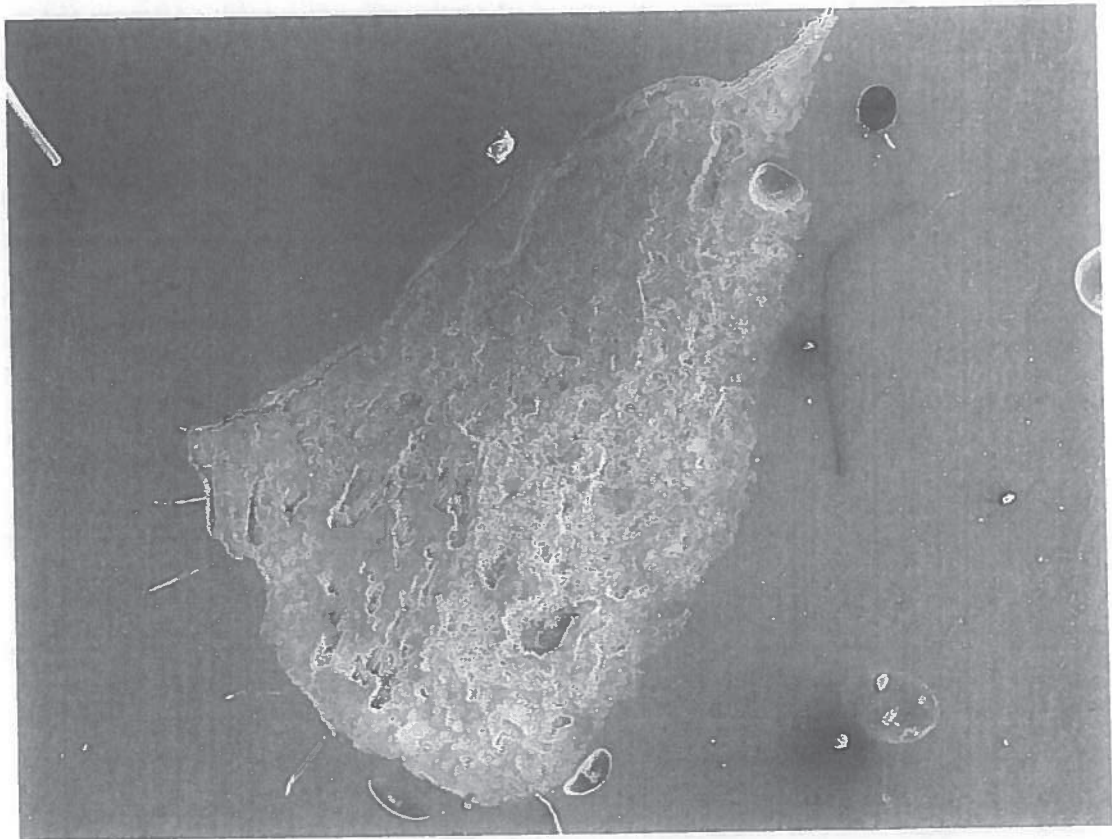
Se han efectuado un total de 46 tomas de imagen por SEM, de las cuales 14 corresponden a la figura del Baco Médico (3 submuestras investigadas), 10 a la de Hércules Farnese (3 submuestras investigadas), 14 a la de Seleuco Nicanor (2 submuestras investigadas) y 8 a la de Laoconte (2 submuestras investigadas).

Las imágenes se encuentran en el anexo 1 del presente informe.



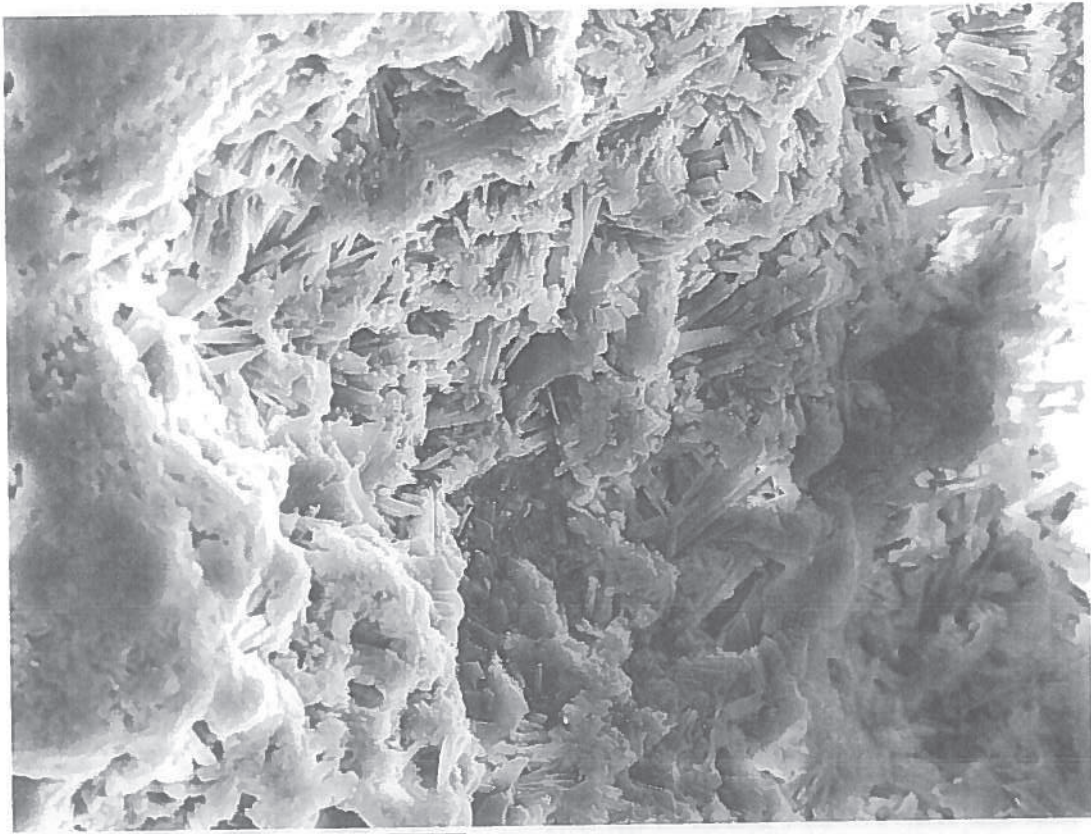
20µm

**Fig.1:** Bacco Médici - Capa superficial rotura brazo a 40 aumentos.



20µm

**Fig.2:** Bacco Médici - Capa superficial rotura brazo a 45 aumentos.



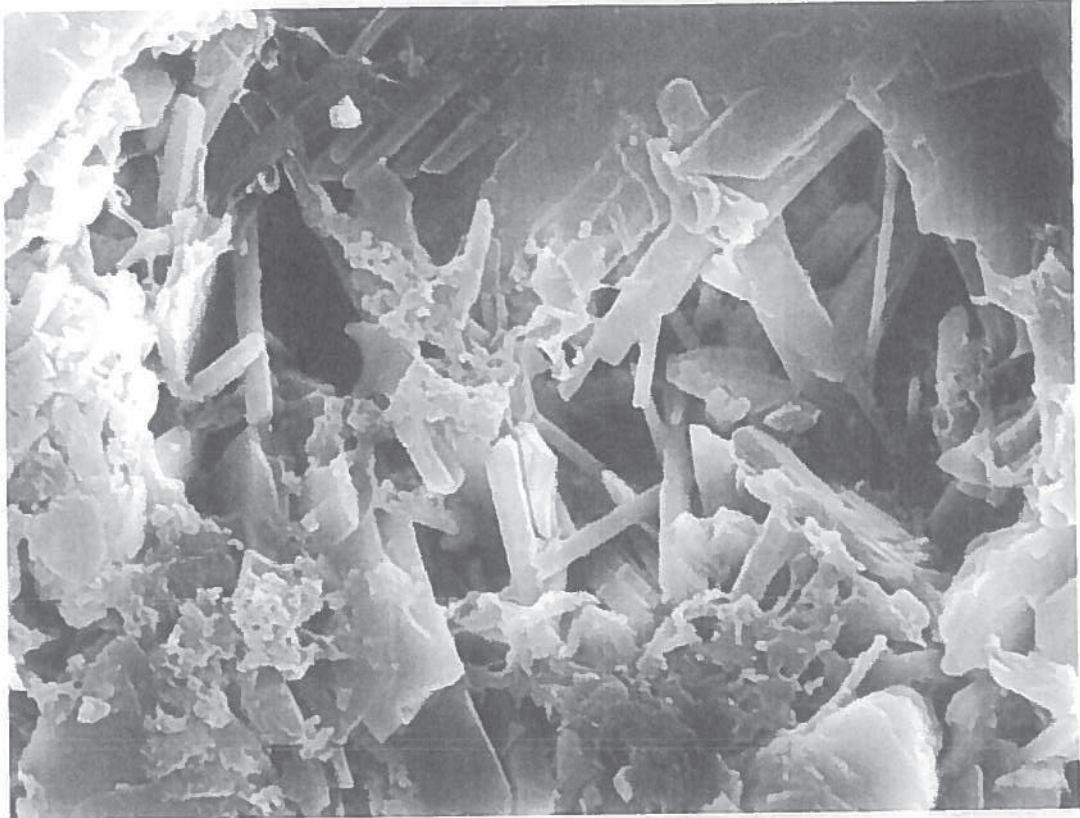
20µm

**Fig 3:** Bacco Médici - Capa superficial rotura brazo a 1000 aumentos.

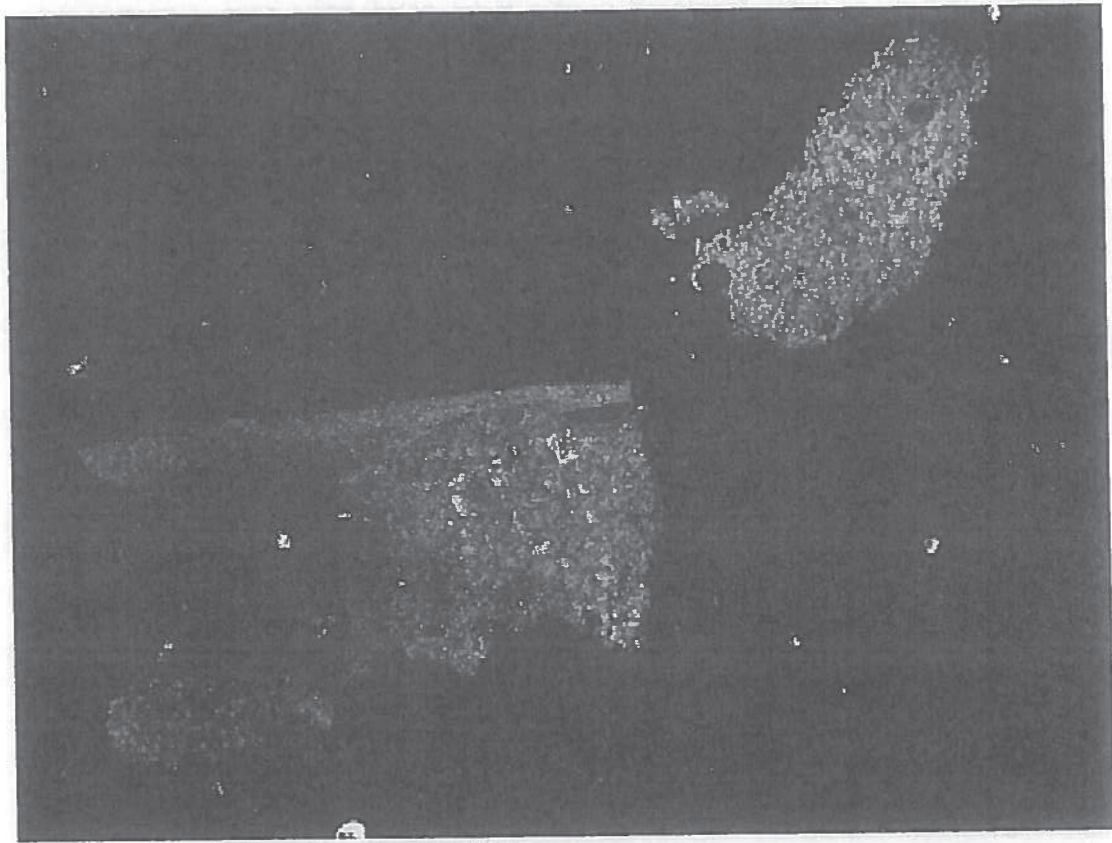


20µm

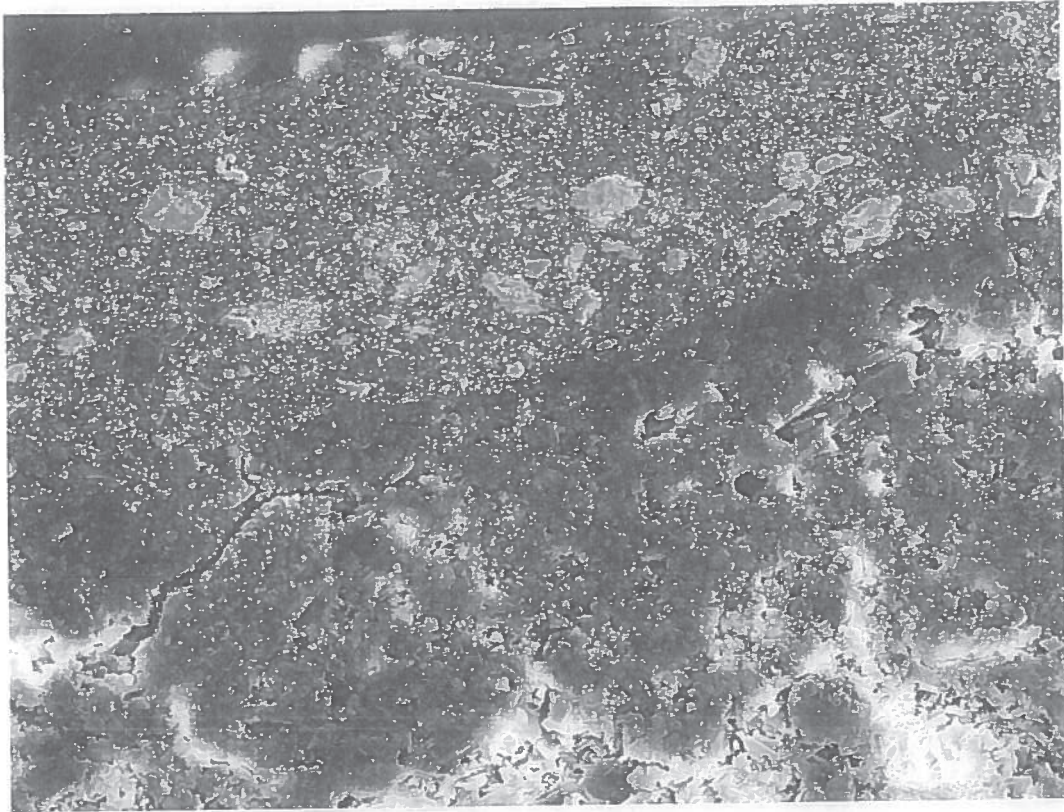
**Fig 4:** Bacco Médici - Capa superficial rotura brazo a 2000 aumentos.



**Fig 5:** Bacco Médici - Capa superficial rotura brazo a 4000 aumentos.

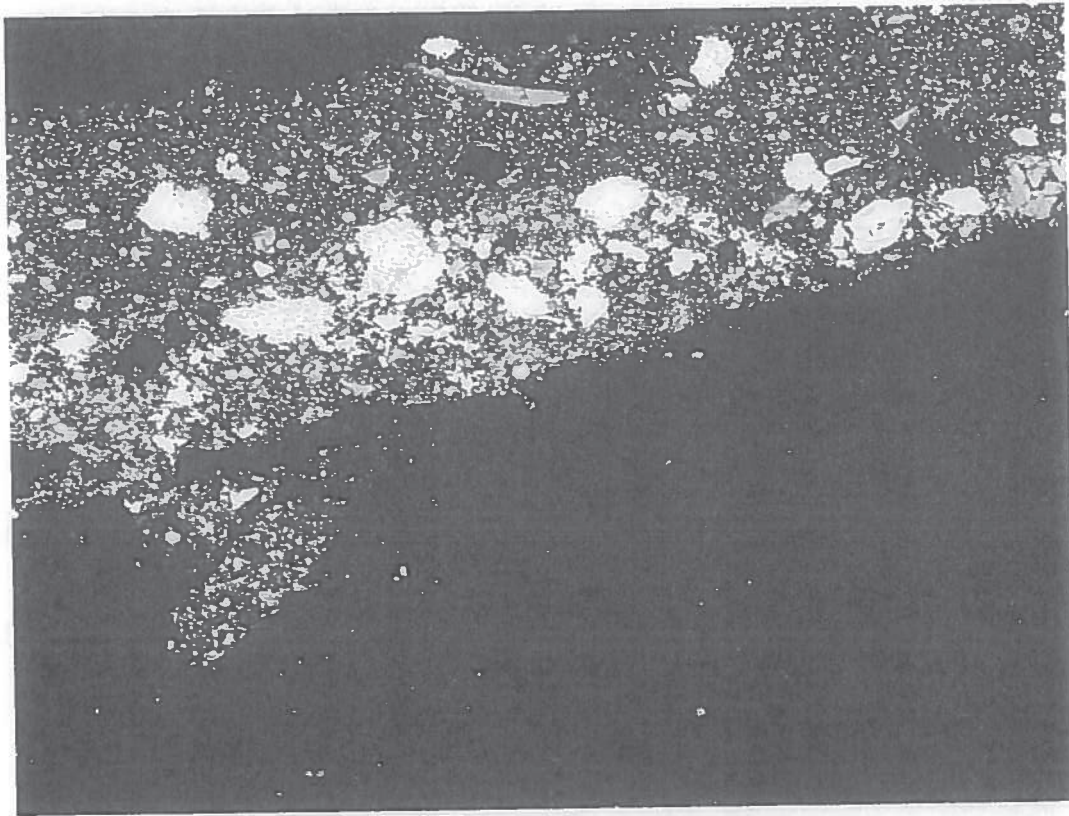


**Fig 6:** Bacco Médici - Brazo derecho a 37 aumentos



20µm

**Fig 7:** Bacco Médici - Brazo derecho a 500 aumentos



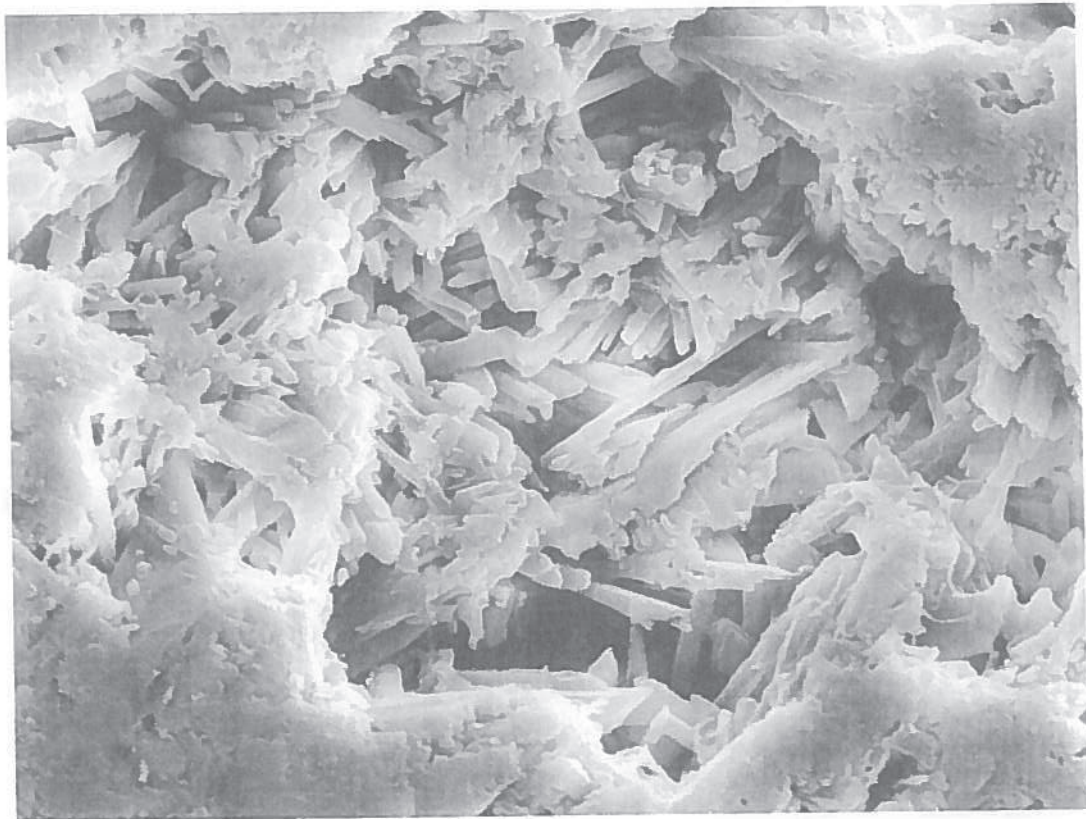
20µm

**Fig 8:** Bacco Médici - Brazo derecho a 500 aumentos (retrodispersado)



20 $\mu$ m

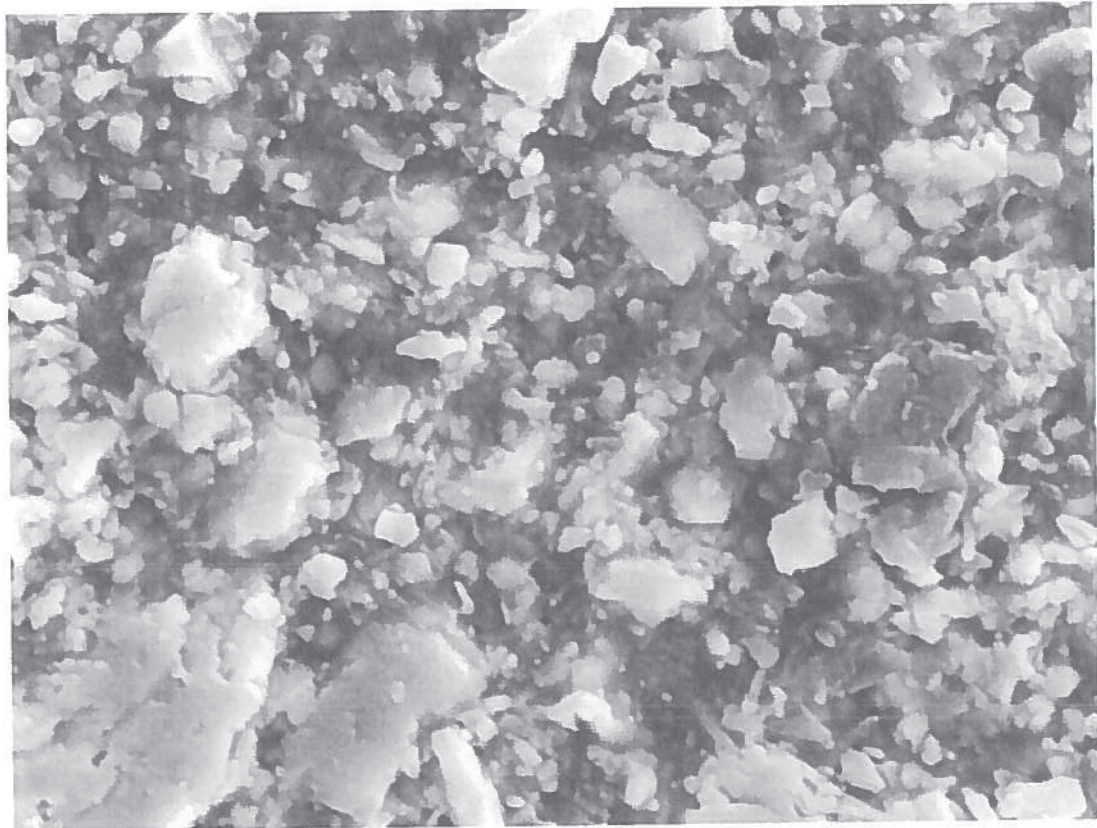
**Fig 9:** Bacco Médici - Brazo derecho a 2000 aumentos (yeso)



20 $\mu$ m

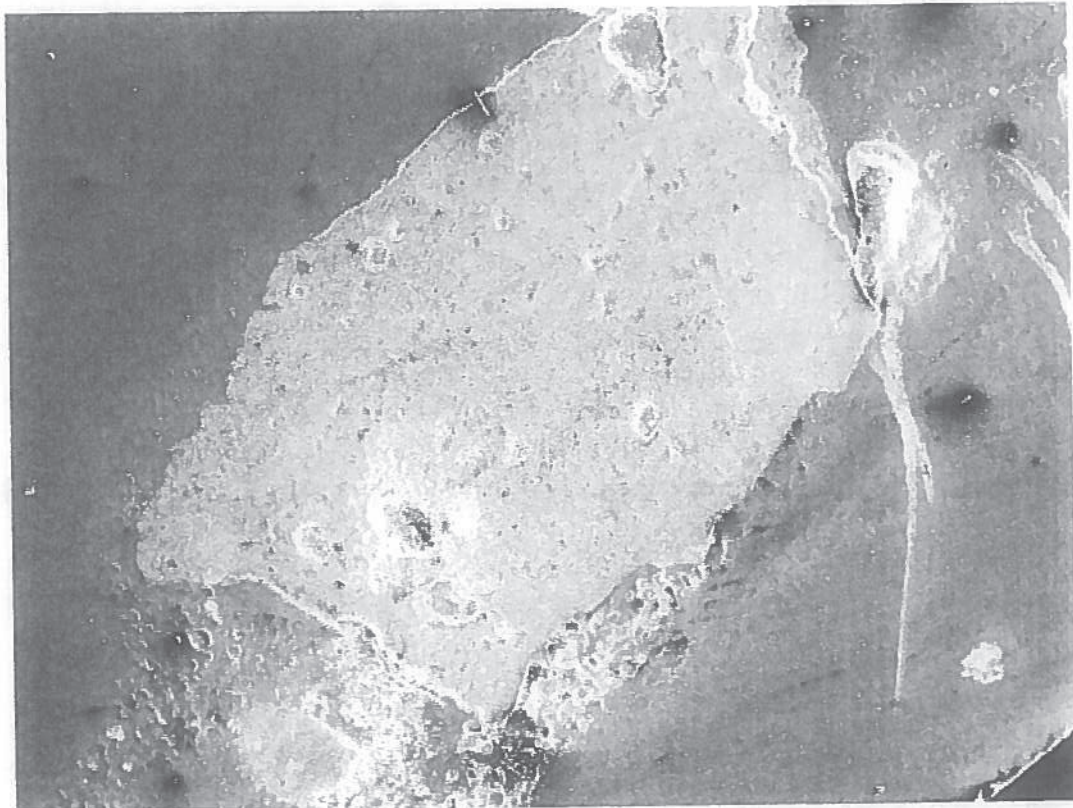
**Fig 10:** Bacco Médici - Brazo derecho a 2000 aumentos (yeso, b)





20 $\mu$ m

**Fig 11:** Bacco Médiçi - Brazo derecho a 5000 aumentos (capa)



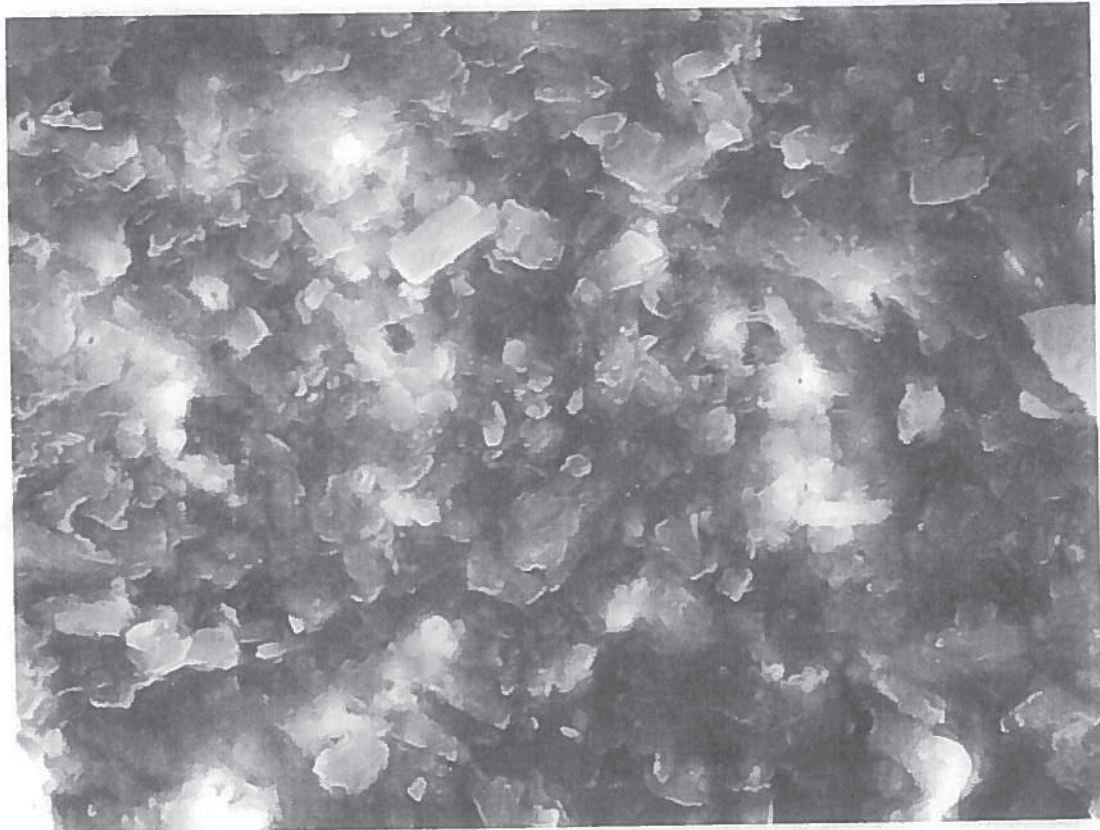
1mm

**Fig 12** Bacco Médiçi – capa inferior a 30 aumentos



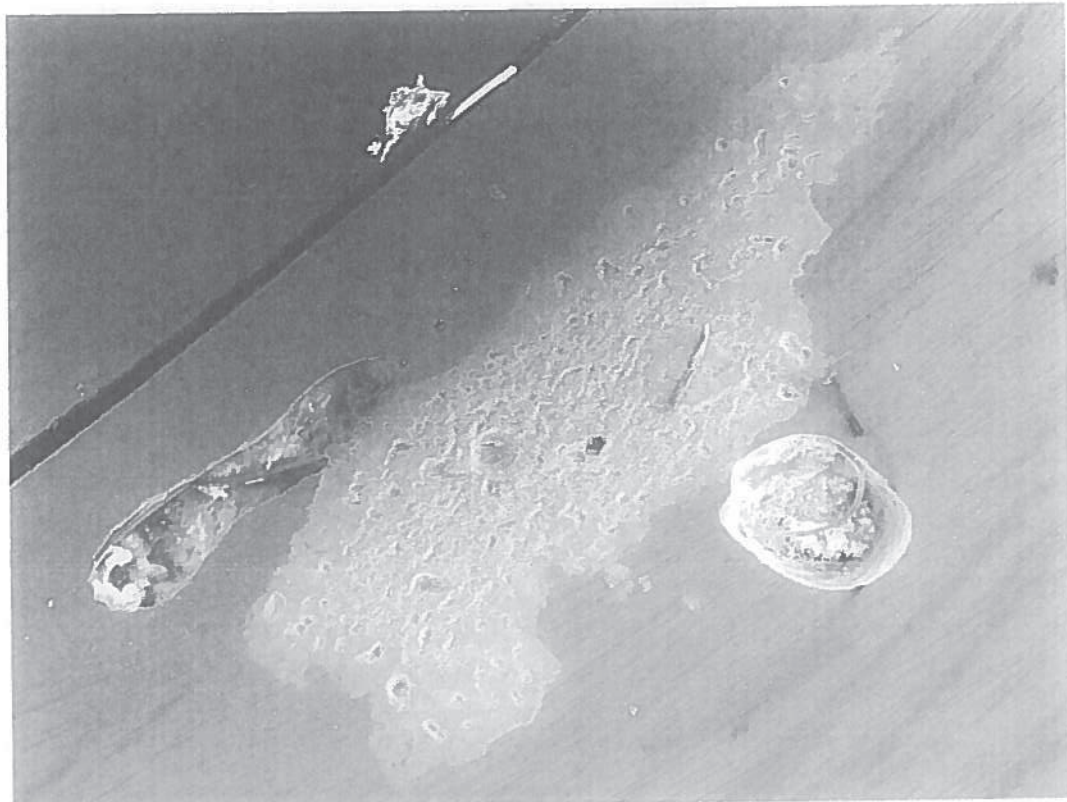
1mm

**Fig 13:** Bacco Médico – capa inferior a 1000 aumentos



10µm

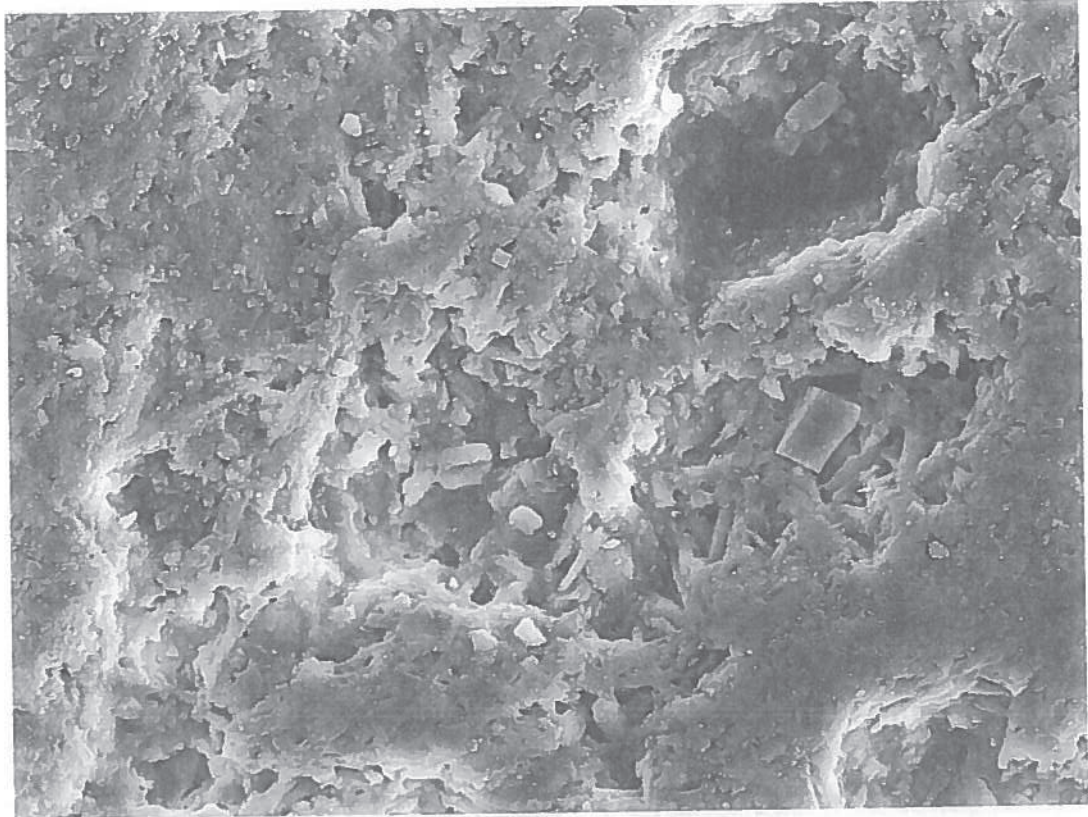
**Fig 14** Bacco Médico – capa inferior a 3000 aumentos



**Fig 15:** Hercules Farnese, unión cintura a 30 aumentos



**Fig 16:** Hercules Farnese, unión cintura a 200 aumentos



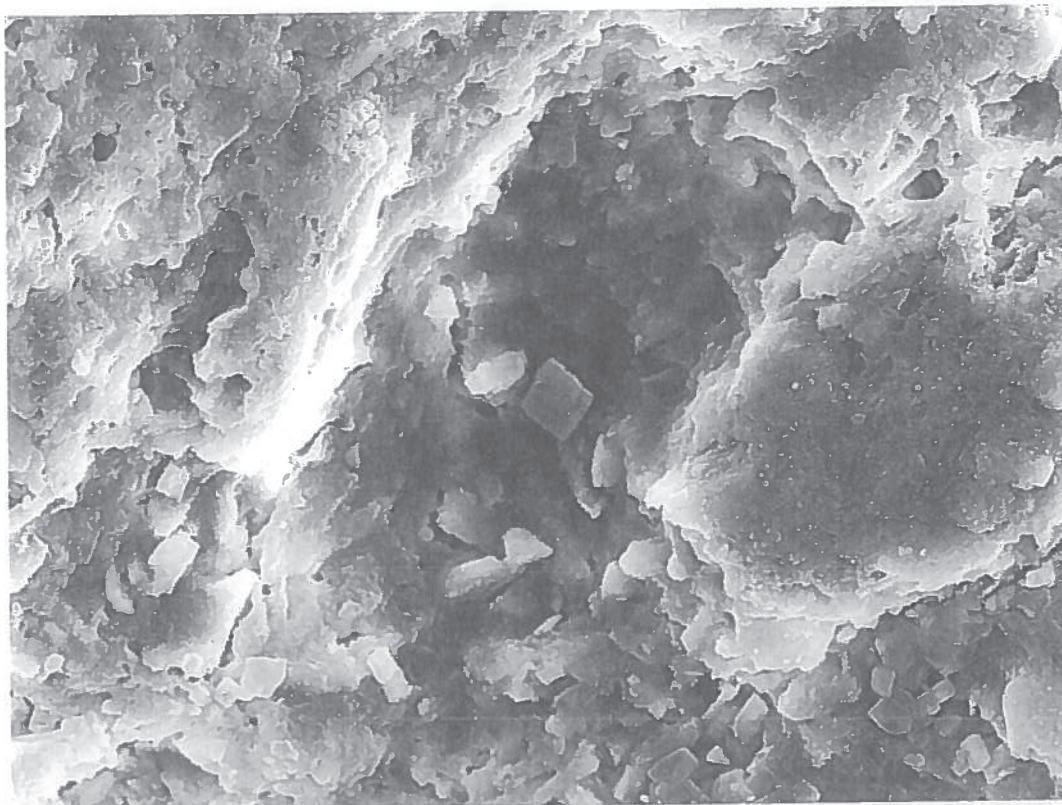
60µm

**Fig 17:** Hercules Farnese, unión cintura a 1000 aumentos EDX-1



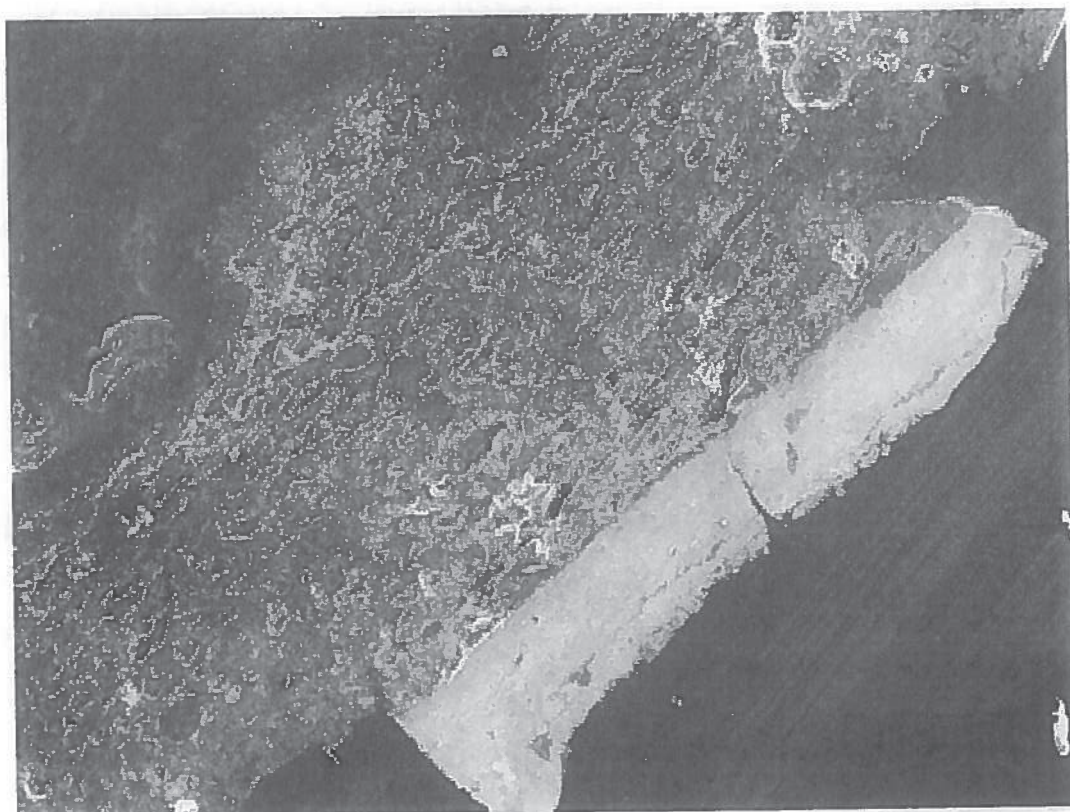
60µm

**Fig 18:** Hercules Farnese, unión cintura a 1000 aumentos (retrodispersado)



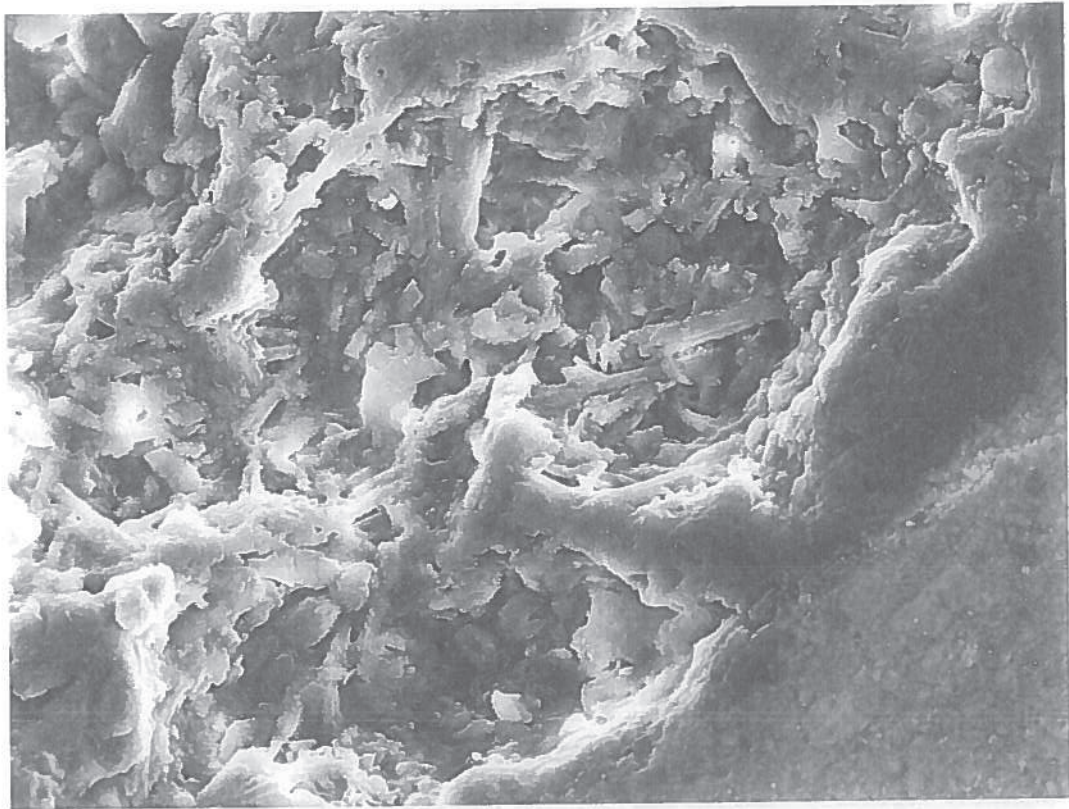
6 $\mu$ m

**Fig 19:** Hercules Farnese, unión cintura a 2000 aumentos

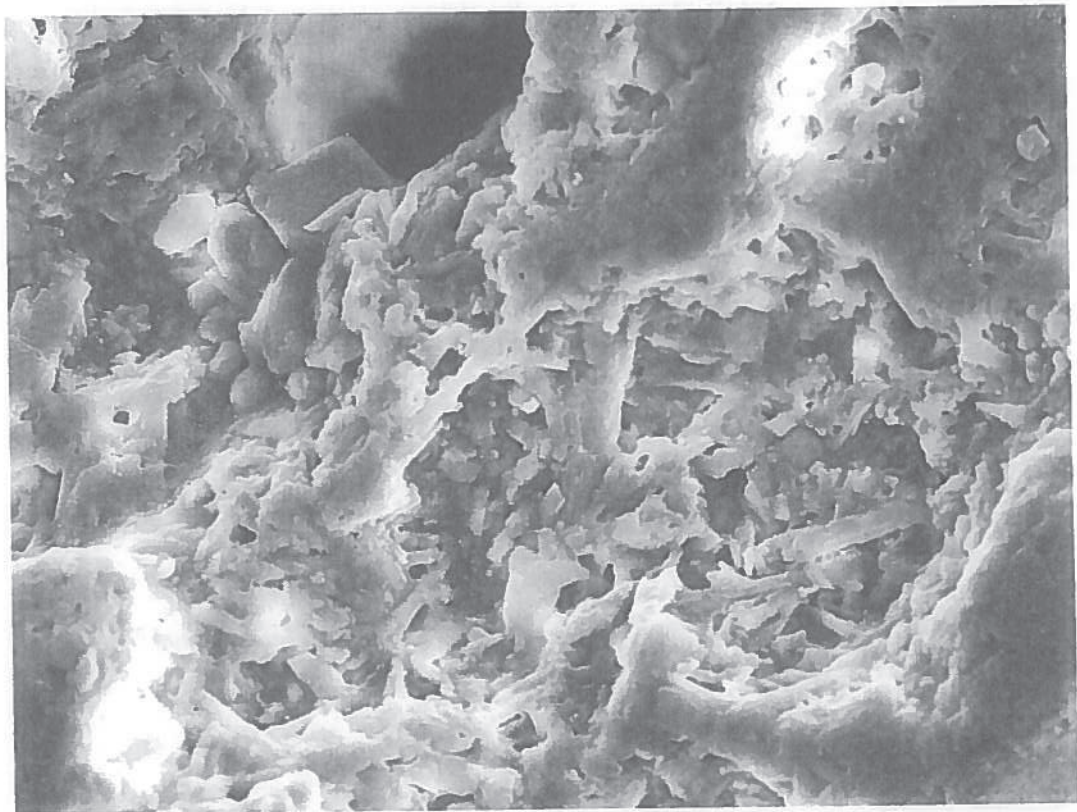


6 $\mu$ m

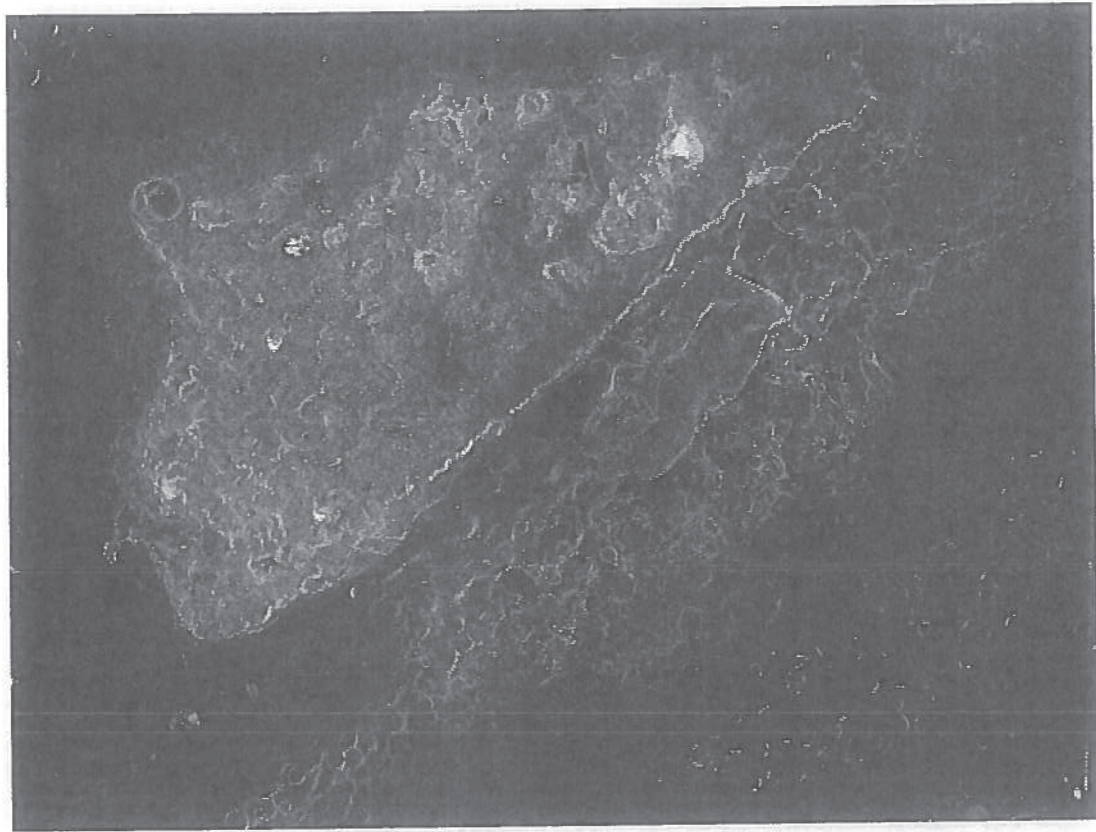
**Fig 20:** Hercules Farnese, testículos (con pintura) brazo a 50 aumentos



**Fig 21:** Hercules Farnese, testículos (con pintura) a 1000 aumentos

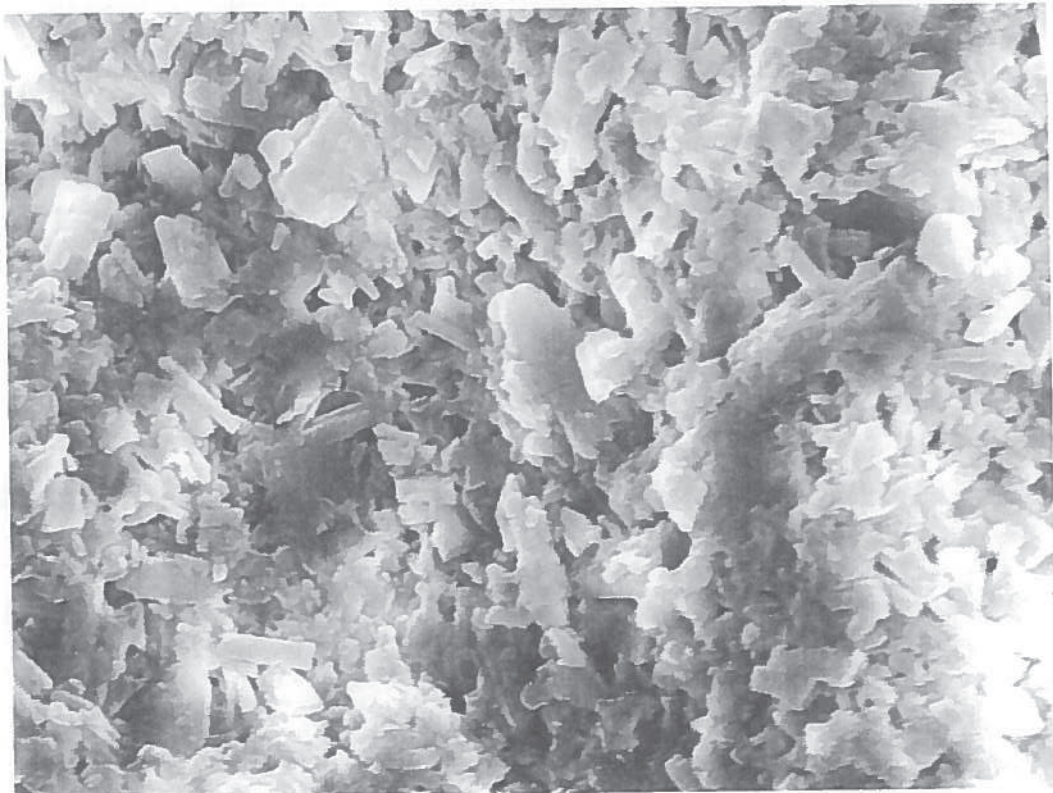


**Fig 22:** Hercules Farnese, testículos (con pintura) a 1000 aumentos (2)



2mm

**Fig 23:** Hercules Farnese, Peana, zoma trasera, rótula inferior a 30 aumentos



10µm

**Fig 24:** Hercules Farnese, Peana, zoma trasera, rótula inferior a 3000 aumentos

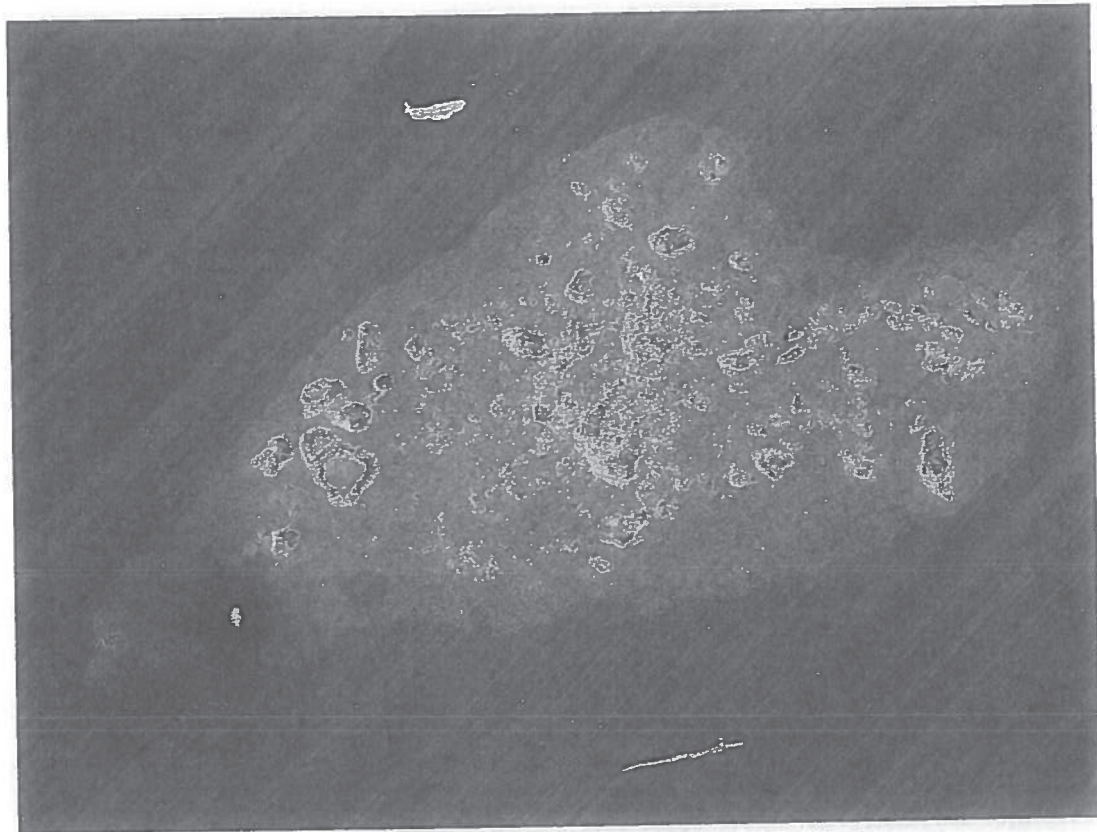


Fig 25: Seleuco I Nicátor: reverso borde a 50 aumentos

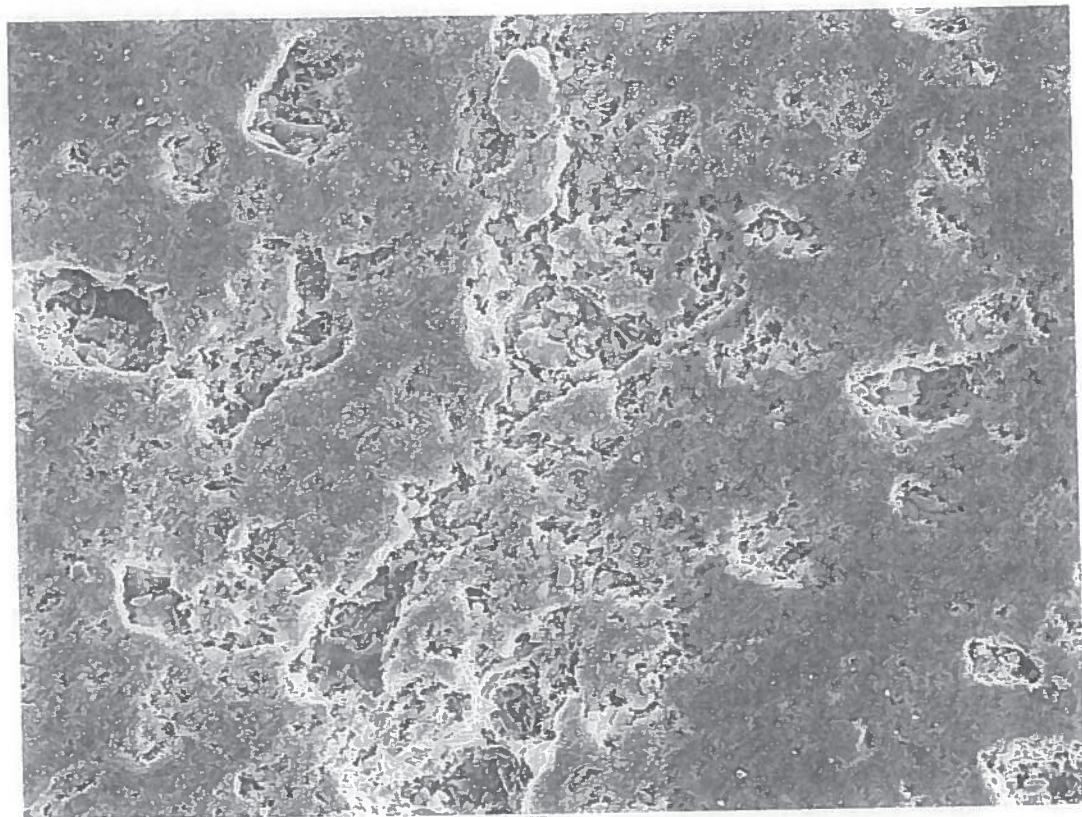
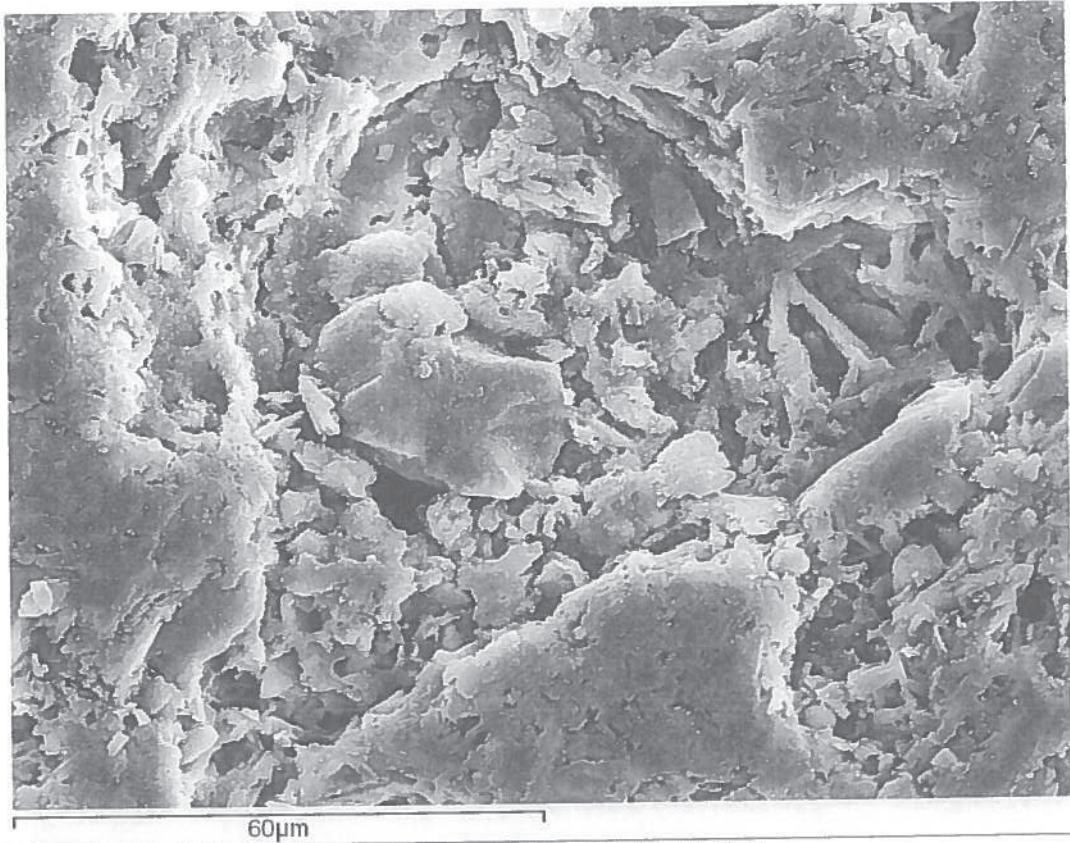
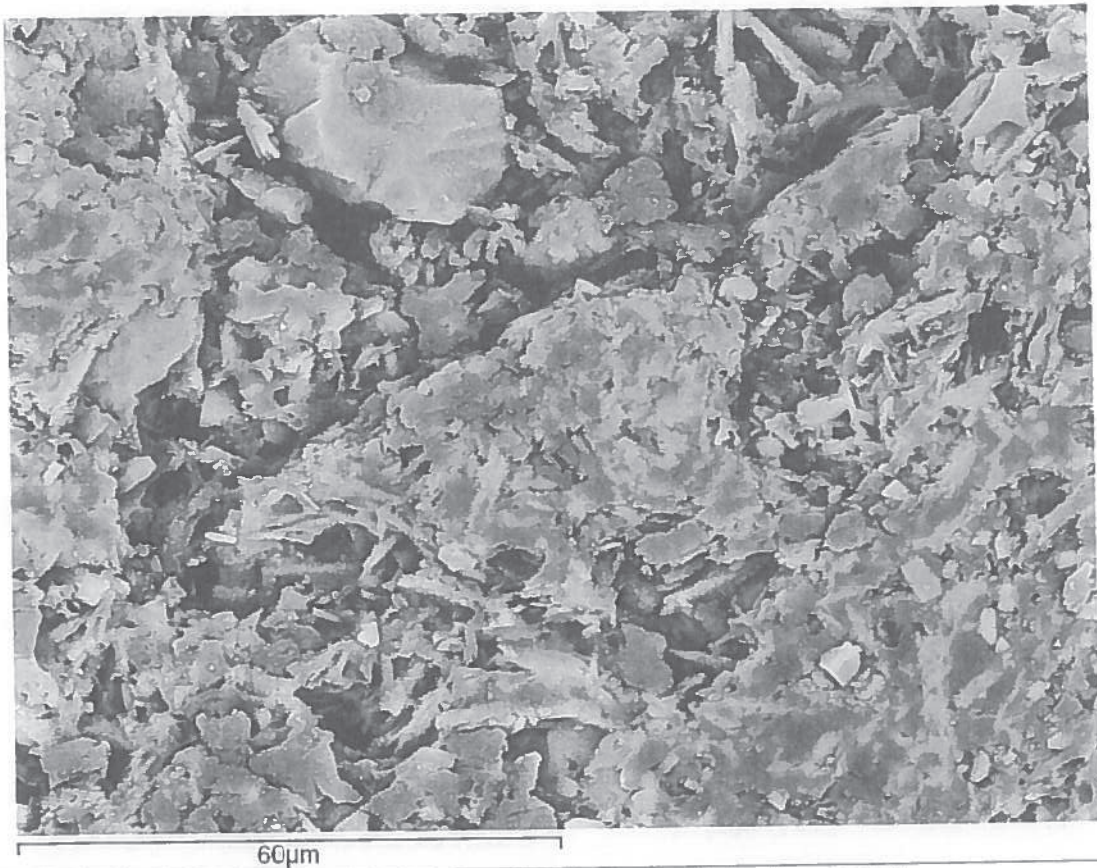


Fig 26: Seleuco I Nicátor: reverso borde a 200 aumentos

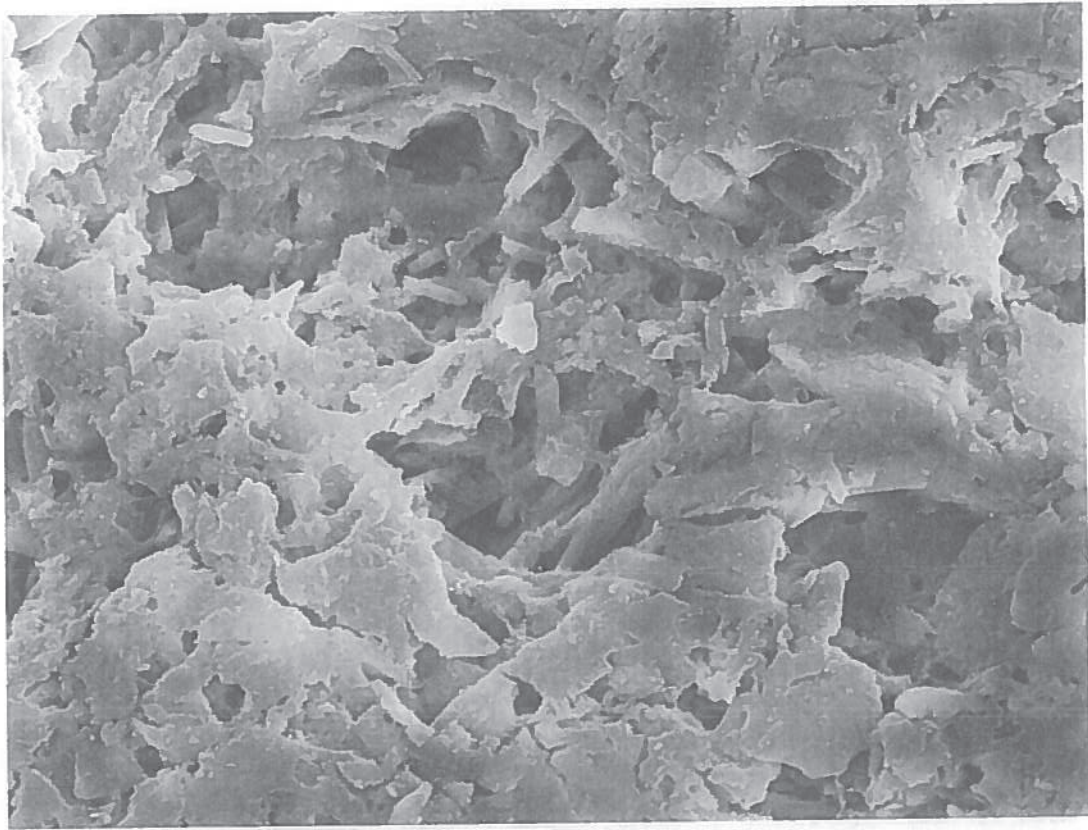




**Fig 27:** Seleuco I Nicátor: reverso borde a 1000 aumentos EDX-2

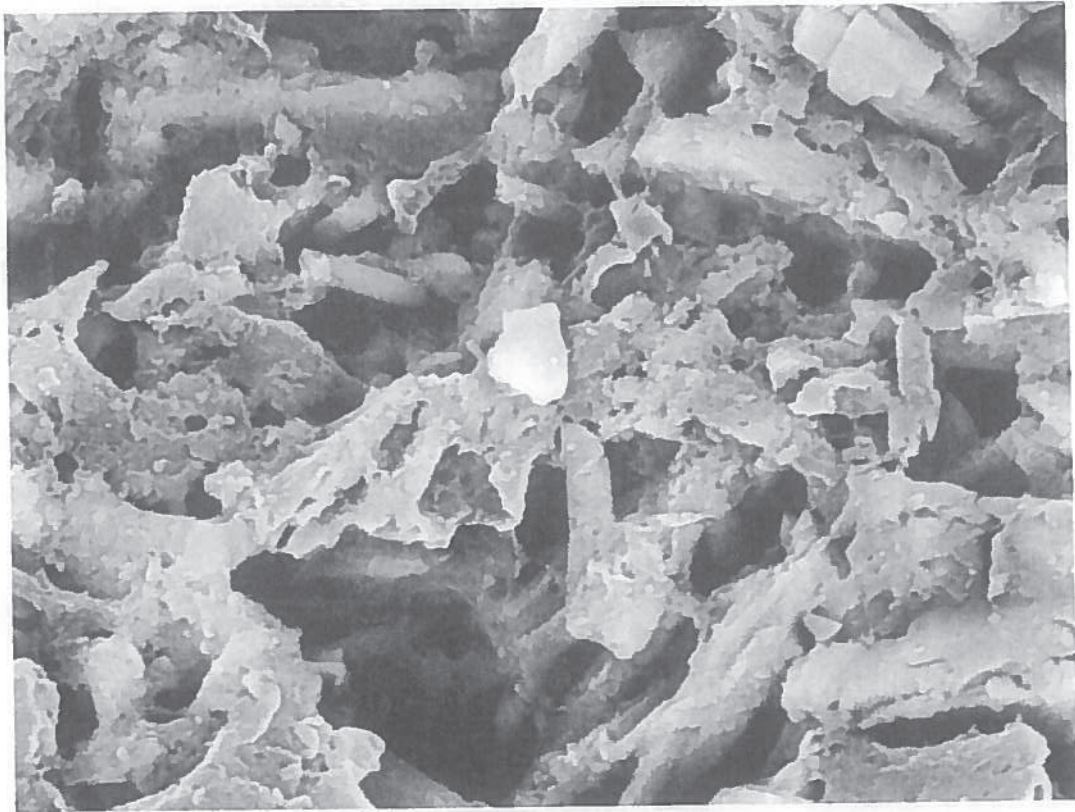


**Fig 28:** Seleuco I Nicátor: reverso borde a 1000 aumentos (retrodispersado)



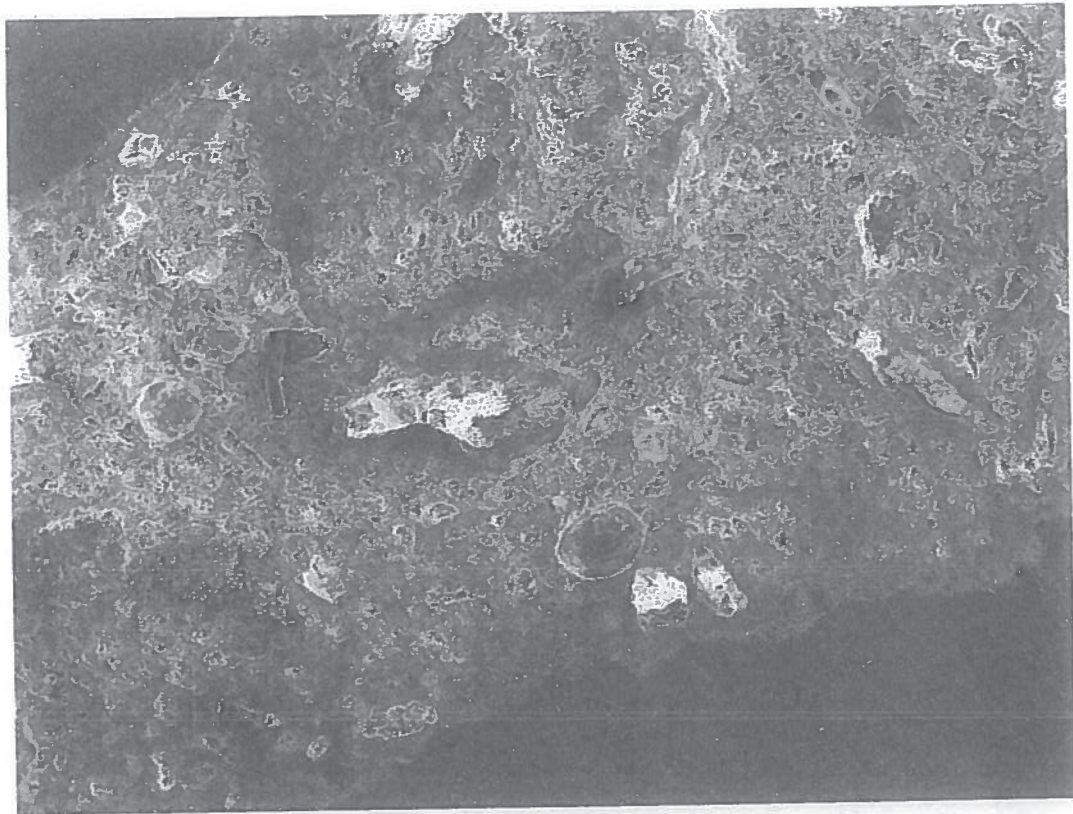
30 $\mu$ m

**Fig 29:** Seleuco I Nicátor: reverso borde a 2000 aumentos EDX-3



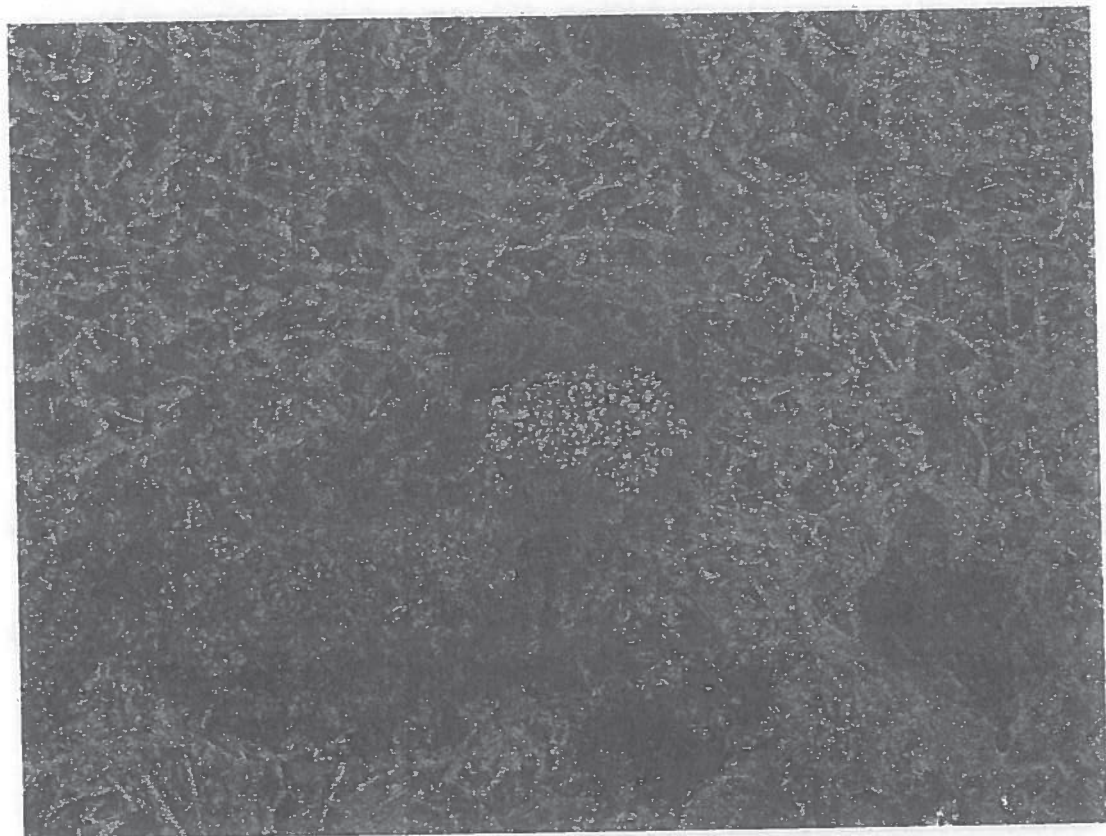
10 $\mu$ m

**Fig 30:** Seleuco I Nicátor: reverso borde a 4000 aumentos (retrodispersado)



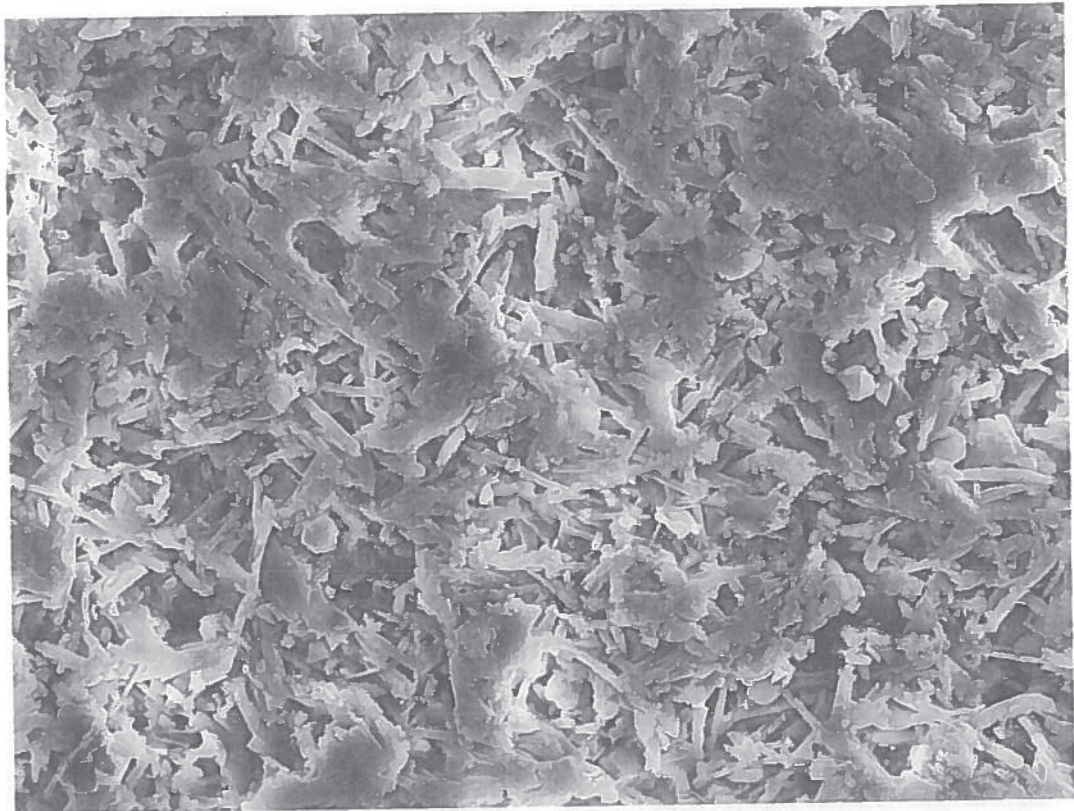
20µm

Fig 31: Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 100 aumentos



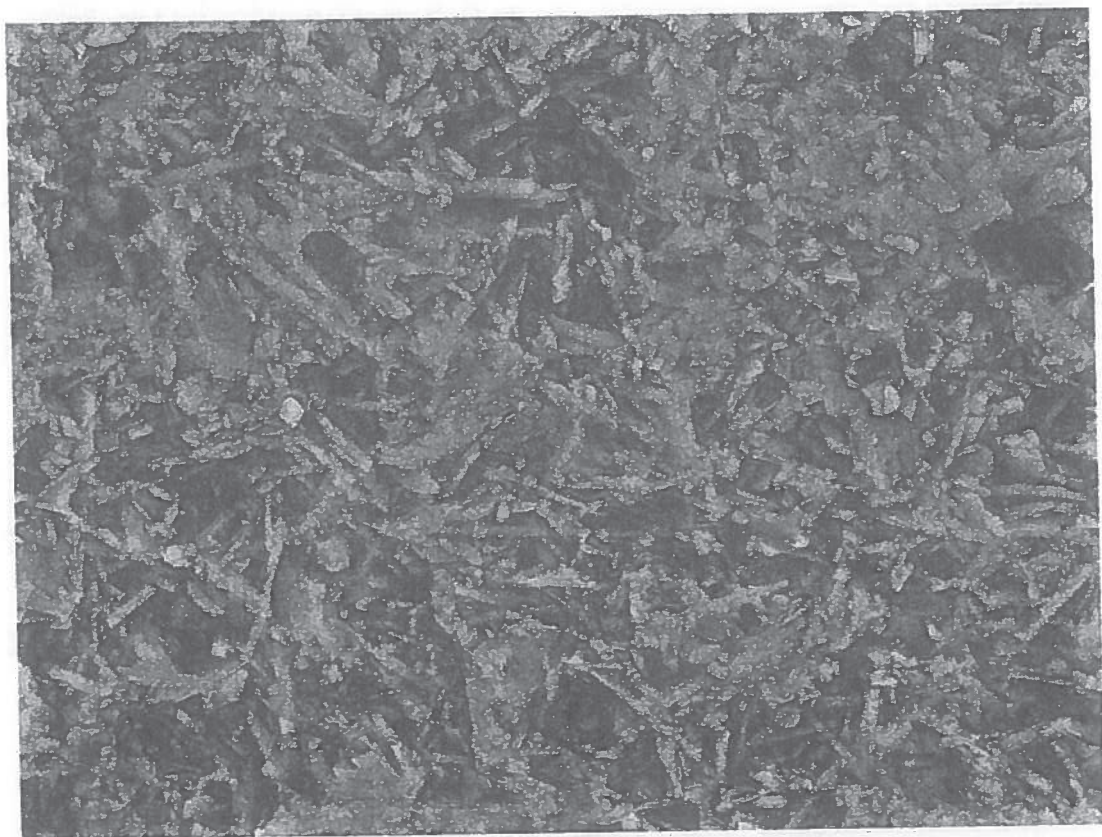
20µm

Fig 32: Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 500 aumentos (retrodispersado)



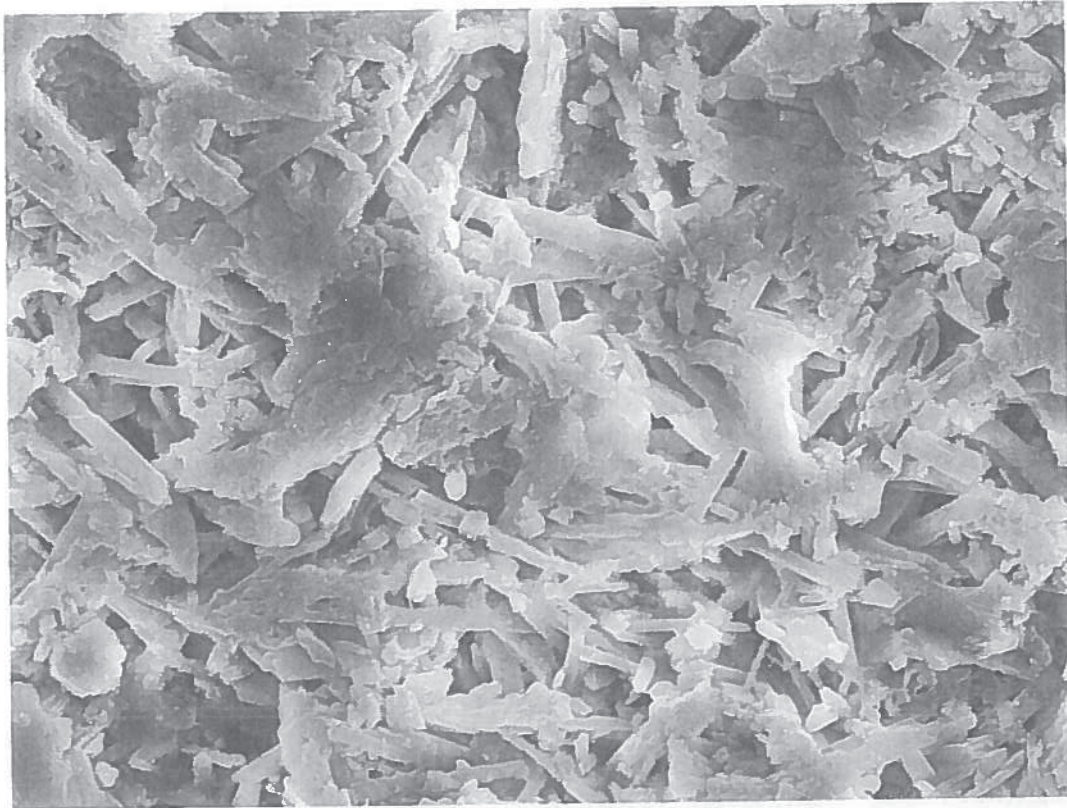
20µm

**Fig 33:** Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 1000 aumentos



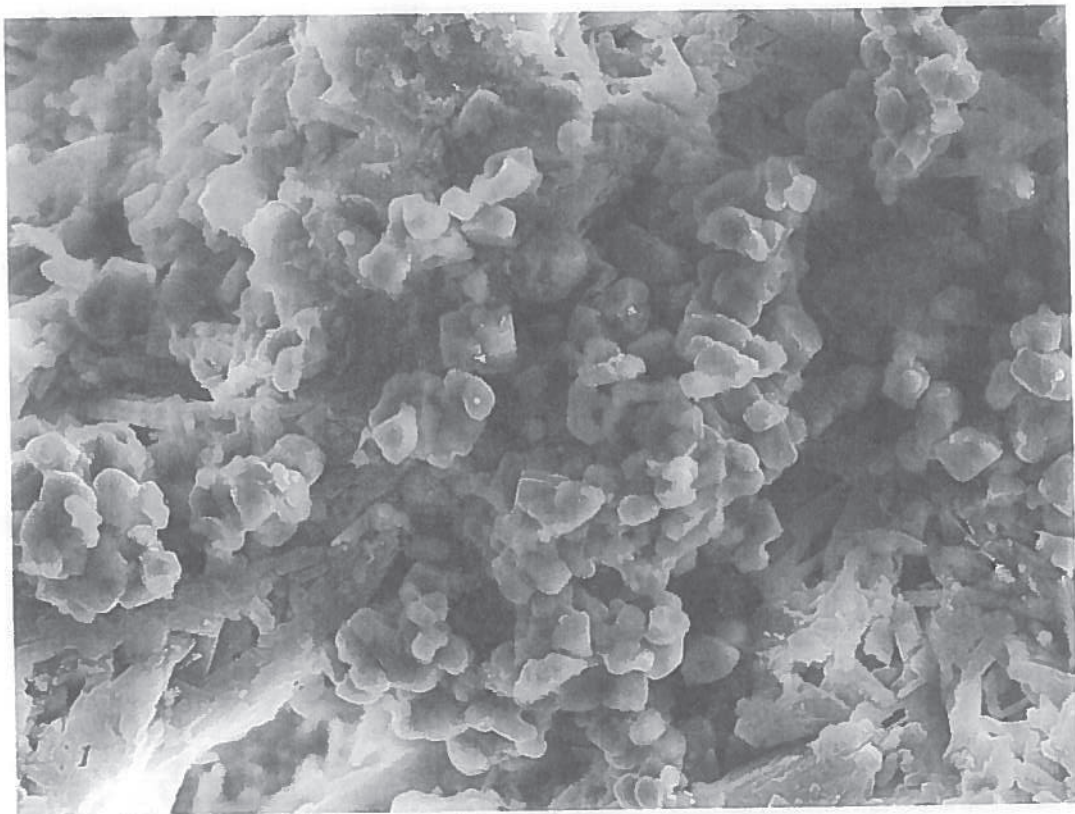
20µm

**Fig 34:** Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 1000 aumentos (retrodispersado)



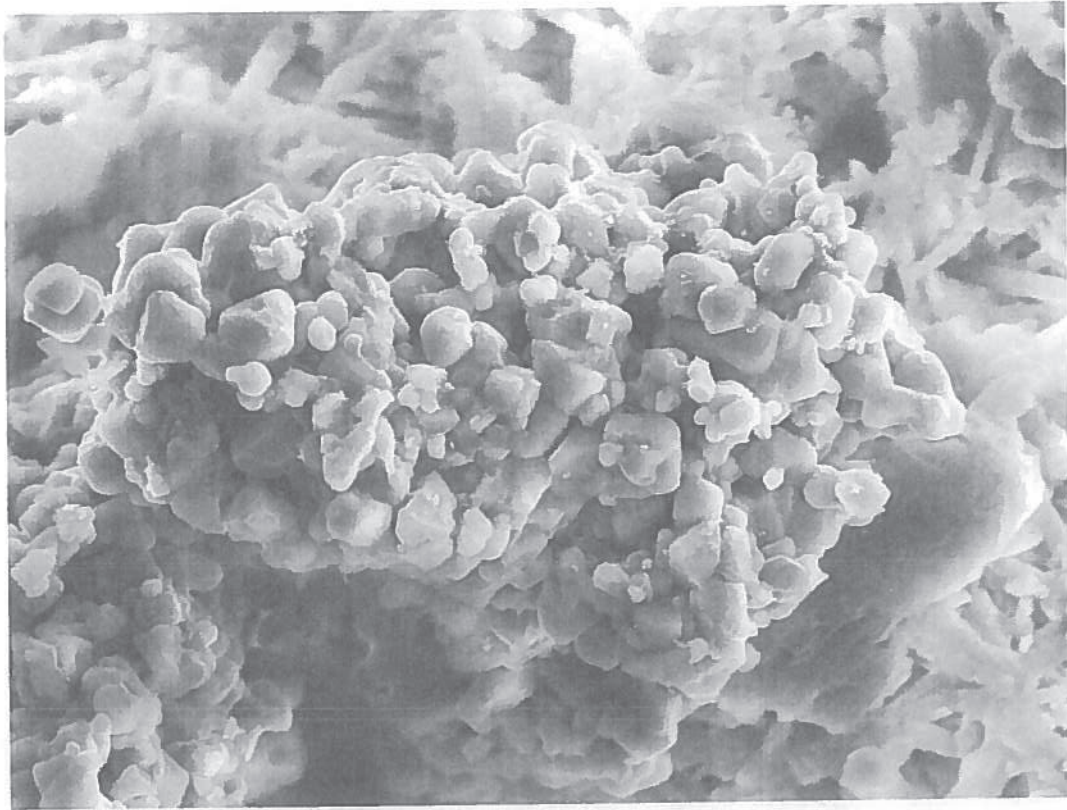
20µm

**Fig 35:** Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 2000 aumentos



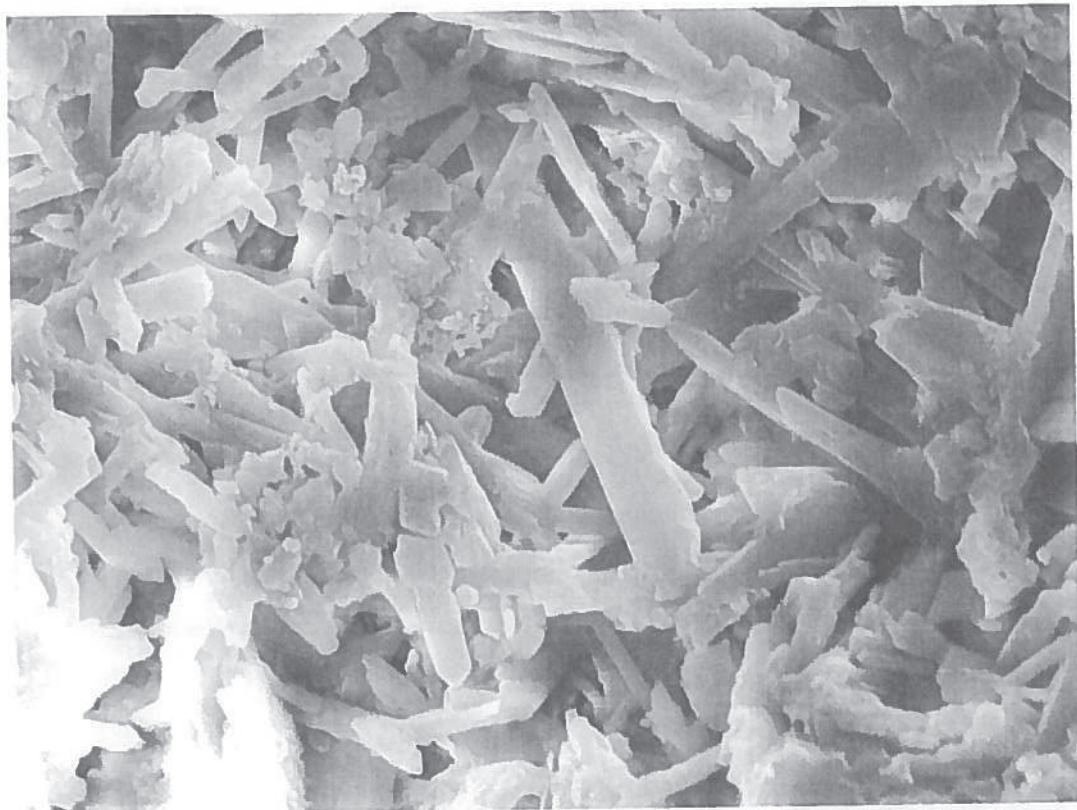
20µm

**Fig 36:** Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 2000 aumentos (B)



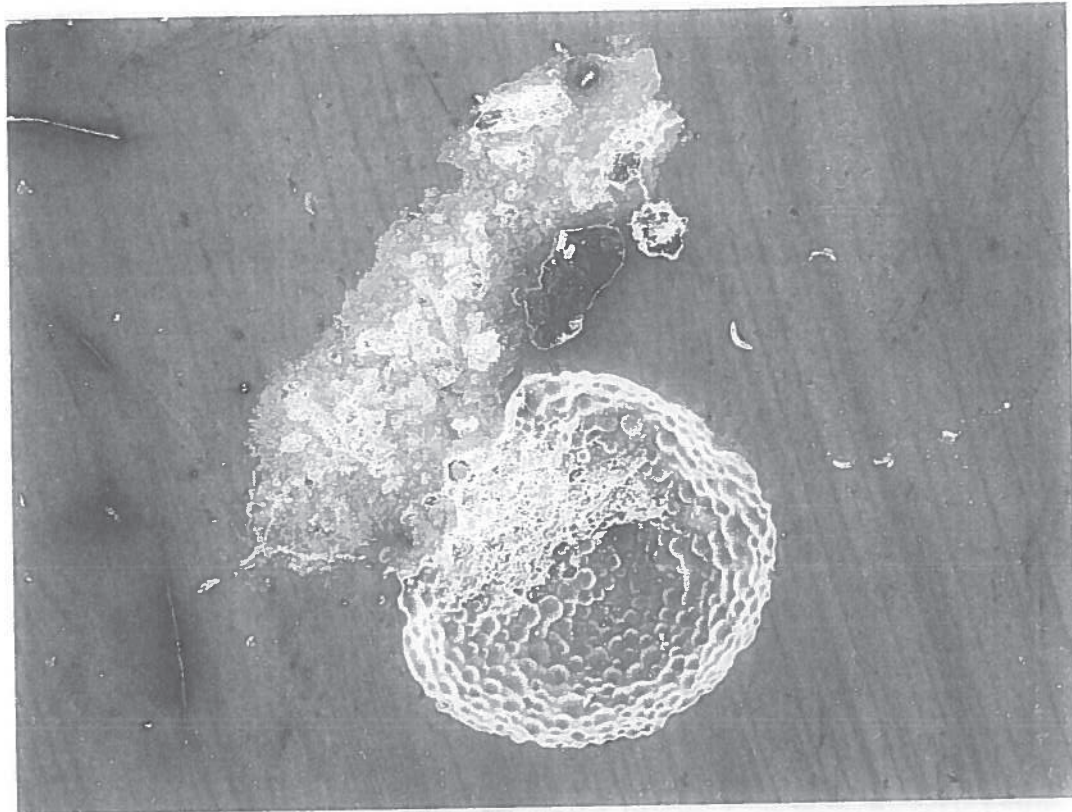
20 $\mu$ m

**Fig 37:** Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 2200 aumentos



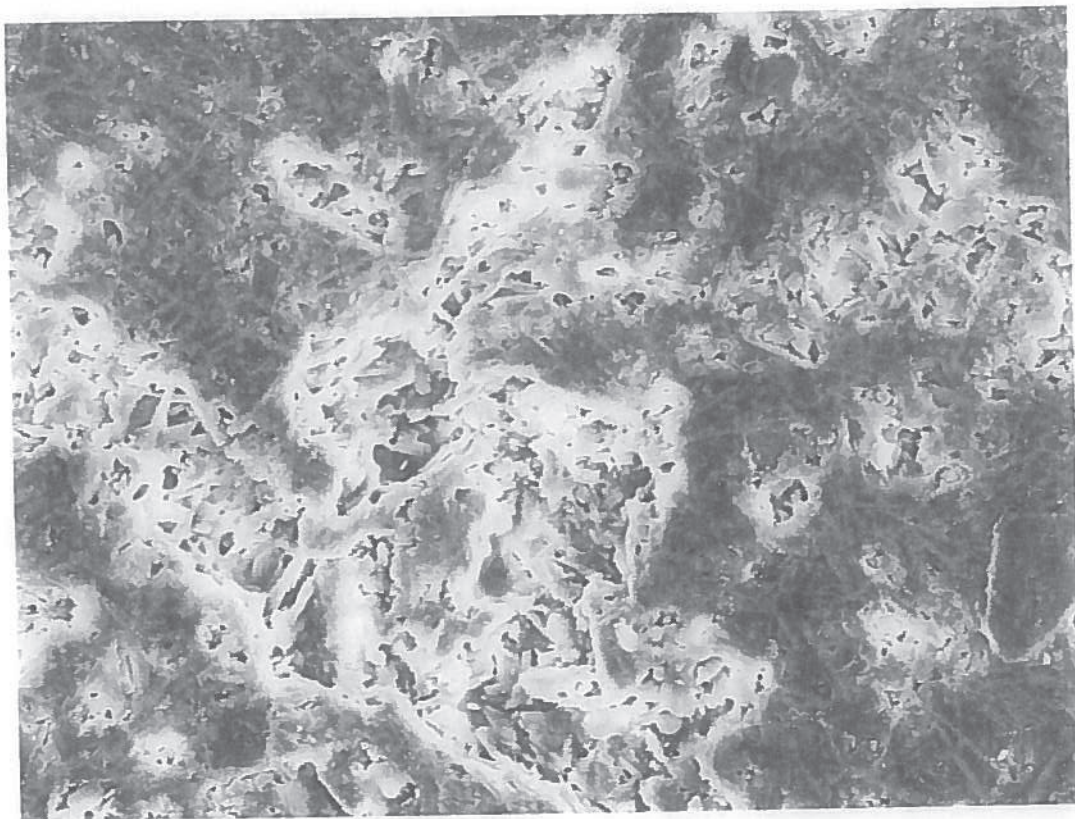
20 $\mu$ m

**Fig 38:** Seleuco I Nicátor: unión busto zócalo a 3300 aumentos



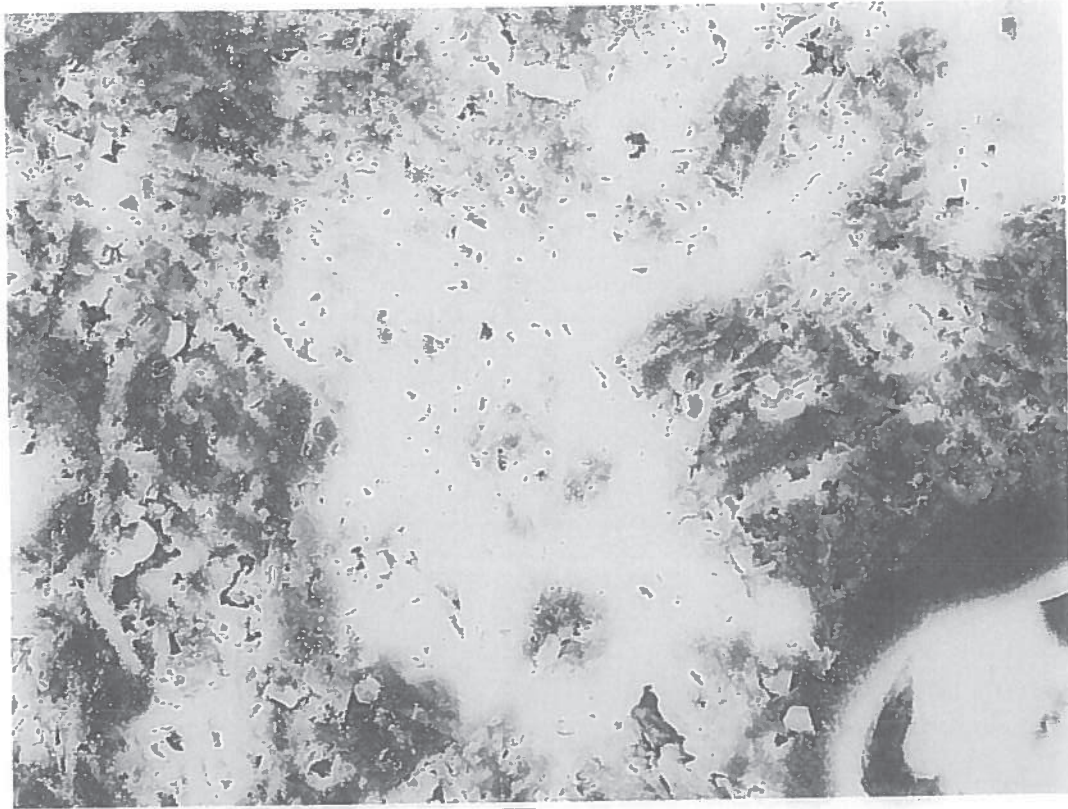
500 $\mu$ m

**Fig 39:** Laoconte, torso pectoral a 100 aumentos



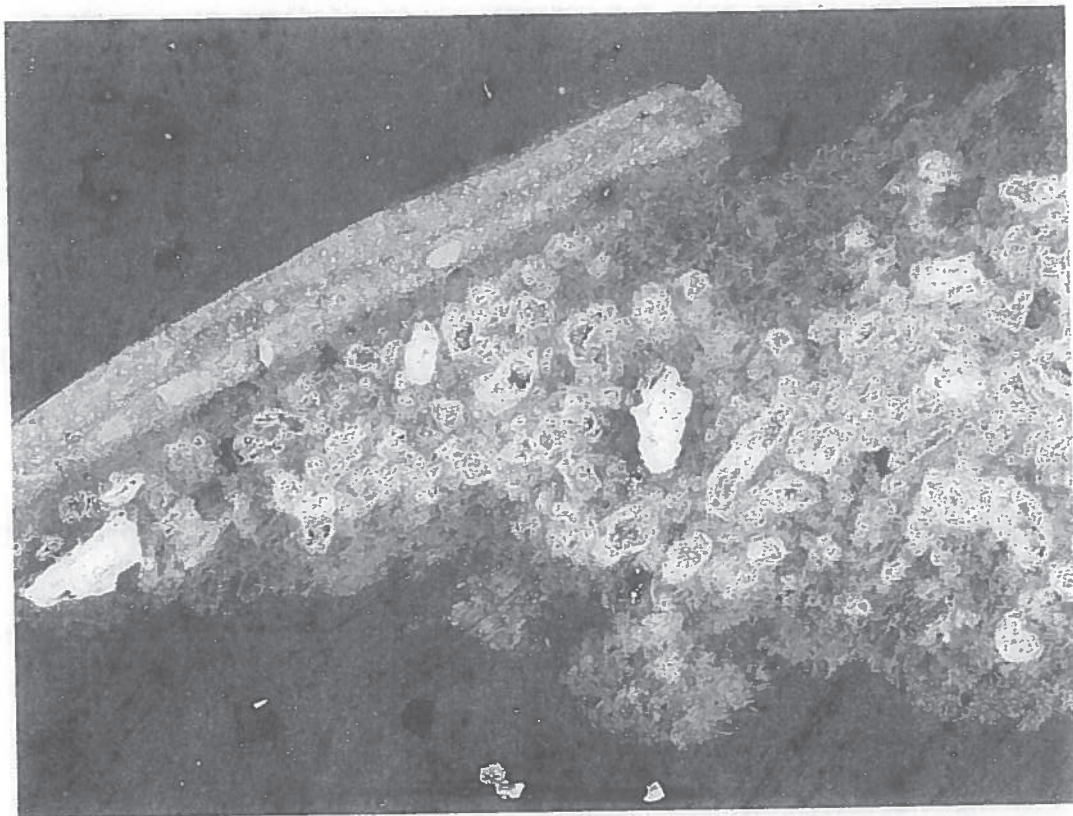
100 $\mu$ m

**Fig 40:** Laoconte, torso pectoral a 400 aumentos



50µm

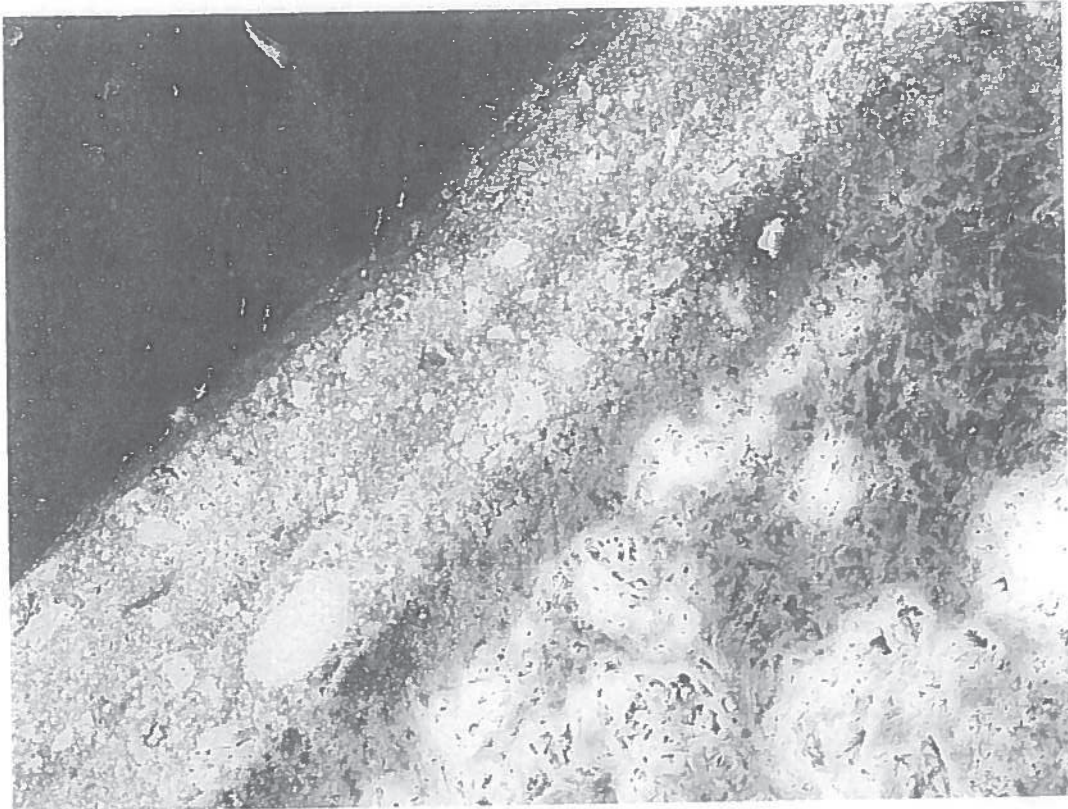
**Fig 41:** Laocoonte, torso pectoral a 1000 aumentos



100µm

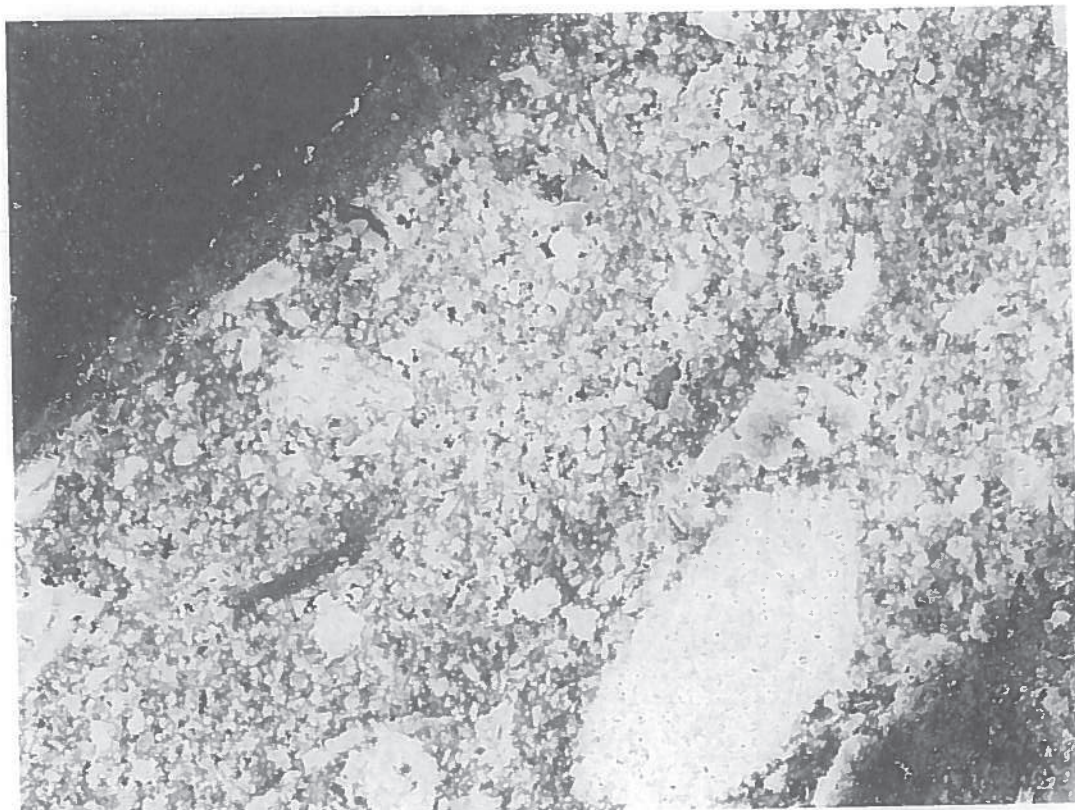
**Fig 42:** Laocoonte, muslo izquierdo a 100 aumentos





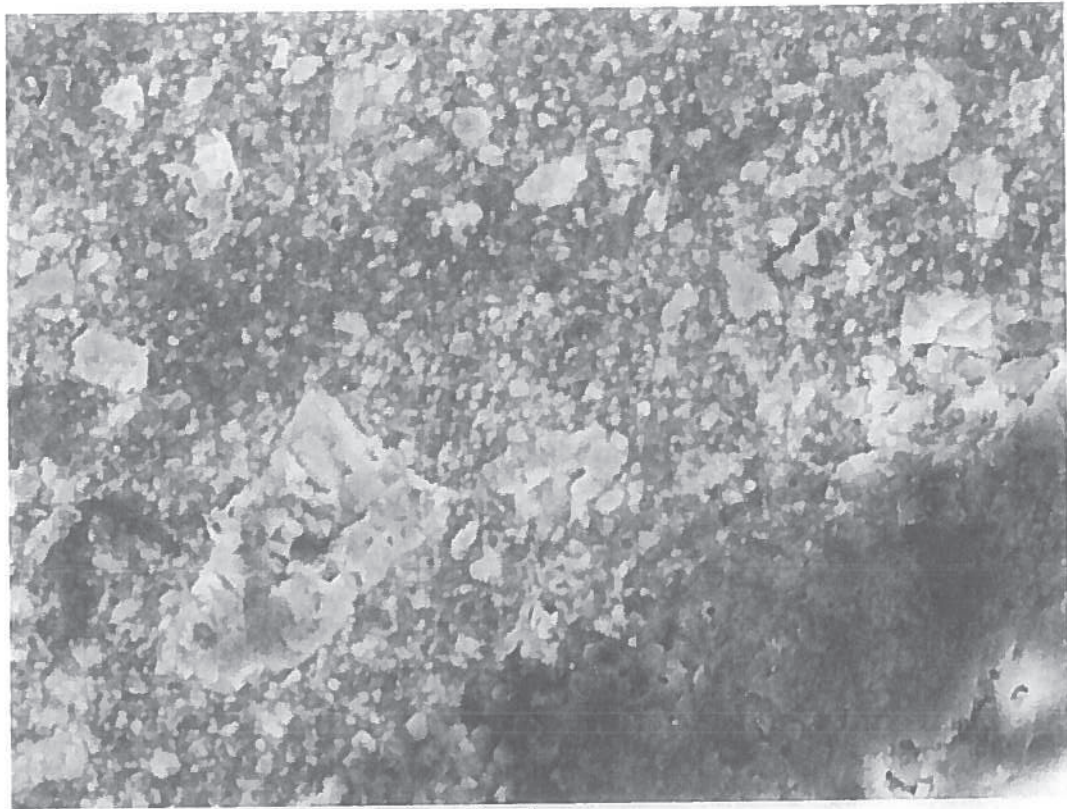
50µm

**Fig 43:** Laoconte muslo izquierdo a 350 aumentos



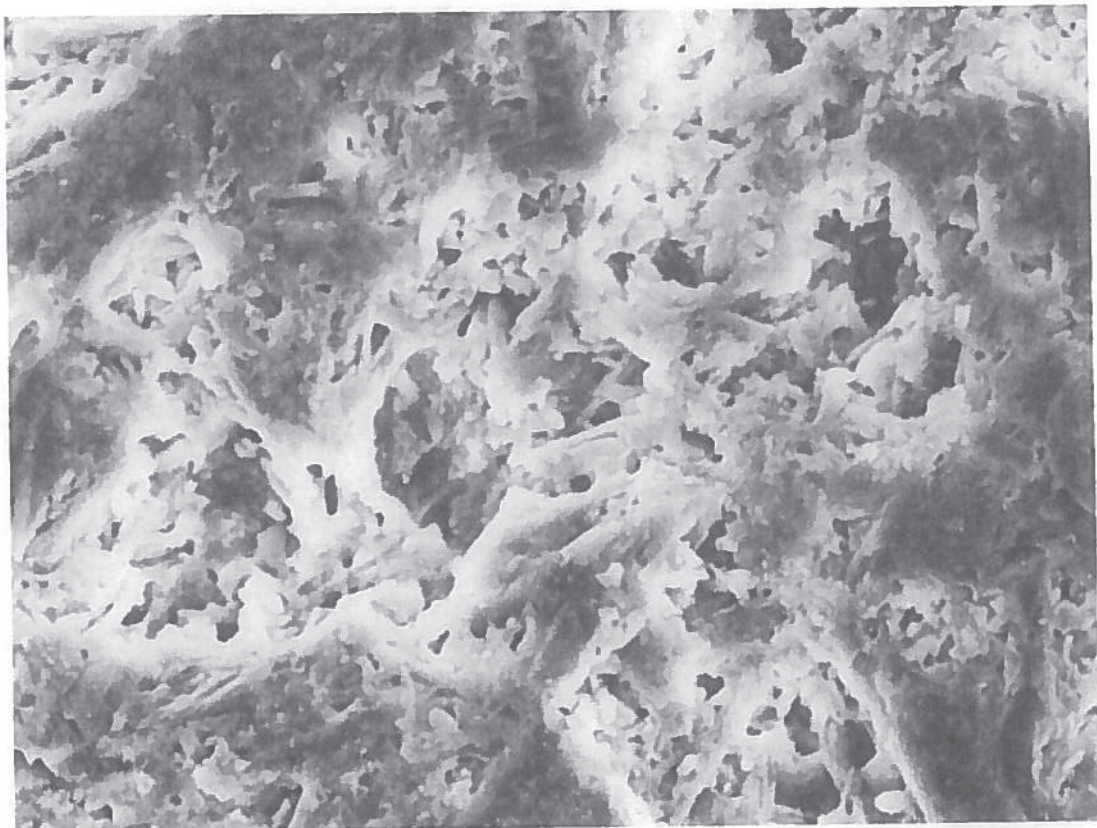
50µm

**Fig 44:** Laoconte, muslo izquierdo a 1000 aumentos (pintura)



50µm

**Fig 45:** Laocnte muslo izquierdo a 1000 aumentos (pintura 2)



50µm

**Fig 46:** Laocnte, muslo izquierdo a 1000 aumentos (yeso)



**Universidad Complutense de Madrid**  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Además, los electrones incidentes excitan los átomos de la muestra y provocan la emisión de rayos X, cuya longitud de onda es característica de los elementos presentes en la muestra y cuya intensidad para una determinada longitud de onda es proporcional a la concentración relativa del elemento. El espectro de radiación X emitido por un mineral en este proceso puede ser utilizado para hacer un microanálisis químico semicuantitativo.

Se han efectuado 24 análisis por EDX, correspondiente a 10 submuestras procedentes de los cuatro vaciados bajo estudio.

Tabla 2: Relación de muestras investigadas por EDX.

EDX n°	SEM-fig	fecha	descripción	coment
1	4	04.02.	Capa superficial rotura brazo	W quitado
2	5	04.02.	Capa superficial rotura brazo	-
3	9	04.02.	brazo derecho	sustrato
4	sin imagen	04.02.	brazo derecho	sustrato, más alejado de la capa pictórica
5	10	04.02.	brazo derecho	sustrato, 2 zona ensayo
6	11	04.02.	brazo derecho	capa pictórica
7	13	30.03.	capa inferior Peana, zona trasera,	
8	HF 1A x 1000.jpg	30.03.	rótula inferior	statistics
9	17	08.01.	unión cintura	-
10	19	19.01.	unión cintura	Cristalito centrado romboedrica Grano redondeado a la derecha del cristal romboedrico, separado de el por zona plana
11	en ana6	19.01.	unión cintura	
12	en ana7	19.01.	testículos	Zona plana en la capa pictórica Grano cuadrado de bordes blancos
13	en ana7	19.01.	testículos	
14	22	19.01.	testículos	Grano redondeado
15	22	19.01.	testículos	crystal alargado prismático
16	L 4i x 1000(2).jpg	18.03.	torso pectoral	yeso
17	L 4i x 1000(2).jpg	18.03.	torso pectoral	misma zona que los EDX 16
18	L 5i x 1000 pintura (2).jpg	18.03.	muslo izquierdo	pintura
19	L 5i x 1000 yeso.jpg	18.03.	muslo izquierdo	statistics n=7
20	SN4AX1000-3.jpg	08.01.	reverso borde	-
21	SN4AX2000-4.jpg	08.01.	reverso borde	-
22	en ana4	08.01.	reverso borde	-
23	sn4bX2000_B.jpg	27.01.	unión busto	granos redondeados
24	sn4bX3300.jpg	27.01.	unión busto	-



Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Ciudad Universitaria  
28040 Madrid  
Tfno.: 91.394.41.46  
Fax.: 91.394.43.29  
E-mail: cdietz@quim.ucm.es

Las tablas 3 a 6 reúnen los resultados de los análisis EDX efectuados, los valores están expresados en atom % y la presencia de sombra en la tabla indica que se trata de una capa pictórica. El valor numérico que aparece detrás del código de cada muestra indica los aumentos bajo los cuales se ha efectuado el análisis EDX.

Tabla 3: Resultados EDX para muestras procedentes de la figura del Baco Médico

	1	2	3	4	5	6	7
muestra	BM3Ax2000	BM3Ax4000	BM3Bx2000b	BM3Bx2000c	BM3Bx2000d	BM3Bx5000	BM3Cx1000
C K	18,58	17,14	23,48	27,65	18,17	23,9	20,67
Mg		0,15	1,94				
Na	0,25						
Al K		0,25	0,58	0,73	0,15		0,27
Si K		0,67	0,26	0,23			3,36
S K	6,69	6,84	2,71	2,2	6,99		4,32
K		0,09	0,05				
Cl			0,14				
Ca K	8,42	8,98	6,06	2,78	8,57	0,27	4,97
Fe		0,09	0,05				
Zn			0,09			9,86	
Ba						0,55	
Pb						3,49	
Rb	0,2						
O	65,86	65,79	64,64	66,32	66,11	61,95	66,41

Tabla 4: Resultados EDX para muestras procedentes de la figura del Hércules Farnese

	8	9	10	11	12	13	14	15
muestra	HF1Ax1000	HF1B(x1K?)	HF1B(x2K?)	HF1B(x2K?)	HF1(Cx500?)	HF1C(x500?)	HF1Cx1000	HF1Cx1000
C K	30,27	32,46	45,19	34,47	47,72	55,88	34,98	43,02
Mg				1,03				
Na				0,66				
Al K			0,2	3,29	0,44		0,21	
Si K	1,31	26,32	4,99	15,16	2,02	1,22	2,57	2,19
S K	0,76	9,46	5,94		1,74		6,38	5,87
K			0,2	0,55				
Cl	0,07							
Ca K	1,06	13,5	9	2,54	6,17		8,76	7,63
Fe			0,63	1,33				
Zn								
Ba								
Pb					4,9	13,74		0,13
Te							0,26	
Rb								
O	66,52	15,16	33,86	40,98	37,01	29,16	37,83	41,15
Au		3,11						



Ciudad Universitaria  
28040 Madrid

Tfno.: 91.394.41.46

Fax.: 91.394.43.29

E-mail: cdietz@quim.ucm.es

Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Tabla 5: Resultados EDX para muestras procedentes de la figura del Laoconte

	16	17	18	19
muestra	L4ix1000	L4ix2000	L5ix1000	L5ix1000
C K	26,23	25,43	29,98	21,74
Mg			0,14	0,31
Na				
Al K	0,1			
Si K	0,78	0,54	0,13	0,53
S K	2,96	3,55		4,98
K				
Br				0,06
Cl			0,15	
Ca K	3,45	3,94	0,32	6,28
Fe				
Zn			3,42	
Ba			0,27	
Pb			0,64	
Te				
Rb				
O	66,49	66,54	64,96	66,09
Au				

Tabla 6: Resultados EDX para muestras procedentes de la figura del Seleuco I Nicator

	20	21	22	23	24
S. Nicator	SN4Ax1000	SN4Ax2000	SN4A(x4K)	SN4Bx2000	SN4Bx3300
C K	42,62	23,92	46,4		13,26
Mg					
Na			0,39		
Al K				0,41	
Si K	0,73	0,6	0,41	0,5	0,28
S K	14,62	24,52	15,28		9,13
K					
Cl					
Ca K	15,25	34,42	16,55	0,85	11,44
Fe				28,44	
Zn					
Ba					
Pb					
Te					
V				0,34	
Cr				15,09	
Rb					
O	24,29	13,42	18,92	54,38	65,9

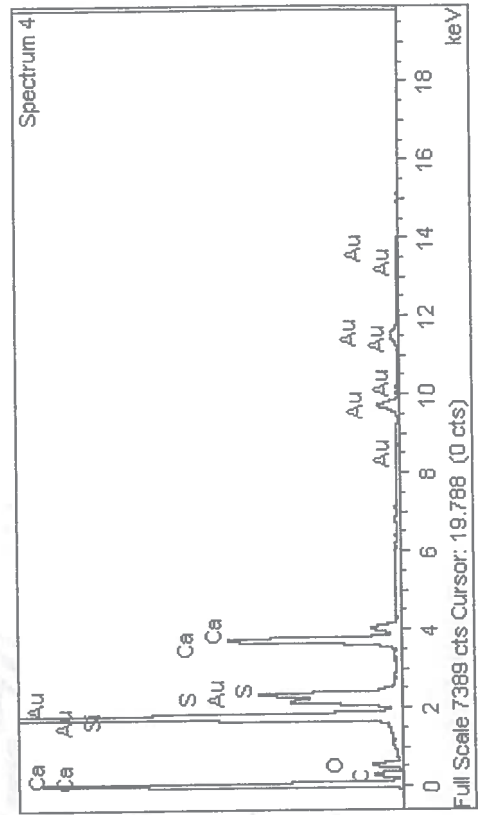
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 3

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	13.79	32.46
OK	8.57	15.16
SiK	26.14	26.32
SK	10.73	9.46
CaK	19.13	13.50
AuM	21.64	3.11
Totals	100.00	



Comment: Hercules Farnese, unión cintura a 1000 aumentos  
HF 1B, 08.01.2009

C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez – estudio piloto

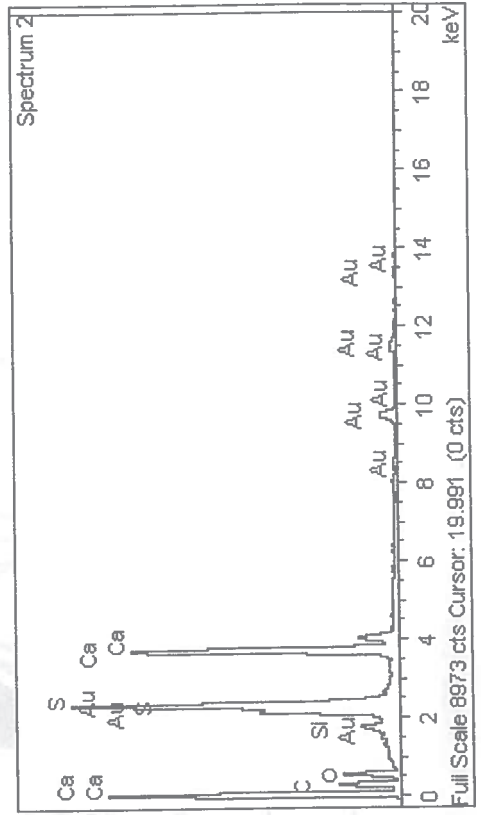
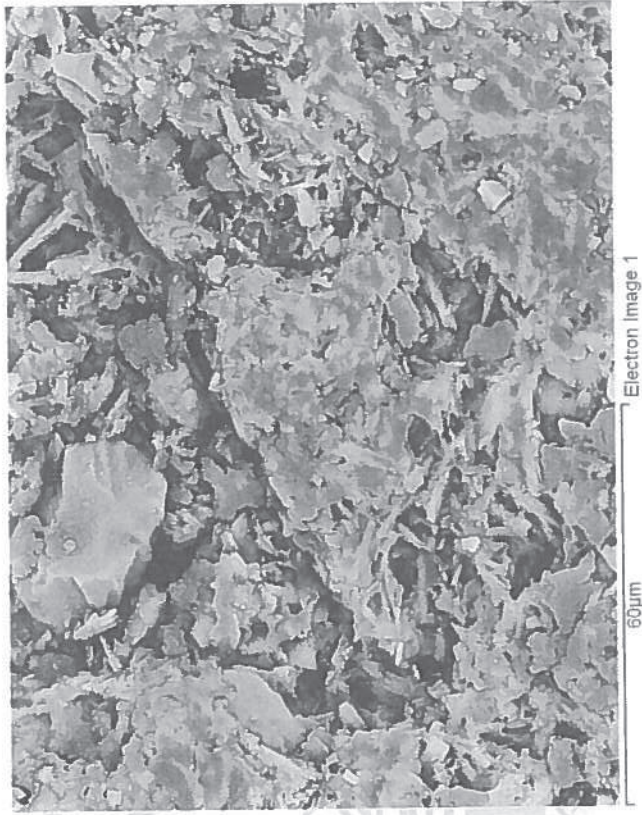
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 4

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	20.55	42.62
OK	15.60	24.29
SiK	0.83	0.73
SK	18.81	14.62
CaK	24.54	15.25
AuM	19.67	2.49
Totals	100.00	



Comment: Seleuco I Nicator, reverso borde a 1000 aumentos  
SN 4A, 08.01.2009

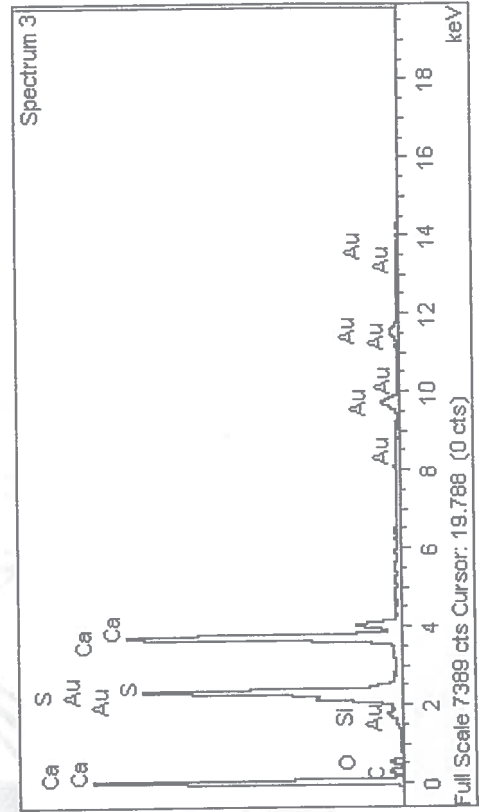
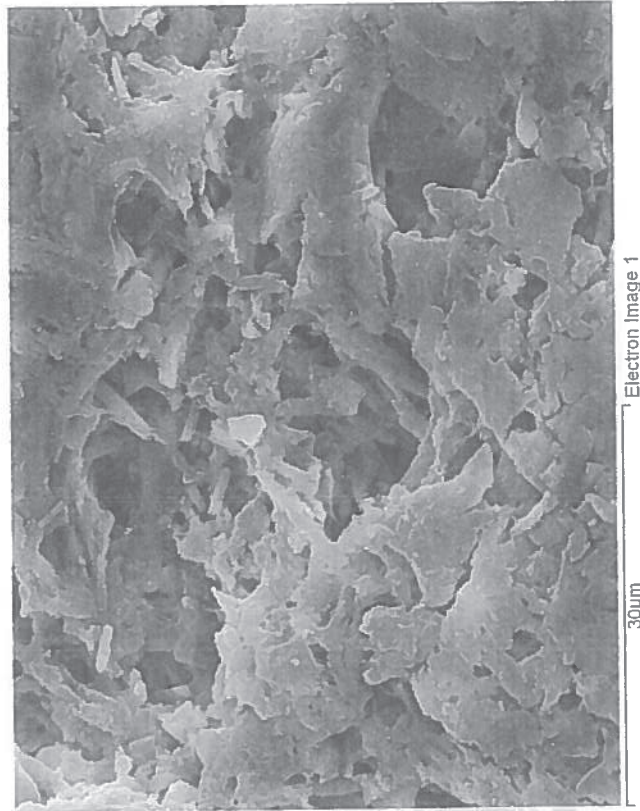
# C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez — estudio piloto

Spectrum processing :  
Peak possibly omitted : 16.131 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 3

Standard :  
C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	8.71	23.92
OK	6.51	13.42
SiK	0.51	0.60
SK	23.83	24.52
CaK	41.81	34.42
AuM	18.64	3.12
Totals	100.00	



Comment: Seleuco I Nicátor: reverso borde a 2000 aumentos  
SN 4A, 08.01.2009



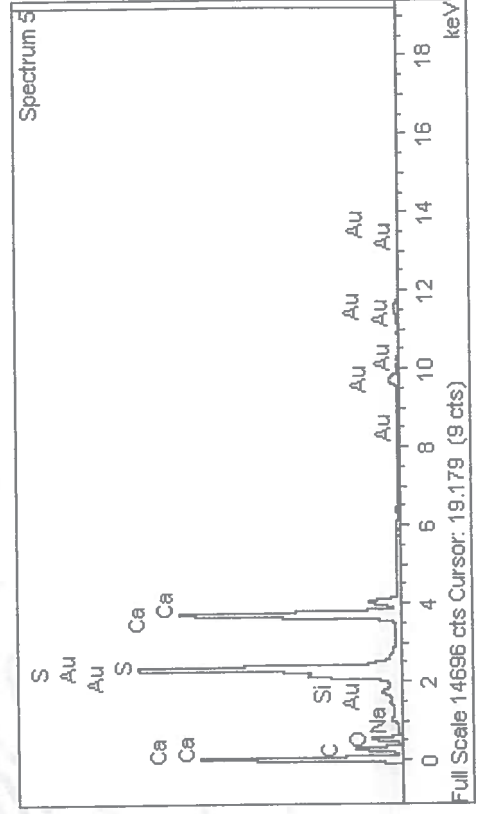
C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez – estudio piloto

Spectrum processing :  
Peak possibly omitted : 6.000 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 4

Standard :  
C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	22.86	46.40
O K	12.41	18.92
Na K	0.37	0.39
Si K	0.48	0.41
S K	20.09	15.28
Ca K	27.21	16.55
Au M	16.59	2.05
Totals	100.00	

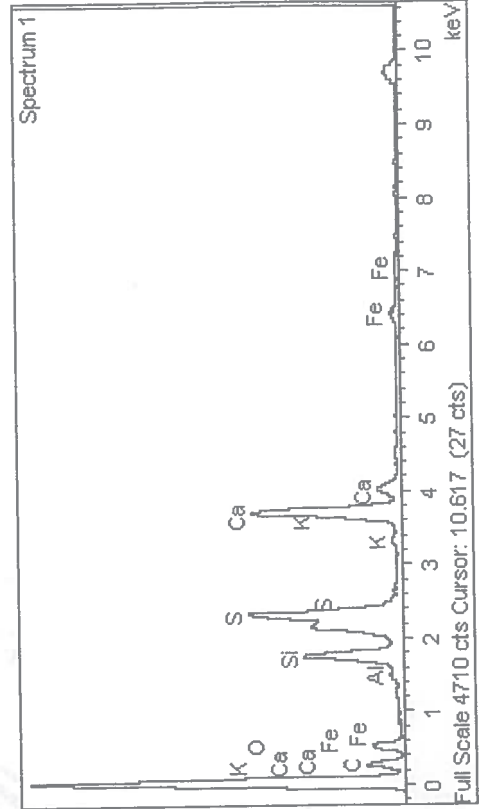
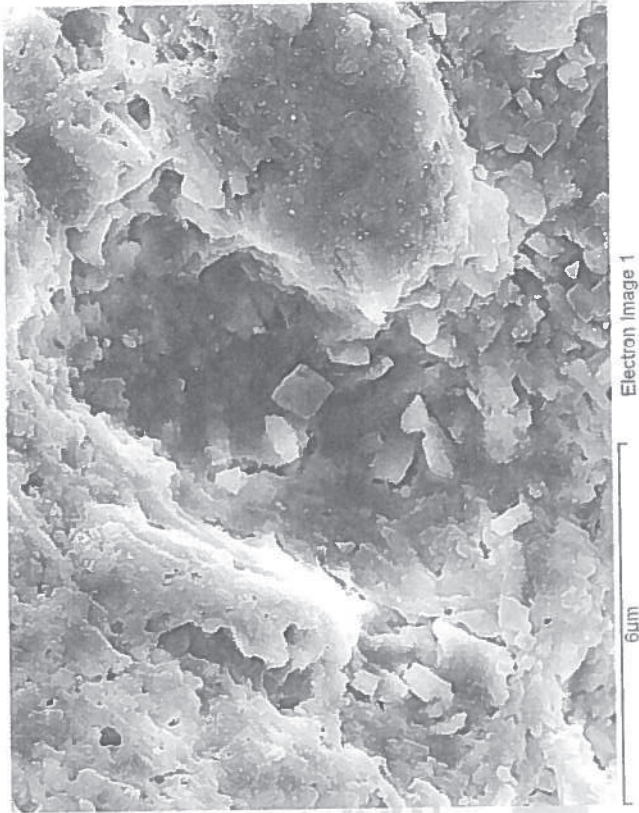


Comment: Hercules Farnese, unión cintura a 1000 aumentos  
HF 1B, 08.01.2009 véase EDX1

Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 4.520, 9.701, 11.460 keV  
 Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 4

Standard :  
 C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	29.76	45.19
O K	29.70	33.86
Al K	0.30	0.20
Si K	7.68	4.99
S K	10.44	5.94
K K	0.42	0.20
Ca K	19.77	9.00
Fe K	1.92	0.63
Totals	100.00	



Comment: Hercules Farnese, unión cintura a 2000 aumentos  
 Cristalito centrado romboédrica. Muestra HF1B; 19.01.2009

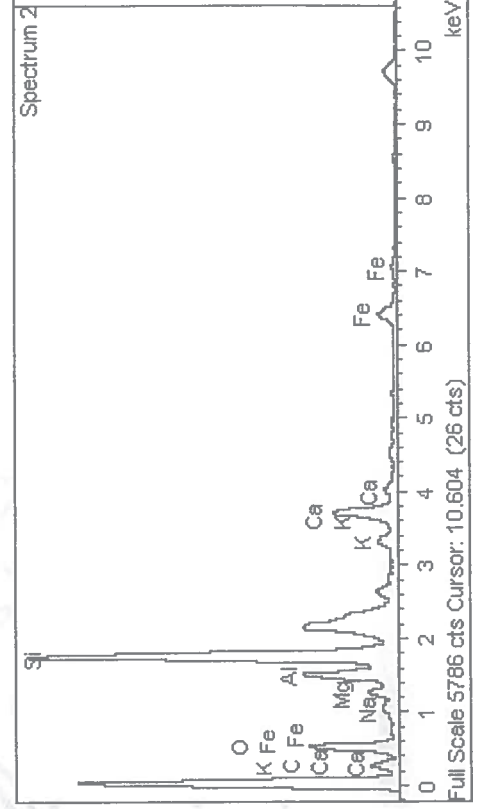
Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 2.140, 2.632, 4.521, 5.280, 9.705, 11.466, 13.340 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 5

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	22.72	34.47
OK	35.99	40.98
NaK	0.83	0.66
MgK	1.37	1.03
AlK	4.87	3.29
SiK	23.37	15.16
KK	1.18	0.55
CaK	5.59	2.54
FeK	4.08	1.33
Totals	100.00	



Comment: Grano redondeado a la derecha del cristal romboédrico, separado de el por zona plana. Muestra HF1B; 19.01.2009

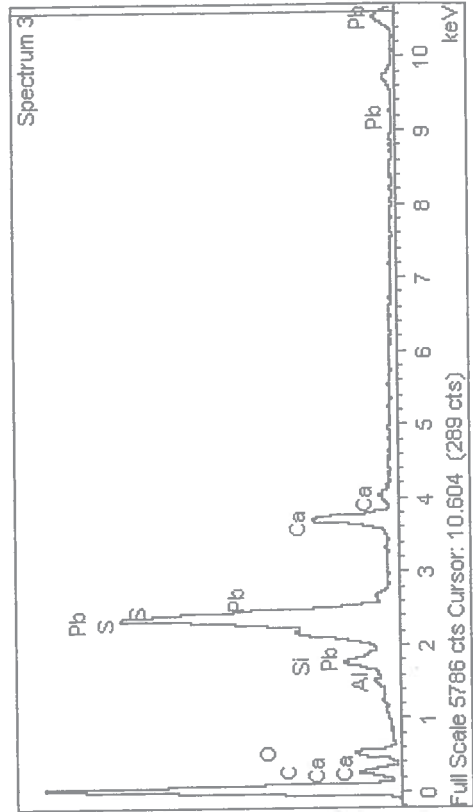
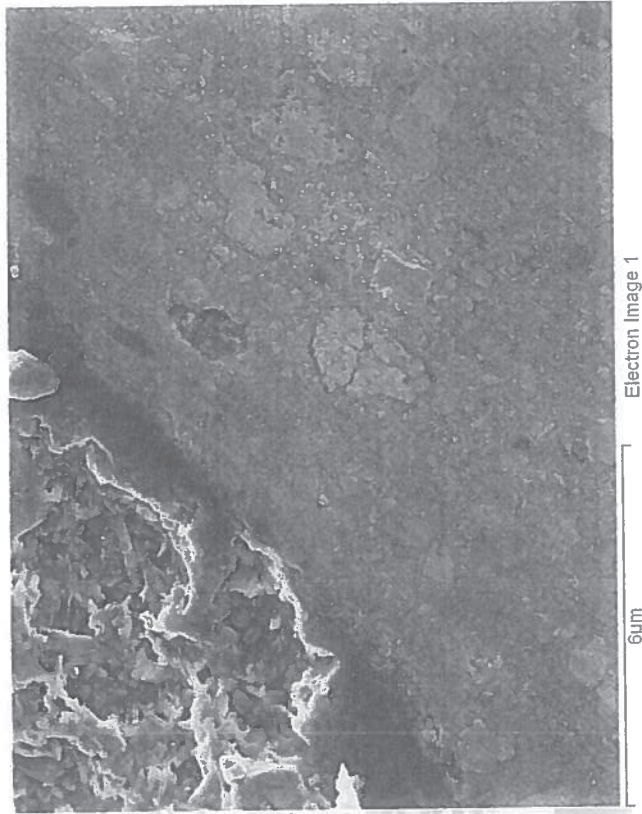
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 4

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	22.46	47.72
OK	23.20	37.01
AlK	0.46	0.44
SiK	2.22	2.02
SK	2.19	1.74
CaK	9.68	6.17
PbM	39.79	4.90
Totals	100.00	



Comment: Zona plana en la capa pictórica. HF 1C, testículos (con pintura). A 50 aumentos, 19.01.2009.

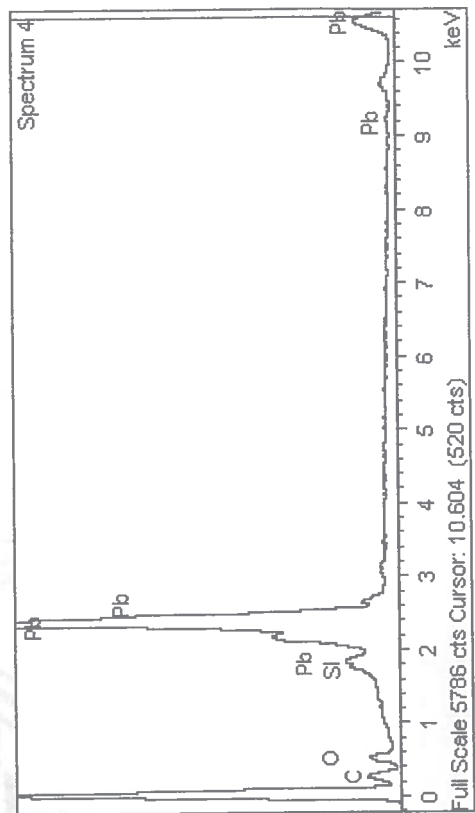
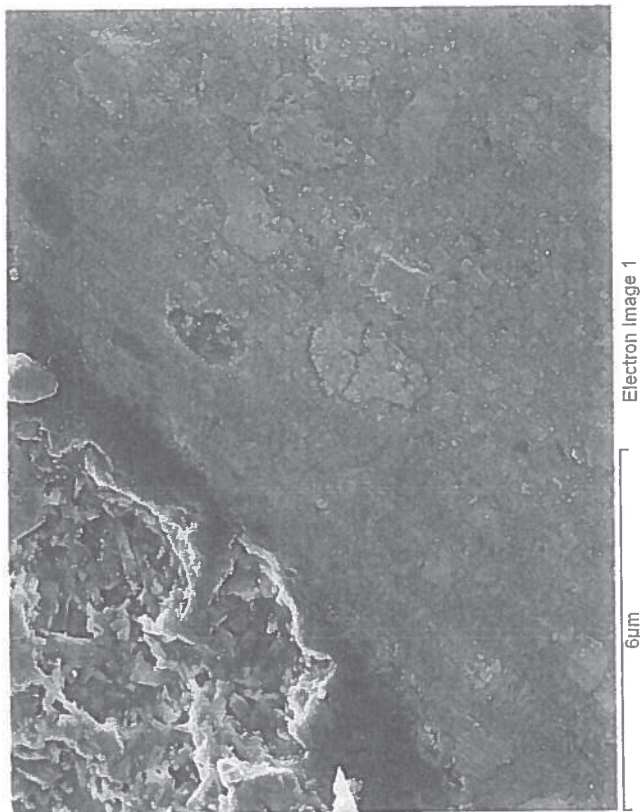
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 3

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	16.70	55.88
OK	11.61	29.16
SiK	0.86	1.22
PbM	70.83	13.74
Totals	100.00	



Comment: Grano cuadrado de bordes blancos. HF 1C, testículos (con pintura). A 50 aumentos, 19.01.2009.

# C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez — estudio piloto

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 9.705, 11.470, 13.380 keV

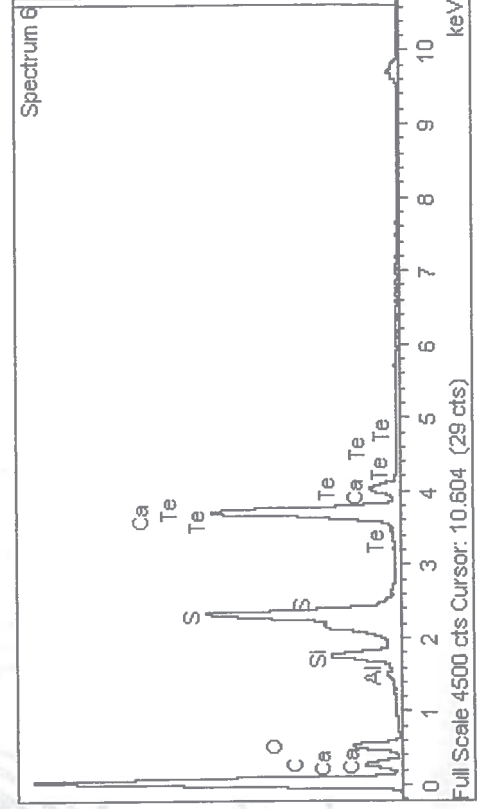
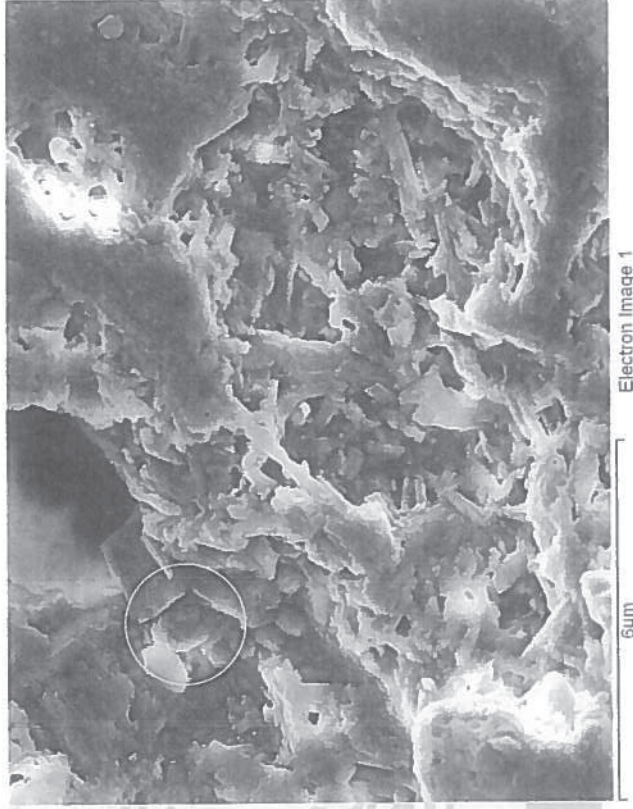
Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Te HgTe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	29.34	43.98
O K	33.62	37.83
Al K	0.31	0.21
Si K	4.02	2.57
S K	11.36	6.38
Ca K	19.51	8.76
Te L	1.85	0.26
Totals	100.00	



Comment: Grano redondeado. HF 1C, testículos (con pintura). A 50 aumentos, 19.01.2009.

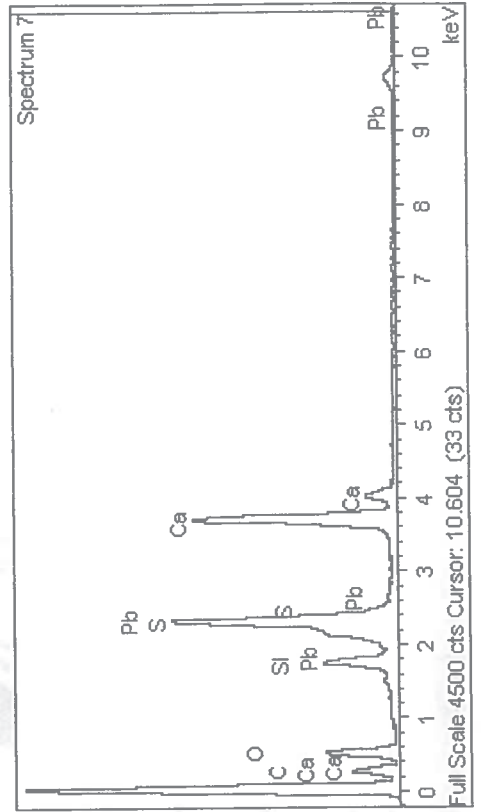
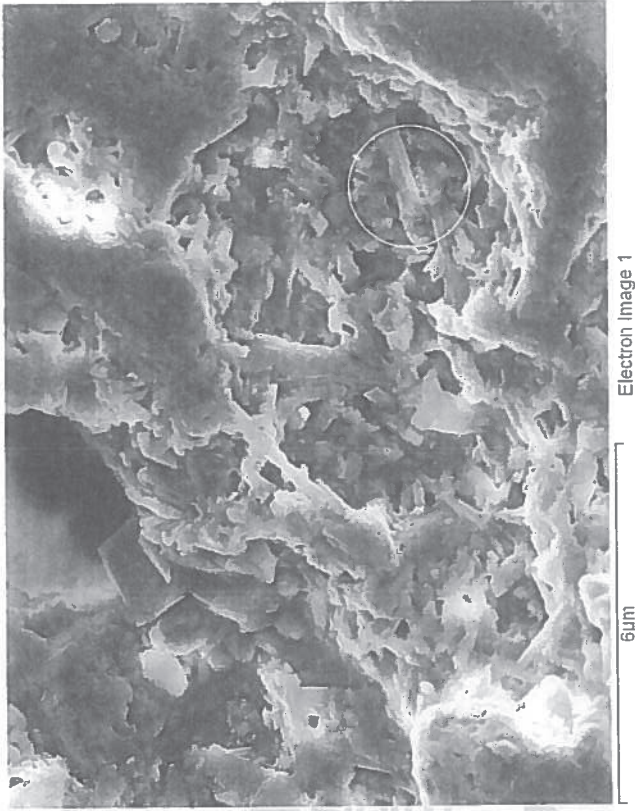
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 5

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
CK	29.41	43.02
OK	37.47	41.15
SiK	3.51	2.19
SK	10.71	5.87
CaK	17.41	7.63
PbM	1.50	0.13
Totals	100.00	



Comment: cristal alargado prismático. HF 1C, testículos (con pintura). A 50 aumentos, 19.01.2009.

Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 2.141, 9.702, 11.499 keV

Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)  
 Number of iterations = 3

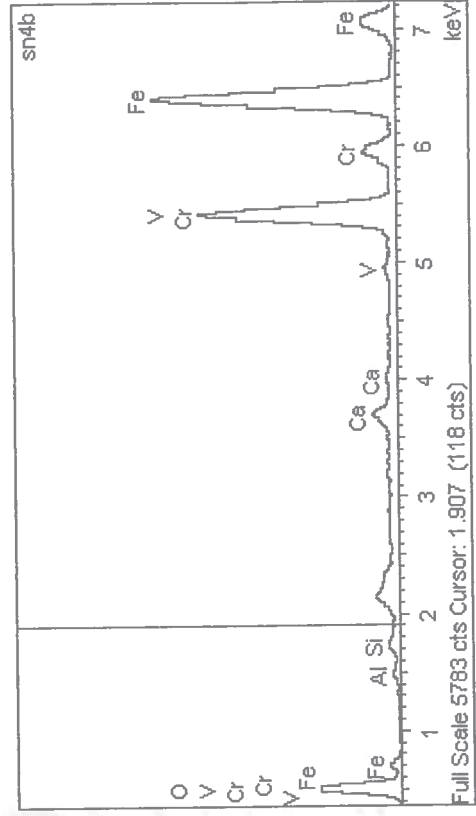
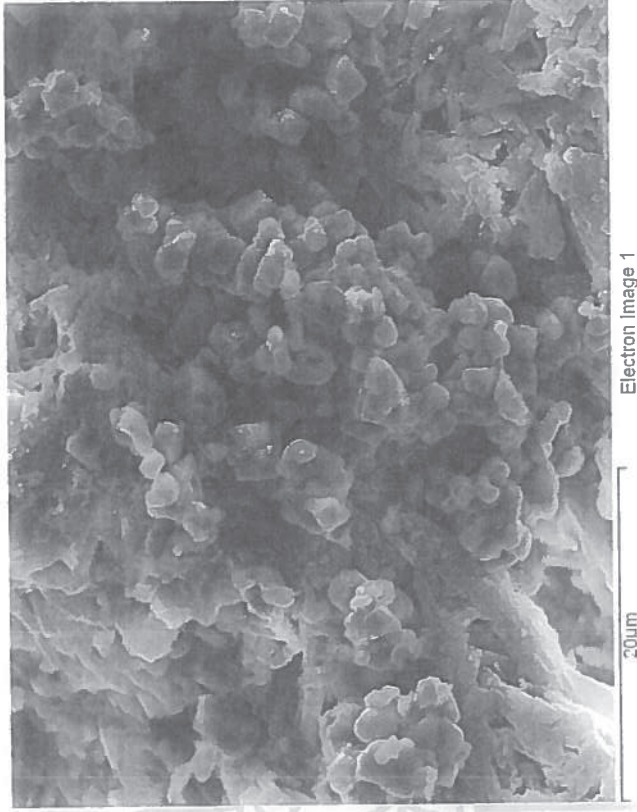
Standard :

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
 V V 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Al K	0.34	0.41	0.63	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si K	0.42	0.50	0.90	SiO <sub>2</sub>
Ca K	1.02	0.85	1.43	CaO
V K	0.52	0.34	0.92	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Cr K	23.64	15.09	34.55	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Fe K	47.85	28.44	61.56	FeO
O	26.21	54.38		
Totals	100.00			

STRANGE ELEMENT CONTENT - CHECK

Comment: Granos redondeados. Seleuco I Nicator unión busto – zócalo a 2000 aumentos. SN4B el 27.01.2009.



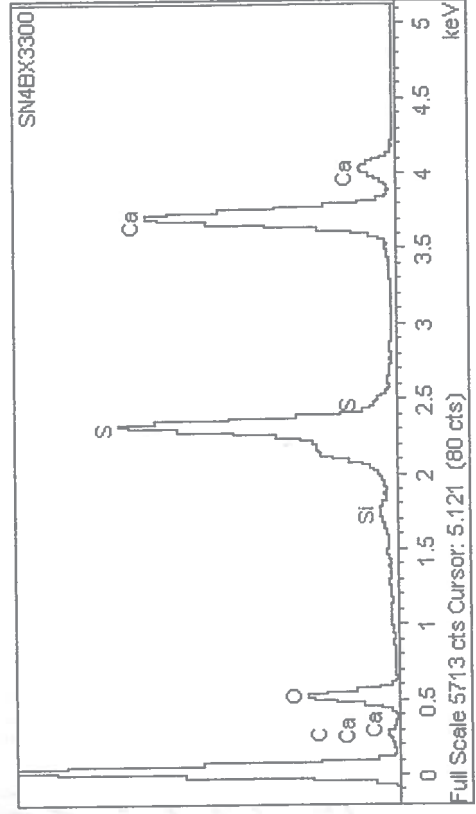


Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 9.702, 11.528 keV

Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)  
 Number of iterations = 4

Standard :  
 C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	8.07	13.26	29.58	CO2
Si K	0.40	0.28	0.85	SiO2
S K	14.84	9.13	37.06	SO3
Ca K	23.24	11.44	32.52	CaO
O	53.45	65.90		
Totals	100.00			



Comment: Seleuco I Nicator unión busto – zócalo a 3300 aumentos. SN4B el 27.01.2009.

C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez – estudio piloto

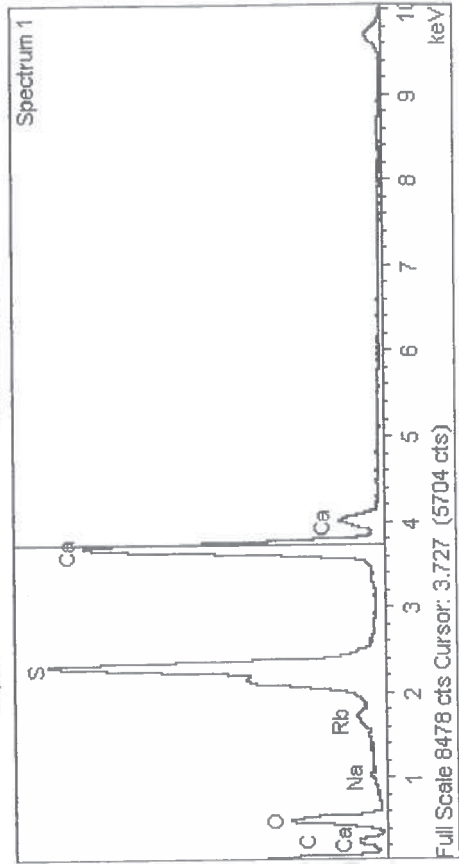
Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 8.565, 9.704, 11.479 keV

Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)  
 Number of iterations = 5

Standard :

C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM  
 Rb Not defined 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	12.05	18.58	44.17	CO2
Na K	0.32	0.25	0.42	Na2O
S K	11.58	6.69	28.91	SO3
Ca K	18.22	8.42	25.50	CaO
Rb L	0.92	0.20	1.00	Rb2O
O	56.91	65.86		
Totals	100.00			



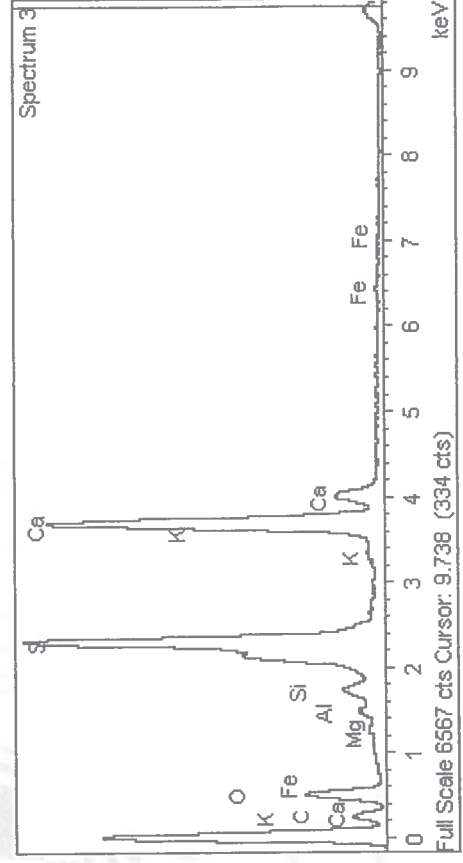
Comment: W quitado, BM3A, 04.02.2009. Bacco Médici - Capa superficial rotura brazo a 2000 aumentos.

Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 9.703, 11.480, 13.396 keV

Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)  
 Number of iterations = 5

Standard :  
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Mg MgO 1-jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-jun-1999 12:00 AM  
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	10.97	17.14	40.21	CO2
Mg	0.19	0.15	0.31	MgO
Al	0.37	0.25	0.69	Al2O3
Si	1.01	0.67	2.15	SiO2
S	11.70	6.84	29.20	SO3
K	0.18	0.09	0.22	K2O
Ca	19.20	8.98	26.86	CaO
Fe	0.26	0.09	0.34	FeO
O	56.12	65.79		
Totals	100.00			



Comment: BM3A Capa superficial rotura brazo a 4000 aumentos,  
 04.02.2009.

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 11.475, 13.342, 17.240 keV

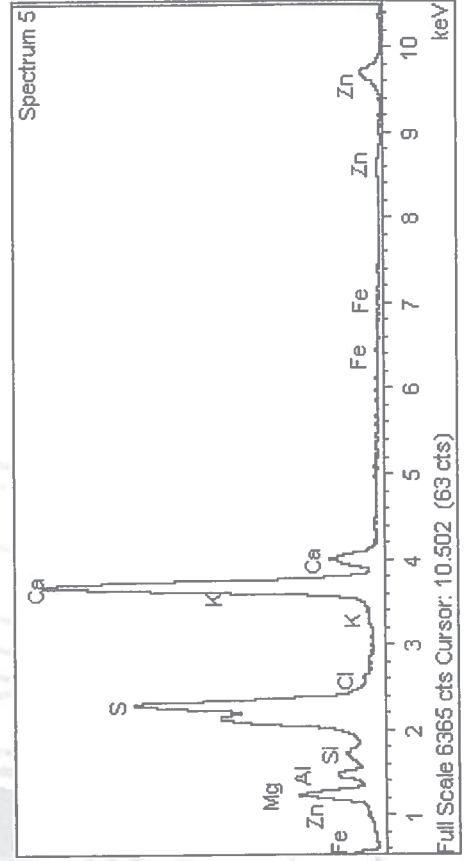
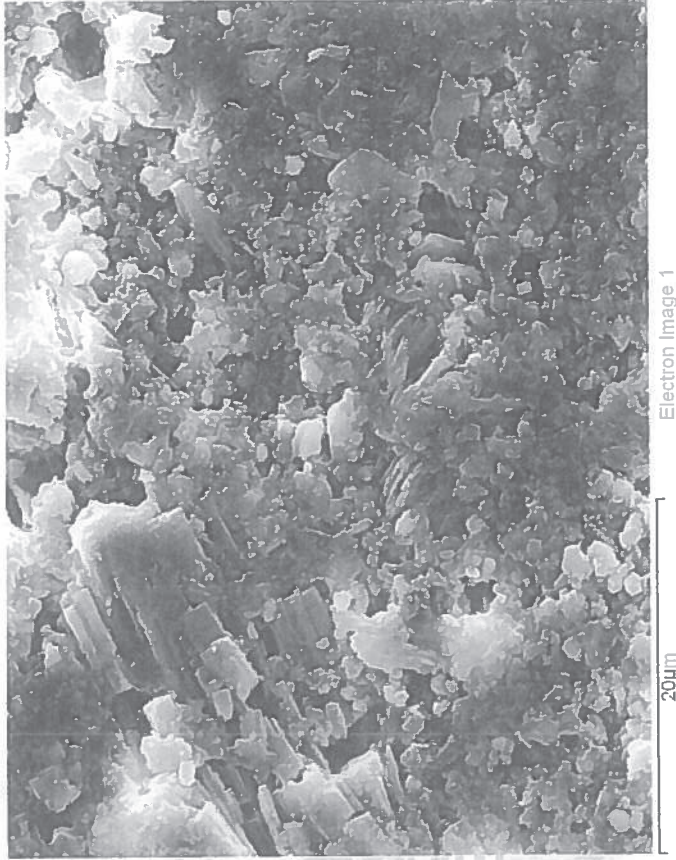
Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)

Number of iterations = 5

Standard :

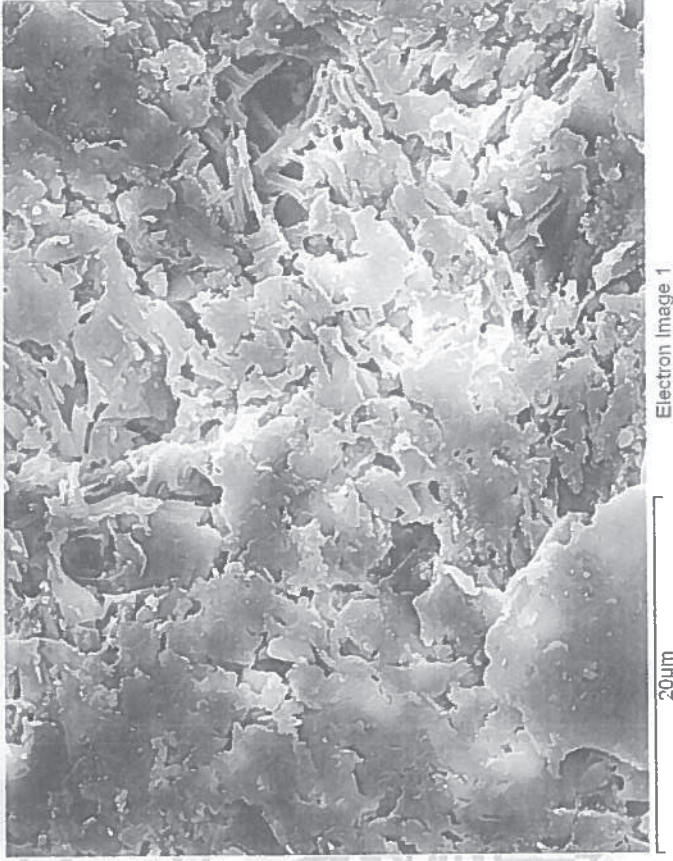
C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Mg MgO 1-jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-jun-1999 12:00 AM  
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM  
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-jun-1999 12:00 AM  
 Zn Zn 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	16.29	23.48	59.68	CO2
Mg K	2.72	1.94	4.52	MgO
Al K	0.90	0.58	1.71	Al2O3
Si K	0.42	0.26	0.91	SiO2
S K	5.01	2.71	12.51	SO3
Cl K	0.30	0.14	0.00	K2O
K K	0.11	0.05	0.13	CaO
Ca K	14.02	6.06	19.61	FeO
Fe K	0.17	0.05	0.22	ZnO
Zn K	0.33	0.09	0.42	
O	59.72	64.64		
Totals	100.00			



Comment: BM3B Bacco Médici - Brazo derecho a 2000 aumentos (yeso) sustrato. 04.02.2009.

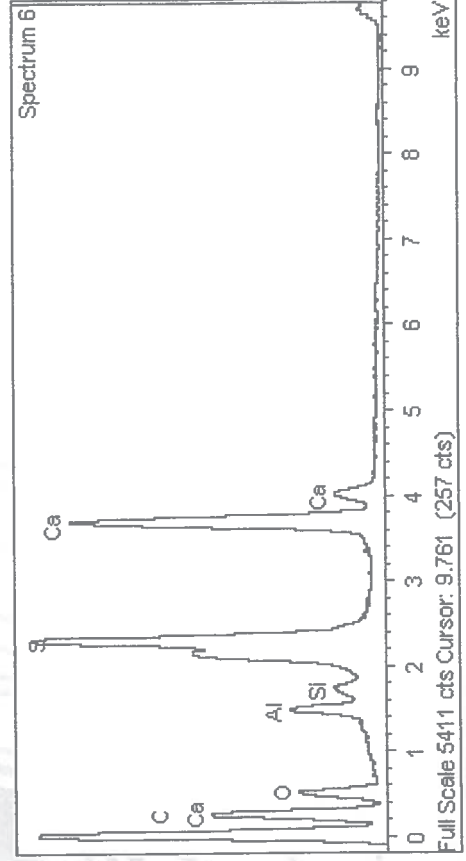
C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez – estudio piloto



Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 6.405, 9.703, 11.480, 13.372 keV  
 Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)  
 Number of iterations = 6

Standard :  
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	20.70	27.65	75.84	CO2
Al K	1.23	0.73	2.32	Al2O3
Si K	0.39	0.23	0.85	SiO2
S K	4.40	2.20	10.98	SO3
Ca K	7.16	2.87	10.02	CaO
O	66.12	66.32		
Totals	100.00			



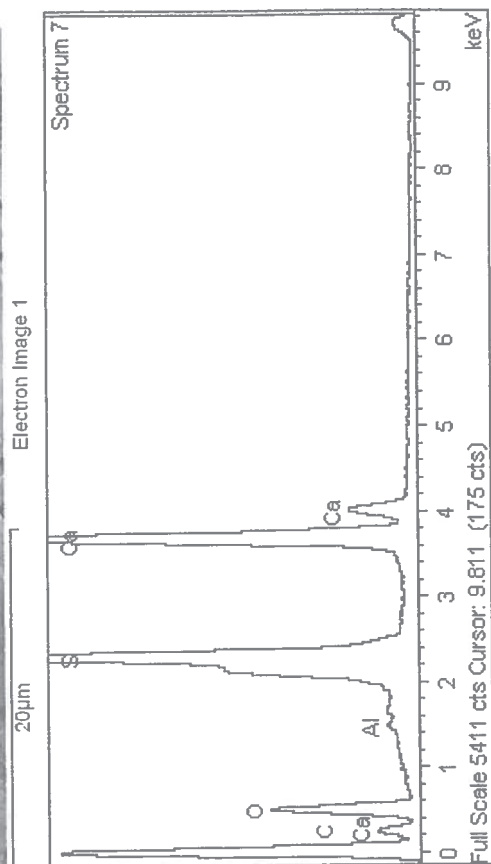
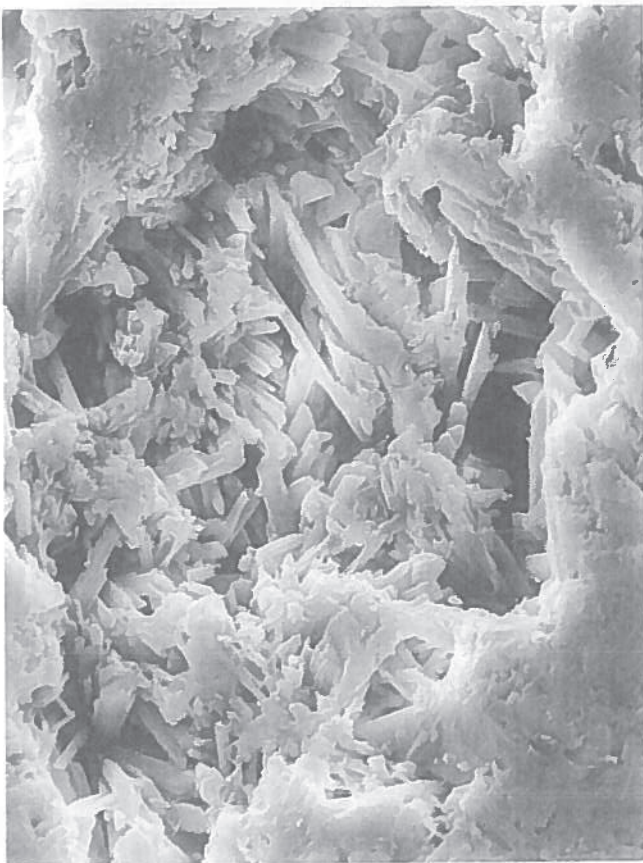
Comment: BM3B x 2000 (b)  
 sustrato, más alejado de la capa pictórica, sin imagen grabado

C.A.I. AAA: Project Colección Velásquez – estudio piloto

Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 9.703, 11.474, 13.376 keV  
 Processing option : Oxygen by stoichiometry (Normalised)  
 Number of iterations = 5

Standard :  
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM  
 S FeS2 1-jun-1999 12:00 AM  
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	11.81	18.17	43.27	CO2
Al K	0.22	0.15	0.42	Al2O3
S K	12.13	6.99	30.29	SO3
Ca K	18.59	8.57	26.02	CaO
O	57.24	66.11		
Totals	100.00			



Comment: BM3B x 2000 (b)  
 sustrato, sustrato, 2 zona ensayo imagen grabado



Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

## B. ICP-MS

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) se usa como fuente de ionización en espectrometría de masas, que tiene excelentes características para el *análisis elemental a nivel de trazas*. Los límites de detección obtenidos están en el rango de las partes por trillón para la mayor parte de los elementos de la tabla periódica.

Actualmente se estudia, en colaboración con el Instituto de Geociencias de la Universidad de Potsdam, si cabe la posibilidad de encontrar una distribución elemental característica para yesos de diferente procedencia. Para la investigación se emplearon 5 fragmentos de dos zonas diferentes del Hércules Farnese, una muestra del Baco Médico y dos diferentes yesos modernos. No hubo suficiente cantidad de muestra para incluir los vaciados de Seleuco I Nicator y Laoconte. La tabla 7 reúne las condiciones de análisis por ICP-MS.

Tabla 7: Condiciones instrumentales de medidas con ICP-MS

Instrument: HP 4500 ICP-MS		Modo: continuo, nebulizador Babbington enfriado por Peltier	
RF power	1260 W	Extract 1	- 174 V
RF matching	1.82 V	Extract 1	- 125V
Sampling depth	6.1 mm	Einzel 1,2	- 102V
Torch horizontal	0.5 mm	Omega Bias	-50 V
Torch vertical	1.1 mm	AMU gain	132
Carrier gas	1.01 L/min	AMU offset	172
Peristaltic pump	0.11 rps	Discriminator	11.3 mV
S/C temperatura	2 °C	EM voltaje	- 1630 V
Integration time	Ti, V, Cr, Mn, Zn, Ba, Ce		0.5 sec/point
Integration time	Sc, Co, Rb, Sn, La, Eu, Gd, Dy, Er		3.0 sec/point
repetitions	4	IS correction	si (11 elementos)

En las tabla 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos para el análisis de trazas en yesos modernos y muestras procedentes de la colección de vaciados de la Academia de Bellas Artes San Fernando de Madrid.

Tabla 8: Elementos traza encontrados en yeso

Element	Yeso crudo	± (n=4)	aguaplast	± (n=4)	HF 1A-1	± (n=4)	HF 1A-2	± (n=4)
Sc	37,70	6.38	43,27	13.28	108,33	2.81	115,44	3.16
Ti	15,52	1.65	23,75	2.41	97,23	8.71	171,34	38.56
V	327,01	40.78	50,63	4.23	323,70	22.14	399,49	22.25
Cr	175,02	23.82	52,50	6.61	110,95	20.47	67,47	12.52
Mn	8936,67	698	8119,95	582	18870,61	1407	16742,36	1023
Co	17,22	5.23	9,12	1.91	176,60	15.74	133,96	8.45
Zn	47,73	18.76	2180,75	97	17,10	14.81	0,00	.
Rb	7,93	1.86	348,71	28.45	1317,49	54.02	1423,43	20.78
Sn	28,33	2.37	0,00	-	0,00	-	0,00	-
Ba	2363,90	43.73	3118,78	93.88	6952,86	106.4	10549,05	617
La	565,92	2.01	144,00	7.6	220,12	10.26	609,20	50.26
Ce	380,34	3.80	426,73	18.90	741,49	27.21	1415,52	95.40
Eu	0	-	0	-	0	-	0	-
Gd	0	-	0	-	3,49	0.75	9,40	1.37
Dy	15,33	0.32	0	-	20,34	3.18	27,05	7.36
Er	17,50	0.47	0	-	5,21	2.19	9,53	5.56



Universidad Complutense de Madrid  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

Todas las concentraciones están expresados en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  yeso

Element	HF 1A-3	$\pm$ (n=4)	HF 1B-1	$\pm$ (n=4)	HF 1B-2	$\pm$ (n=4)	BM-3C	$\pm$ (n=4)
Sc	86,29	2.26	127,26	1.96	119,10	2.79	113,26	3.67
Ti	93,90	5.23	75,74	7.28	107,81	9.35	34,97	4.11
V	287,82	20.84	287,69	11.65	329,38	17.89	77,12	4.8
Cr	58,66	7.95	431,91	64.91	71,27	9.08	2,85	2.67
Mn	15924,98	822	20853,40	1033	19902,38	1204	26769,41	1362
Co	142,97	4.83	96,39	9.83	96,99	6.66	0,00	-
Zn	127,65	7.54	21814,25	408	17800,74	171	6207,32	61.45
Rb	921,02	35.83	614,56	25.5	731,61	9.66	206,57	12.37
Sn	0	-	0	-	0	-	0	-
Ba	6341,45	478	2768,86	53.44	6656,67	260	3334,22	232
La	179,37	27.89	161,49	4.07	272,80	22.26	10,19	8.14
Ce	643,96	66.33	661,90	11.32	836,71	41	278,91	8.61
Eu	0	-	0	-	0	-	0	-
Gd	0	-	7,48	0.75	7,86	0.63	0	-
Dy	15,53	2.98	29,00	2.34	27,81	2.04	0	-
Er	1,78	0.92	10,17	1.15	8,79	0.96	0	-

La sensibilidad, señal de óxidos y especies doblemente cargadas, fondo y resolución de masas fueron tuneados con disolución multielemental (10 ppb) para masas 7, 89 y 205.

### Conclusiones

Element	M1/M2	M2/HF	HFA/HF B	HF/BM	M/C
Sc	no	si	no	no	si
Ti	no	si	no	si	si
V	si	si <sup>1</sup>	no	si	si <sup>1</sup>
Cr	si	si	no <sup>2</sup>	si	si
Mn	no	si	si <sup>3</sup>	si	si
Co	no	si	si	si	si
Zn	si	si	si <sup>4</sup>	si	si
Rb	si	si	si	si	si
Sn	si	no <sup>5</sup>	no	no	no
Ba	si	si	no <sup>6</sup>	si	no
La	si	si <sup>7</sup>	no	si	no
Ce	no	si	no	si	no
Eu	no <sup>8</sup>	no	no	no	no
Gd	no	si	no	no	no
Dy	si	si	no	si	no
Er	si	si	no	si	no

#### Comments

- 1: distingue entre M2 y HF, no entre M1 y HF
- 2.: debido a RSD alto
- 3: [c] en el rango ppm, HFA/HFB posiblemente por deposición superficial
- 4:  $\Delta$  HF1 – HF2 muy alta, [c] ppm en M2, HF2 y BM
- 5: n.d.
- 6: variaciones altas en HF A y B, niveles ppm
- 7: HF 2 A escapado
- 8: debajo de LQ

#### Leyenda

- M1: yeso modemo crudo  
M2: yeso moderno aguaplast, cuajado  
HF1: Hércules Farnese, yeso peana  
HF2: Hércules Farnese, unión cintura  
BM: Baco Médico, capa inferior rotura brazo  
M/C: yeso modemo/yesos de la colección





**Universidad Complutense de Madrid**  
Centro de Asistencia a la Investigación

Arqueometría y Análisis Arqueológico

- Comparado con yesos naturales (Anexo, tabla A1), los yesos investigados se consideran muy limpios.
- Para poder cuantificar el contenido en elementos traza en las muestras, se requiere una cantidad alrededor de 300 mg.
- Las concentraciones medidas para Mn, Zn (ppm) y Co (ppb) en las muestras HF probablemente corresponden a deposiciones superficiales. Es decir existen zonas de "contaminación" superficial de la distribución elemental original.
- Debido a que una estratigrafía del material sería sumamente invasivo, se propone un estudio posterior del contenido en estos elementos (+ Pb, Fe) en las capas superficiales por XRF portátil, centrando el mapeo elemental a muestras procedentes del interior de los vaciados.
- Zn es el elemento más afectado por interferencias, lo que se traduce en una desviación estándar de las medidas relativamente alta.
- Con la excepción de Rb y Co, no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras procedentes de diferentes zonas del vaciado de Hércules Farnese.
- 9/16 elementos permiten distinguir entre los yesos modernos investigados.
- 14/16 elementos permiten distinguir entre los yesos modernos y el yeso empleado en HF
- 11/16 elementos permiten distinguir entre los diferentes yesos empleados en los vaciados de la colección.

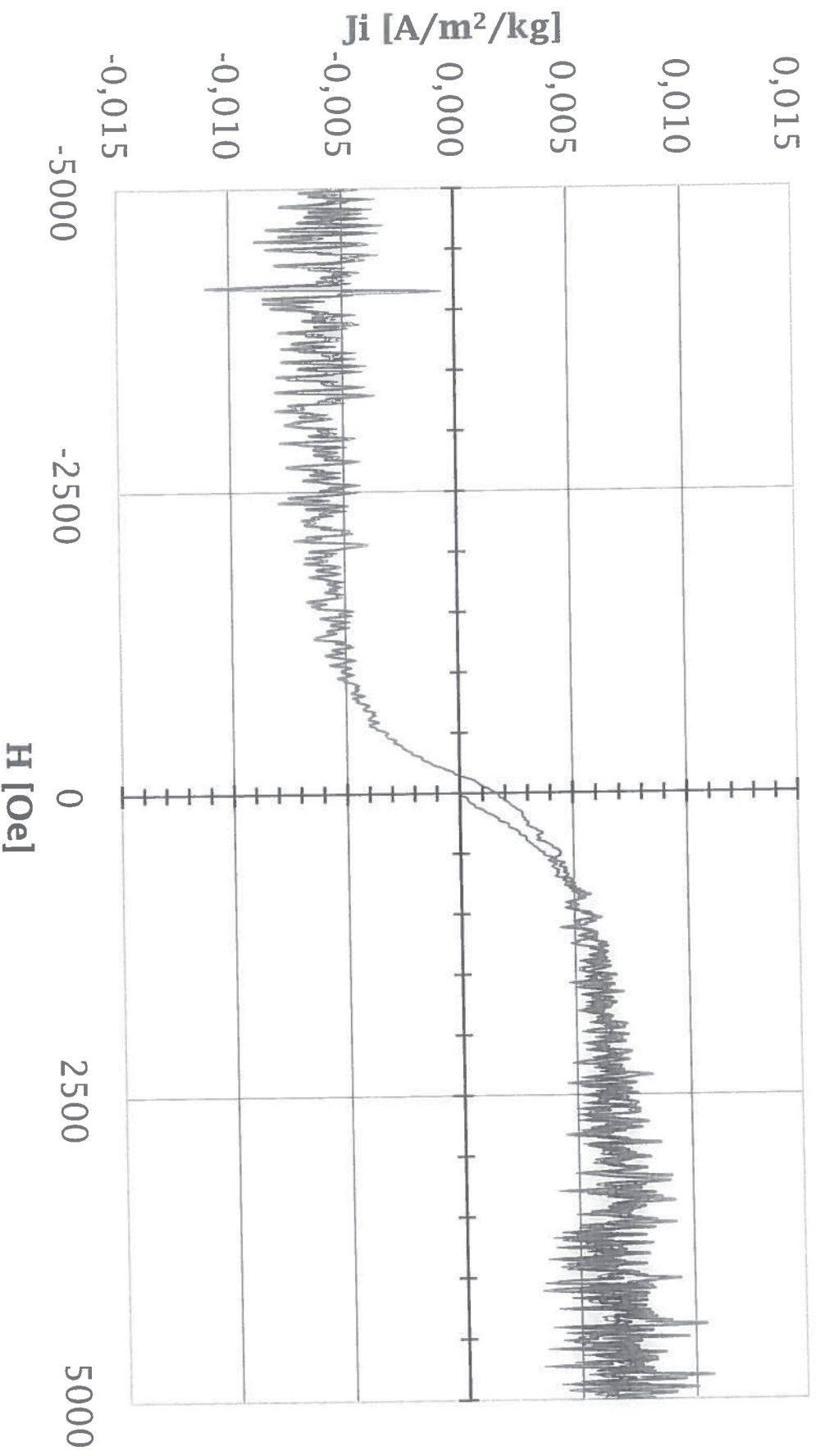
SEM - morfología → interpretación detalle → USIT  
EDX - capas pictóricas +  
clasificación y presencia impurezas +  
ID -  
ICP : fingerprint pattern +  
Históresis : ⊖

⑦

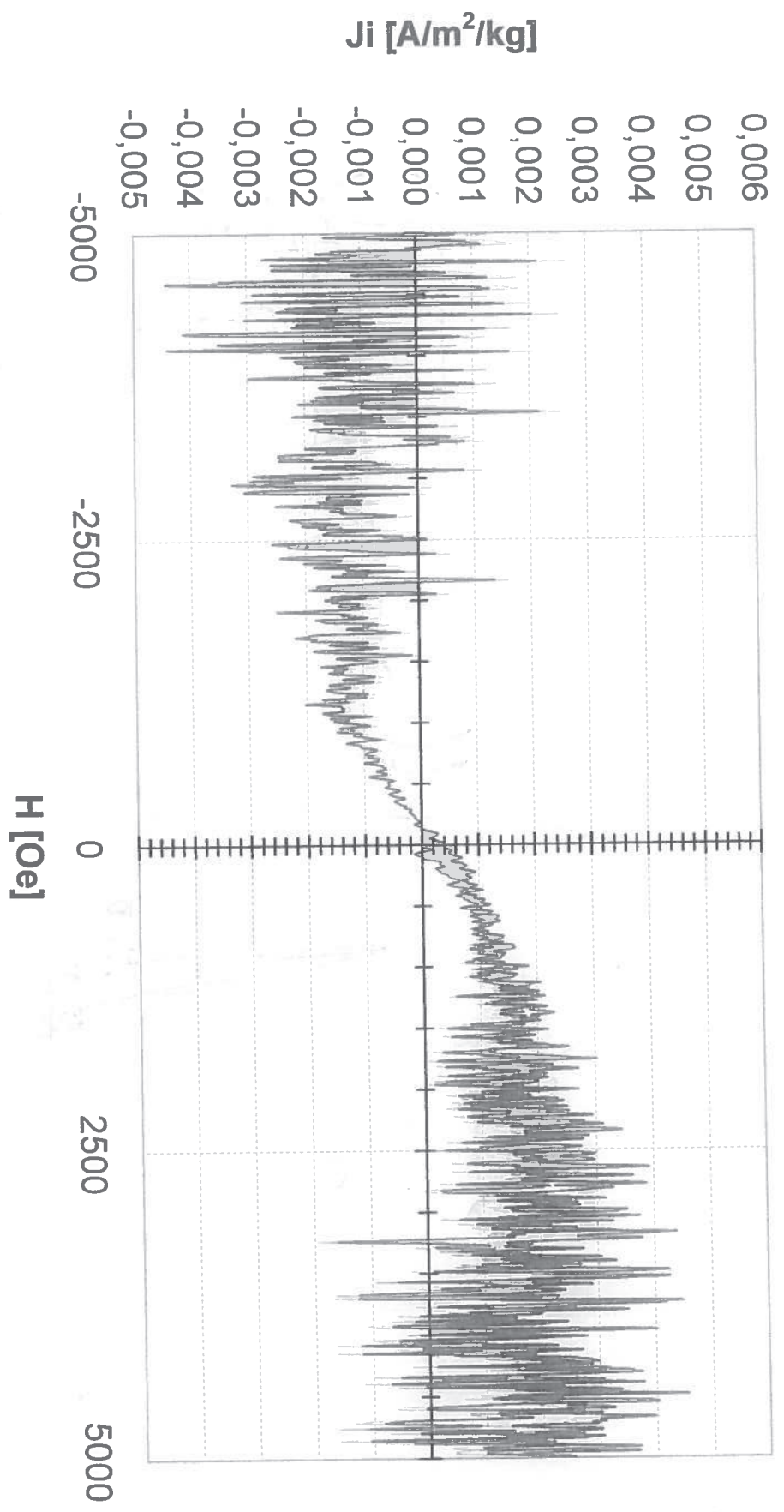
---

SEM : sputter C<sub>1</sub>, retrodispersivo  
SP : fusión oxalina Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>  
XED : CaCO<sub>3</sub> / α-SiO<sub>2</sub> / yeso / anhidrito / silicatos

## IAH - Curvas de histéresis



### 3c - Curvas de histéresis



Los datos de atribución, fecha y otros aspectos técnicos de la obra, que puedan haber sido modificados en el curso de la continua investigación de las colecciones, son los que figuraban en los archivos de la Academia en el momento de la intervención, cuya fecha aparece en el informe. Las eventuales discrepancias entre los registros publicados y los informes de restauración se deben a la incorporación continua de nuevos datos como resultado de sucesivos estudios.



Real Academia  
de Bellas Artes  
de San Fernando  
[rabasf.com](http://rabasf.com)