



BIOMINERALIZACION DE CARBONATO DE CALCIO Y LA EVOLUCION DE LAS AVES

DR. ABEL MORENO CARCAMO

Departamento de Química Biomacromolecular
Instituto de Química
UNAM

E-mail-address : carcamo@unam.mx
abel.moreno@mac.com

¿Qué significa la biomineralización?

La Biomineralización es el estudio de la formación, estructura y propiedades de sólidos inorgánicos depositados en sistemas biológicos.

Esta es una ciencia emergente que está conectada a la Biología, la Química, la Física y la Ciencia de los Materiales.

BIOMINERALIZACIÓN

Este proceso se puede dividir en los seres vivos en dos tipos:

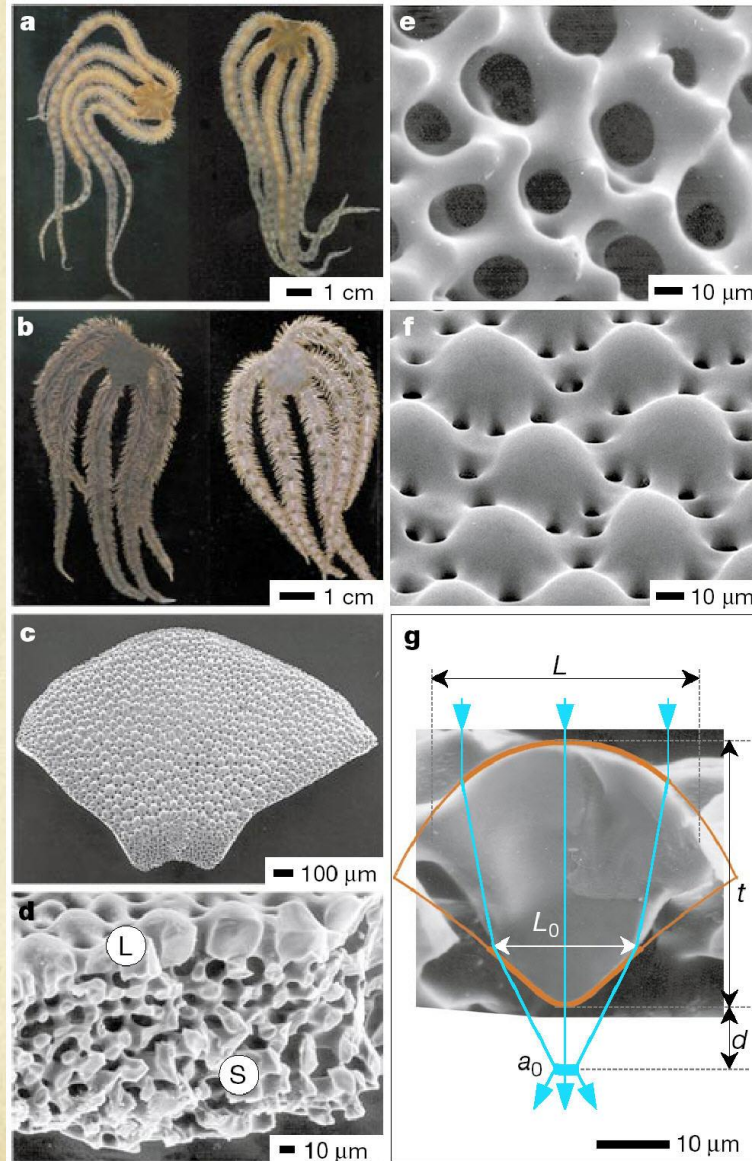
- 1) Patológico: cálculos renales y biliares así como la precipitación cardiovascular.
- 2) No patológico: como la formación de hueso, cascarones de huevo, concha nácar, formación de cristales de oxalato de calcio en plantas.

Biomíneralización de Carbonato de Calcio (CaCO_3)

- Calcita
- Aragonita
- Vaterita



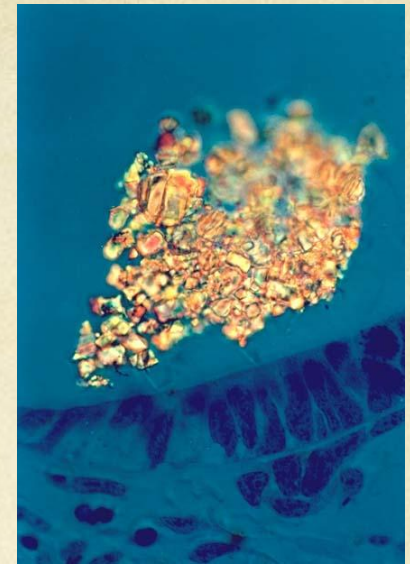
Mg-CaCO₃ (Calcita)



CaCO₃ * nH₂O
(Amorfo)

- Reserva
- Refuerzo mecánico

CaCO₃ (Calcita Aragonita)



CaCO₃ (Vaterita)



BIOMINERALIZACIÓN de CaCO_3



- Addadi, L.; Weiner, S. 1992. Control and Design Principles in Biological Mineralization. *Angew. Chem. Int. Ed.* Engl. 31, 153-169.
- Mann, S.; Webb, J & Williams, J. P. (ed). 1989. *Biom mineralization. Chemical and biochemical perspectives.* VCH. N. Y. USA. 541 pp.

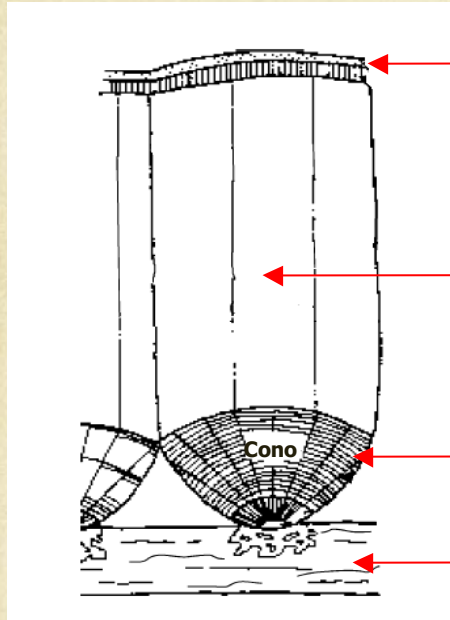
...biomineralización de CaCO_3 en cascarones de huevos...



...los cascarones de huevos de aves están compuestos de CaCO_3 ...



- 96 % CaCO_3 , 4 % de fase orgánica.
- color blanco. 15 cm x 13 cm.
- Mg, S, P, Fe, Ba, Mn y Sr

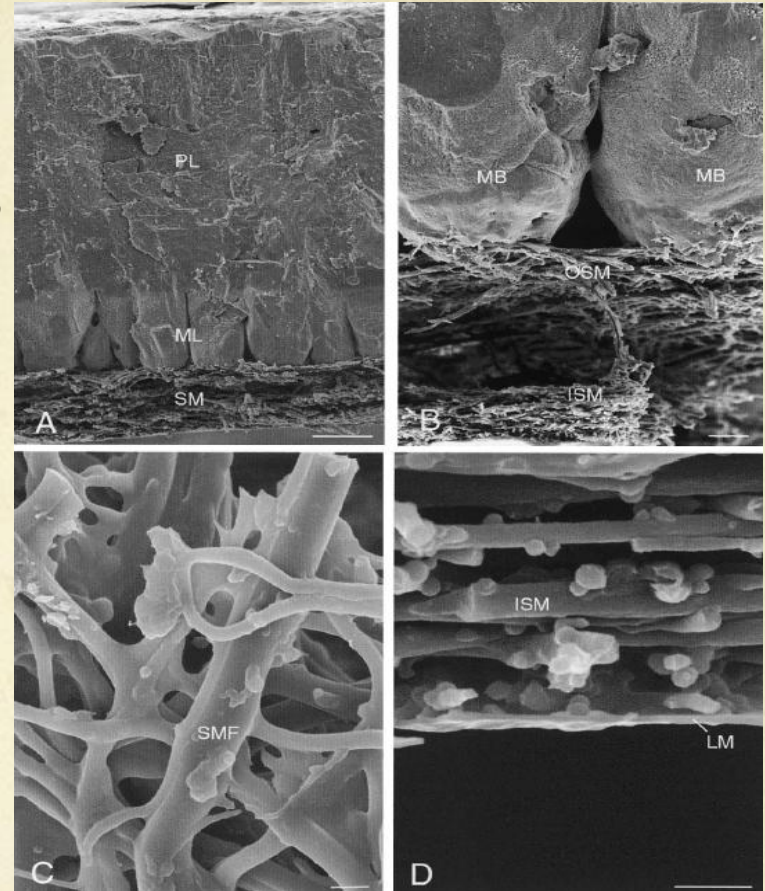


Cutícula

Palizada Mineral

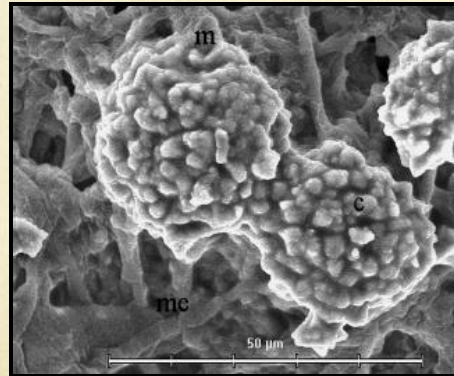
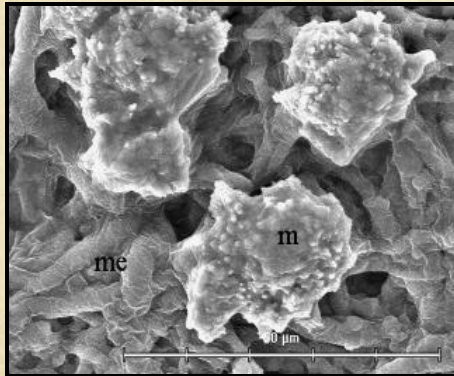
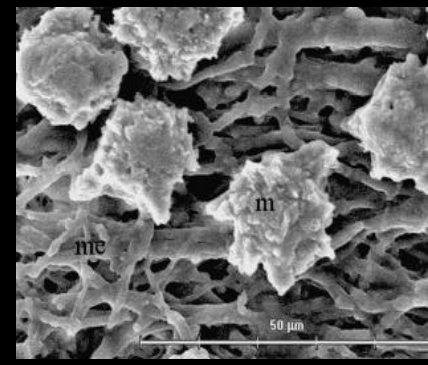
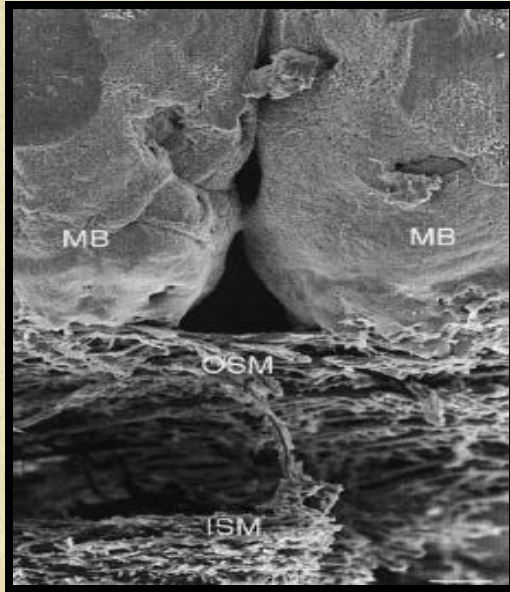
Zona Mamilar

Membrana orgánica fibrilar

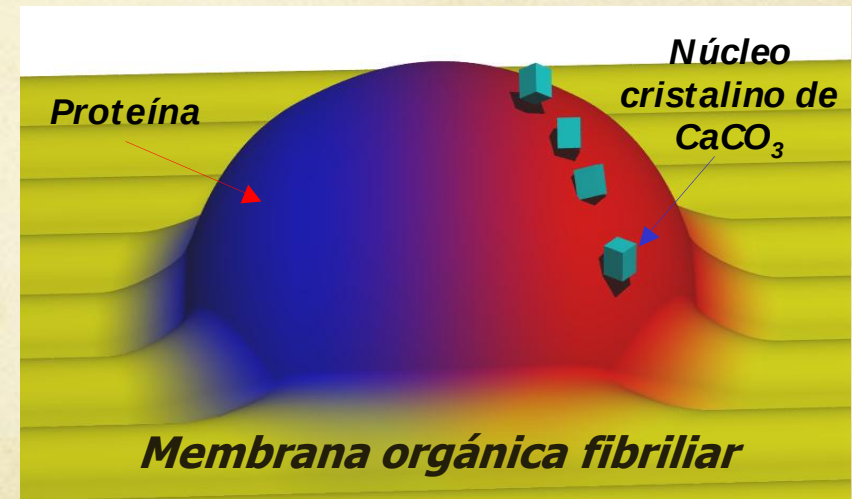
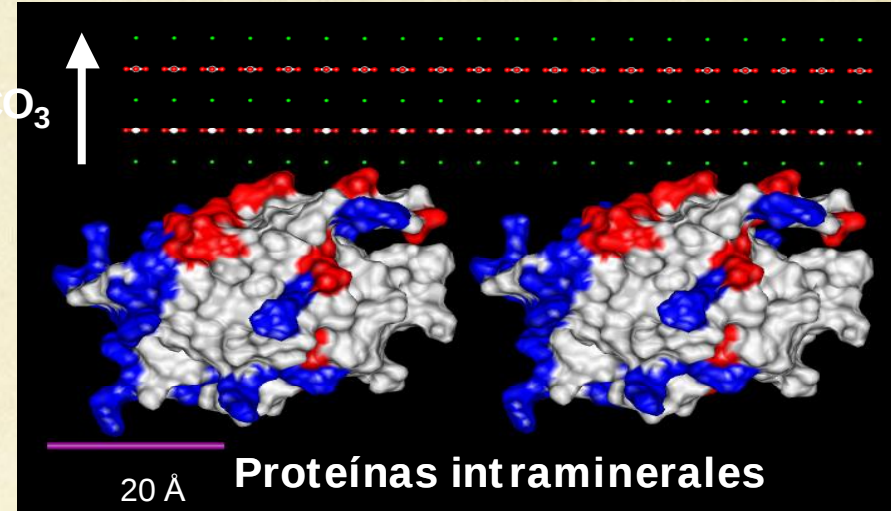


- Dauphin, Y.; Cuif, Jean-Pierre.; Salome, M.; Susini, J.; Williams, C. T. 2006. Microstructure and chemical composition of giant avian eggshells. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 386, 1761-1771.
- Hincke, M. T.; Gautron, J.; Panheleux, M.; García-Ruiz, J. M.; McKee, M. D.; Nys, Y. 2000. Identification and localization of lysozyme as a component of the eggshell membranes and eggshell matrix. *Matrix Biol.* 19, 443-453

... ¿ *Cómo se forman los núcleos cristalinos de CaCO_3 ?* ...



CaCO_3



- Fernández, M. S.; Passalacqua, K.; Arias, J. I.; Arias, J. L. 2004. Partial biomimetic reconstitution of avian eggshell formation. *Journal of Structural Biology*. 148, 1-10

...proteínas intraminerales del cascarón de huevo de algunas aves ...



RCA-1 (PM: 16,635.2 $\pm$ 4 Da)
RCA-2 (PM: 16,347.1 $\pm$ 2 Da)

OC-17 (PM: 15,300.2 $\pm$ 4 Da)

Struthio
Camelus (SCA-1 y SCA-2)

Rhea americana
(RCA-1 y RCA-2)

Dromaius novaehollandiae
(DCA-1 y DCA-2)

Gallus gallus
(OC-17)

Anser anser
(Ansocalcina)

SCA-1 (PM: 15,343.2 $\pm$ 4 Da)
SCA-2 (PM: 16,834.1 $\pm$ 2 Da)

DCA-1 (PM: 16,343.2 $\pm$ 4 Da)
DCA-2 (PM: 16,734.1 $\pm$ 2 Da)

	RCA-1	DCA-1	SCA-1	ANCA	RCA-2	DCA-2	SCA-2	OC-17
DCA-1	77.0							
SCA-1	73.5	69.7						
ANCA	69.7	63.6	62.9					
RCA-2	45.2	45.8	45.4	47.0				
DCA-2	43.0	43.7	43.2	44.7	78.2			
SCA-2	43.7	44.4	43.9	44.7	84.5	82.4		
OC-17	37.8	37.3	38.6	35.6	46.5	42.3	43.7	

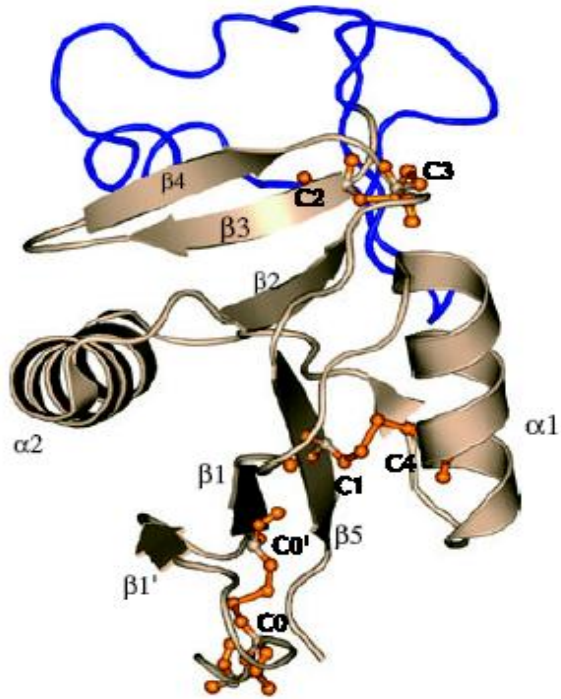
- Mann, K.; Siedler, F. 2006. Amino acid sequences and phosphorylation sites of emu and rhea eggshell C-type lectin-like proteins. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B. 160-170.

- **Alineamiento de secuencias**

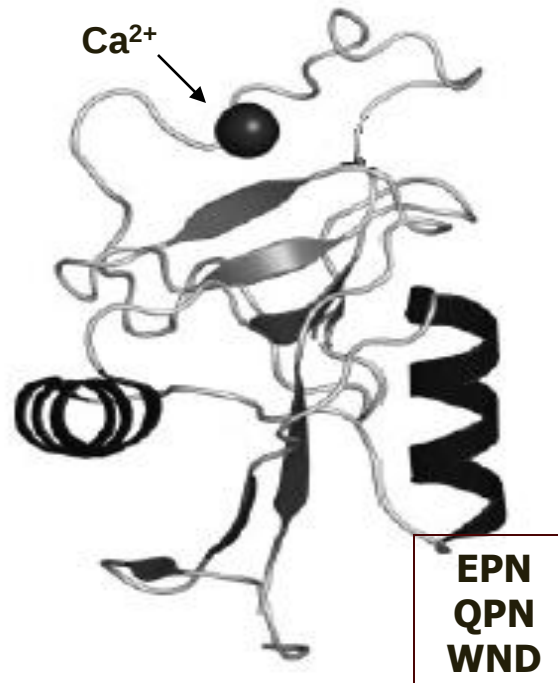
RCA-1	1	V	R	A	N	R	C	L	K	G	W	L	D	F	R	G	N	C	Y	G	Y	F	R	Q	E	L	P	W	R	K	A	
DCA-1	8	V	R	A	S	N	P	C	P	K	G	W	L	D	F	R	G	N	C	Y	G	Y	F	R	H	E	L	P	W	R	K	A
SCA-1	1				D	K	C	P	K	G	W	L	D	F	R	G	N	C	Y	G	Y	F	R	Y	E	L	P	W	K	R	A	
ANCA	1				N	K	C	P	K	G	W	L	D	F	R	G	S	C	Y	G	Y	F	G	Q	E	L	T	W	R	K	A	
RCA-2	1	D	E	Q	E	G	C	A	S	G	W	V	P	F	D	G	R	C	F	G	F	F	P	Q	E	L	S	W	R	R	A	
DCA-2	1	E	E	E	I	G	C	T	S	G	W	V	P	F	D	G	R	C	Y	G	F	F	P	Q	E	L	S	W	R	R	A	
SCA-2	1	R	E	R	A	G	C	A	K	G	W	I	P	F	D	G	R	C	Y	G	F	F	P	Q	E	L	S	W	R	R	A	
OC-17	1	D	P	D	G	C	G	P	G	W	V	P	T	P	G	G	C	L	G	F	F	S	R	E	L	S	W	S	R	A		
Hu-PSP	1		I	S	C	P	E	G	T	N	A	Y	R	S	Y	C	Y	Y	F	N	E	D	P	E	T	W	V	D	A			
RCA-1	31	E	A	W	C	R	V	V	R	G	G	C	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	V	A	K	F	I	-	
DCA-1	38	Q	A	W	C	R	A	L	R	D	G	C	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	I	A	K	F	V	-	
SCA-1	28	E	A	W	C	R	S	I	R	A	G	C	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	I	A	K	F	I	-	
ANCA	28	E	A	W	C	K	V	I	H	A	G	C	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	I	A	K	F	I	-	
RCA-2	31	E	G	F	C	Q	R	L	G	A	R	T	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	I	A	K	F	I	-	
DCA-2	31	E	S	F	C	Q	R	L	G	A	R	T	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	I	A	K	F	I	-	
SCA-2	31	E	G	F	C	Q	R	L	G	A	R	T	H	L	A	S	I	H	T	S	E	E	H	R	A	I	A	K	F	I	-	
OC-17	30	E	S	F	C	R	R	W	G	P	G	S	H	L	A	A	V	R	S	A	E	L	R	L	L	A	E	L	L	N		
Hu-PSP	28	D	L	Y	C	Q	N	M	N	S	G	-	N	L	V	S	V	L	T	Q	A	E	G	A	F	V	A	S	L	I	K	
RCA-1	60	-	S	Q	C	R	R	G	-	E	E	G	-	-	-	D	D	V	W	I	G	L	Y	H	W	N	-	-	K	S	W	
DCA-1	67	-	S	Q	C	Q	R	G	-	E	E	E	-	-	-	E	N	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	K	L	W	
SCA-1	57	-	S	Q	Y	H	H	G	-	E	E	E	-	-	-	E	D	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	V	W	
ANCA	58	K	E	Q	-	R	R	-	-	E	E	E	-	-	-	E	N	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	V	W	
RCA-2	61	S	S	Q	P	Y	S	D	S	E	E	V	A	D	E	N	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	V	W		
DCA-2	61	S	S	Q	P	Y	S	D	S	E	E	V	A	D	E	N	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	V	W		
SCA-2	61	S	S	Q	P	Y	S	D	S	E	E	V	A	D	E	N	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	V	W		
OC-17	60	A	S	R	G	G	D	G	S	G	E	G	-	-	-	A	D	G	R	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	
Hu-PSP	57	L	S	T	-	D	D	S	-	-	-	-	-	-	-	N	V	W	I	G	L	R	Q	L	V	-	-	S	V	W		
RCA-1	83	S	W	I	D	G	S	K	M	H	Y	S	A	W	D	D	D	D	F	S	R	N	A	F	I	C	K	C	A	A	L	
DCA-1	90	A	W	S	D	G	S	K	M	R	Y	S	A	W	D	D	D	D	E	F	T	K	G	N	-	-	Y	C	A	A	L	
SCA-1	80	A	W	I	D	G	S	K	K	H	Y	S	A	W	D	D	D	D	E	F	T	K	G	N	-	-	Y	C	A	A	L	
ANCA	80	V	W	I	D	G	S	K	K	R	Y	S	A	W	D	D	D	D	E	F	T	K	G	N	-	-	Y	C	A	A	L	
RCA-2	91	E	W	S	D	G	T	K	M	D	Y	S	S	W	Y	R	E	G	F	P	R	R	R	-	-	A	C	A	A	L		
DCA-2	90	E	W	S	D	G	T	K	L	D	Y	G	S	W	Y	R	D	V	F	L	R	R	R	-	-	A	C	A	A	L		
SCA-2	90	E	W	S	D	G	T	K	L	D	Y	G	S	W	Y	R	D	V	F	L	R	R	R	-	-	A	C	A	A	L		
OC-17	90	R	W	S	D	G	T	A	P	R	F	A	S	W	H	R	T	A	K	A	R	R	G	-	G	R	C	A	A	L		
Hu-PSP	79	H	W	S	S	G	S	L	V	S	Y	K	S	W	D	T	G	S	P	S	S	A	N	A	G	Y	C	A	S	L	T	
RCA-1	111	D	S	S	G	F	L	S	W	E	D	D	A	C	S	E	R	N	A	F	I	C	K	C	A	A						
DCA-1	118	D	S	S	G	F	L	S	W	E	D	D	S	C	G	E	R	N	A	F	I	C	K	Y	A	A						
SCA-1	108	E	S	S	G	F	L	S	W	D	N	D	S	C	G	E	R	N	A	F	I	C	K	Y	A	A						
ANCA	108	G	S	S	G	F	M	S	W	E	D	N	A	C	S	E	R	N	P	F	V	C	K	Y	A	A						
RCA-2	119	D	S	T	D	F	A	S	W	D	T	E	L	C	S	D	R	K	P	F	I	C	E	Y	H	V						
DCA-2	118	D	T	A	D	F	A	S	W	D	V	E	L	C	S	D	R	K	P	F	I	C	E	Y	R	T						
SCA-2	118	D	T	T	D	F	A	T	W	D	V	E	L	C	S	D	R	K	P	F	I	C	E	Y	R	T						
OC-17	119	D	E	E	A	F	T	S	W	A	A	R	P	C	T	E	R	N	A	F	V	C	K	A	A							
Hu-PSP	108	S	C	S	G	F	K	K	W	K	D	E	S	C	E	K	K	F	S	F	V	C	K	F	K	N						

- Mann, K.; Siedler, F. 2006. Amino acid sequences and phosphorylation sites of emu and rhea eggshell C-type lectin-like proteins. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B.* 160-170.

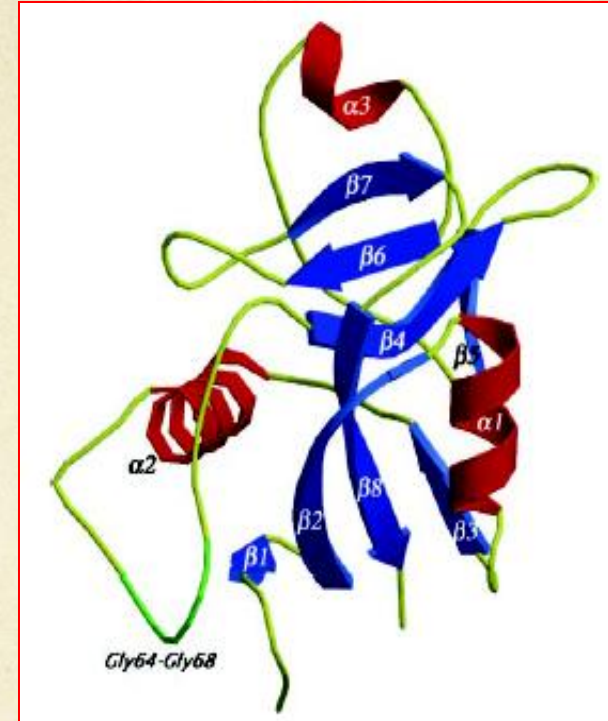
...proteínas con dominios similares al de Lectina tipo-C (CTLD)



Estructura CTLD



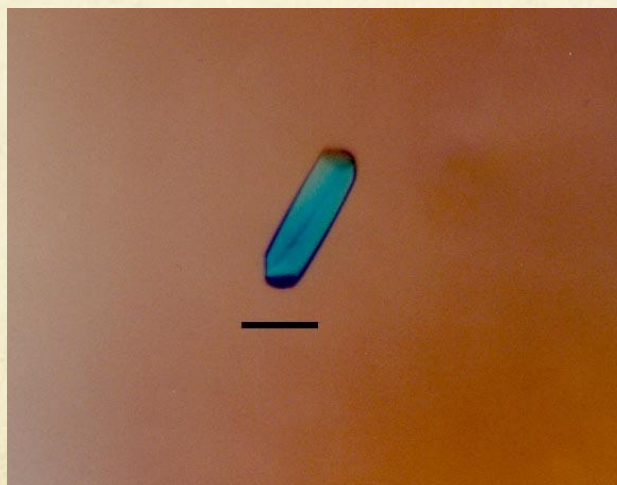
**Sitios de unión a calcio
en CTLDs**



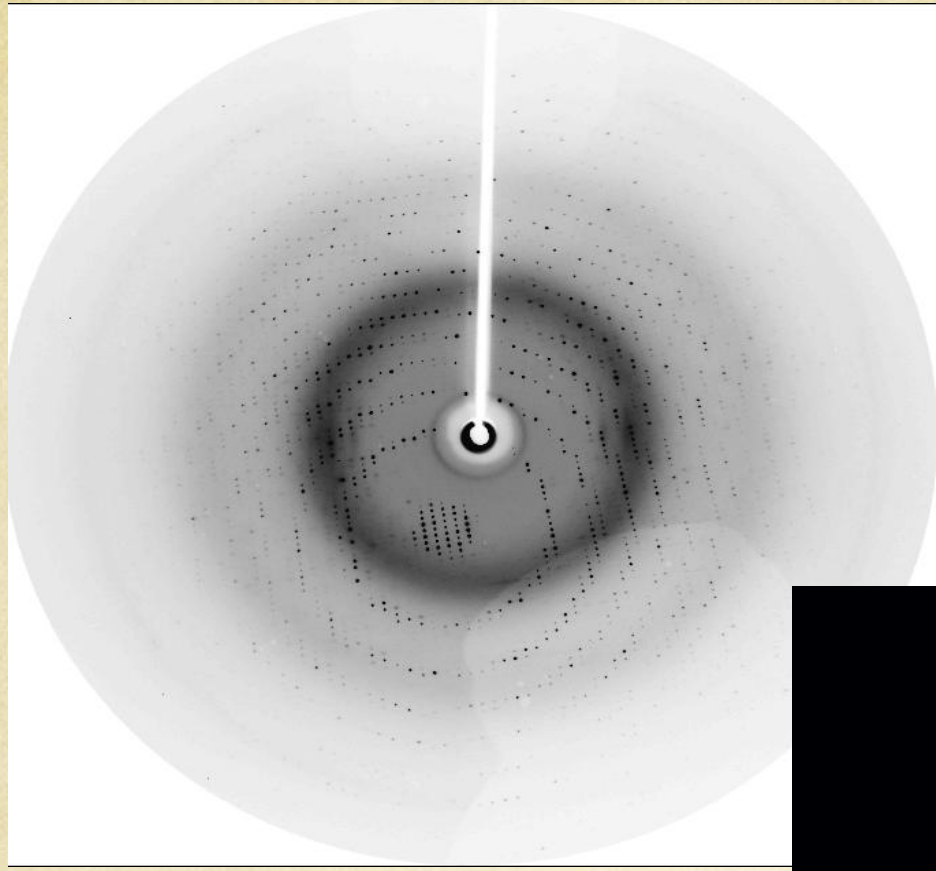
OC-17

- Zelensky, A. N.; Gready, J. E. 2005. The C-type lectin-like domain superfamily. FEBS Journal. 272, 6179–6217
- Reyes-Grajeda, J. P.; Moreno, A.; Romero, A. 2004. Crystal Structure of Ovocleidin-17, a Major Protein of the Calcified *Gallus gallus* Eggshell. Journal of Biological Chemistry. 279, 40876-40881.

Grupo espacial	P3₂21 (OC-17)
Parámetros de celda (Å)	a = b = 58.26 c = 82.46
Ángulos	$\alpha = 90.00$ $\beta = 90.00$ $\gamma = 120.000$
Límite de Resolución (Å)	1.5
Volumen de la celda unitaria	279888.008
Rmerge(%)	0.63
Número de moléculas en ASU	1
Mosaicity:	0.2



Cristal de Ovocleidin-17. Escala de barra = 0.1mm

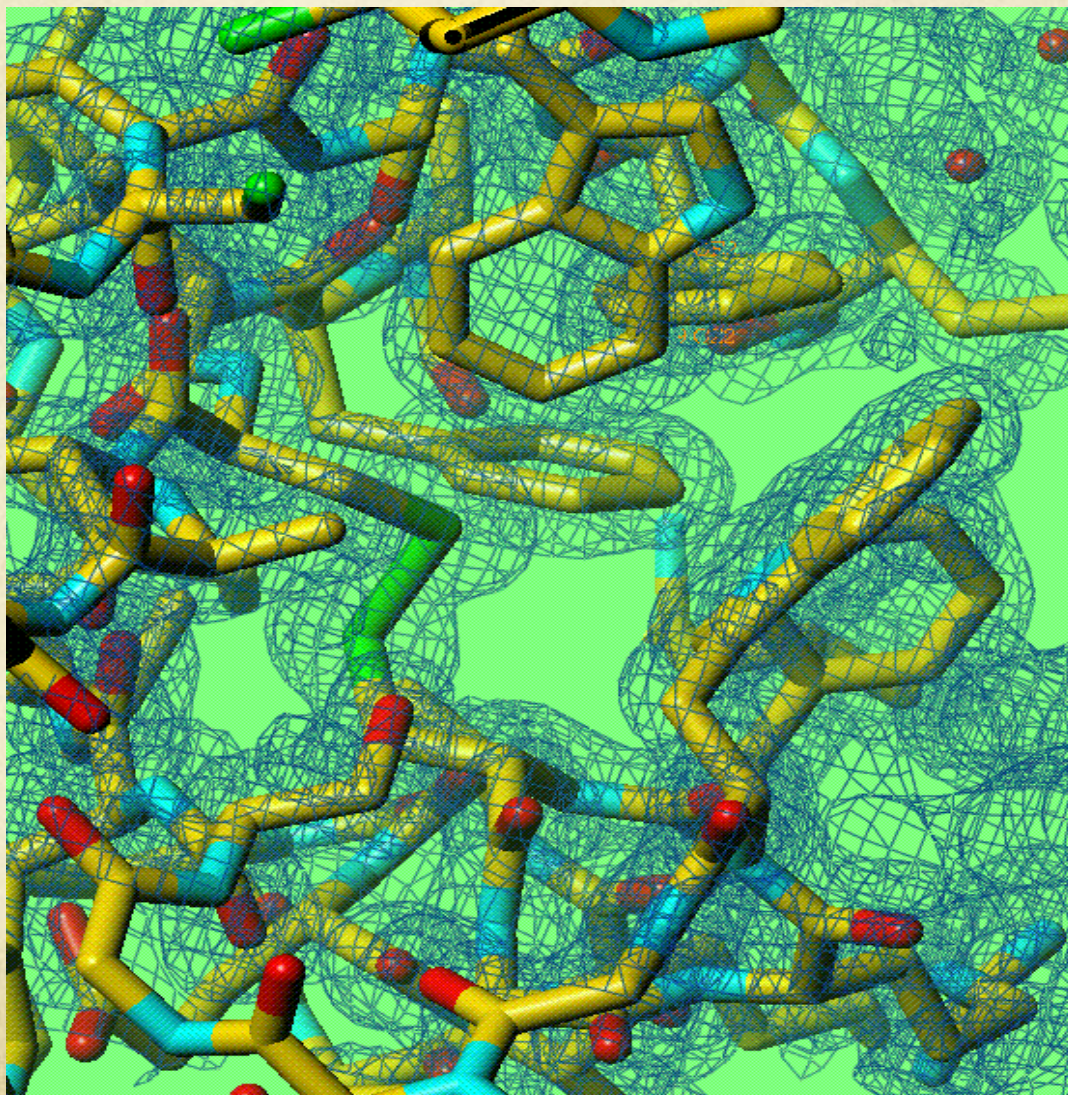


Patrón de Difracción

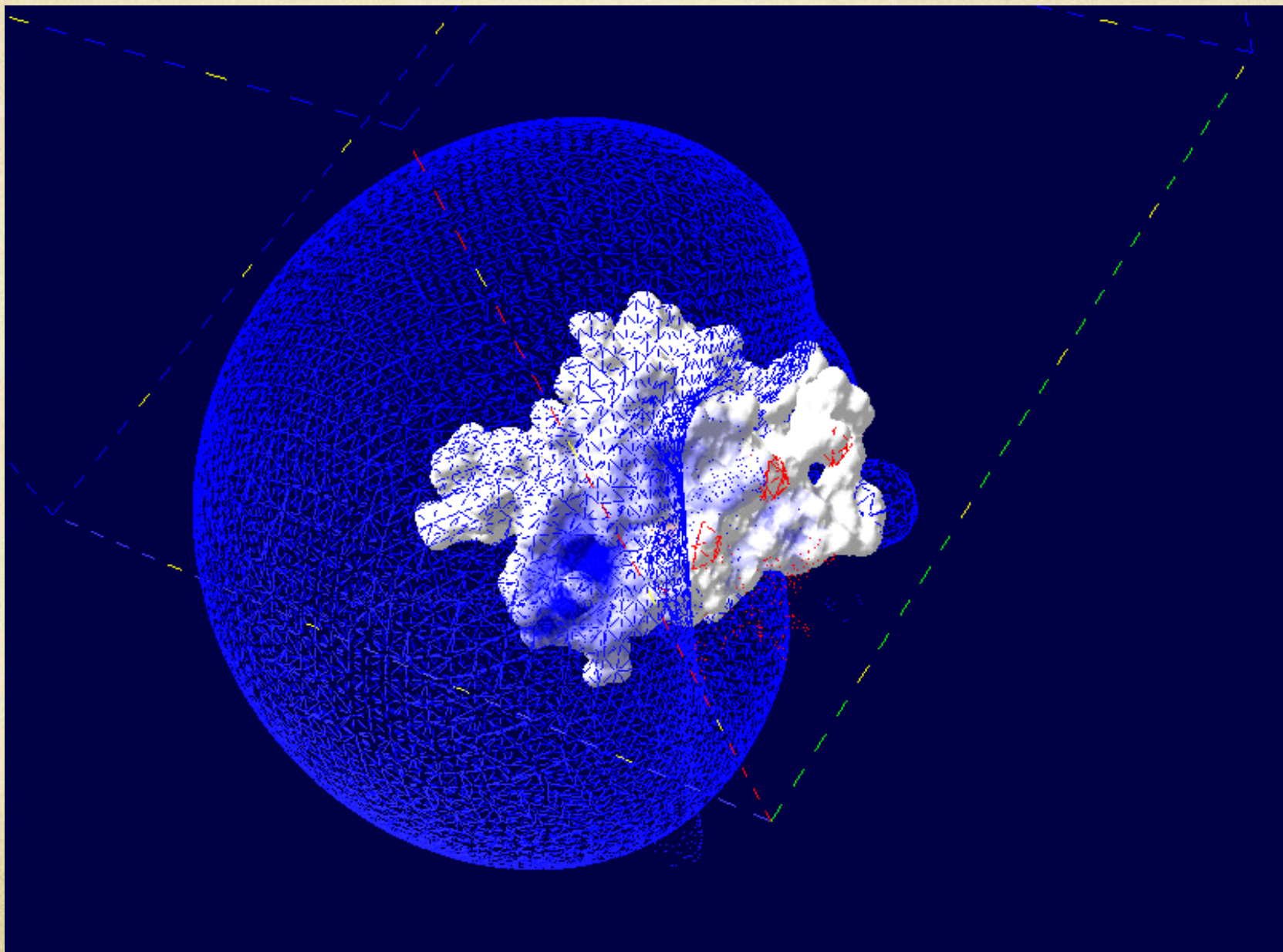
**Estructura 3D de la OC-17
a 1.5Å de resolución**



Mapa de densidad electrónica a 1.5 Å



Molecular surface and electrostatic potential



... proteínas intraminerales (CTLD) sin conservación de los motivos de unión a Ca^{2+} ...

• Alineamiento de secuencias

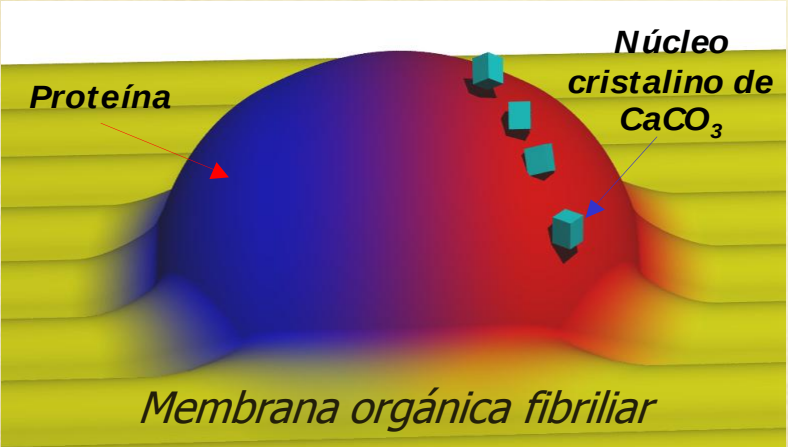
SCA-2	R	E	R	A	G	C	A	K	G	W	I	P	F	D	G	R	C	Y	G	F	F	P	Q	E	L	S	W	R	R	A	E	G	F	C	Q	R	L	G	A	R	T	H	L	A	S	I	H	S	E	E		
OC-17	--	D	P	D	G	C	G	P	G	W	V	P	T	P	G	G	C	L	G	F	F	S	R	E	L	S	W	S	R	A	E	S	F	C	R	R	W	G	P	G	S	H	L	A	A	V	R	S	A	A		
SCA-1	---	D	K	C	P	K	G	W	L	D	F	R	G	N	C	Y	G	Y	F	R	Y	E	L	P	W	K	R	A	E	A	W	C	R	S	I	R	A	G	A	H	L	A	S	I	H	T	S	E				
RMBP	---	S	G	K	K	F	F	V	T	N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	H	E	R	M	P	F	S	K	V	K	A	L	C	S	E	L	R	G	---	T	V	A	I	P	R	N	A	E

SCA-2	E	H	Q	A	I	V	S	M	L	A	S	S	Q	P	Y	S	D	S	E	E	E	A	G	E	E	V	W	I	G	L	H	R	P	L	G	R	R	N	W	E	W	S	D	G	T	K	L	D	Y	G			
OC-17	E	L	R	L	L	A	E	L	L	N	A	S	R	G	G	D	G	S	G	E	G	A	D	G	R	V	W	I	G	L	H	R	P	A	G	S	R	S	W	R	W	S	D	G	T	A	P	R	F	A			
SCA-1	E	H	R	A	I	A	K	F	I	S	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	E	D	V	W	I	G	L	F	R	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
RMBP	E	N	K	A	I	Q	E	V	A	K	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

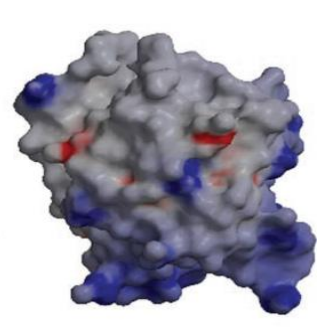
SCA-2	S	W	Y	R	D	V	F	L	R	R	R	---	---	---	---	A	C	V	A	L	E	D	T	T	D	F	A	T	W	D	V	E	L	C	S	D	R	K	P	F	I	C	E	Y	R	T
OC-17	S	W	H	R	T	A	K	A	R	R	G	---	---	---	---	R	C	A	A	L	R	D	E	E	A	F	T	S	W	A	A	R	P	C	T	E	R	N	A	F	V	C	K	A	A	A
SCA-1	A	L	D	D	D	D	Y	P	K	G	K	---	---	---	---	H	C	A	V	L	D	E	S	S	G	F	L	S	W	D	N	D	S	C	G	E	R	N	A	F	I	C	K	C	T	A
RMBP	N	W	K	K	D	E	P	N	D	H	G	S	G	E	D	C	V	T	I	V	D	N	G	---	---	---	---	L	W	N	D	I	S	C	Q	A	S	H	T	A	V	C	E	F	P	A







¿interacción con iones carbonato?



OC-17

1. AISLAMIENTO DE LAS PROTEÍNAS SCA-1 Y SCA-2

➤ Protocolo de aislamiento y purificación

EXTRACCIÓN



*** Lavar con abundante agua y fraccionar en trozos grandes**

- Lavar, EDTA 5 % (1 h, 4 °C)
- Secar a temp. ambiente.
- Mortero-polvo cascarón
- Extraer ác. acético 10 %
(20 mL/g polvo cascarón, 36-48 h, 4 °C)
- Filtrar extracto (eliminar trozos de cascarón, 0.2 µm)
- Concentrar-Amicón-YM3



PREPARACIÓN DE LA MUESTRA ANTES DEL HPLC

- Dializar (5x10 vol., ác. acético 5 %, eliminar iones calcio)
- Precipitar fracción soluble (sulfato de amonio, 24 h).
- Centrifugar (90 min, 4 °C, se descarta sobrenadante, se resuspende el botón en ác. acético 5 %)
- Dializar (5x10 vol., ác. acético 5 %, eliminar el sulfato de amonio)
- Filtrar, PVDF, 0.2 µm.
- Muestra lista para HPLC

HPLC-FASE REVERSA (C-18, acetonitrilo, TFA 0.1 %) o Exclusión molecular Sephadex-75.

2. PURIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE LAS PROTEÍNAS SCA-1 Y SCA-2

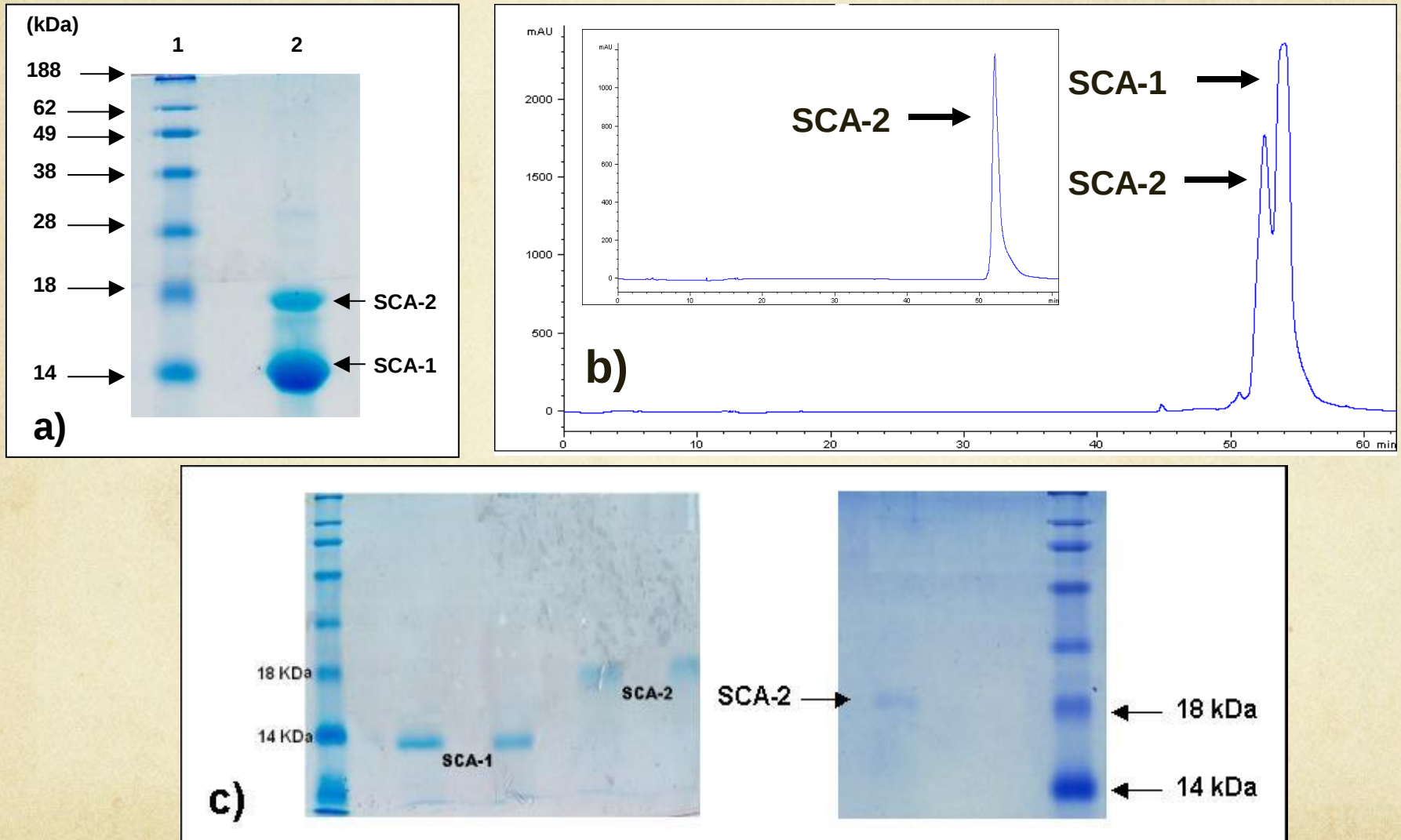
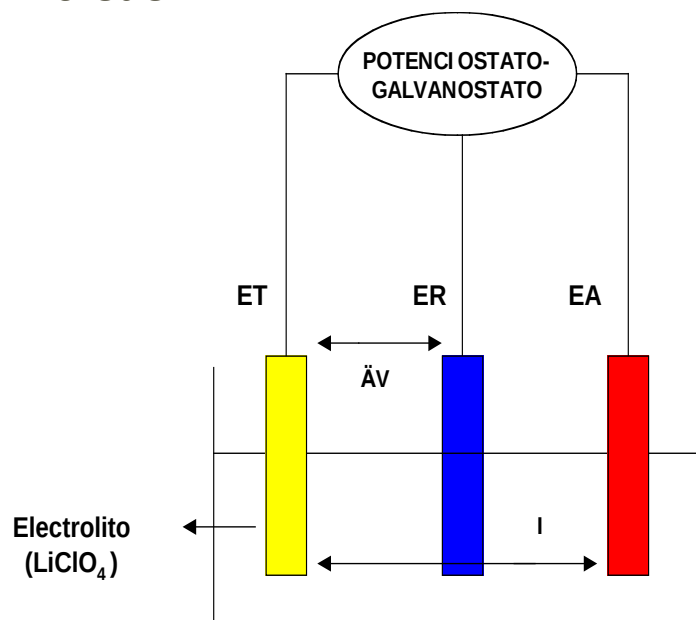


Figura 1. a) SDS-PAGE 12.5 % (extracto intramineral), b) Cromatograma del extracto intramineral (HPLC fase reversa), c) Proteínas SCA-1 y SCA-2

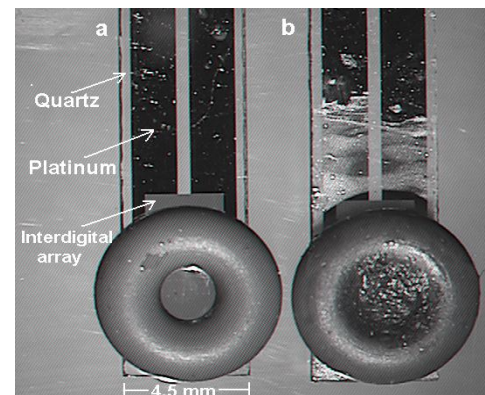
5. INTERACCIÓN DE LAS PROTEÍNAS SCA-1 y SCA-2 CON IONES CARBONATO

VOLTAMPEROMETRÍA CÍCLICA
POTENCIOSTATO/GALVANOSTATO
AUTOLAB PGSTAT 30.

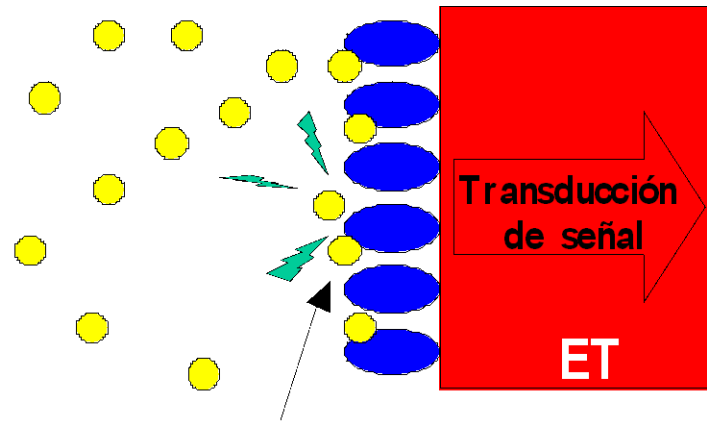
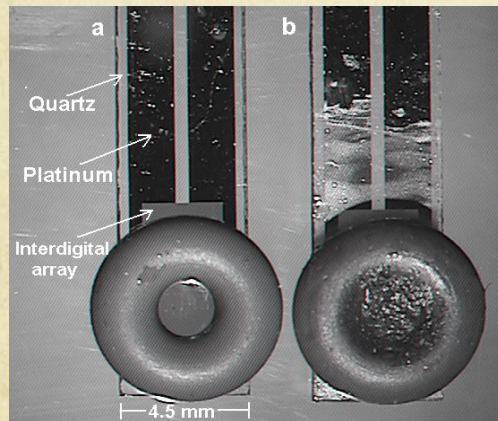
EA: ALAMBRE DE PLATINO
ER: CALOMEL SATURADO, $E = 0.241$ V
***versus* NHE**



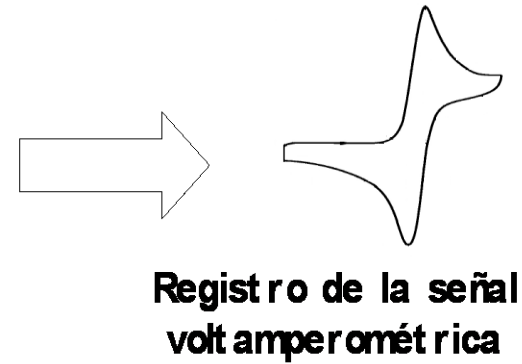
ET : electrodo de trabajo
ER : electrodo de referencia
EA : electrodo auxiliar
 ΔV : voltaje entre ET y ER
I : corriente entre ET y EA



...interacción proteína-carbonato...

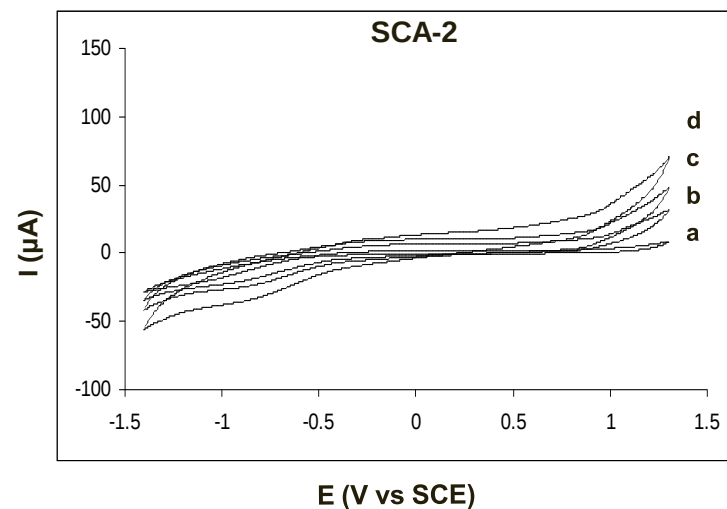
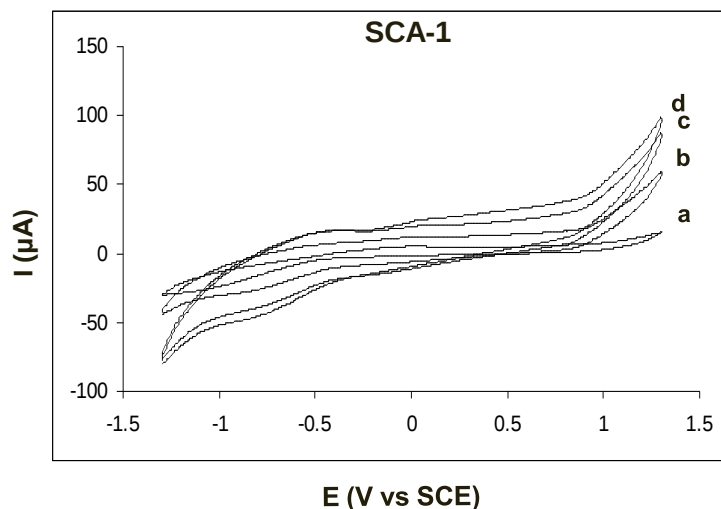
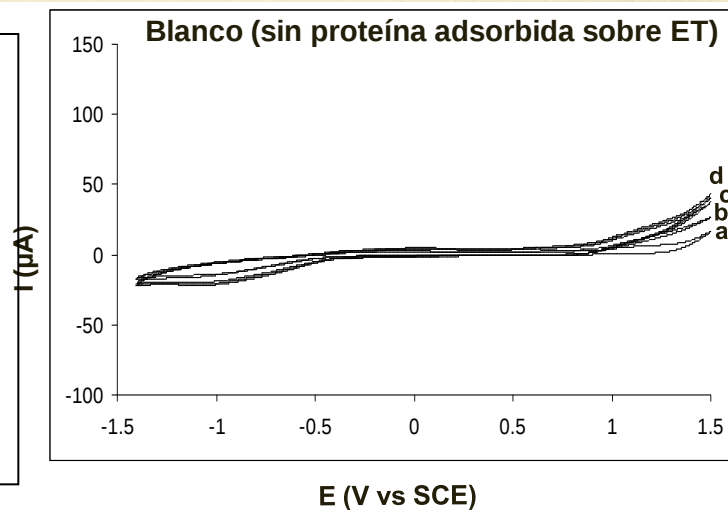
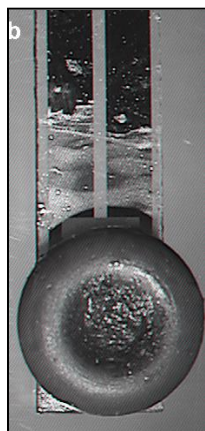


**INTERACCIÓN
PROTEÍNA-CARBONATO**

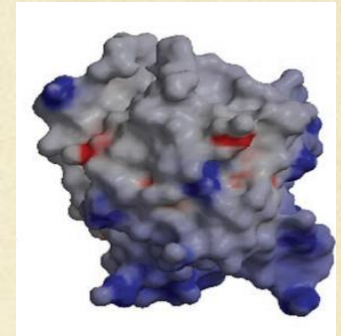
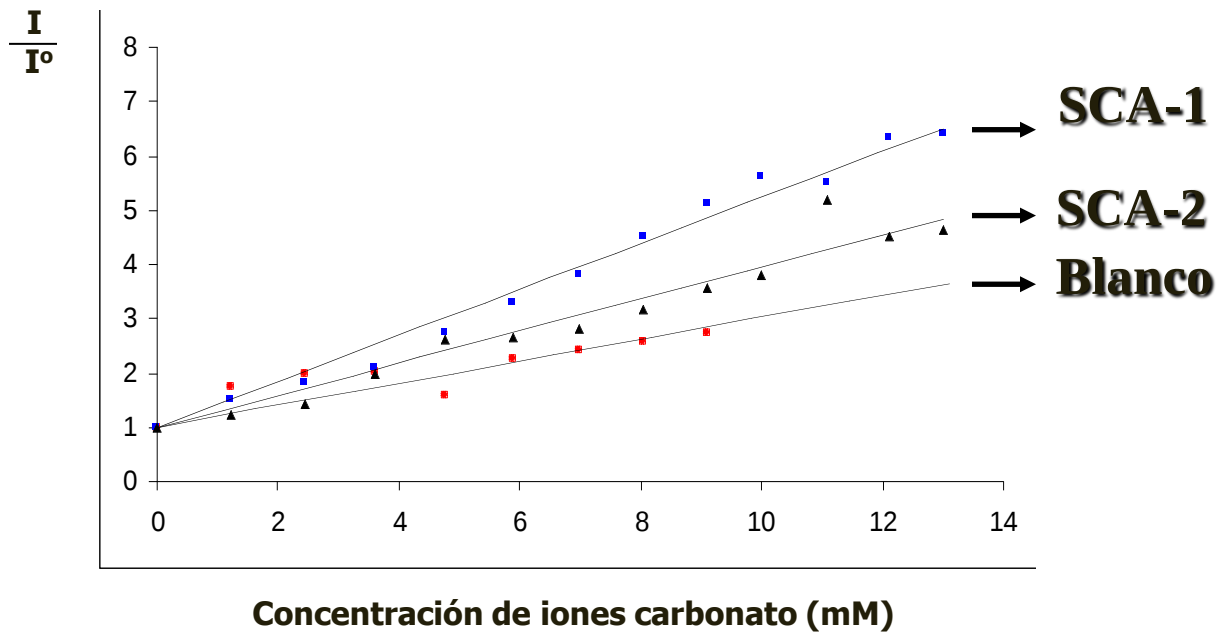


...interacción proteína-carbonato...

- $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ LiClO}_4$
- adiciones sucesivas de Na_2CO_3
- 100 mVs^{-1}
- $10 \text{ }\mu\text{g}$ cada una de las proteínas



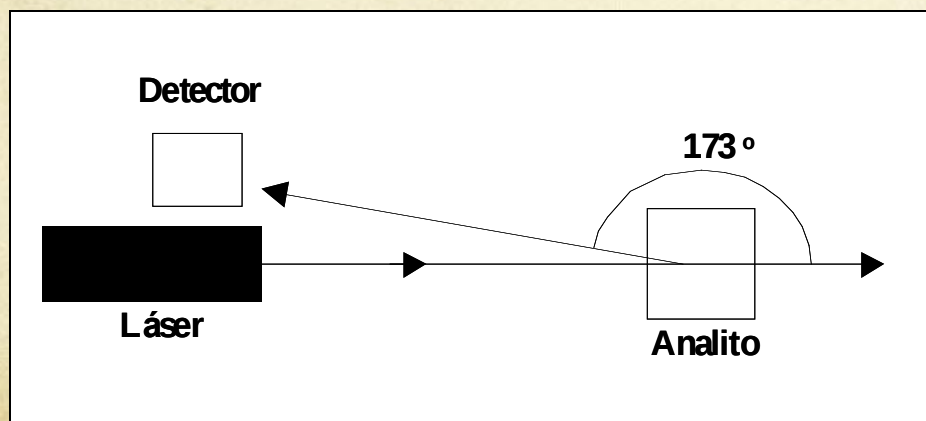
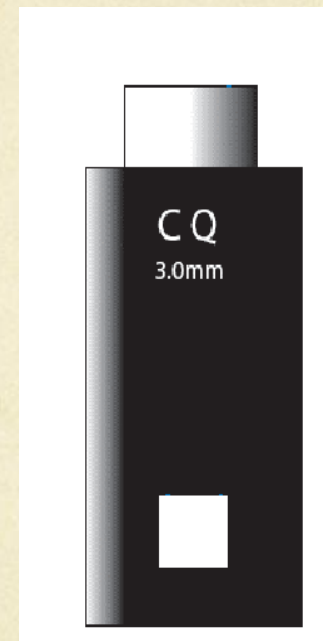
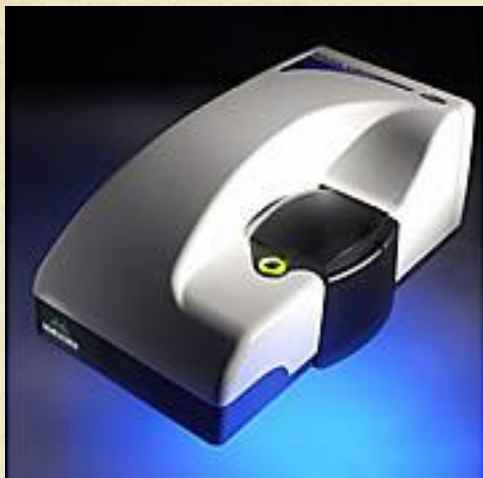
...interacción proteína-carbonato...



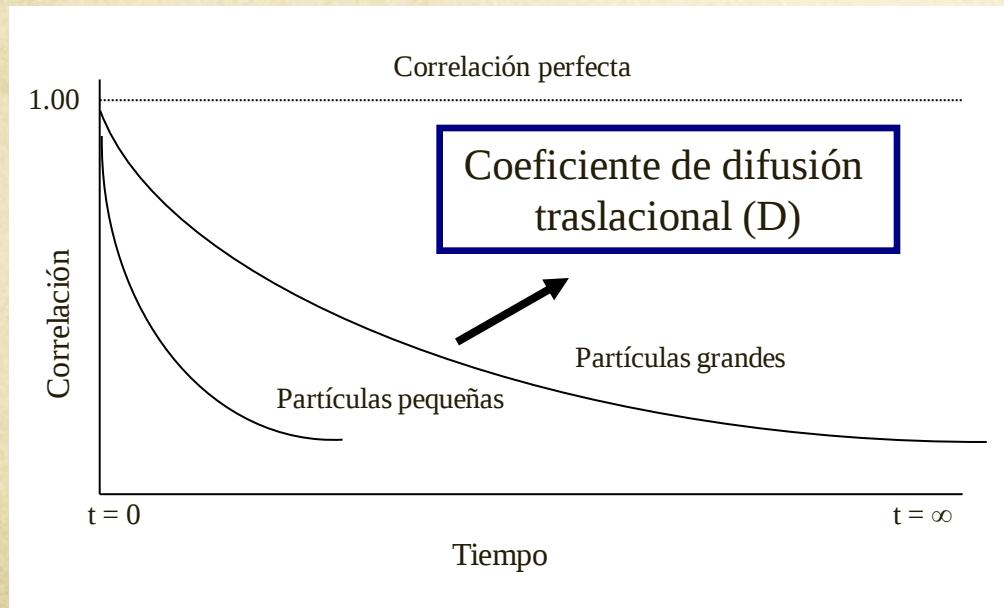
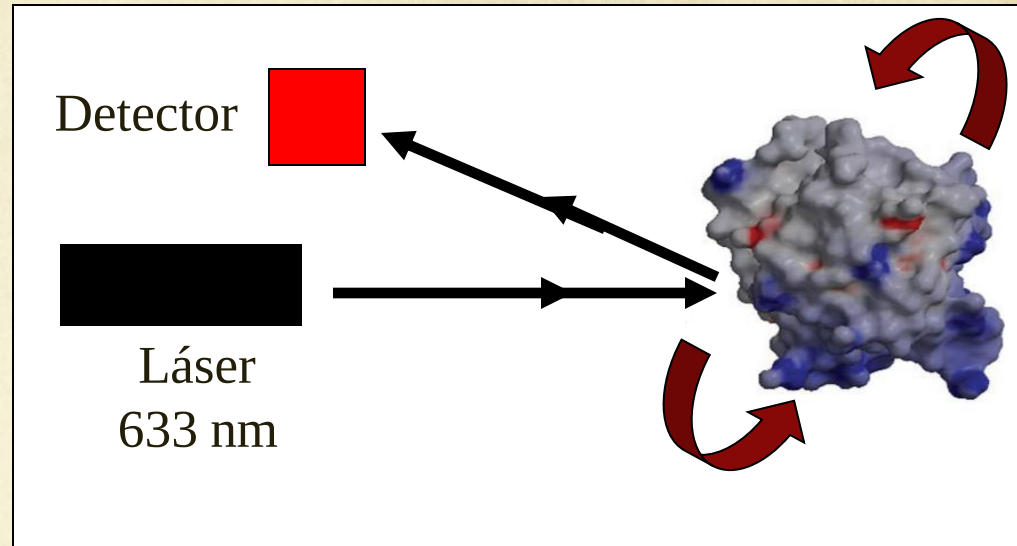
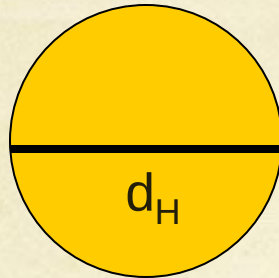
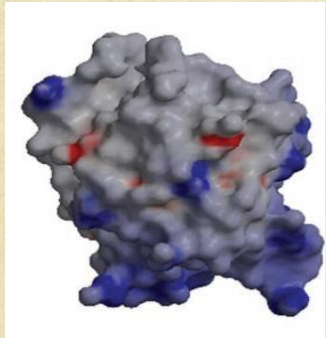
Proteína intramineral

3. ESTUDIOS DE DISPERSIÓN DINÁMICA DE LUZ

Malvern Nano S



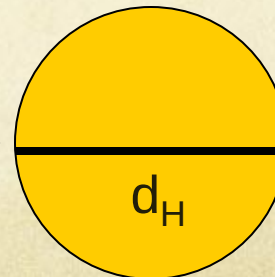
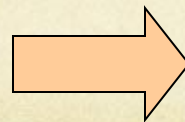
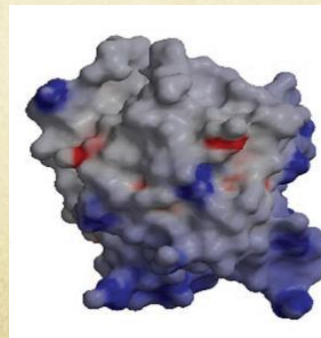
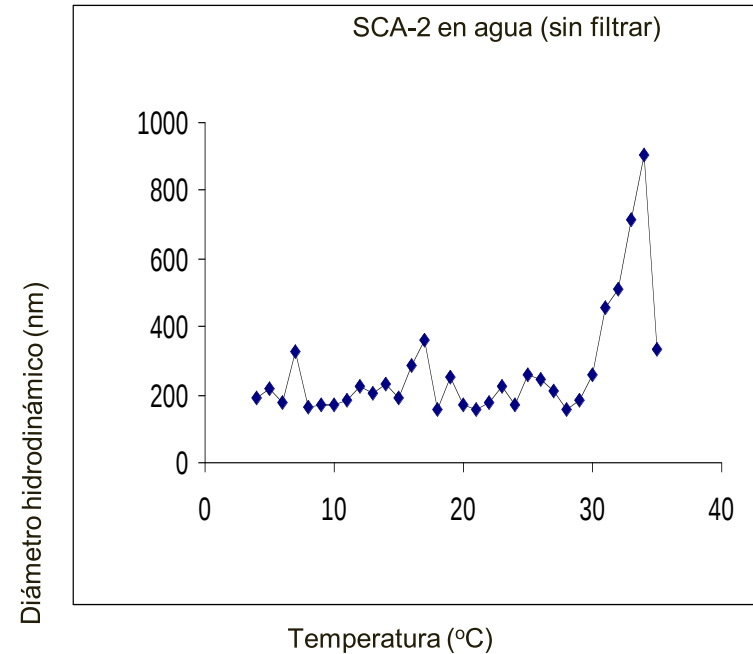
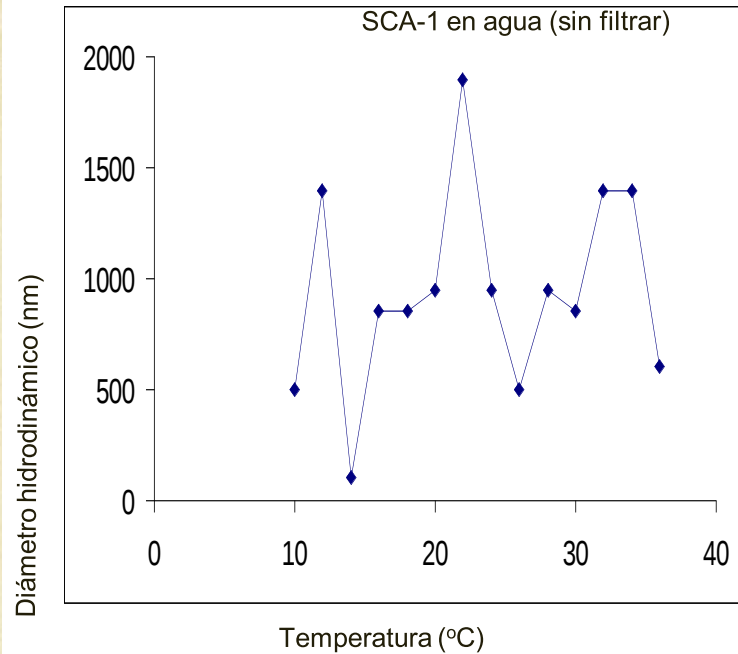
...estudios de dispersión dinámica de luz (DLS)...



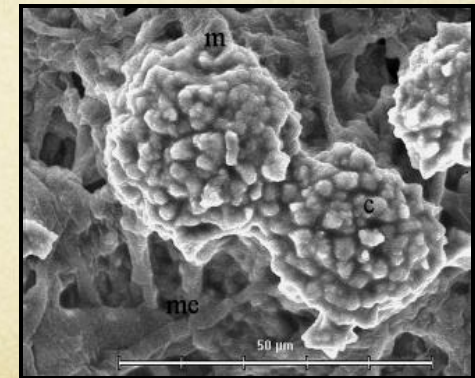
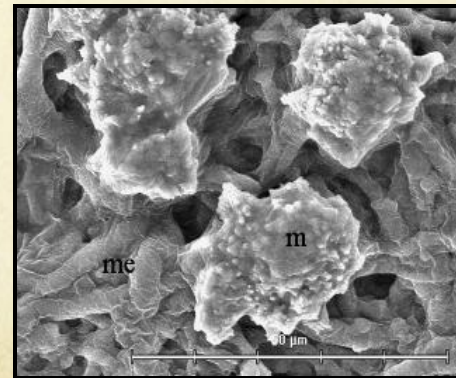
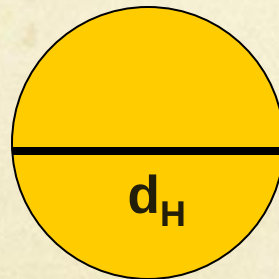
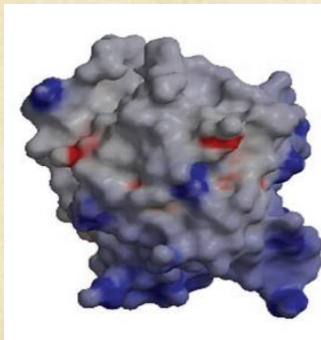
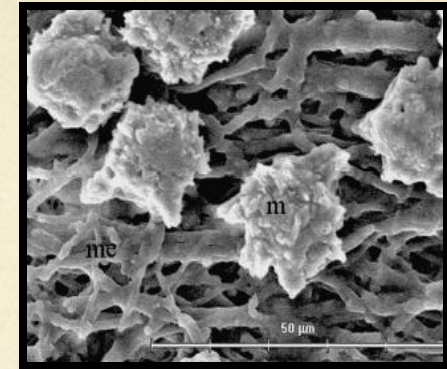
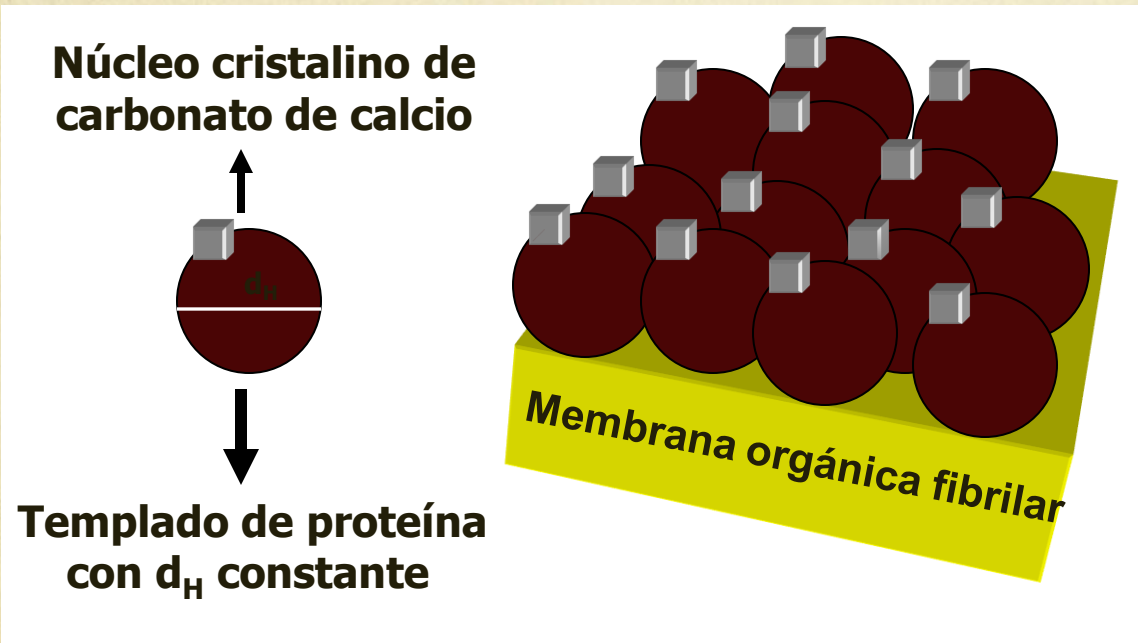
Ecuación Stokes-Einstein:

$$d_H = \frac{kT}{3 \pi \eta D}$$

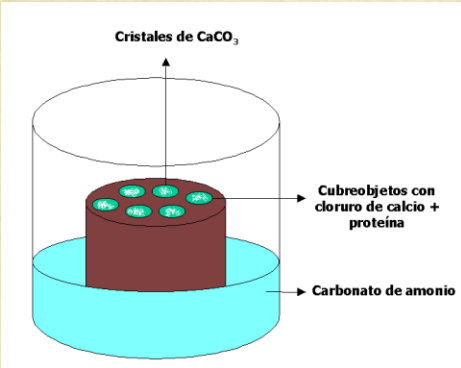
... determinación de los estados de agregación de las proteínas SCA-1 y SCA-2 en función de la temperatura...



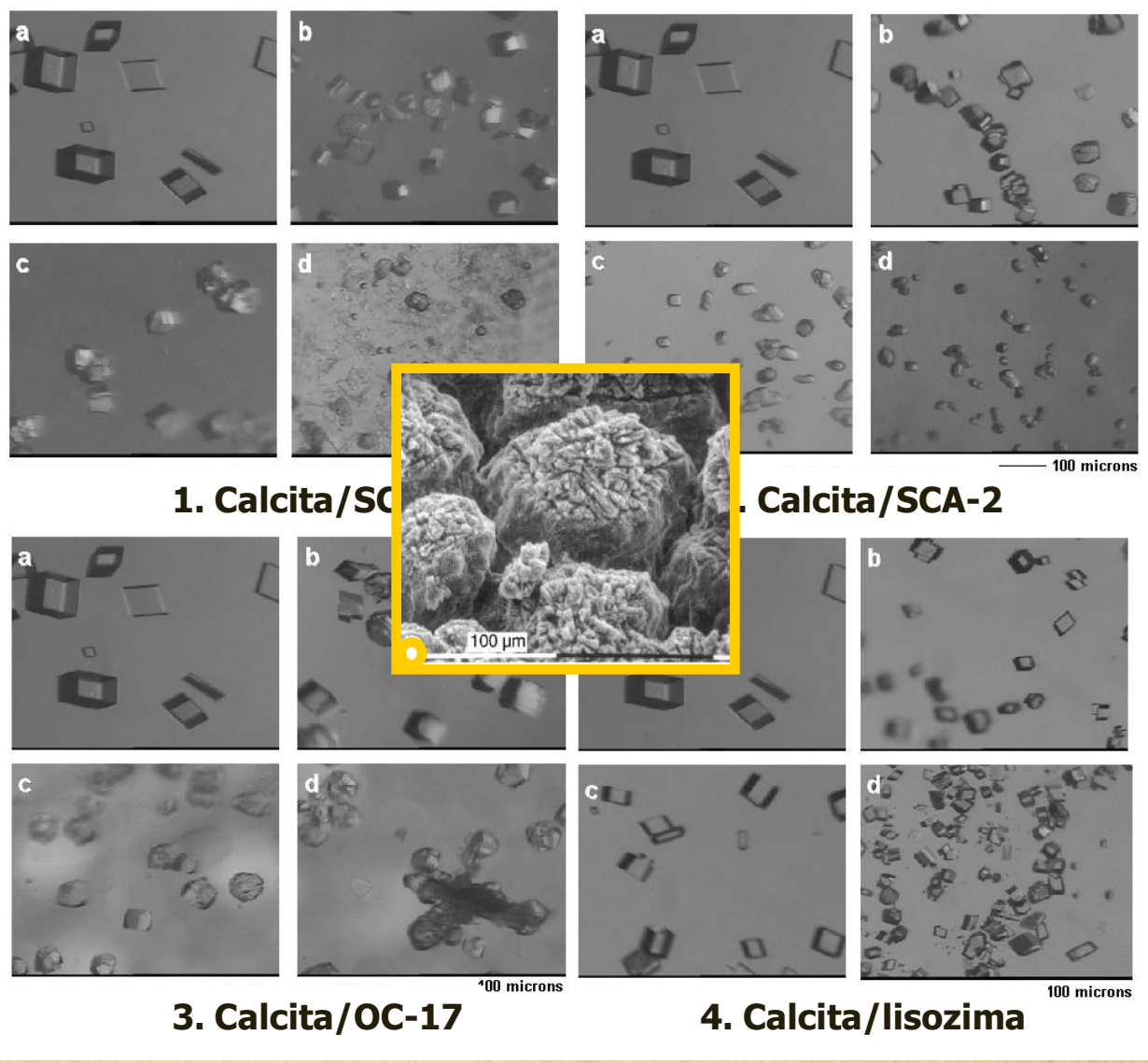
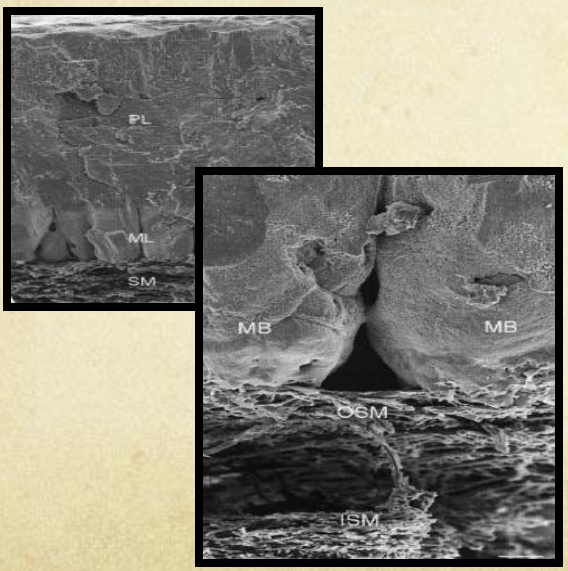
¡Se forman templados de SCA-1 en presencia de CO_3^{2-} !



4. INFLUENCIA DE LAS PROTEÍNAS SCA-1 Y SCA-2 SOBRE LA CRISTALIZACIÓN DEL CARBONATO DE CALCIO



0.1 M CaCl_2
0.1 M Carbonato de Amonio
Proteínas: 50, 100, 200 μg



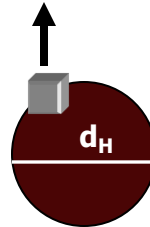
... estudios de DLS: ¿Se forman templados de proteínas?...

FLUIDO UTERINO:

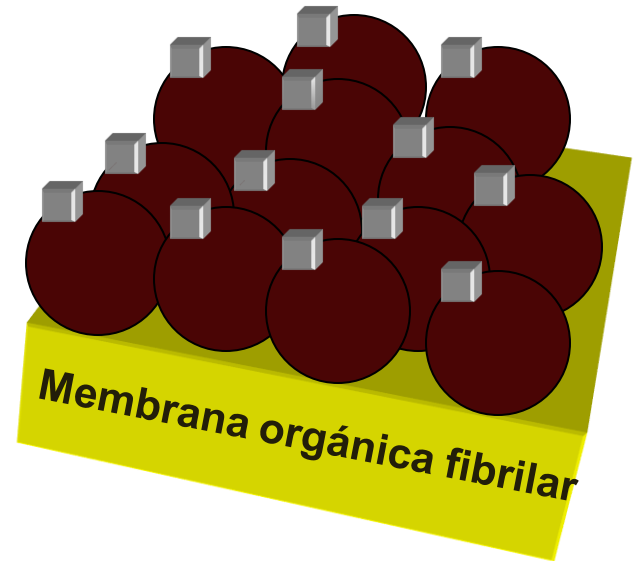
10 mM Ca^{2+}

70 mM CO_3^{2-}

**Núcleo cristalino de
carbonato de calcio**

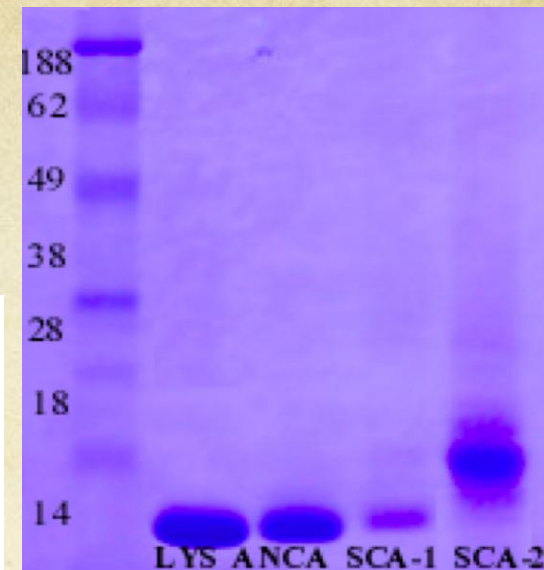
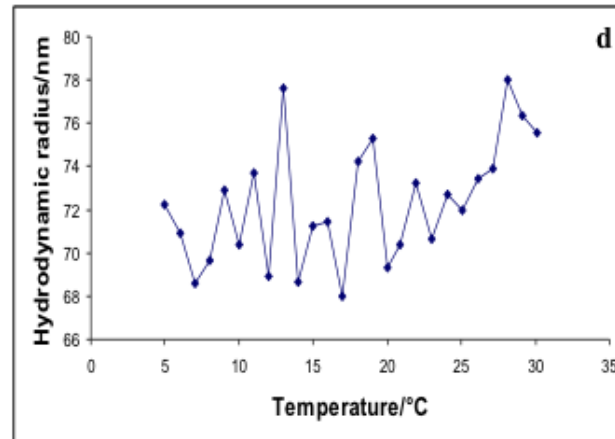
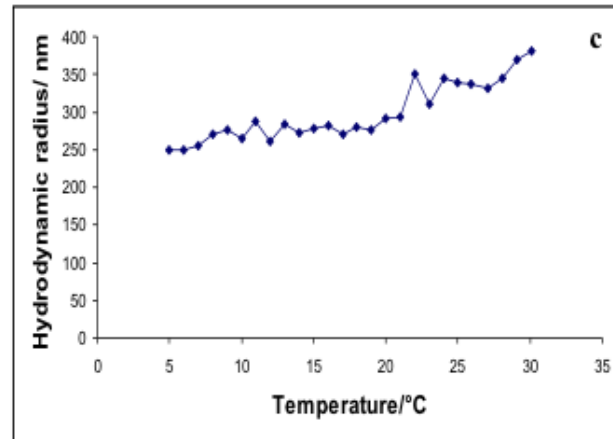
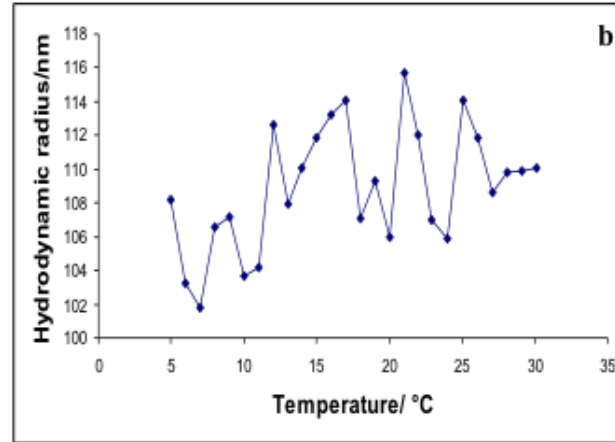
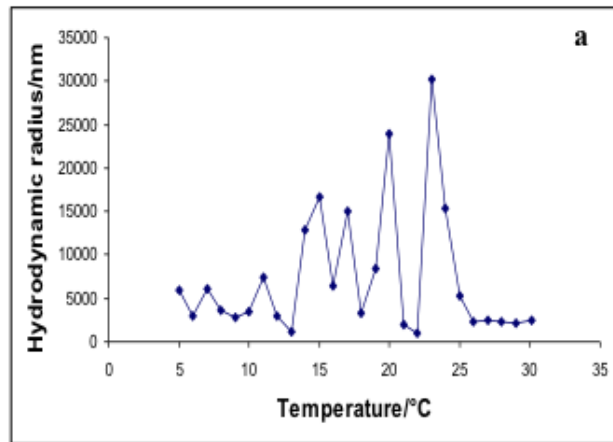


**Templado de proteína
con d_H constante**

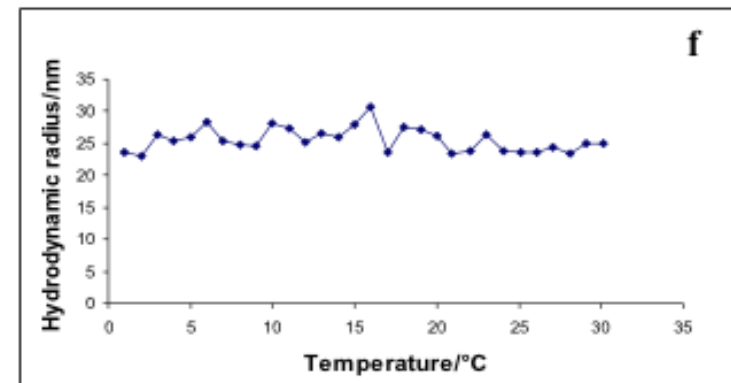
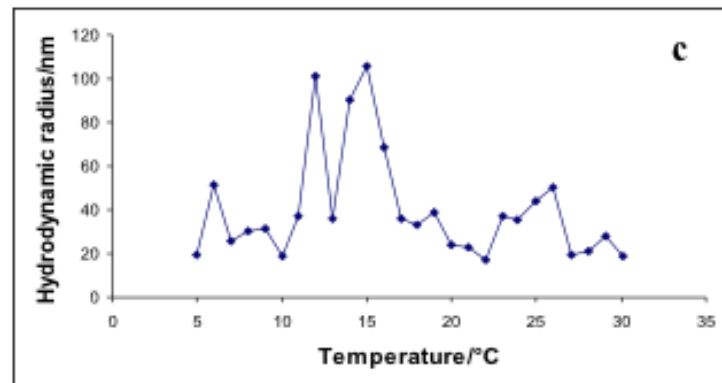
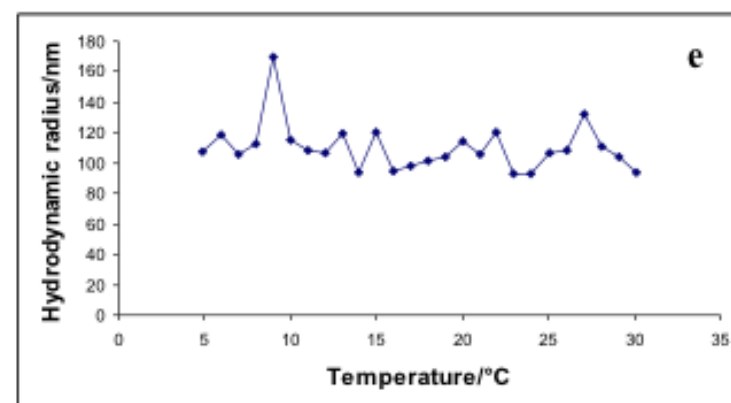
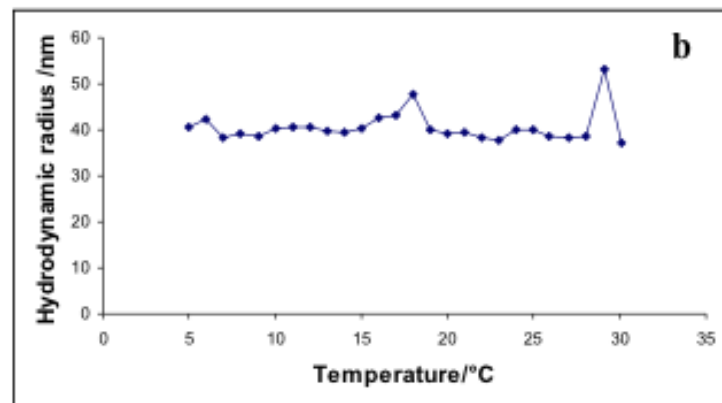
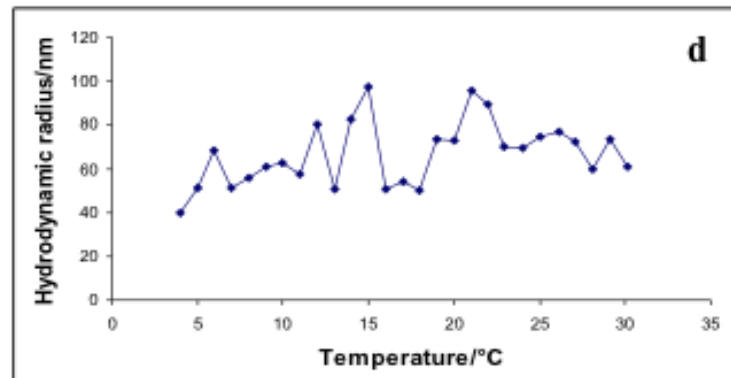
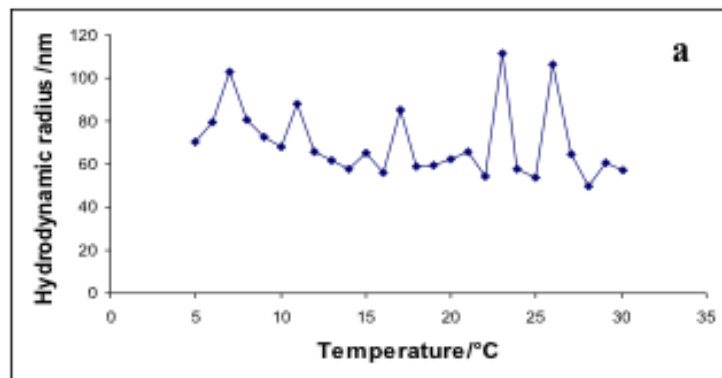


- Fernández, M. S.; Passalacqua, K.; Arias, J. I.; Arias, J. L. 2004. Partial biomimetic reconstitution of avian eggshell formation. *Journal of Structural Biology*. 148, 1-10.

Estudios de agregación a través de DLS



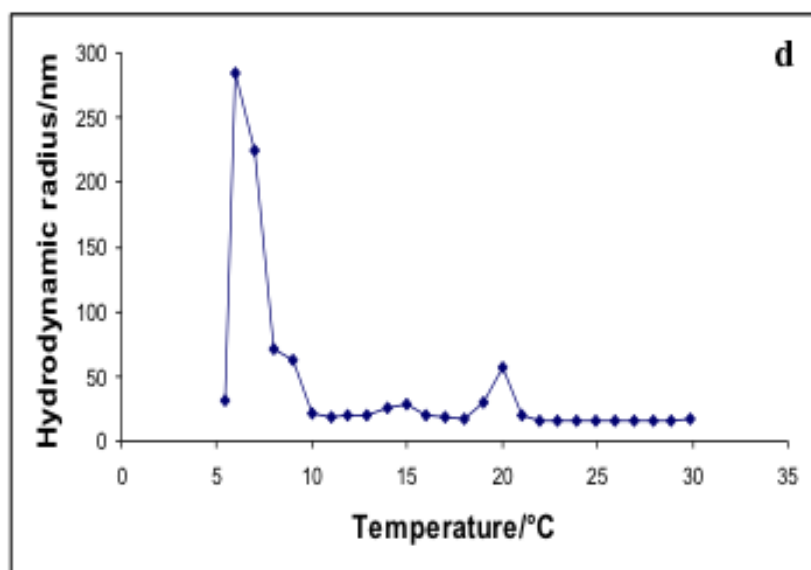
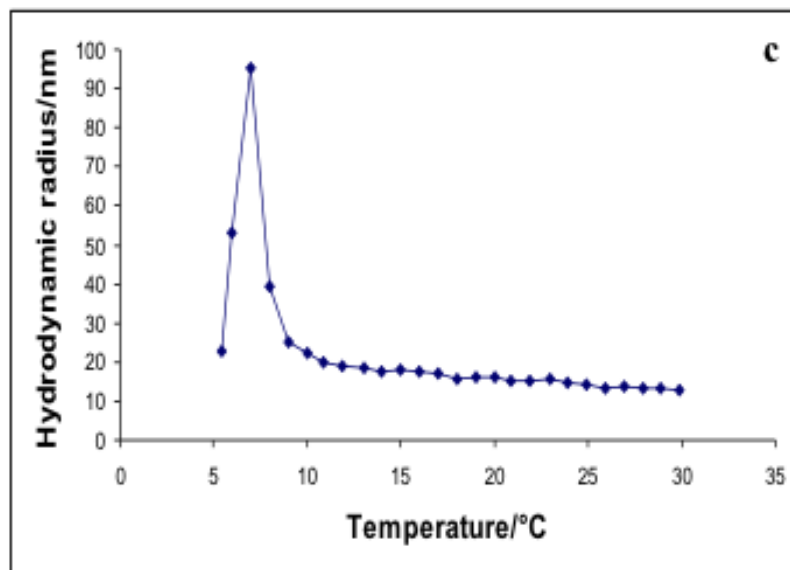
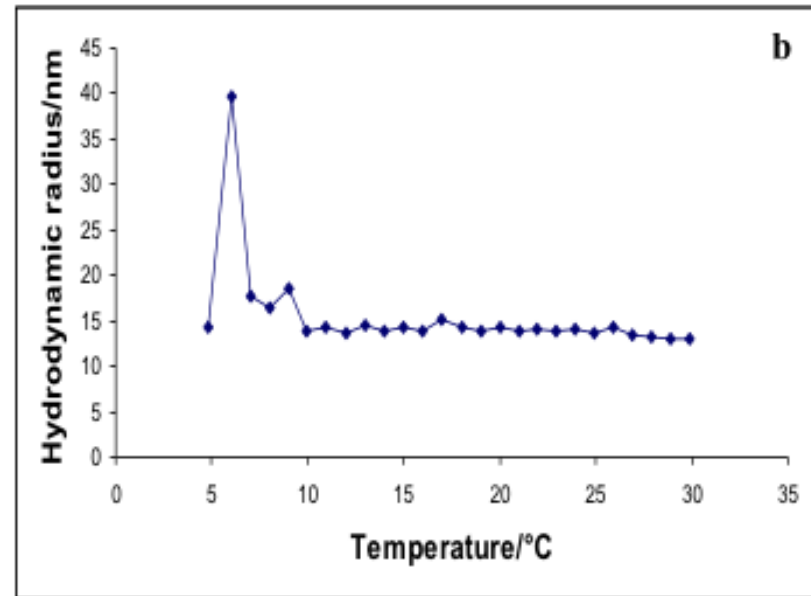
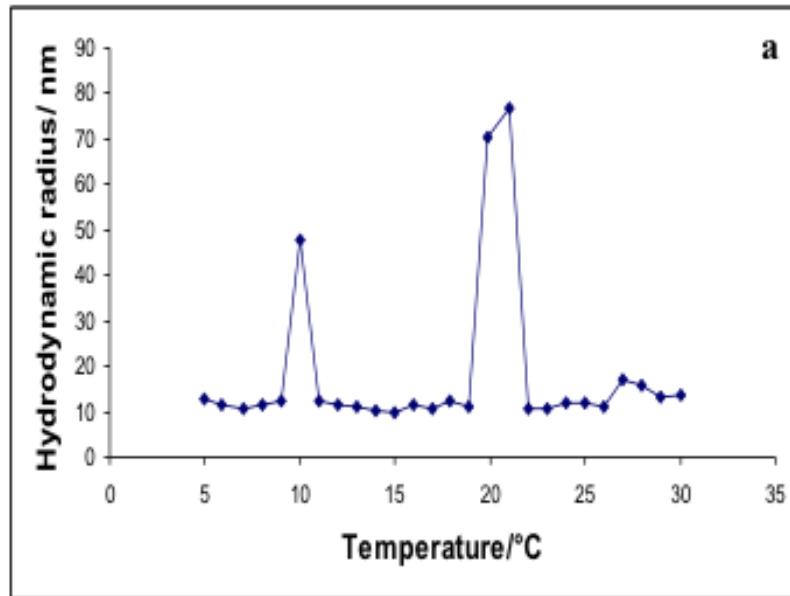
Experimento de adición: 10 mM, 70 mM, 100mM of Na_2CO_3



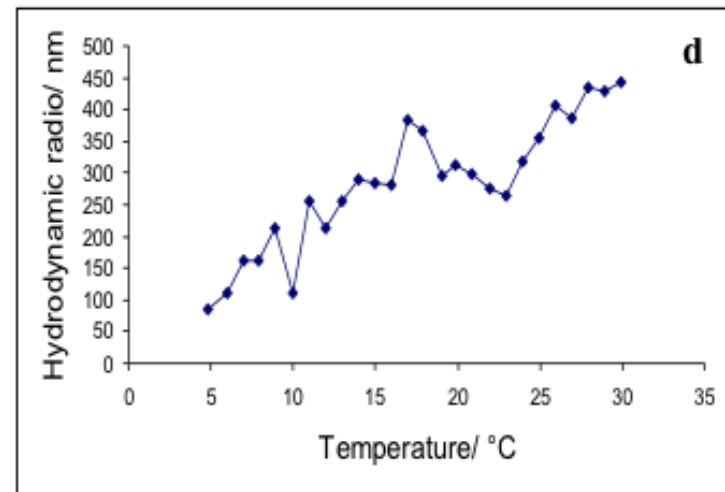
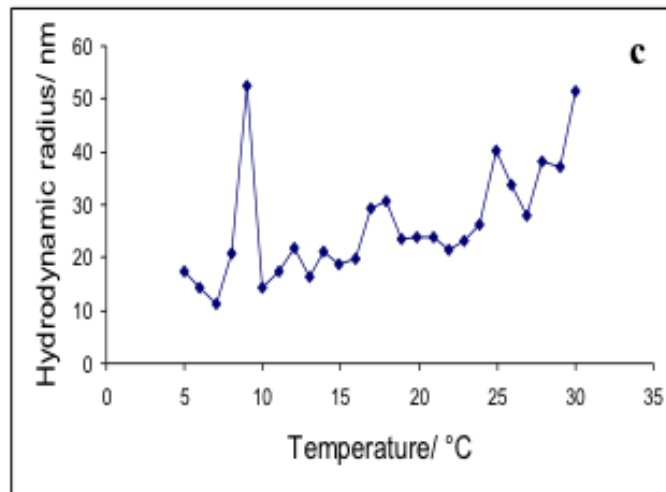
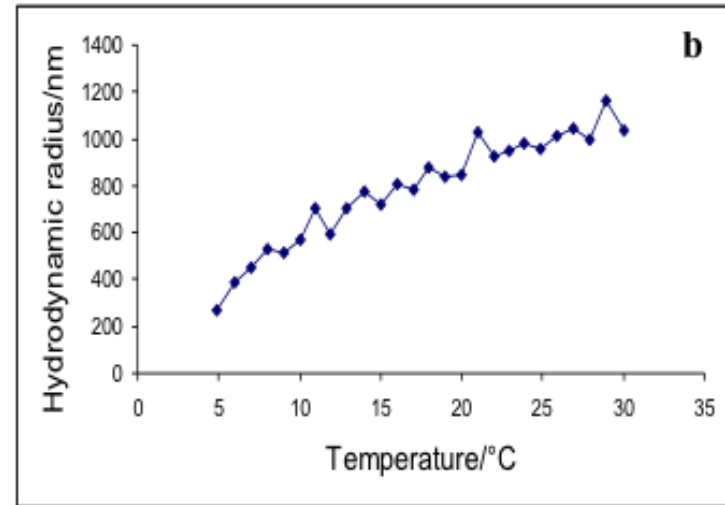
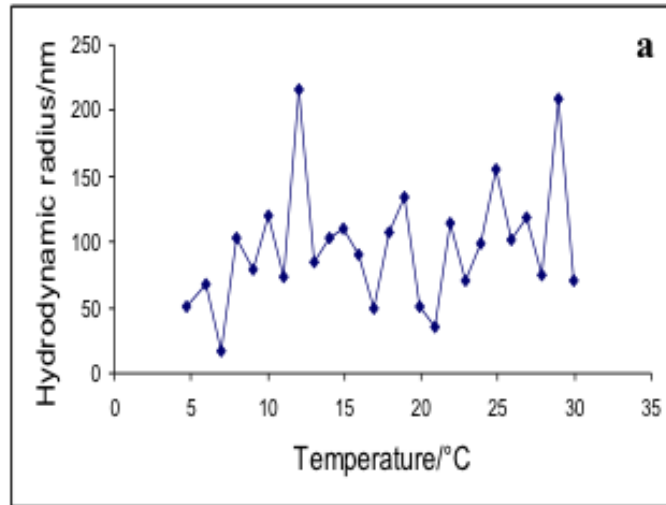
SCA-1

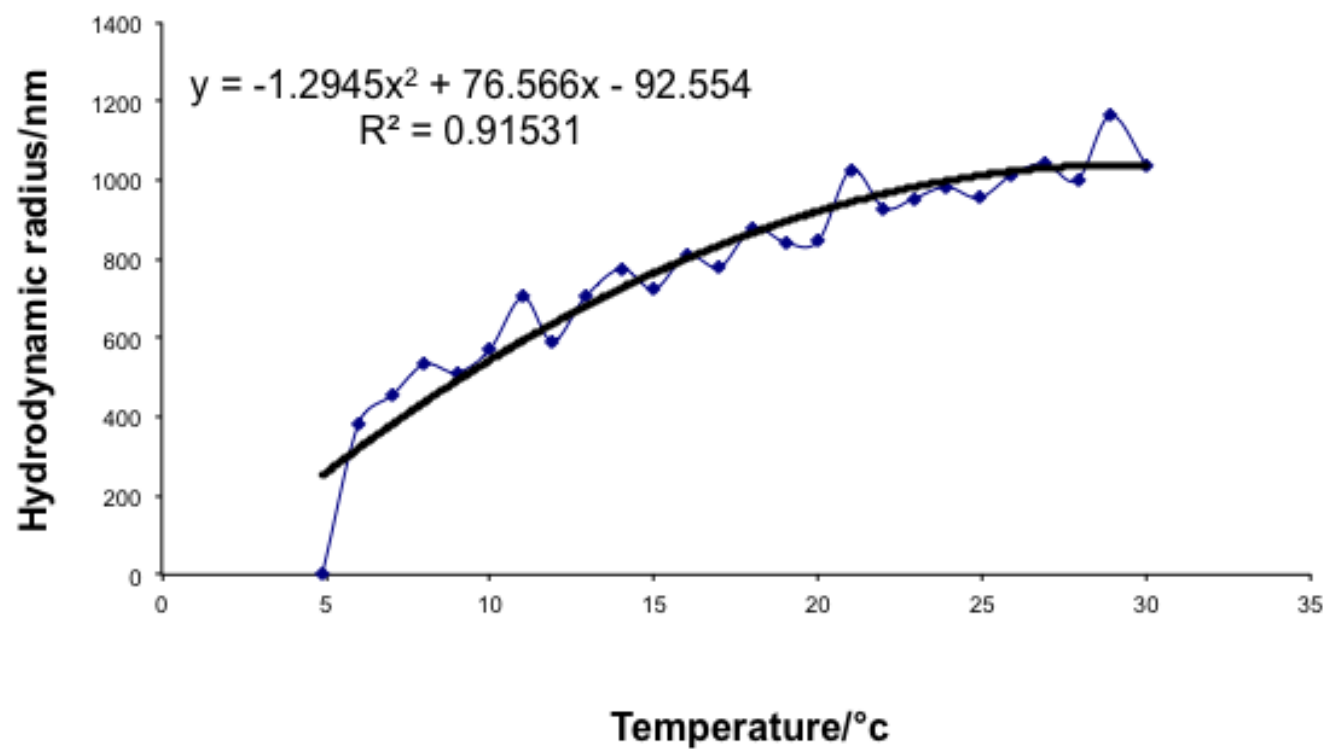
SCA-2

Ansocalcina obtenida del cascaron de huevo de ganso: : a) filtered, b) 10 mM, c) 70 mM, d) 100mM of Na_2CO_3

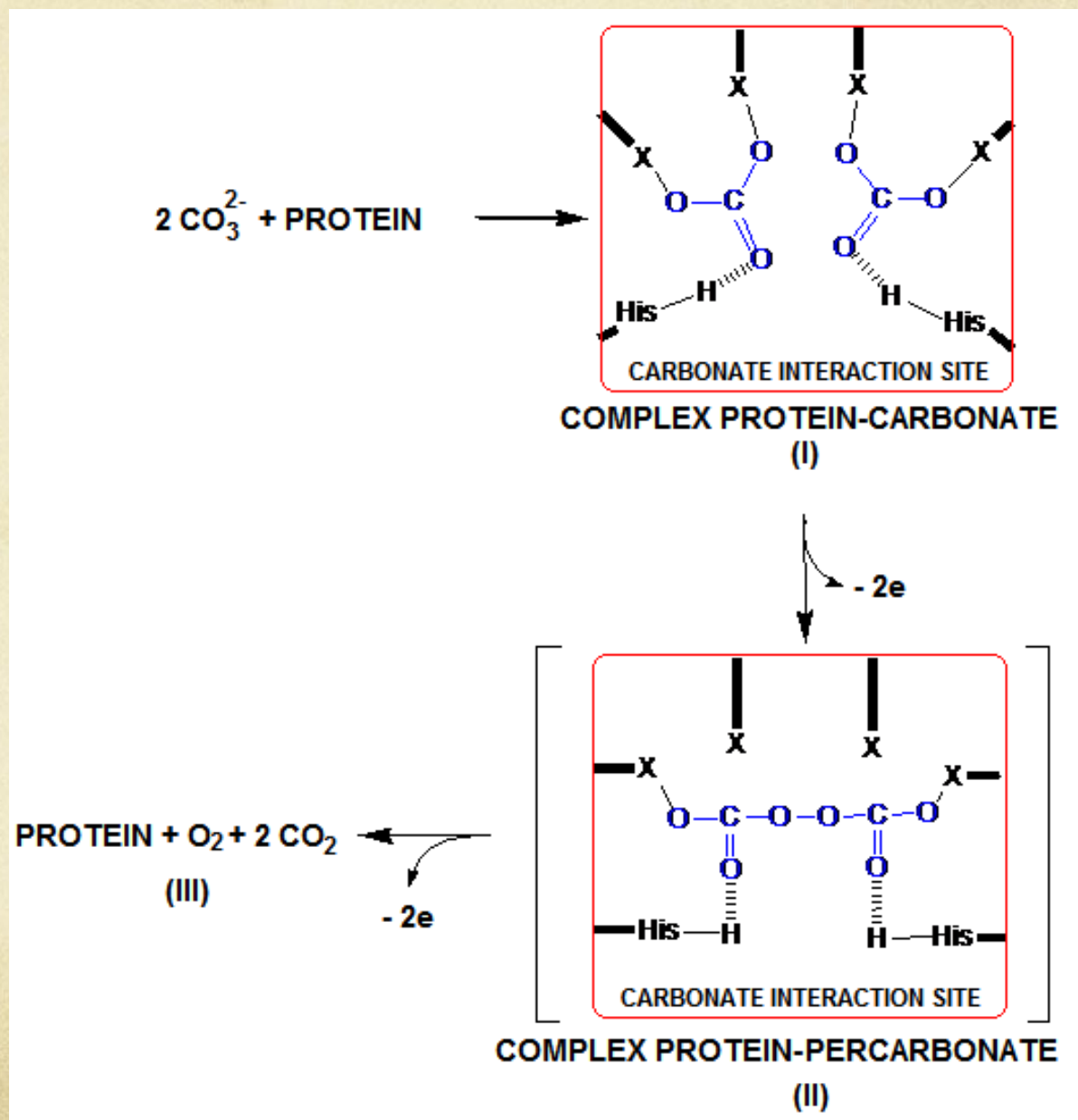


DLS on Lysozyme at: a) filtered, b) 10 mM, c) 70 mM, d) 100mM of Na_2CO_3

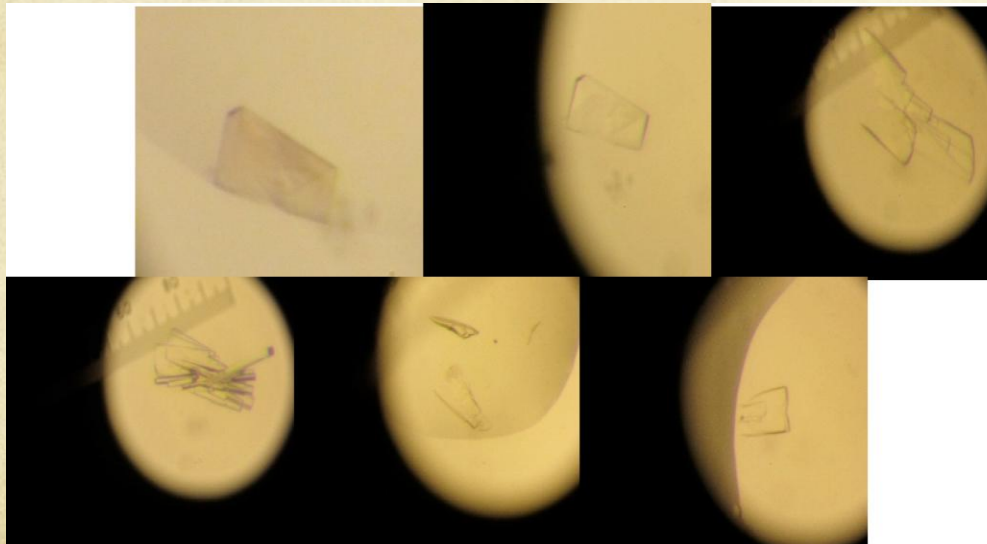
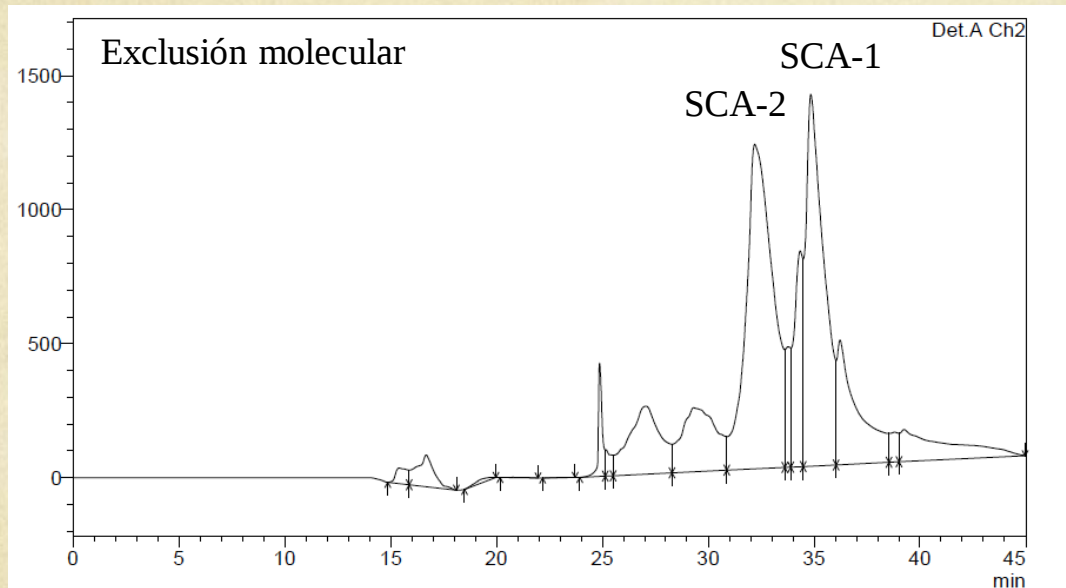




MECANISMO PROPUESTO PARA LA INTERACCIÓN PROTEÍNA-CARBONATO Y PARA LA OXIDACIÓN DE ÉSTE EN UN ELECTRO DE PASTA DE CARBONO



DATOS RECIENTES SOBRE LA ESTRUCTURA 3D DE SCA-1



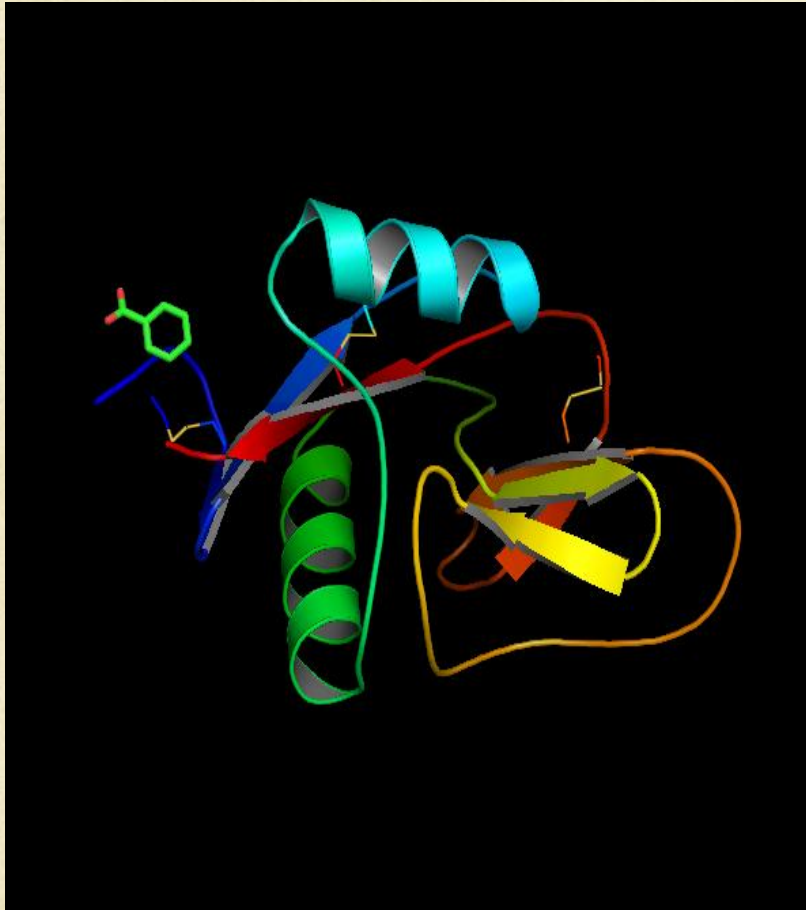
Cristalización de SCA-1

C.D. Rayana Ruiz Arellano,
Ph.D. Thesis

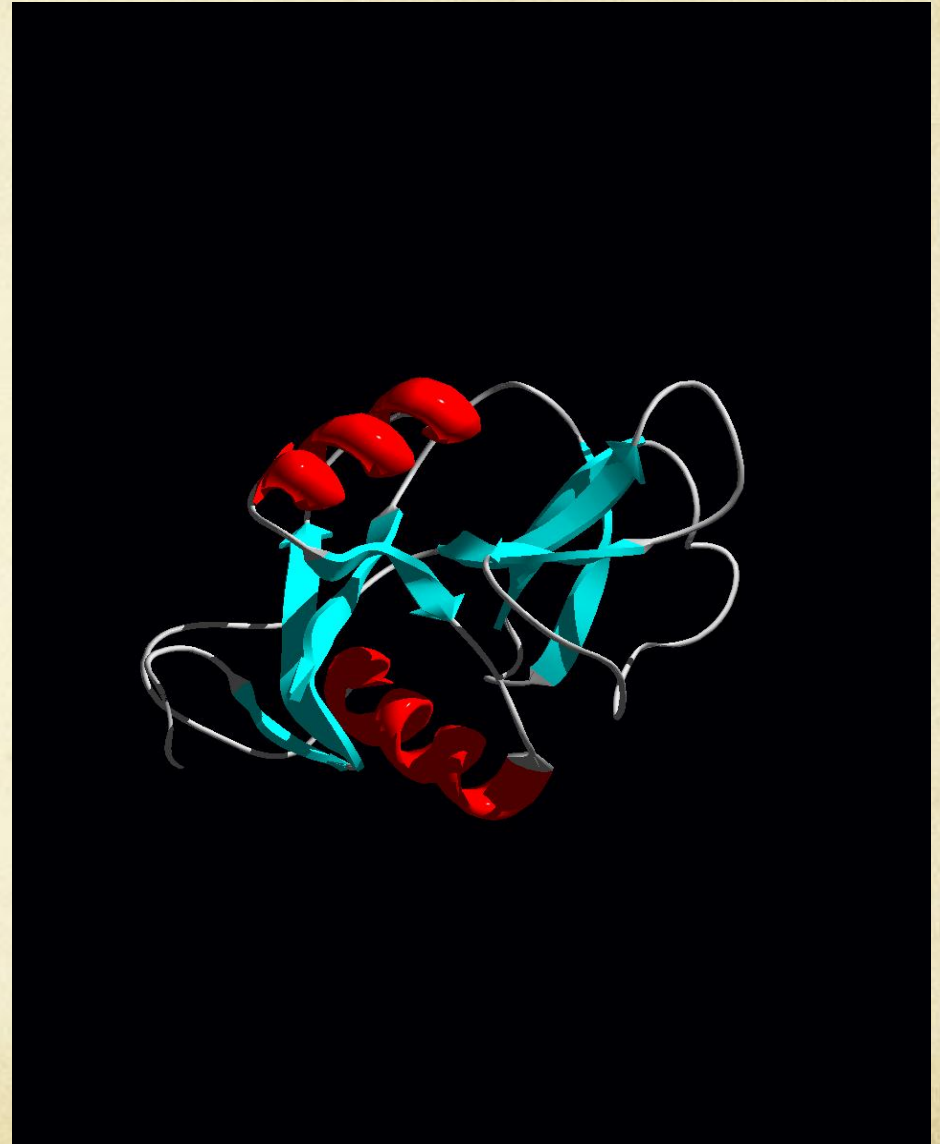
Grupo espacial	P2₁2₁2 (SCA-1)
Parámetros de celda (Å)	a = 32.67 b = 55.91 c = 72.06
Ángulos	a= 90.00 b= 90.00 g=90.00
Límite de Resolución (Å)	1.5 σ
Volumen de la celda unitaria	131623.328
Rmerge(%)	0.145
Número de moléculas en ASU	1
Mosaicity:	0.7 σ

Grupo espacial	P3₂21 (OC-17)
Parámetros de celda (Å)	a = b = 58.26 c = 82.46
Ángulos	a= 90.00 b= 90.00 g=120.000
Límite de Resolución (Å)	1.5 σ
Volumen de la celda unitaria	279888.008
Rmerge(%)	0.63
Número de moléculas en ASU	1
Mosaicity:	0.2 σ

Comparación de las dos estructuras SCA-1 y OC-17

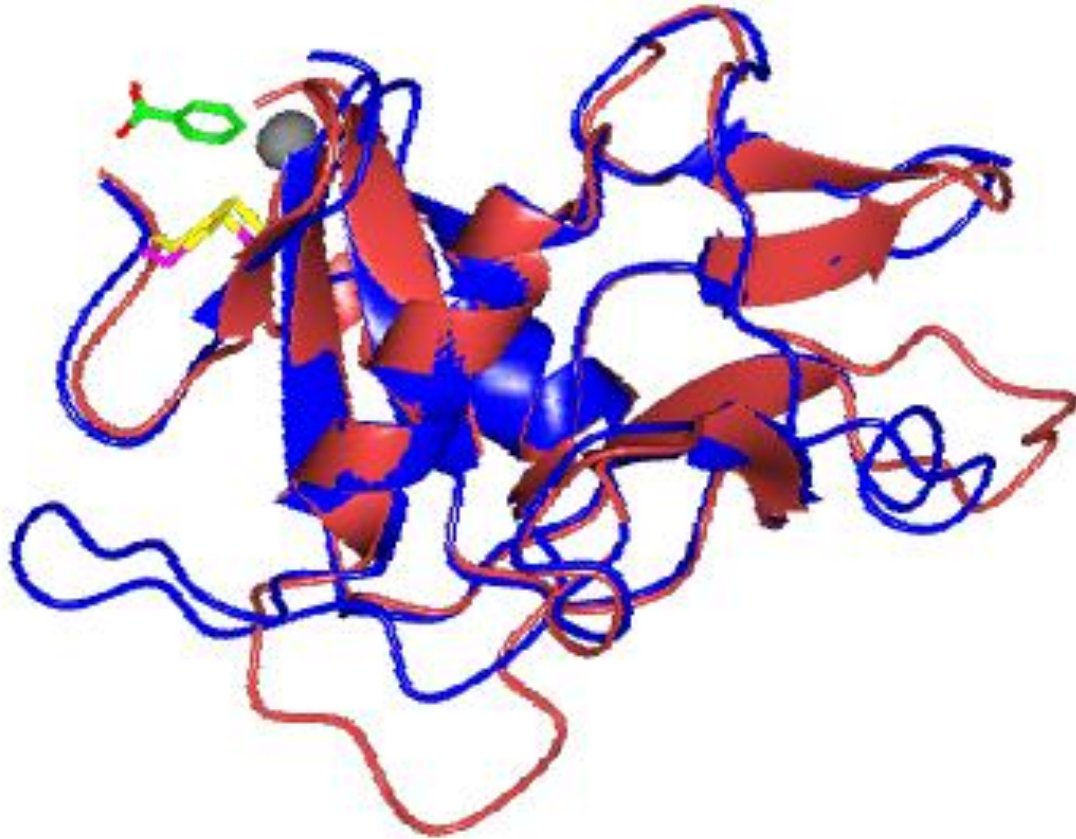


SCA-1 con puentes disulfuro



OC-17

Superposición de ambas proteínas



Ovocleidina-17 (azul) con Estrutiocalcina-1 (rojo)

“We all know that crystals nucleate and grow from saturated solutions. And so they do in vitro, but not necessarily in vivo. Biology has chosen another pathway., crystals are grown from an unstable solid colloidal phase, almost devoid water!”



“MANY ANIMALS DO NOT FORM THEIR CRYSTALS DIRECTLY, THEY FIRST PRODUCE A TRANSIENT PRECURSOR MINERAL PHASE THAT SUBSEQUENTLY TRANSFORMS INTO THE MATURE PHASE”

Stephen Weiner, J. Structural Biology **163** (2008) 229-234. Review

Valdría la pena volver a la vida a animales extintos para entender algunos de los procesos de Biomineralización?



Mi gran deseo...



Dinosaur Eggshell (NHM-London)



Aepyornis eggs Muséum national d'Histoire



Elephant Bird



Skull of an Elephant bird



Dodo-bird Oxford University MNH

Mi realidad e inspiración...



Una ave no pertenece al nido donde
nace sino al cielo donde vuela...

CONCLUSIONES

- Los minerales que son producidos o sintetizados en seres vivos, permiten desarrollar propiedades y funciones específicas en combinación con macromoléculas biológicas.
- Estos biominerales participan inclusive en la estereo selectividad química, para elegir la incorporación de L-aminoácidos en proteínas y D-azúcares en polisacáridos, así como en la síntesis de sencillas y grandes biomoléculas hasta los grandes complejos macromoleculares proteína-DNA o proteína-RNA.
- La formación de huesos, dientes y algunas otras formas de estructuras biológicas, quizás siguen las teorías de crecimiento cristalino, pero la morfología (no-cristalográfica) quizás está gobernada por genes.
- La relación: estructura-función, no puede atribuirse solamente a la resolución estructural de una sola biomolécula, sino que requiere de la resolución estructural de varias macromoléculas y los aspectos químicos que rigen dichos procesos.

AGRADECIMIENTOS

CARBONATO DE CALCIO:

- **Dr. Juan Pablo Reyes Grajeda, INMEGEN, México.**
- **Dr. Hugo Javier Serrano Posada, Facultad de Química, UNAM**
- **Dra. María Liliana Marín García, Instituto Politécnico Nacional, IPN**
- **Dr. Vivian Stojanoff, Brookhaven National Laboratory (BNL), USA.**
- **Dr. Jean Jakoncic, Brookhaven National Laboratory (BNL), USA**
- **C.D. Rayana R. Ruiz-Arellano, PhD Thesis IQ-UNAM.**
- **DGAPA-UNAM Proyecto IN214506 / IN201811**
- **CONACYT proyecto 82888, 175924.**

FOSTATO DE CALCIO:

- **Dra. Azucena E. Jiménez Corona, CINVESTAV, México.**
- **Dr. Eduardo Villarreal Ramírez, Mineralized Tissue Laboratory. HSS-New York, USA.**
- **Apoyo de CONACYT: Proyectos 58515 /82888**

OXALATO DE CALCIO EN PLANTAS

Dr. David Jáuregui Zúñiga, IBT UNAM.

BIOSILIFICACIÓN

Dra. Nuria Sanchez Puig, IQ-UNAM