UNIVERSIDAD DE GRANADA
Departamento de Mineralogía y Petrología
E. Sebastián Pardo
FACULTAD DE CIENCIAS, FUENTENUEVA S/N, 18002-GRANADA, ESPAÑA. TEL.: + 34 (9)58 243395 FAX: + 34 (9)58 243368

C.T.S. España
Dirección
C/ Dr. Fourquet, 3
Madrid

Granada, 18 de Junio de 1998

Le remito copia de una parte de la investigación realizada con los productos que tan amablemente nos proporcionaron en su día; corresponde a parte del informe técnico que nos solicito la Delegación de Cultura de la Junta de Andalucía, en relación con el estudio de conservación y propuestas de intervención, en un edificio histórico de una pequeña población de esta provincia.

Creo que los resultados alcanzados con sus productos Estel 1000 y Estel 1100, para este tipo concreto de calcarenita son muy prometedores.

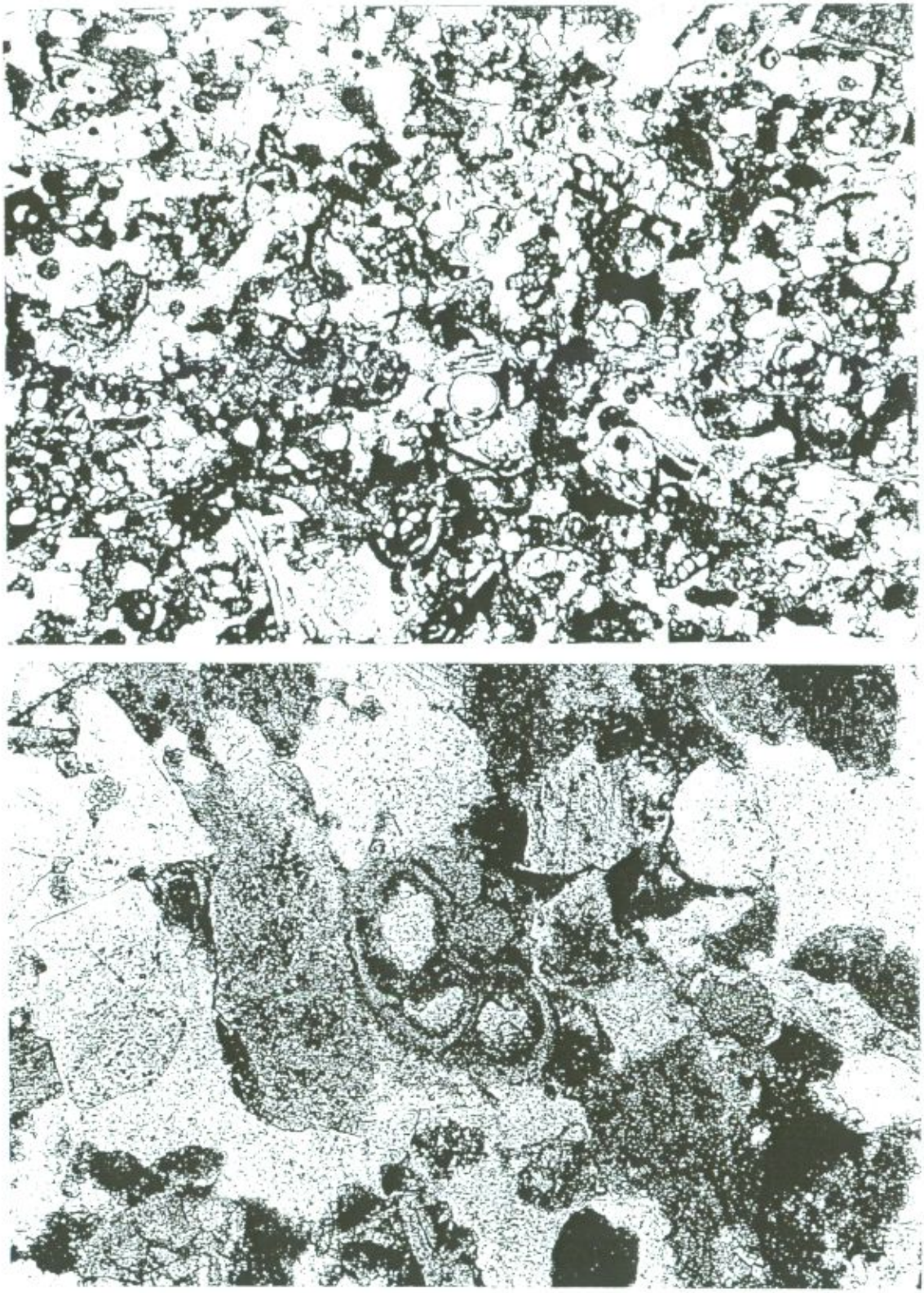
Le reitero mi agradecimiento y le envío un cordial saludo

Se ha determinado la eficacia de diversos productos consolidantes y protectivos sobre un material pétreo procedente de cantera que ha sido ampliamente utilizado en el Patrimonio Arquitectónico de esta parte de la provincia de Granada.

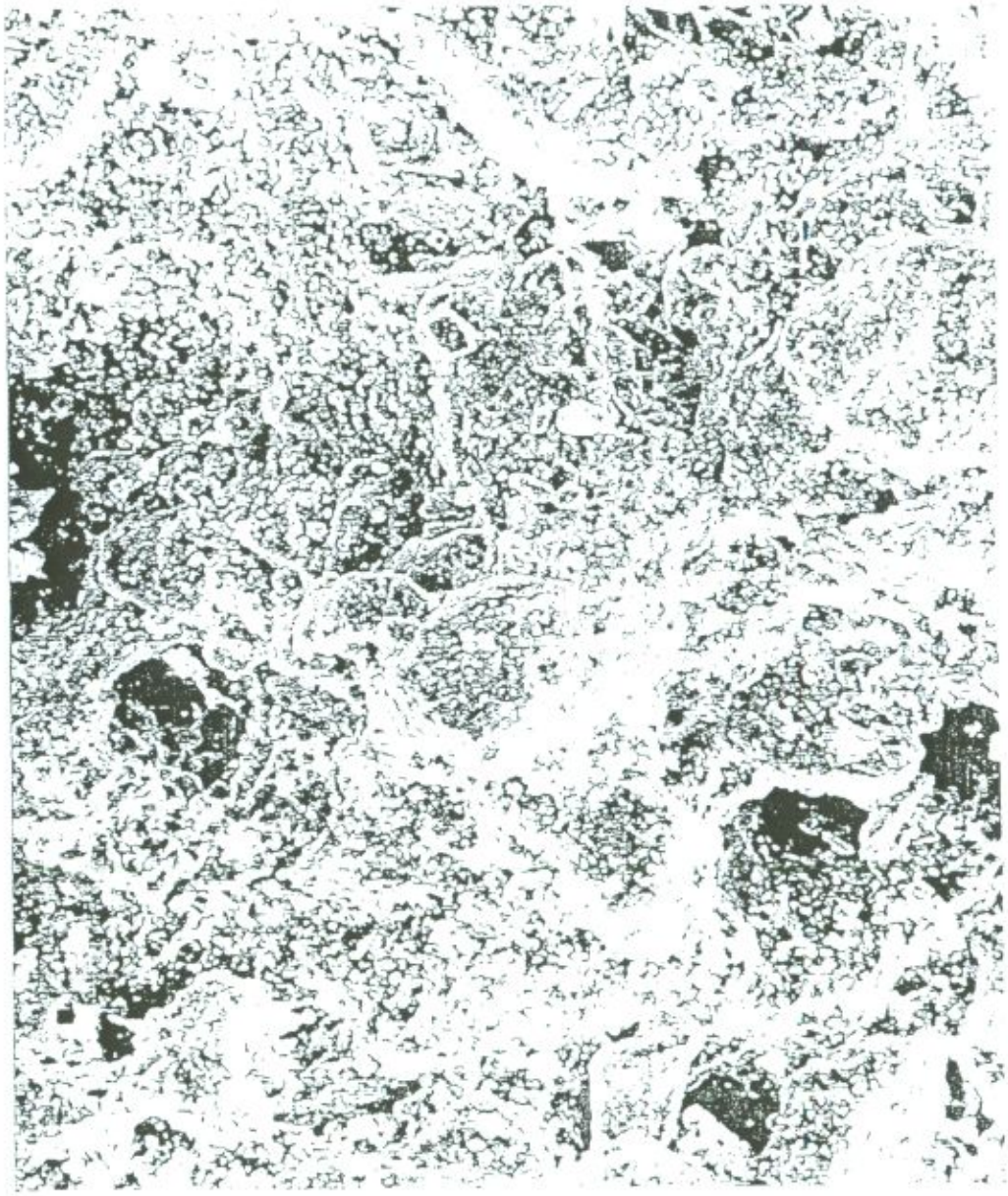
La caracterización del material pétreo en cuestión, se ha efectuado mediante técnicas analíticas como: microscopia óptica (ver fotografías de microscopia óptica), difracción de rayos X (ver difractogramas) y microscopia electrónica de barrido (ver microfotografía de microscopia electrónica de barrido). Aunque "de visu", parecía tratarse de una arenisca, la conjunción de las técnicas anteriormente citadas ha permitido clasificarla como una calcarenita bioclástica (Folk, 1962), que contiene una matriz calcárea micrítica y un armazón de granos cuya composición mineralógica es esencialmente cuarzo, calcita, feldespato, dolomita y fragmentos de bioclastos (equinodermos, bivalvos, ostrácodos y foraminiferos plantónicos entre otros).

El estudio se ha abordado en base a la degradación que presenta la calcarenita en su ubicación en el monumento. Esta alteración se presenta principalmente como pérdida de material pétreo, fracturaciones, desplacados y arenizaciones. Estas morfologías de deterioro son debidas fundamentalmente al viento, al agua, ya sea de lluvia o de ascenso capilar, a las oscilaciones térmicas y a la incompatibilidad en otros materiales de la construcción portadores de sales como pueden ser los morteros de yeso y de cemento.

Antes de proceder a la aplicación de los tratamientos de consolidación y protección se ha efectuado también una caracterización físico-mecánica de la piedra (porosidad, densidad, parámetros hídricos, mecánicos y elásticos) con el fin de realizar un estudio comparativo entre muestras tratadas y sin tratar. Posteriormente se ha evaluado la eficacia de los productos y metodología de tratamientos de tratamientos mediante la simulación en laboratorio de ensayos de envejecimiento acelerado; estos han sido: ciclos de cristalización de sales, ciclos de hielo-deshielo y ciclos de humedad-sequedad.



Fotografías de microscopia óptica. Aspecto que presenta la calcarenita bioclástica vista a microscopio. Fotografía superior con nícoles paralelos y un aumento de 3,2x. Fotografía inferior, detalle de la fotografía superior, en la que se observa las cámaras de un bioclasto con un aumentos de 10x.



Microfotografía de microscopia electrónica de barrido. Aspecto textural que presenta la arenisca bioclástica con un aumento de 2000x.

Aplicación de los tratamientos

Los productos aplicados han sido:

Consolidantes: Estel 1000 y productos A, B y C .
Consolidantes e hidrofugantes: Estel 1100 y producto D.
Hidrofugante: producto E.

Procedimiento de ensayo:

- las superficies a aplicar el producto estaban secas, limpias y desprovistas de eflorescencias de sales.
- Inmersión total de las probetas en los productos elegidos (este procedimiento no es transferible al edificio, pero la aparición próximamente de una NORMAL del CNR italiano recomienda esta metolodogía de aplicación para la valoración del ensayo en laboratorio, entre otros motivos porque reduce fuertemente la permanencia de poros ocupados por aire).
- Tiempo de inmersión 10 minutos.
- Secado de las probetas durante un tiempo que oscila de una a cuatro semanas dependiendo de las recomendaciones del fabricante; no exponiendo la superficie tratada al sol durante todo ese periodo de tiempo.
- Se repitió este proceso dos veces.
- La pesada de las probetas para controlar el incremento de peso tras aplicar el tratamiento se efectuó transcurrida una semana de su aplicación.

Resultados:

Al aplicar los tratamientos, en todos los casos se experimenta un incremento de peso en las probetas ensayadas (ver figuras I, II, III y IV), las que más ganancia de peso experimentan son las ensayadas con Estel 1000 y Estel 1100 como se observa en la figura V.

Por otra parte, destacar que ninguno de los productos introduce modificaciones en el color y brillo de su superficie, lo cual es un requisito imprescindible para ser usado como tratamiento de protección en intervenciones del Patrimonio.

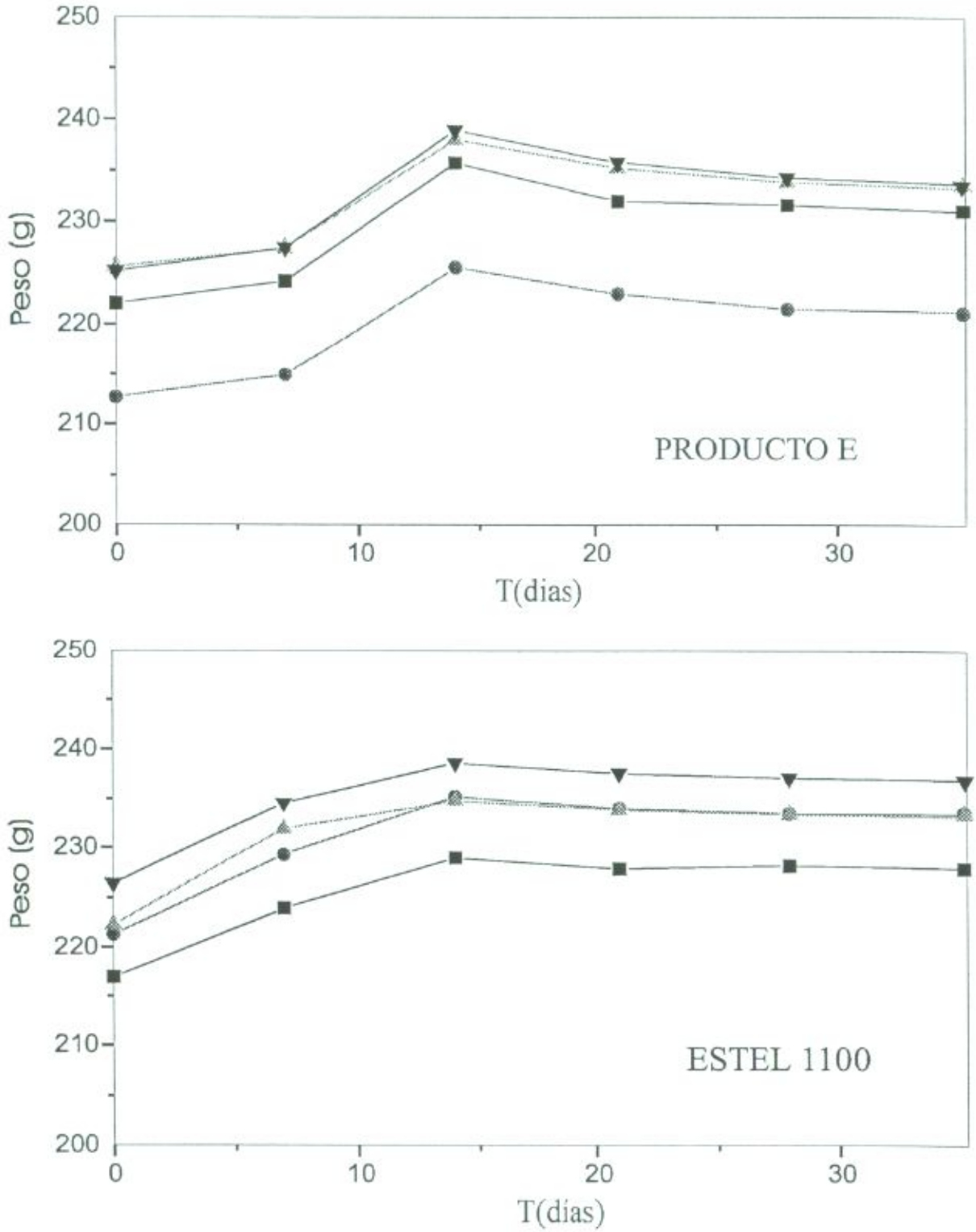


Figura I. Varación de peso en gramos respecto al tiempo de muestras tratadas con consolidante e hidrofugante.

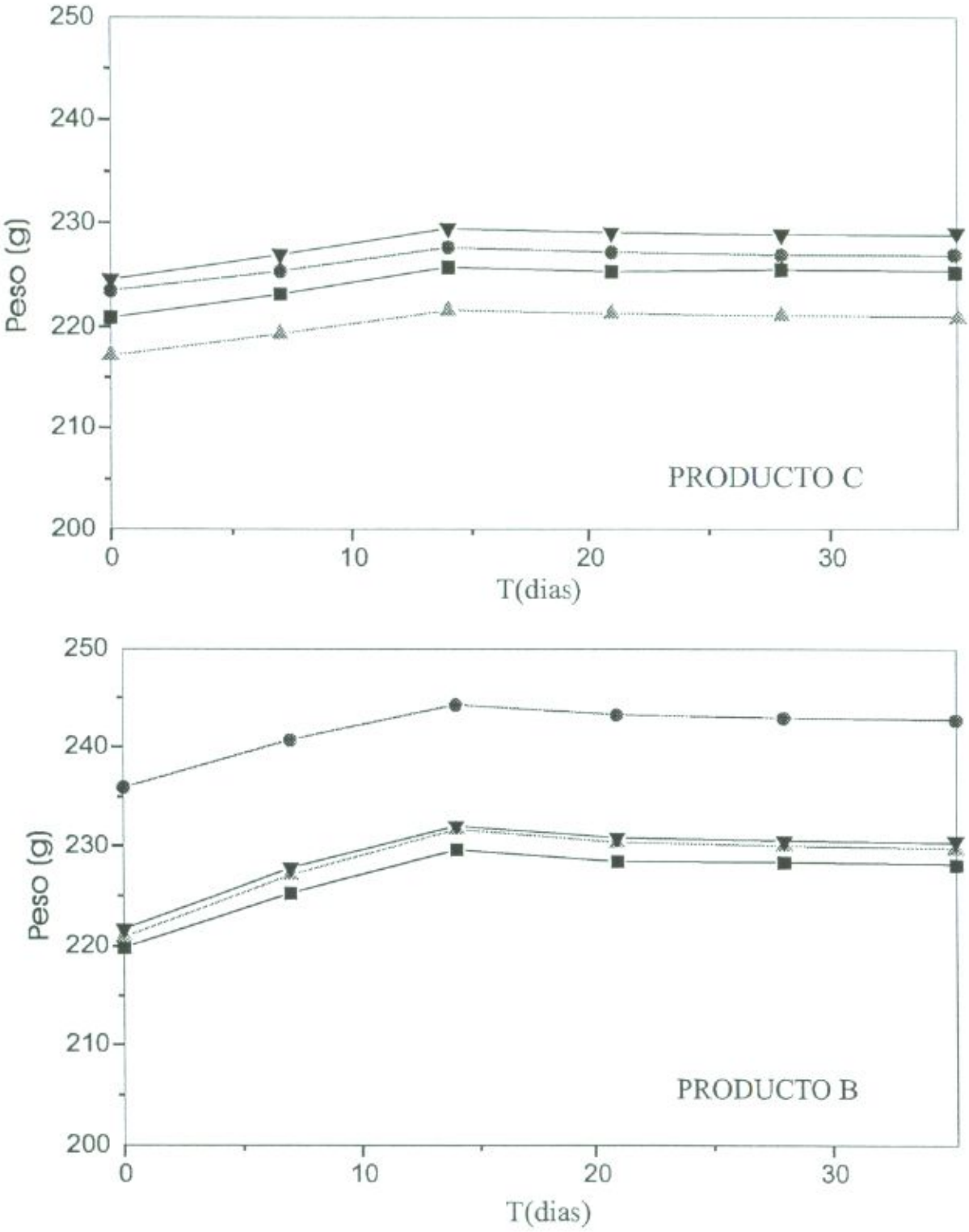
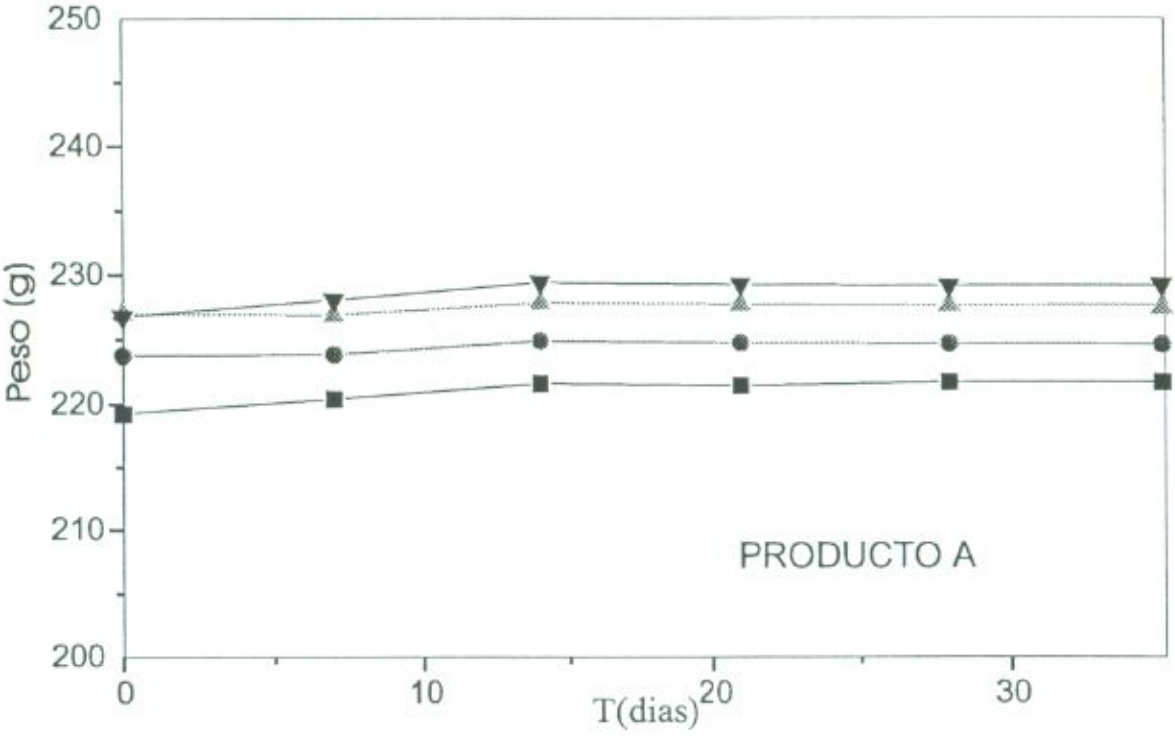


Figura II. Variación del peso en gramos respecto al tiempo de muestras tratadas con consolidante.



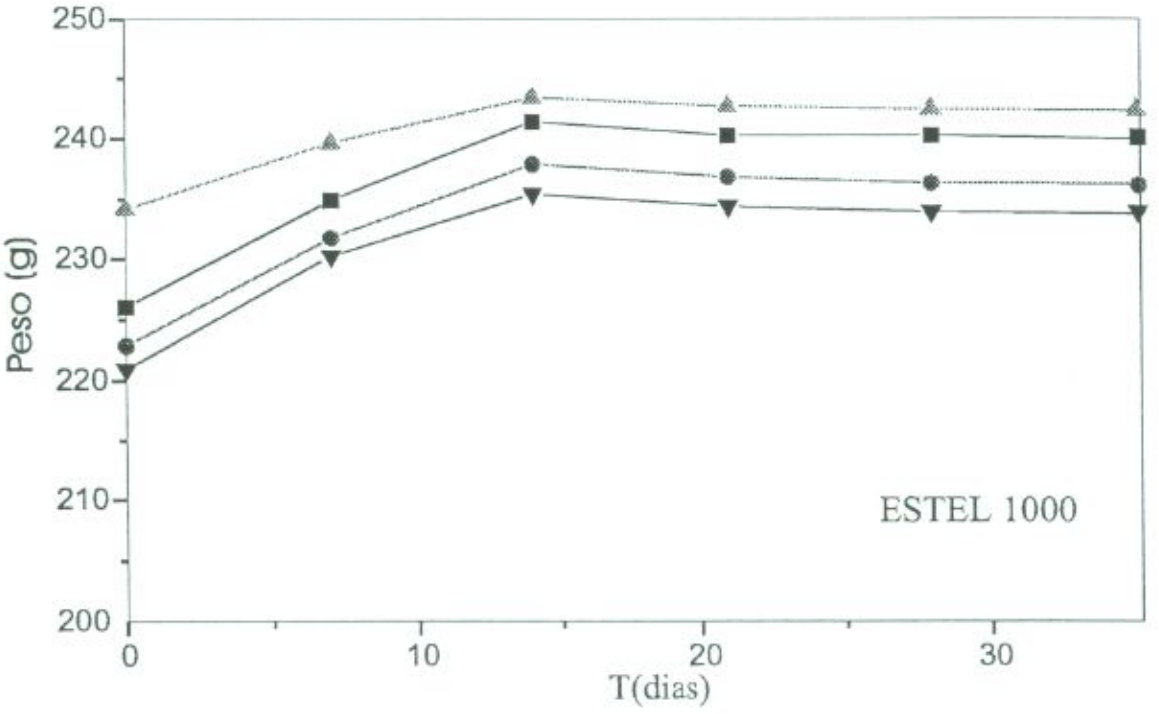


Figura III. Variación de peso en gramos respecto al tiempo de muestras tratadas con consolidante.

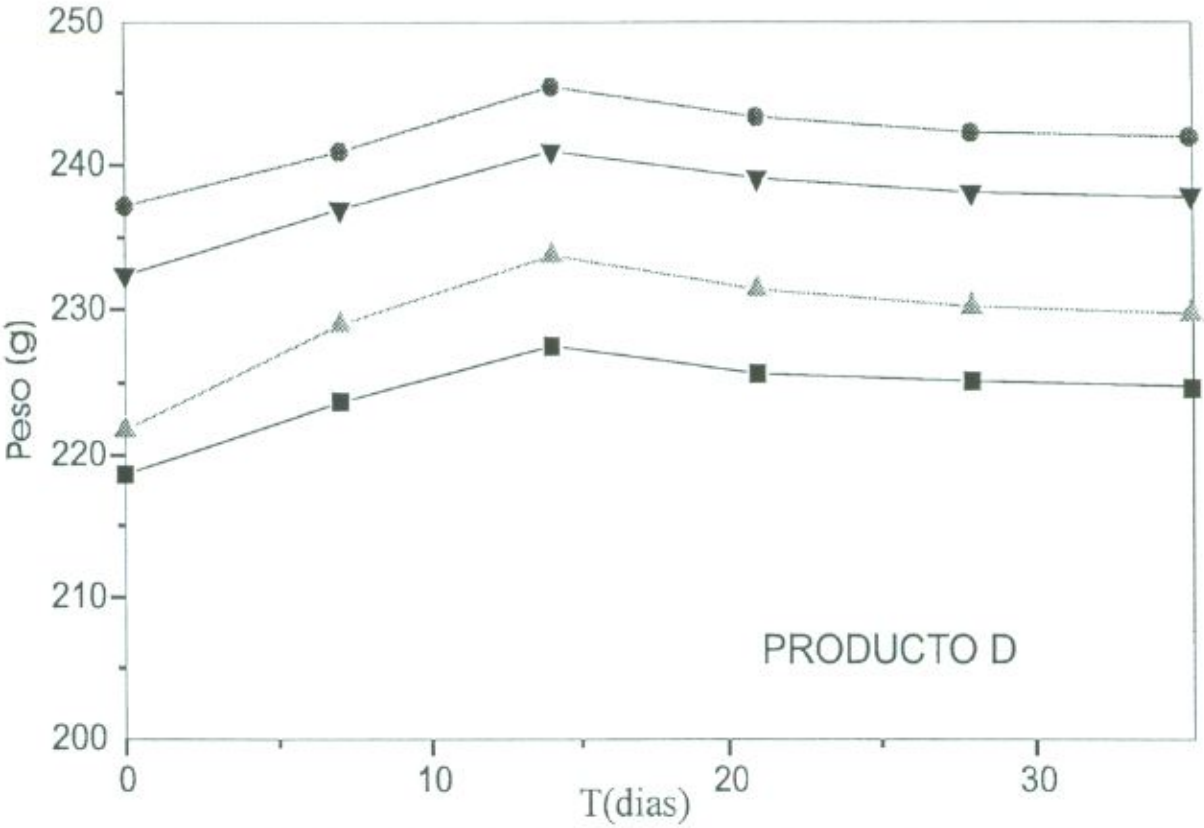


Figura IV. Variación del peso en gramos respecto al tiempo, de muestras tratadas con hidrofugante.

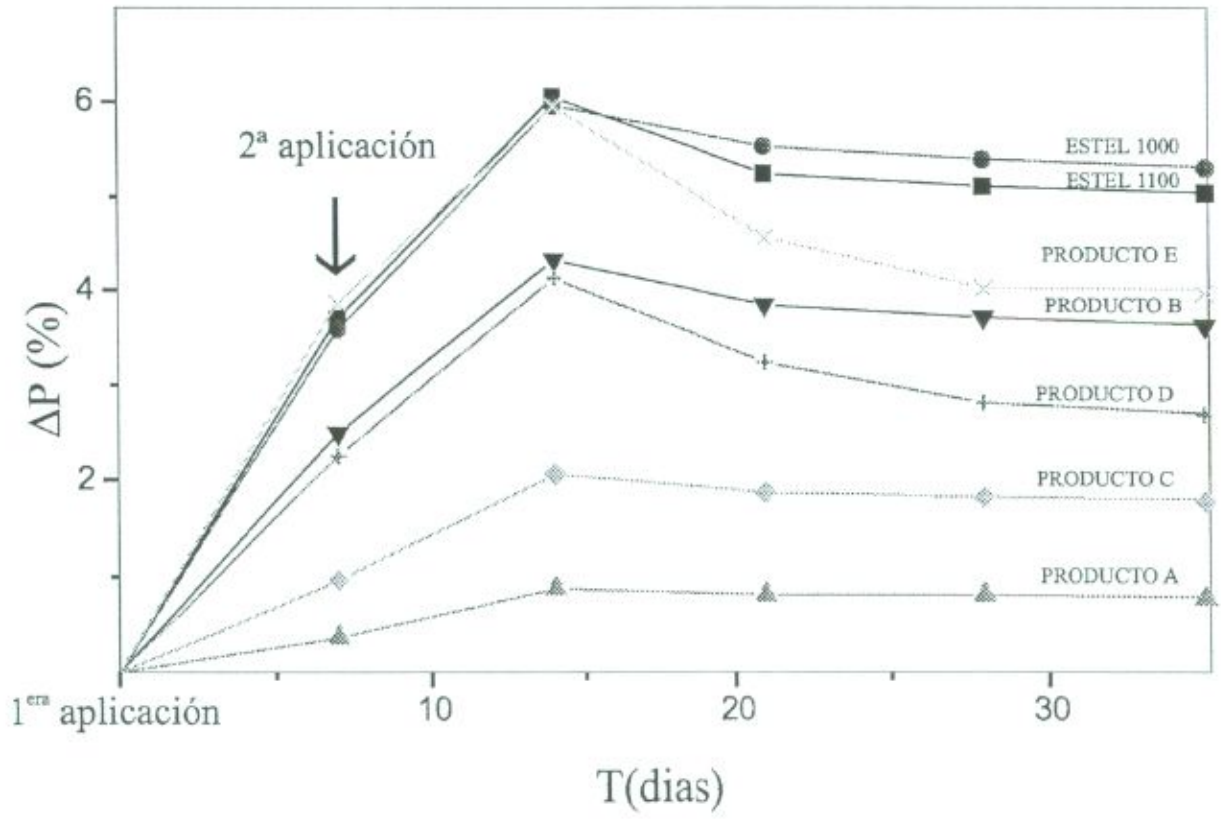


Figura V. Incremento del peso (ΔP) % respecto al tiempo (T), (valores medios de tres probetas para cada uno de los tratamientos.

Propiedades físicas

La porosidad es una propiedad física que se modifica con la aplicación de los tratamientos. Los resultados se presentan en la tabla I. En todos los tratamientos disminuye con respecto a las muestra en blanco (sin tratar). En los casos de Estel 1000 y Estel 1100, los valores resultantes son muy parecidos. En el caso de las densidades sufren la misma tendencia como cabía esperar.

Tabla I. Valores medios de porosidad (P) en %; indice de poros (Ip); densidad real (dR) y densidad aparente (dA), expresadas en gr/cm^3.

	P (%)	Ip	dA (gr/cm^3)	dR (gr/cm^3)
MUESTRA EN BLANCO	31.01	0.45	1.85	2.67
ESTEL 1100	23.71	0.31	1.95	2.55
ESTEL 1000	23.56	0.31	1.95	2.56
PRODUCTO A	28.86	0.40	1.88	2.65
PRODUCTO B	22.56	0.29	2.01	2.59
PRODUCTO C	29.17	0.41	1.88	2.65
PRODUCTO D	25.74	0.35	1.93	2.60
PRODUCTO E	24.39	0.32	1.93	2.55

Propiedades hídricas

El comportamiento de las probetas tratadas y sin tratar se presenta en la figura VI y VII. Se observa como las probetas tratadas con Estel 1000 y Estel 1100 junto con el producto E (consolidante e hidrofugante), son las que más resistencia ofrecen a la absorción libre de agua y las que mayor incremento de peso proporcionan a las muestras. En la desorción libre de agua, muestran pérdida parcial del producto de tratamiento. La succión capilar ha producido en las muestra tratadas un incremento de peso despreciable.

Ensayos de envejecimiento acelerado

Se han efectuado 10 ciclos de cristalización de sales (ver figura VIII), obteniéndose resultados satisfactorios en todos los tratamientos. La muestra en blanco y la tratadas con el producto C son las únicas que van perdiendo material progresivamente hasta llegar a destruirse. La variación de peso con los ciclos de hielo-deshielo (figura IX) hasta los 30 ciclos tienen tendencia similar en todos los casos. En los ciclos de humedad-sequedad (figura X) sucede lo mismo, sólo se observa una pérdida de peso por debajo de la pesada inicial como consecuencia de tiempos prolongados en agua.

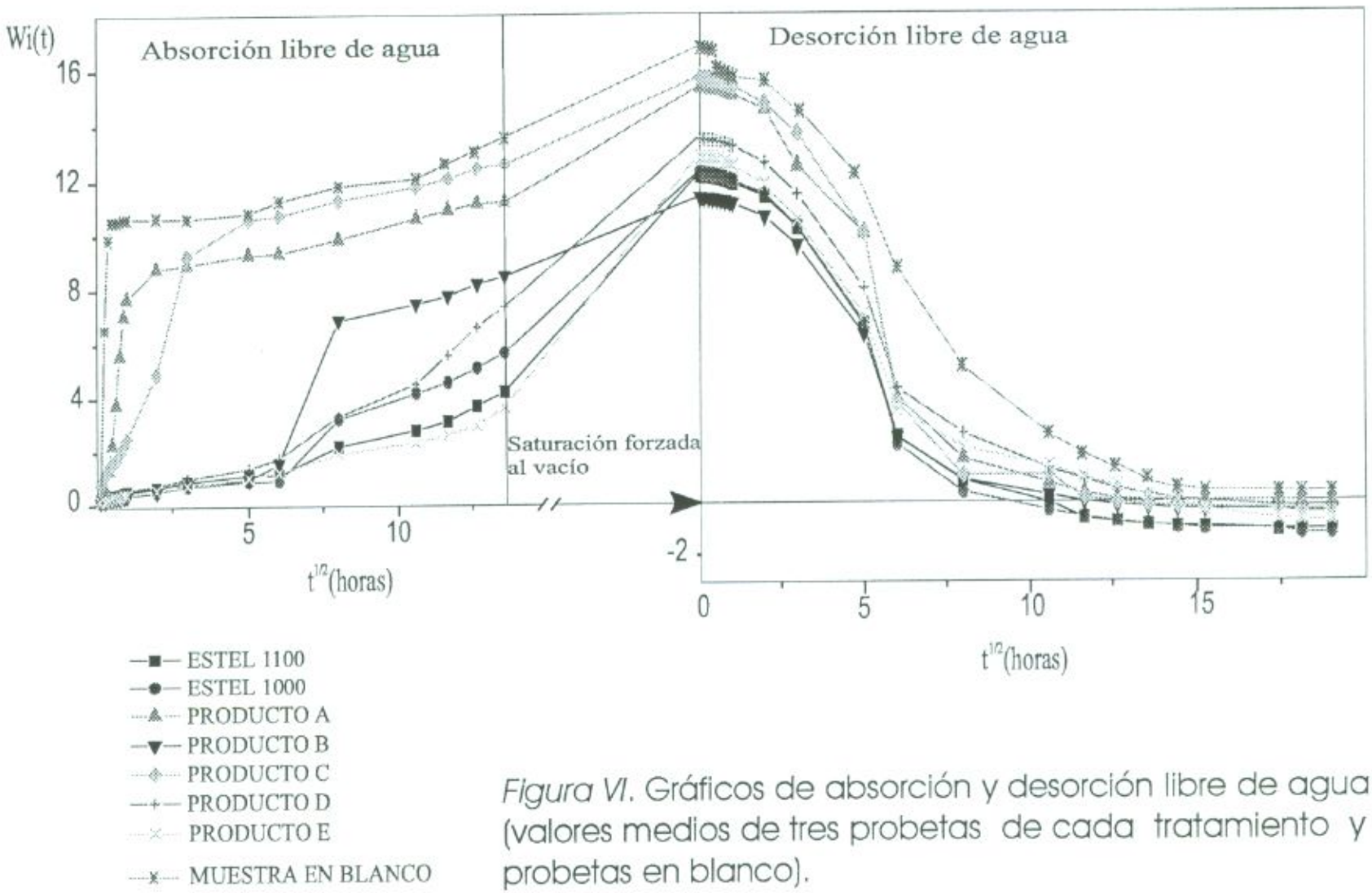


Figura VI. Gráficos de absorción y desorción libre de agua (valores medios de tres probetas de cada tratamiento y probetas en blanco).

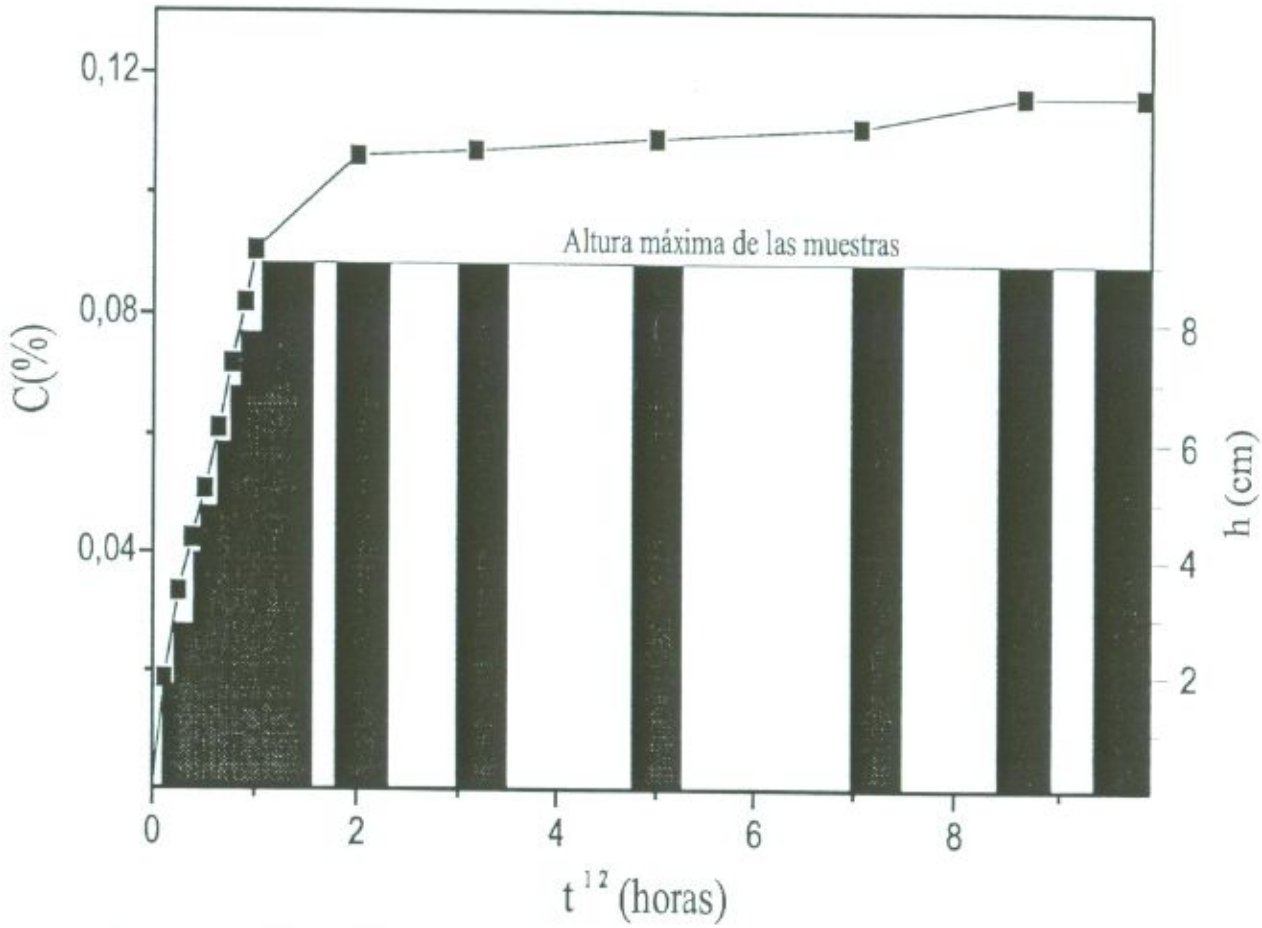


Figura VII. Gráfico que representa la succión capilar (C) en % y la altura máxima alcanzada (h) en centímetros, respecto al tiempo (t) en horas, de los valores medios de muestras sin tratamientos.

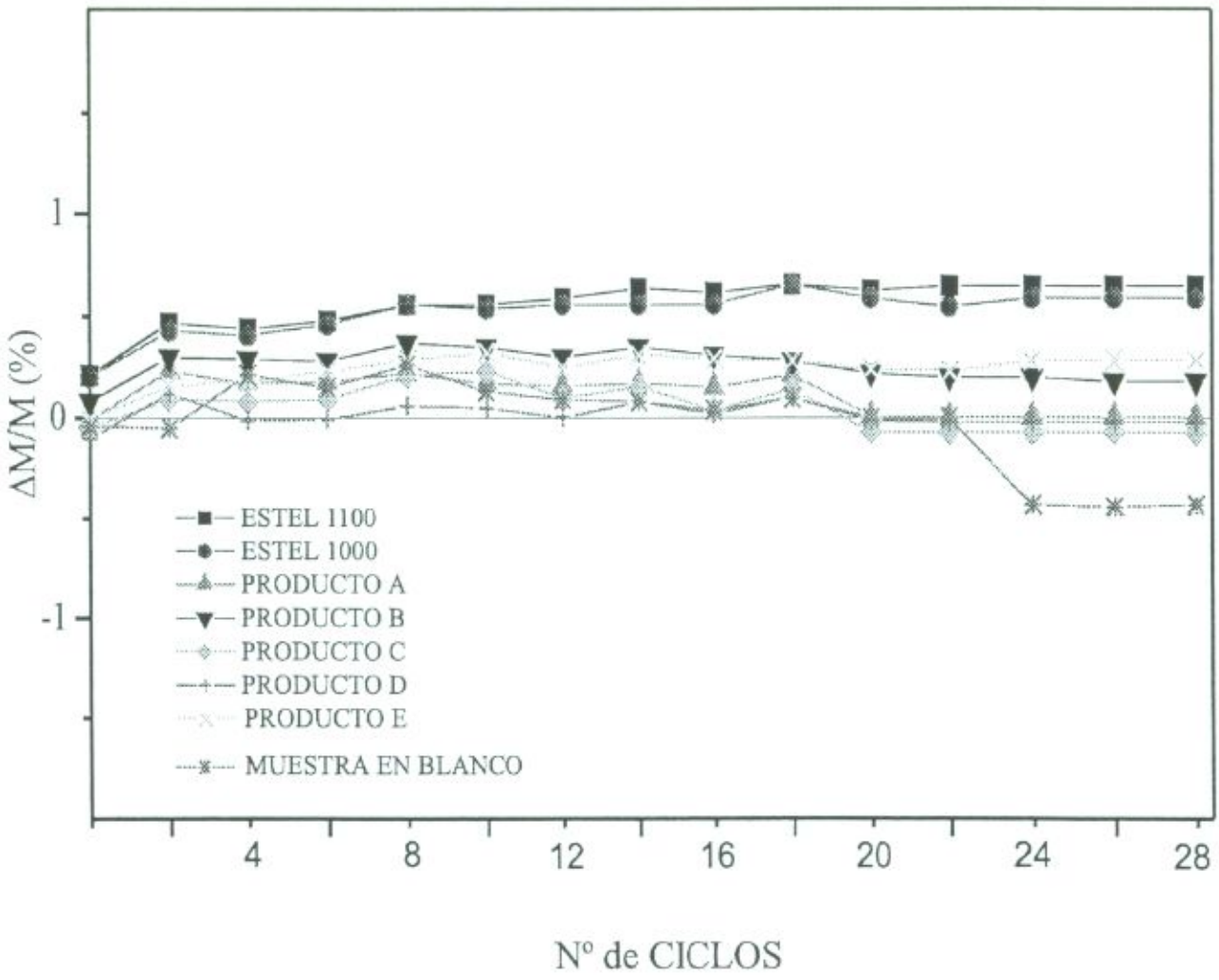


Figura IX. Variaciones de peso en % respecto al número de ciclos efectuados de las muestras sometidas a ensayos de envejecimiento acelerado de hielo- deshielo.

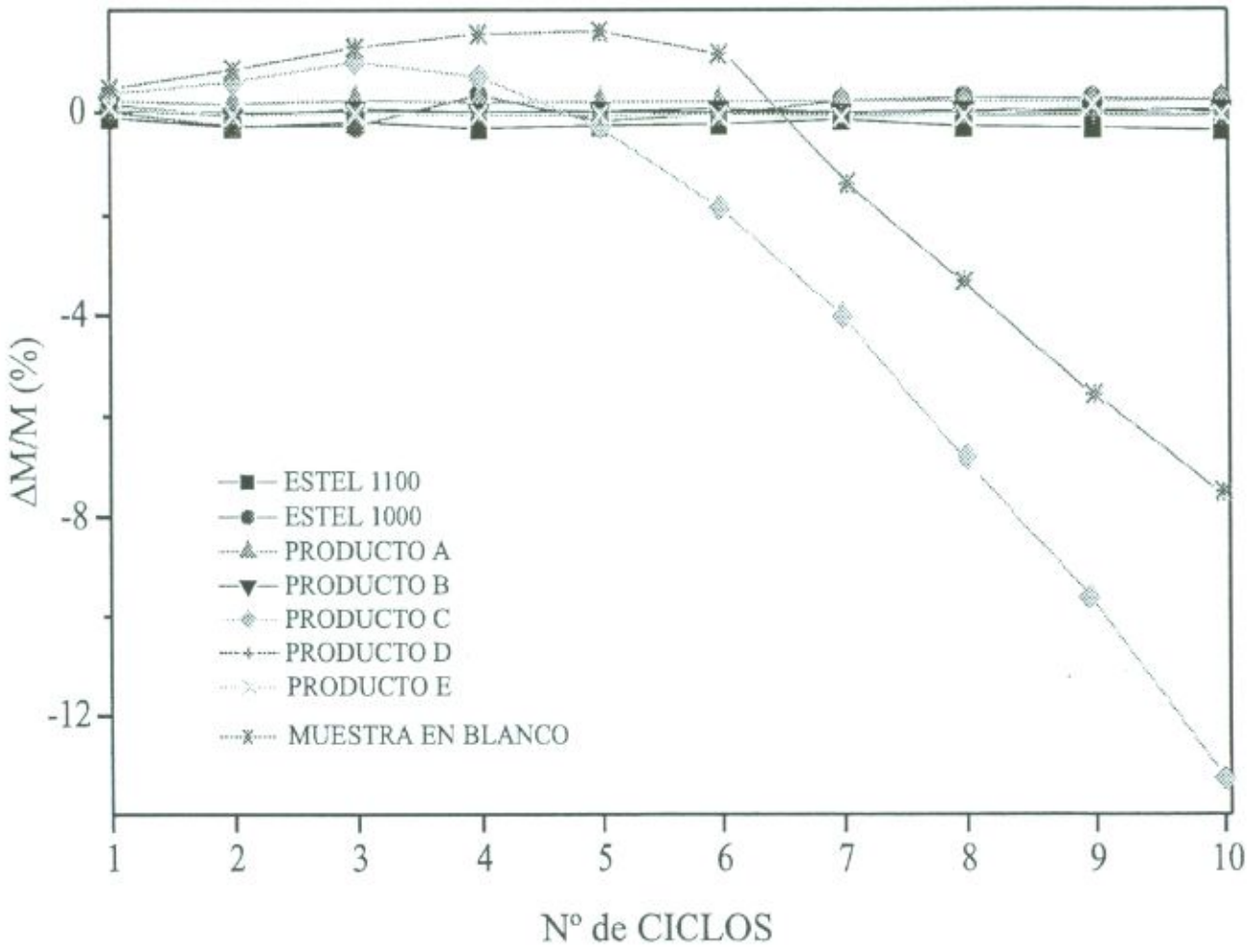


Figura VIII. Variación del peso en % respecto al número de ciclos de ensayos de envejecimiento acelerado de cristalización de sales.

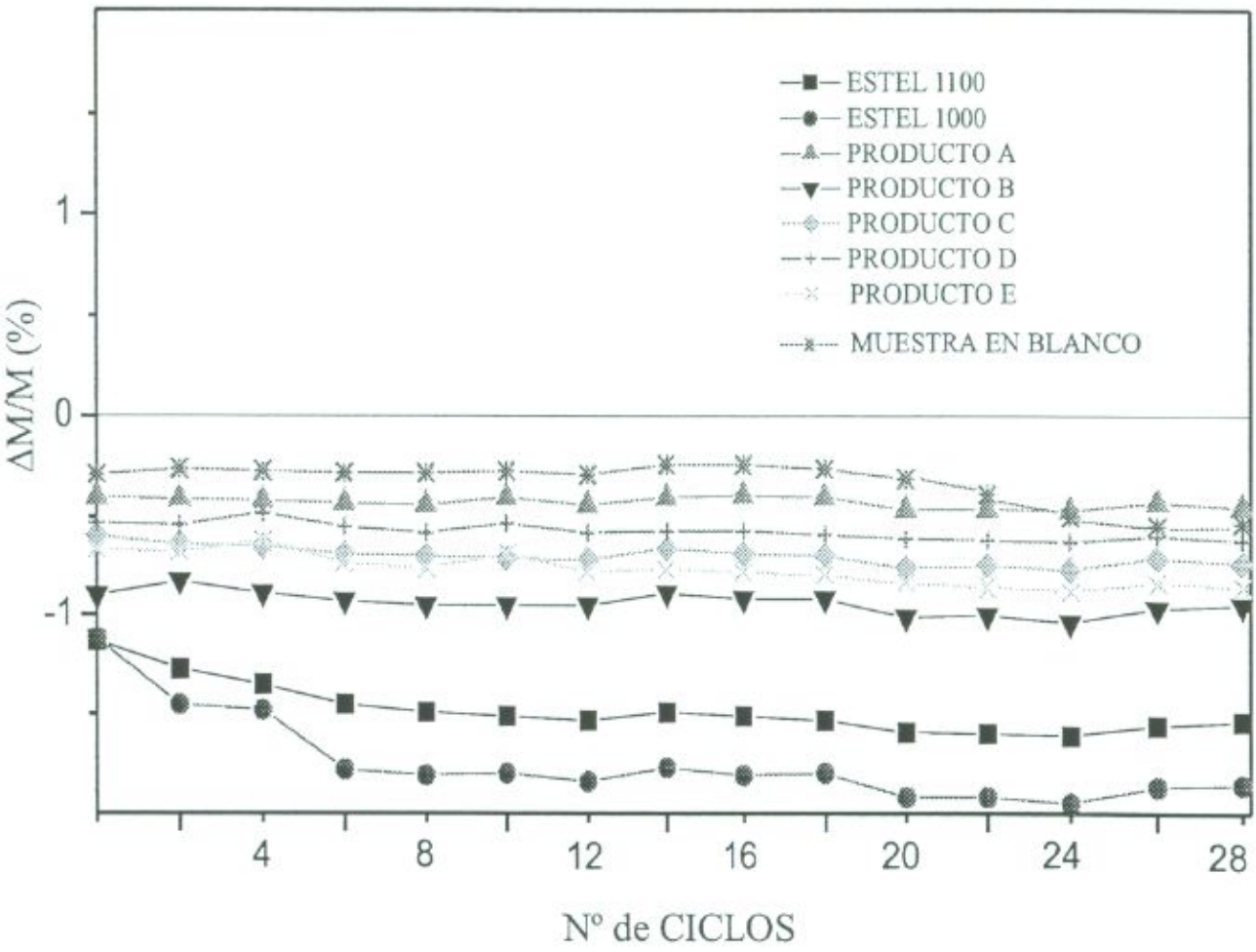


Figura X. Variaciones de peso en % respecto al número de ciclos efectuados de las muestras sometidas a ensayos de envejecimiento acelerado de humedad-sequedad.

Ultrasonidos

Los datos de la calcarenítica (muestra "en blanco", Tabla II) nos indican que es bastante homogénea ya que los datos de anisotropía elástica total (ΔM) son muy bajos, incluso lo de la anisotropía relativa (Δm). Los productos que en mayor cantidad incrementan la velocidad de ultrasonidos, por lo tanto su compacidad, son Estel 1000, Estel 1100 y el producto A.

Tabla II. Valores de velocidad de propagación de ultrasonidos de las muestras sin tratamiento y con tratamiento.

MUESTRAS	V1	V2	V3	ΔM	Δm
BLANCO	3000	3009	3002	0.20	0.23
ESTEL 1100	3217	3317	3416	4.50	2.95
ESTEL 1000	3248	3291	3219	0.30	2.20
PRODUCTO A	3279	3244	3336	0.40	2.80
PRODUCTO B	3142	3191	3182	1.50	0.27
PRODUCTO C	3028	3174	3102	3.50	2.88
PRODUCTO D	3102	3163	3082	0.70	2.59
PRODUCTO E	3133	3158	3209	1.60	1.60

Ensayos mecánicos

En la tabla III se observa el incremento que experimenta la resistencia mecánica a compresión de las probetas tratadas respecto a las probetas sin tratar. Los máximos incrementos corresponden a muestras tratadas con Estel 1000, Estel 1100 y el producto B.

Tabla III. Resultados obtenidos en ensayos mecánicos (compresión), sobre probetas tratadas y sin tratar.

	BLANCO	ESTEL 1100	ESTEL 1000	PRODUCTO A	PRODUCTO B	PRODUCTO C	PRODUCTO D	PRODUCTO E
∂ (Kg/cm^2)	3500	7500	7575	3650	7025	3850	3725	3950

Conclusiones

1.-Todos los productos utilizados pierden su eficacia cuando permanecen por periodos prolongados de tiempo en contacto con el agua (es preciso señalar que partimos de datos obtenidos en ensayos en laboratorio, en los que las probetas han estado permanentemente embebidas en agua, situación no extrapolable a la realidad). De todas formas, nos informan que su función se aminora con el tiempo, sobre todo en ambiente con humedad relativa muy alta. Por tanto, sería conveniente renovar periódicamente la aplicación del producto que se adopte.

2.- En la mayoría de los casos, la aplicación de tratamientos de consolidación produce una mejora en las propiedades físicas del material pétreo.

3.-A partir del conjunto de resultados presentados en los apartados anteriores, se deduce que el producto más idóneo para este tipo de piedra ornamental sería el Estel 1100 (mezcla de consolidante e hidrofugante), o en su defecto el Estel 1000, si sólo se decide aplicar consolidante; ya que en el primer caso, al menos en partes bajas de las construcciones a intervenir, sería desaconsejable utilizar un hidrofugante, ya que la ascensión del agua por capilaridad continuaría produciendo daños, porque la aplicación del producto en la superficie de la piedra no lograría impedir la entrada de agua.

4.-En ningún caso se ha observado variación cromática de la superficie de las probetas sometidas a tratamiento de consolidación y protección.