

Figura 4.1- Evolución de la permeabilidad saturada con la densidad seca del material.

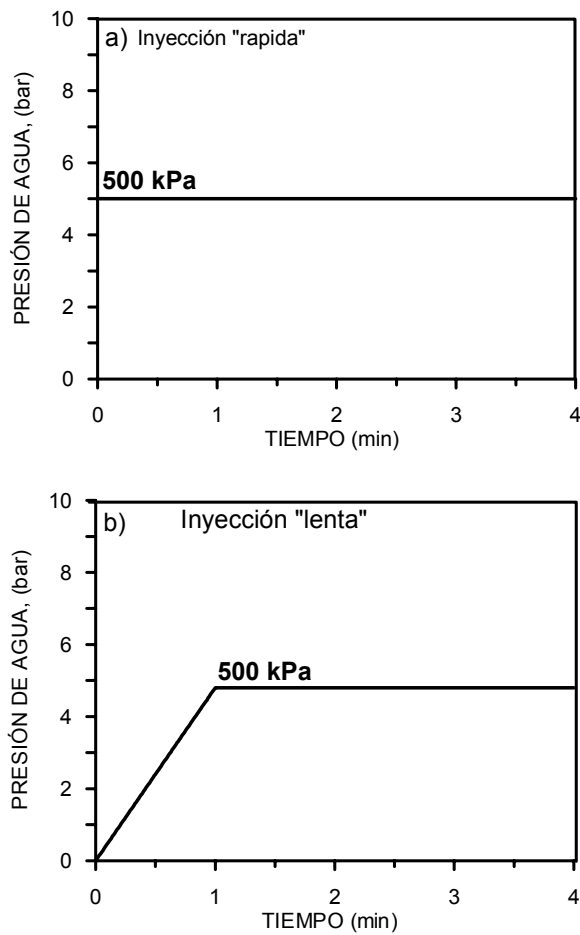


Figura 4.2- Evolución de la presión de inyección durante la fase inicial de los ensayos de infiltración realizados en células de volumen constante (75x100 mm).

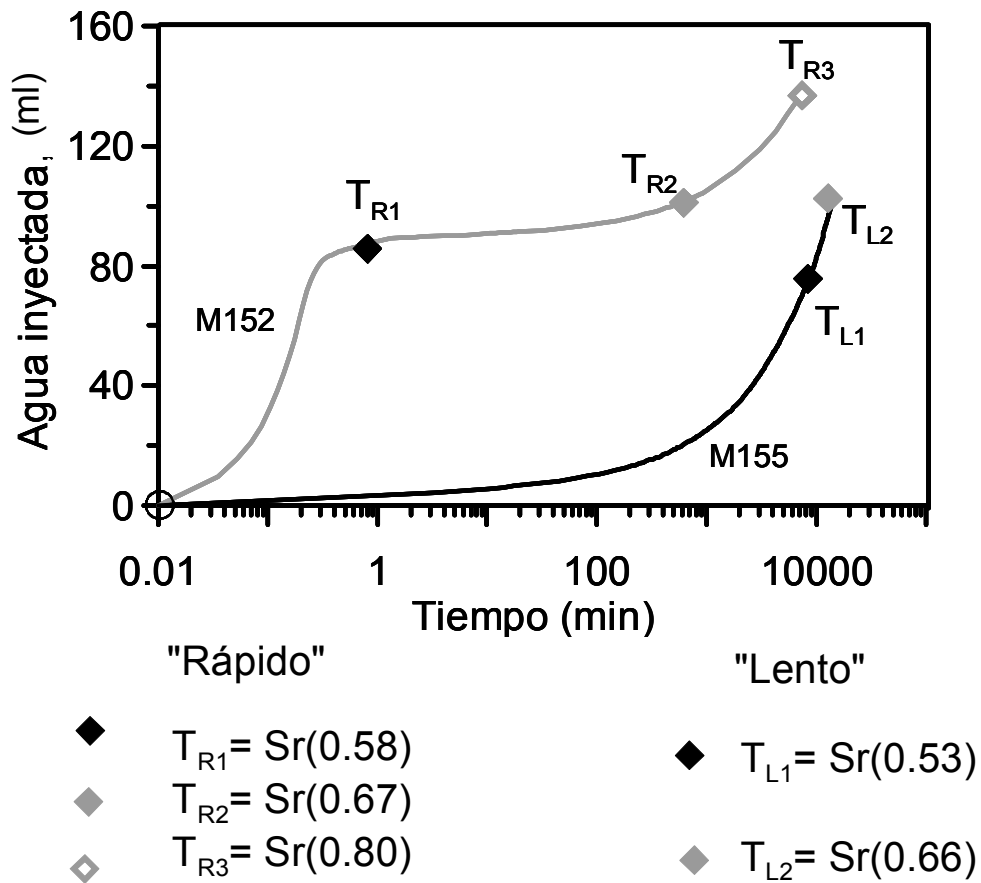


Figura 4.3- Evolución del volumen de agua inyectado durante los ensayos de infiltración "rápida" y "lenta".

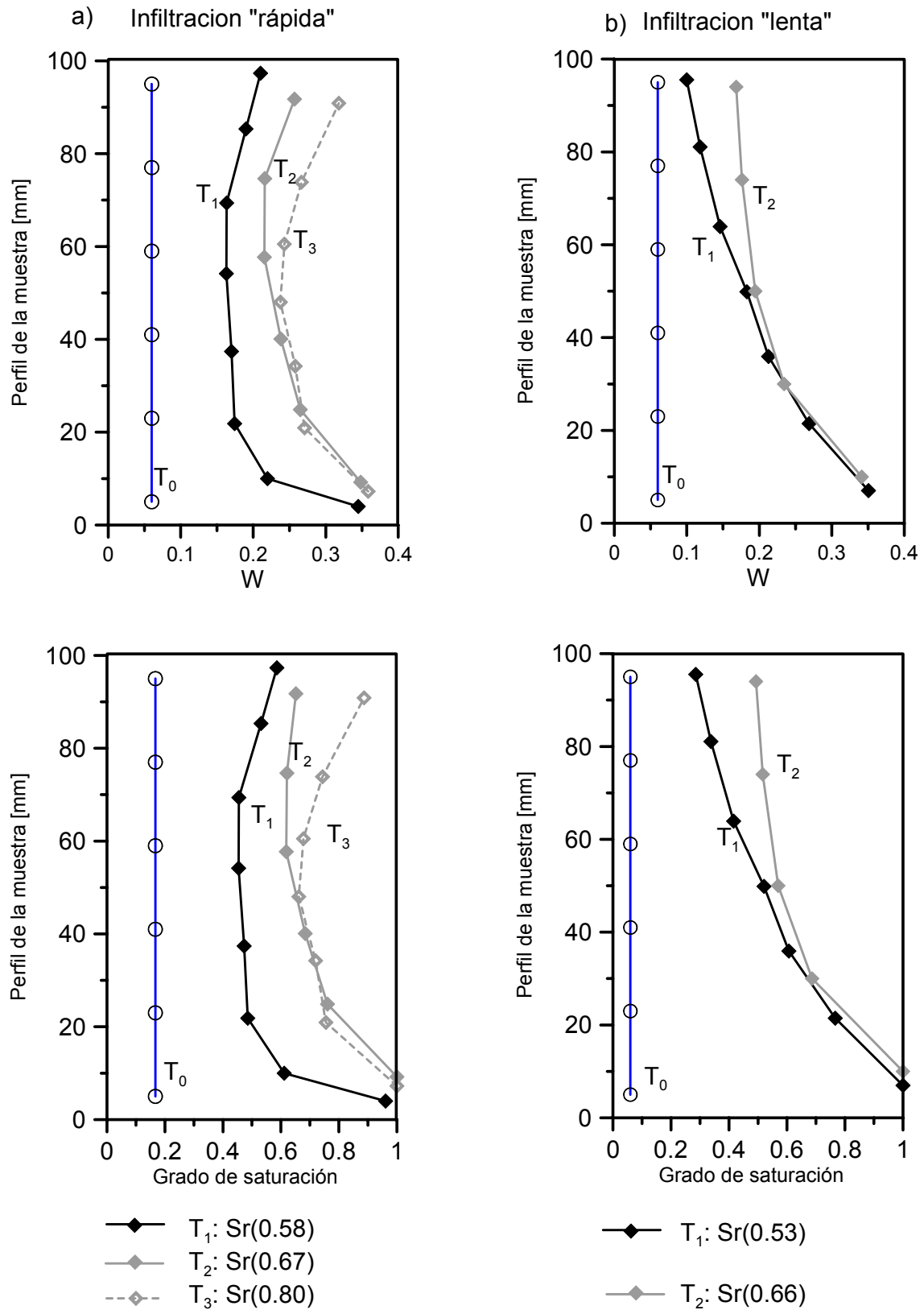


Figura 4.4- Evolución del contenido de agua y del grado de saturación en la muestra durante los ensayos de infiltración. a)- Inyección "rápida". b)- Inyección "lenta".

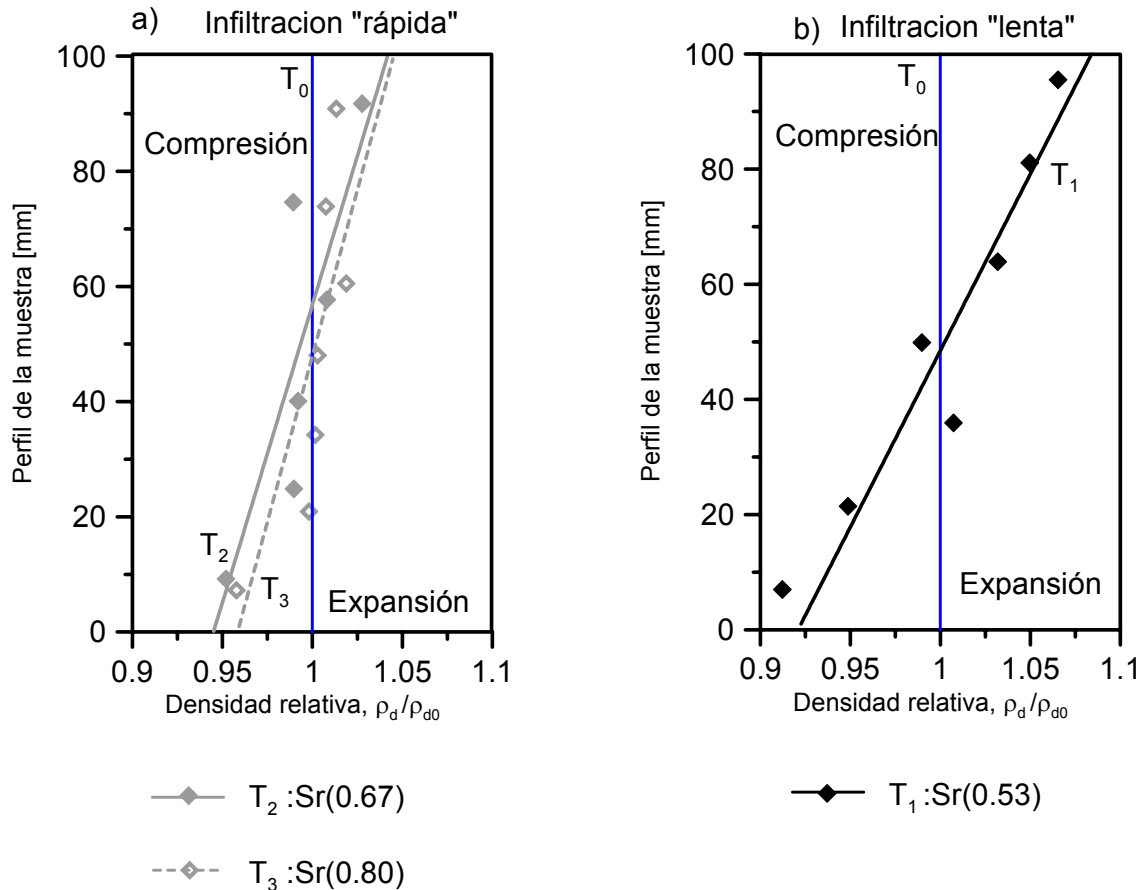
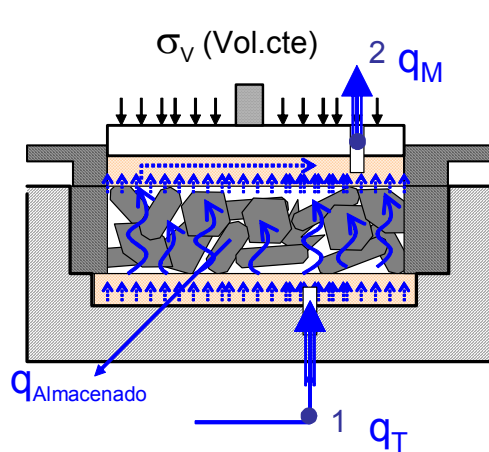


Figura 4.5- Evolución de la densidad seca en la muestra durante los ensayos de infiltración. a)- Inyección "rápida". b)- Inyección "lenta".



Ensayo de flujo

- Presión de inyección de agua  $P_w = 200\text{kPa}$  (Medida del volumen inyectado)
- Medida del volumen de agua saliente
- Tensión vertical (Vol. cte.)

$q_M$  = Flujo a través de la macroporosidad interconectada

$q_T$  = Caudal inyectado

$q_{Almacenado} = q_T - q_M$

$(h_2 - h_1)$  = Gradiente hidráulico

$H_{Muestra}$  = Altura de la muestra

Hip.: El agua atraviesa la muestra por la red de macroporos interconectados. Tomando ( $q_M$ ) se calcula una permeabilidad equivalente:

$$q_M = - K_M (h_2 - h_1) / H_{Muestra}$$

Figura 4.6- Planteo del ensayo de infiltración y almacenamiento sobre una muestra de pellets.

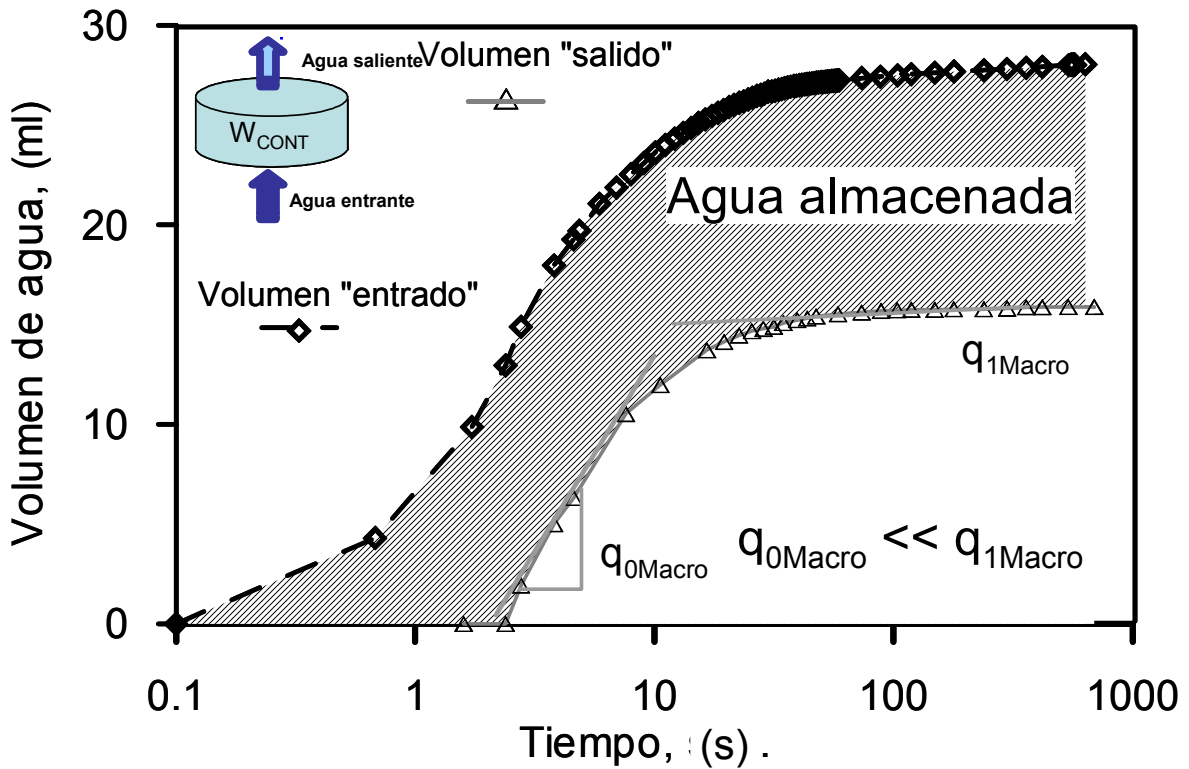


Figura 4.7- Evolución del volumen de agua entrante y saliente de la muestra durante el ensayo de infiltración y almacenamiento.

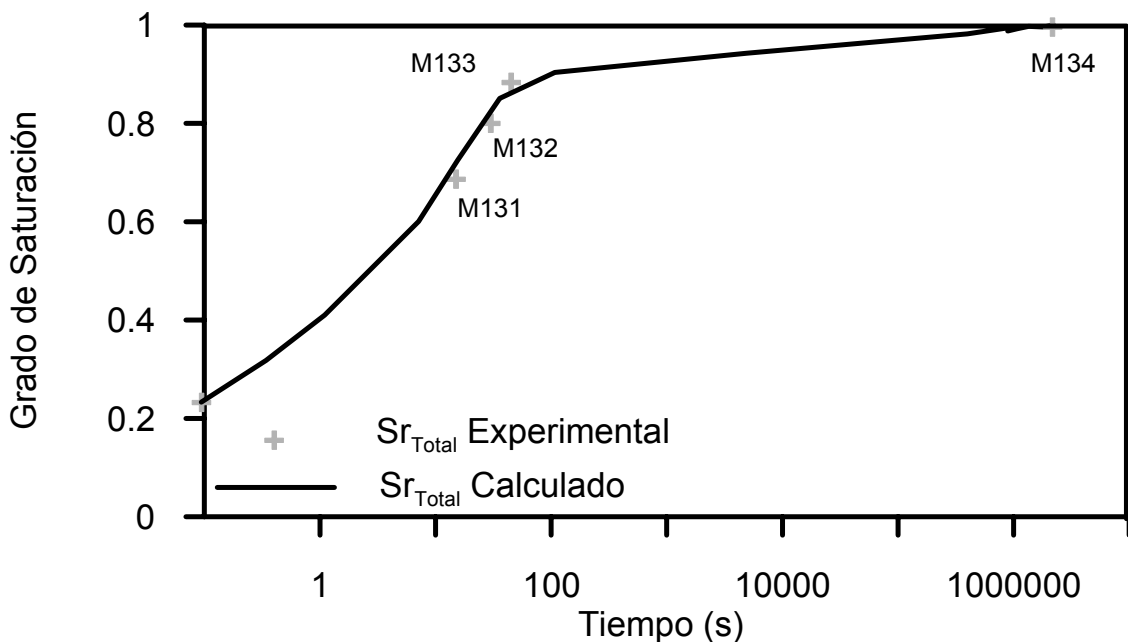


Figura 4.8- Evolución en el tiempo del grado de saturación obtenido en ensayos de infiltración y almacenamiento.

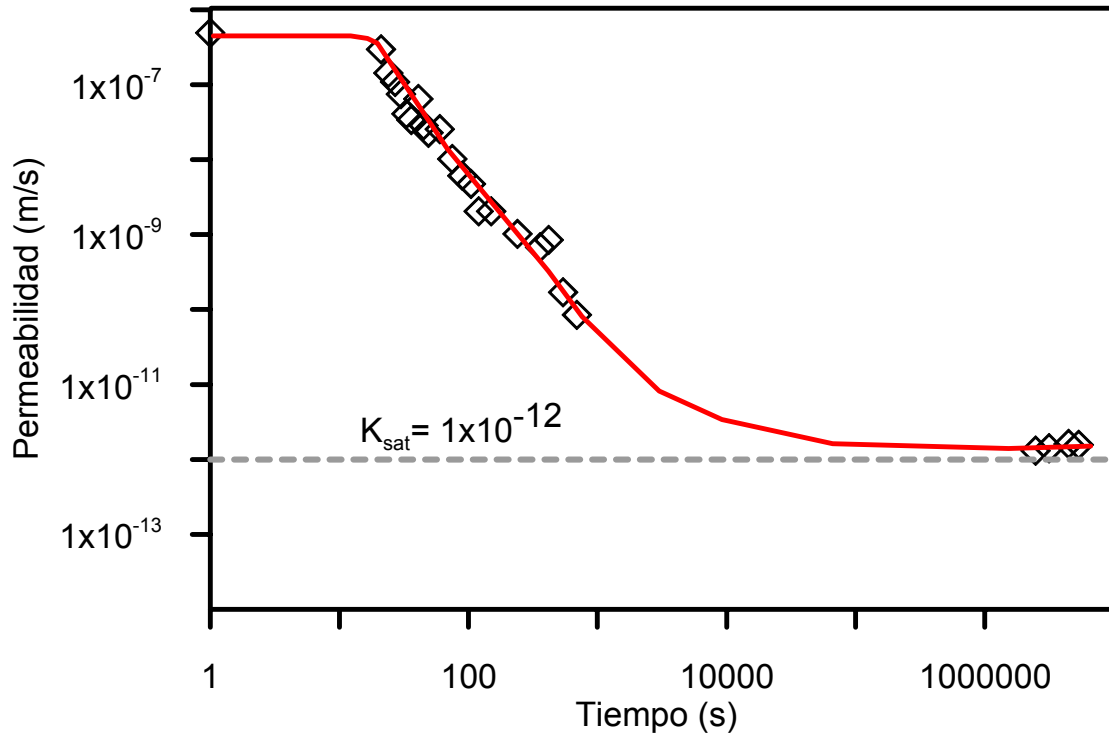


Figura 4.9- Evolución de la permeabilidad en función del tiempo durante un ensayo de infiltración y almacenamiento.

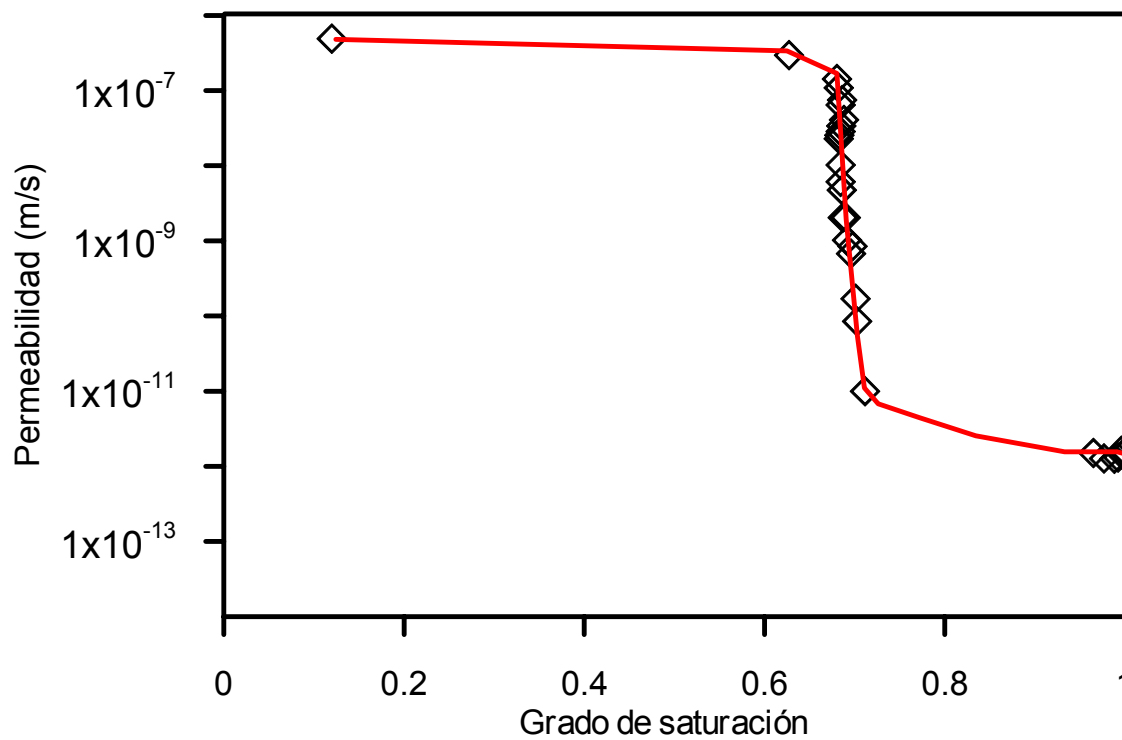


Figura 4.10- Evolución de la permeabilidad con el grado de saturación obtenido en ensayos de infiltración y almacenamiento.

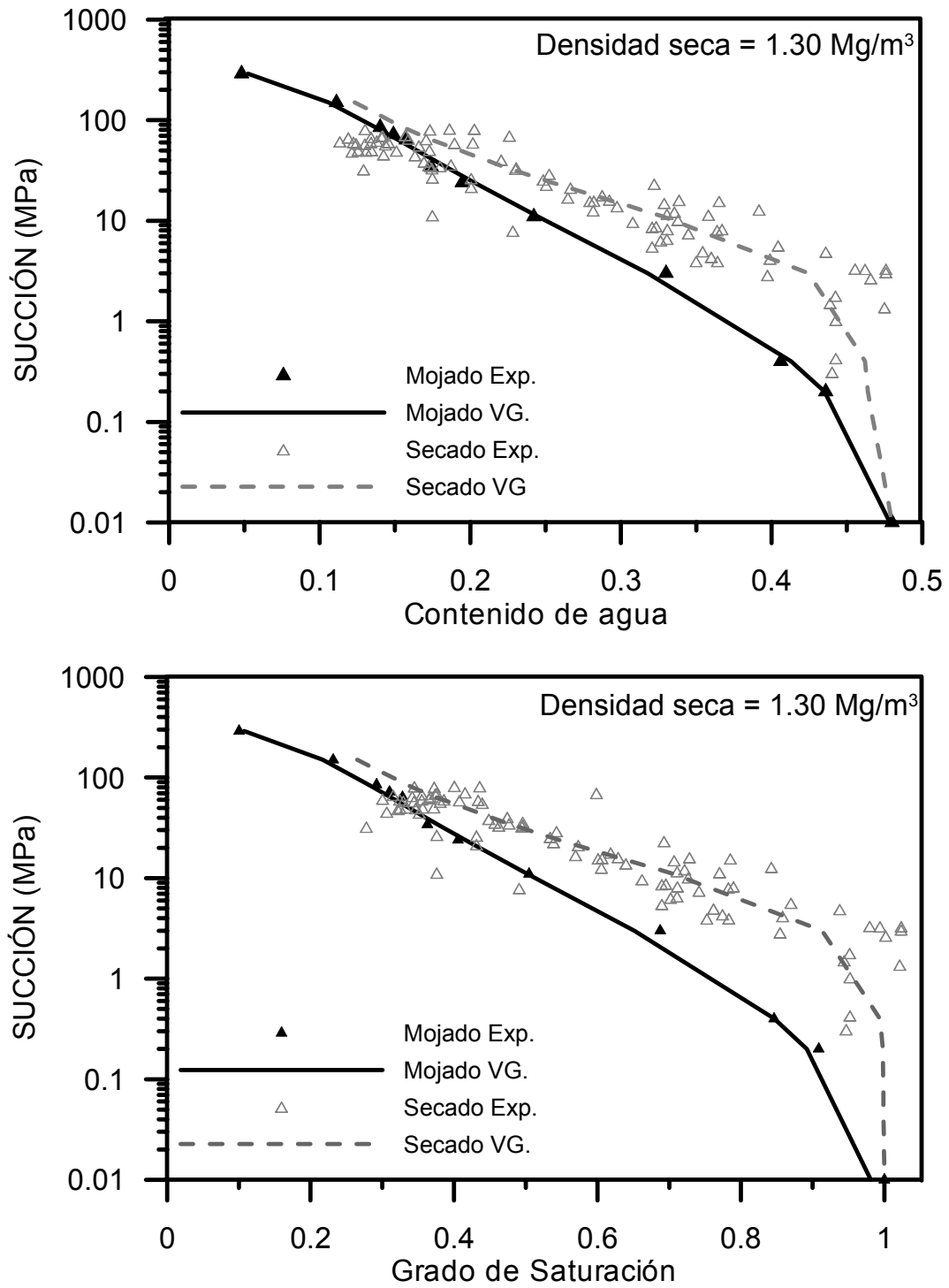


Figura 4.11- Curva de retención correspondiente a una muestra de pellets de bentonita a una densidad seca de 1.3 Mg/m<sup>3</sup>.

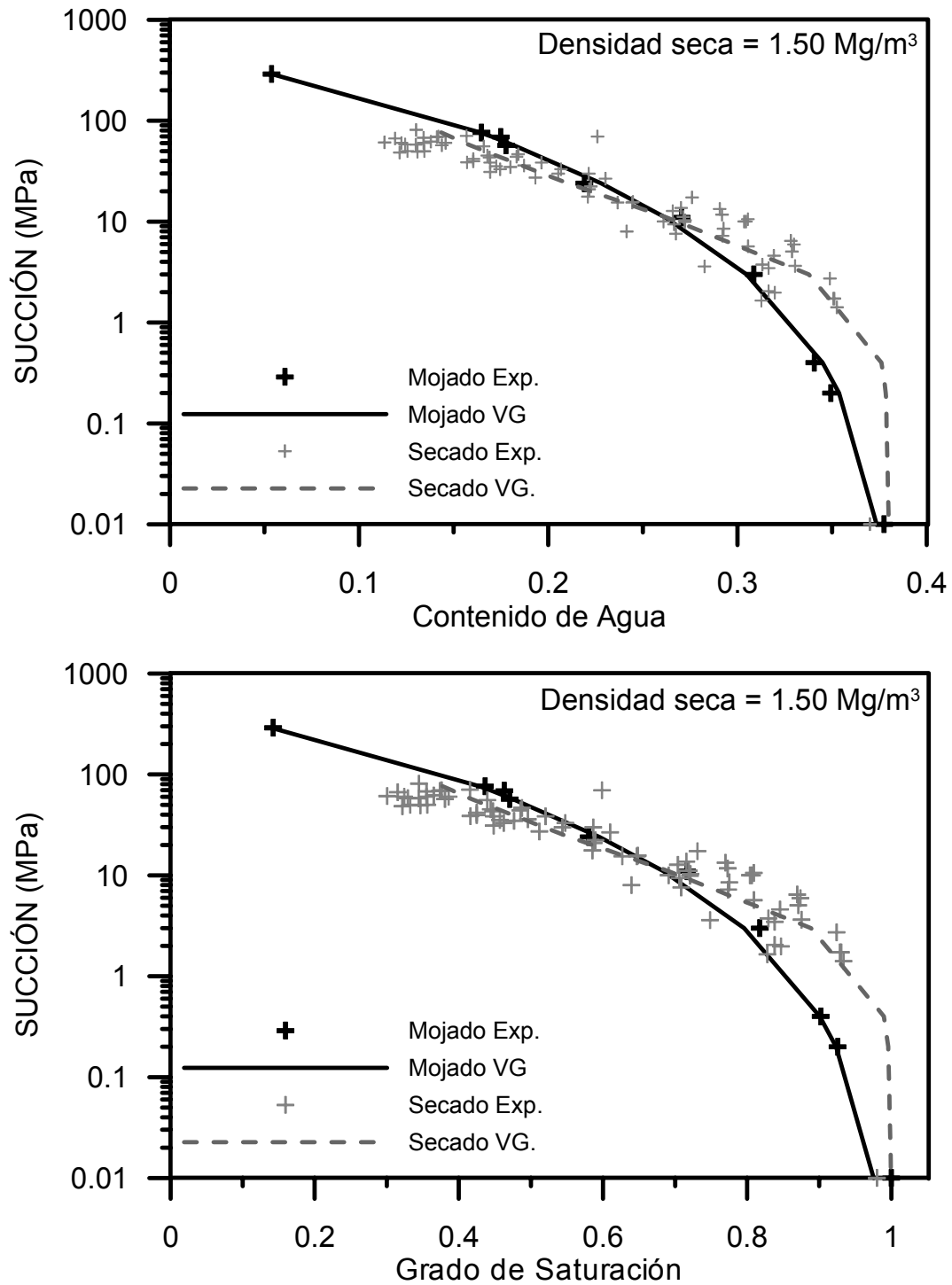


Figura 4.12- Curva de retención correspondiente a una muestra de pellets de bentonita a una densidad seca de  $1.5 \text{ Mg/m}^3$ .



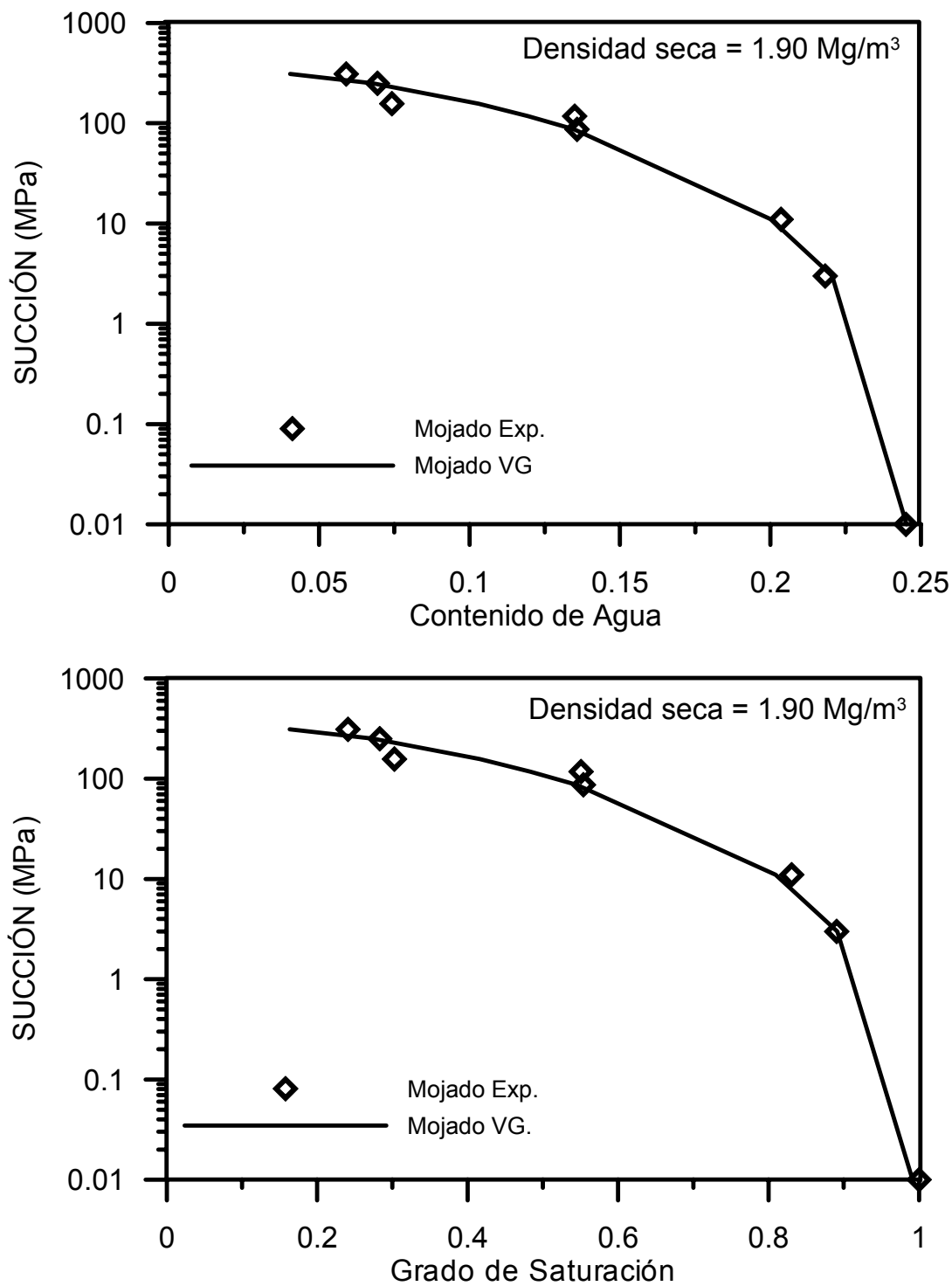


Figura 4.13- Curva de retención correspondiente a una muestra de pellets de bentonita a una densidad seca de 1.9 Mg/m<sup>3</sup>.

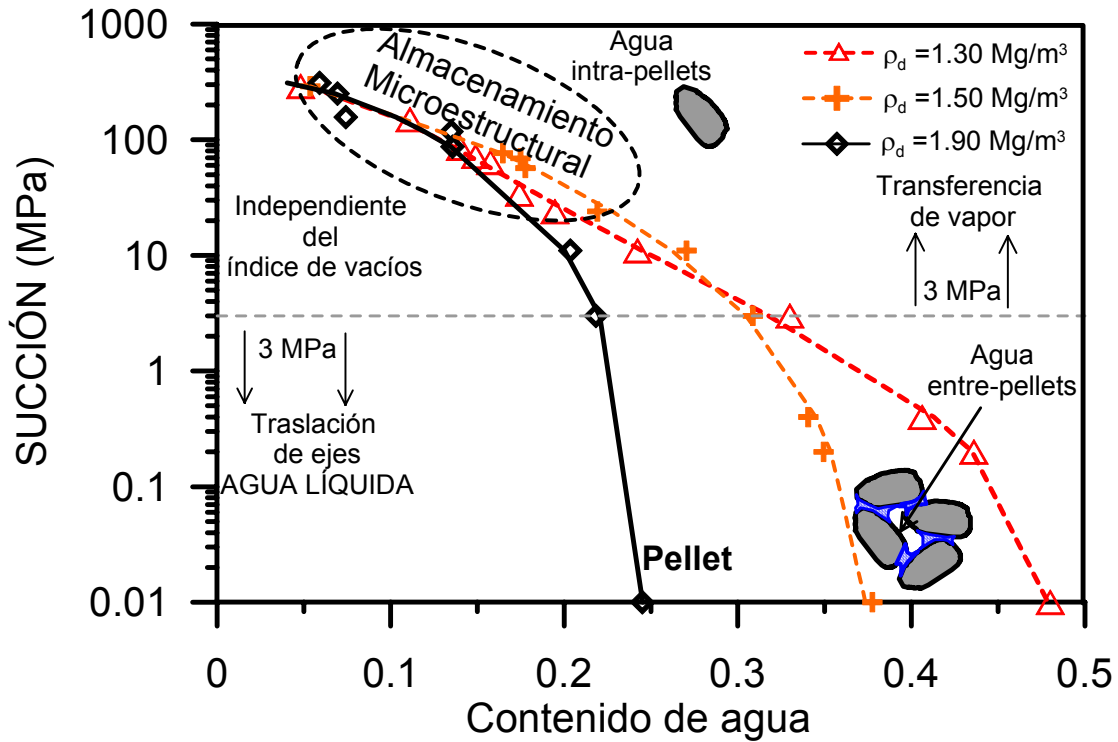


Figura 4.14- Curvas de retención en trayectorias de humedecimiento. Muestras con densidades de 1.3, 1.5 y 1.9  $\text{Mg/m}^3$ .

ENSAYOS DE HUMEDECIMIENTO A CARGA CONSTANTE

1-2 Carga  
2-3 Humedecimiento

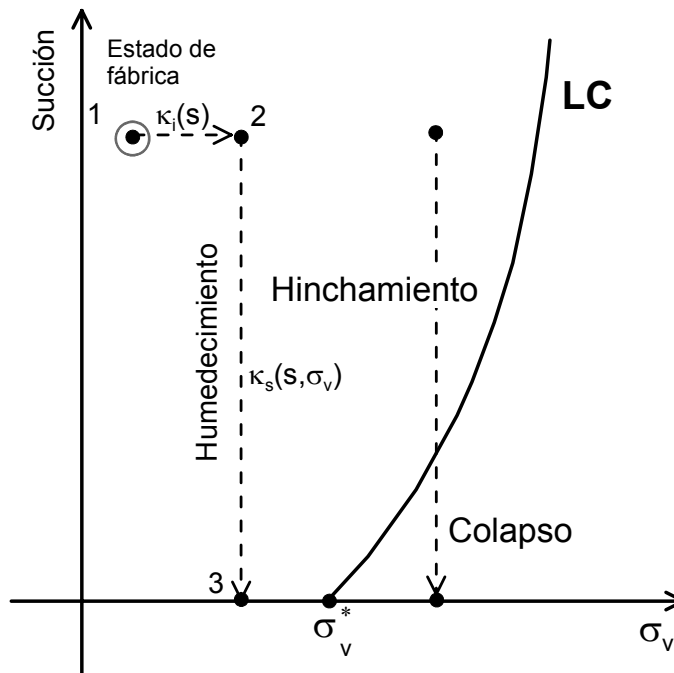


Figura 4.15- Trayectorias de humedecimiento a carga constante para estudiar el hinchamiento del material.

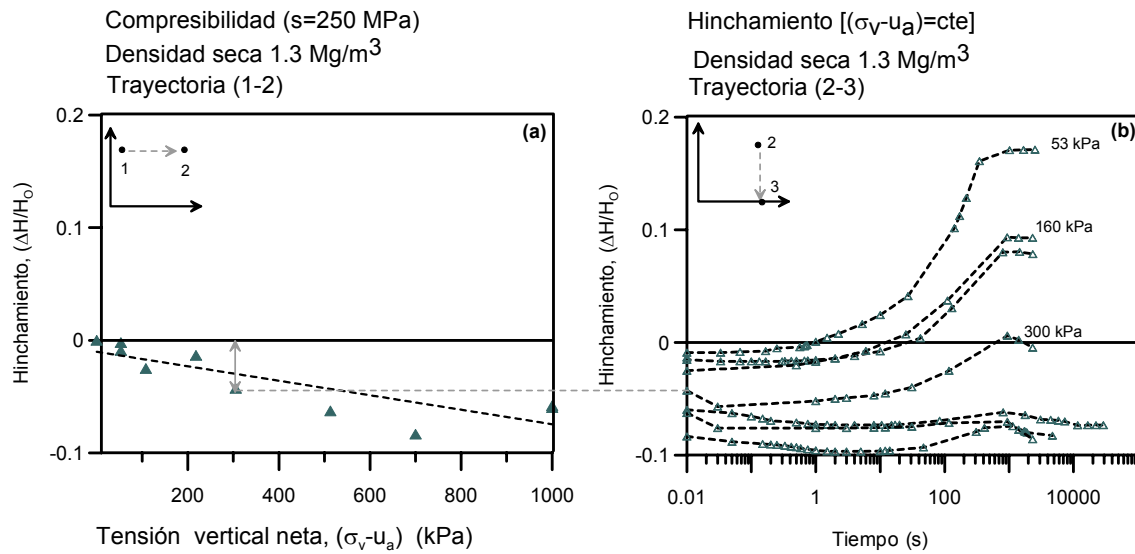


Figura 4.16- Resultados de ensayos de humedecimiento a carga constante. (a)- Compresibilidad del material en condiciones de fábrica ( $s=250$  MPa). (b)- Comportamiento de hinchamiento por humedecimiento a carga constante.

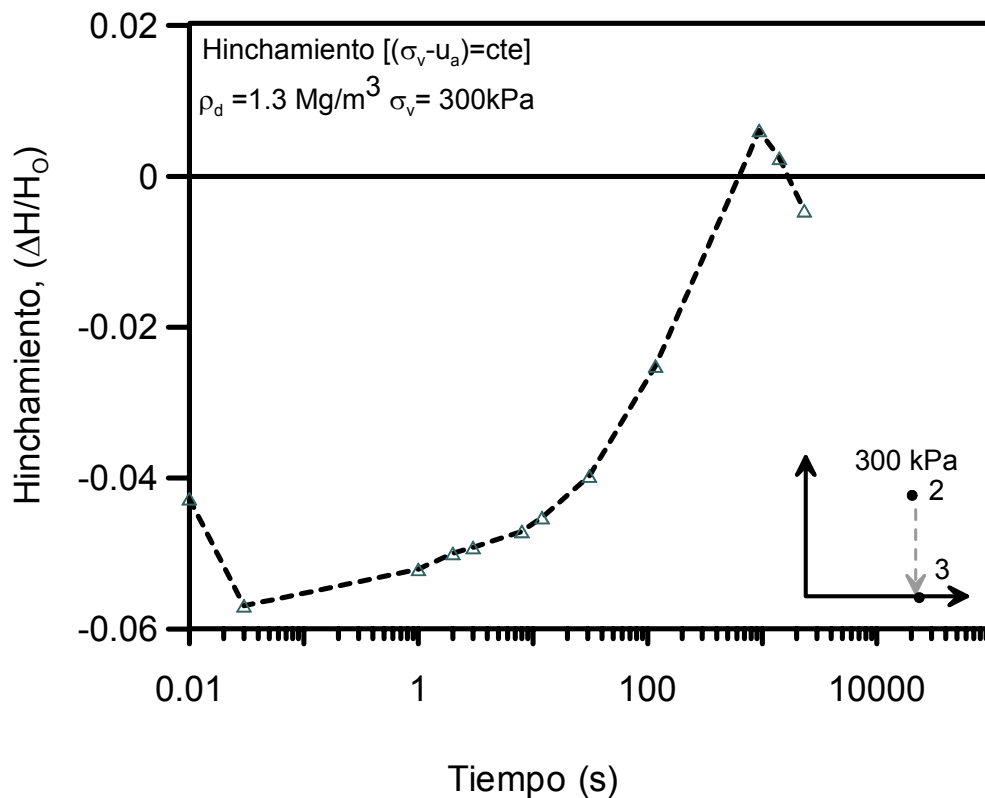


Figura 4.17- Evolución de la deformación vertical relativa  $\Delta H/H_0$  durante ensayo de humedecimiento a carga constante, ( $\rho_d=1.3$  Mg/m<sup>3</sup>  $\sigma_v=300$  kPa).

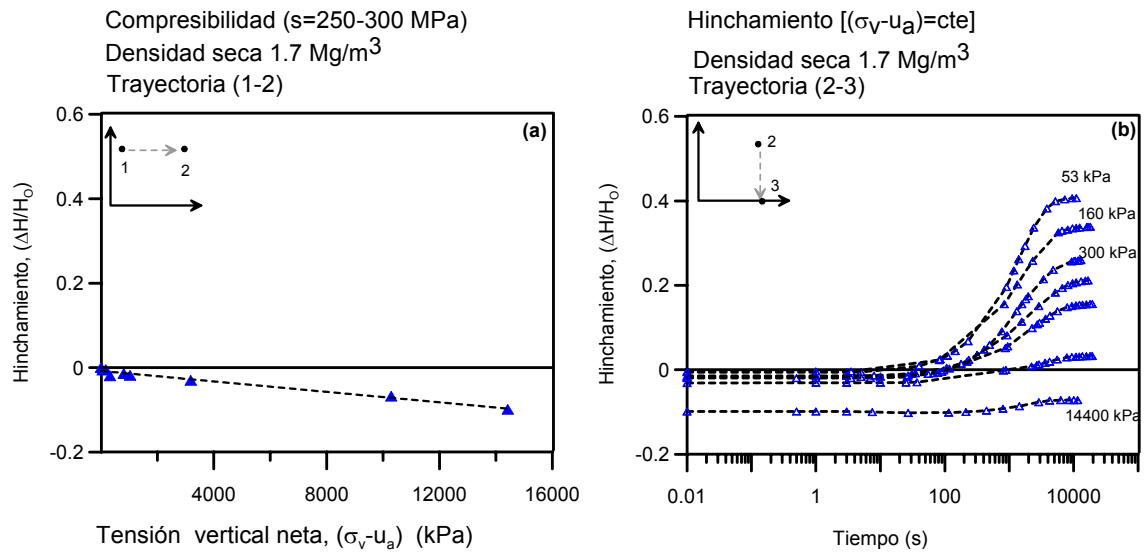


Figura 4.18- Resultados de ensayos de humedecimiento a carga constante realizados sobre muestras con  $\rho_d = 1.7 \text{ Mg/m}^3$ . (a)-Compresibilidad del material en condiciones de fábrica ( $s=300-250 \text{ MPa}$ ). (b)-Evolución del hinchamiento por humedecimiento a carga constante.

Hinchamiento a carga vertical constante  $[(\sigma_v - u_a) = cte]$   
 muestras con distinta granulometría

Densidad seca  $1.3 \text{ Mg/m}^3$

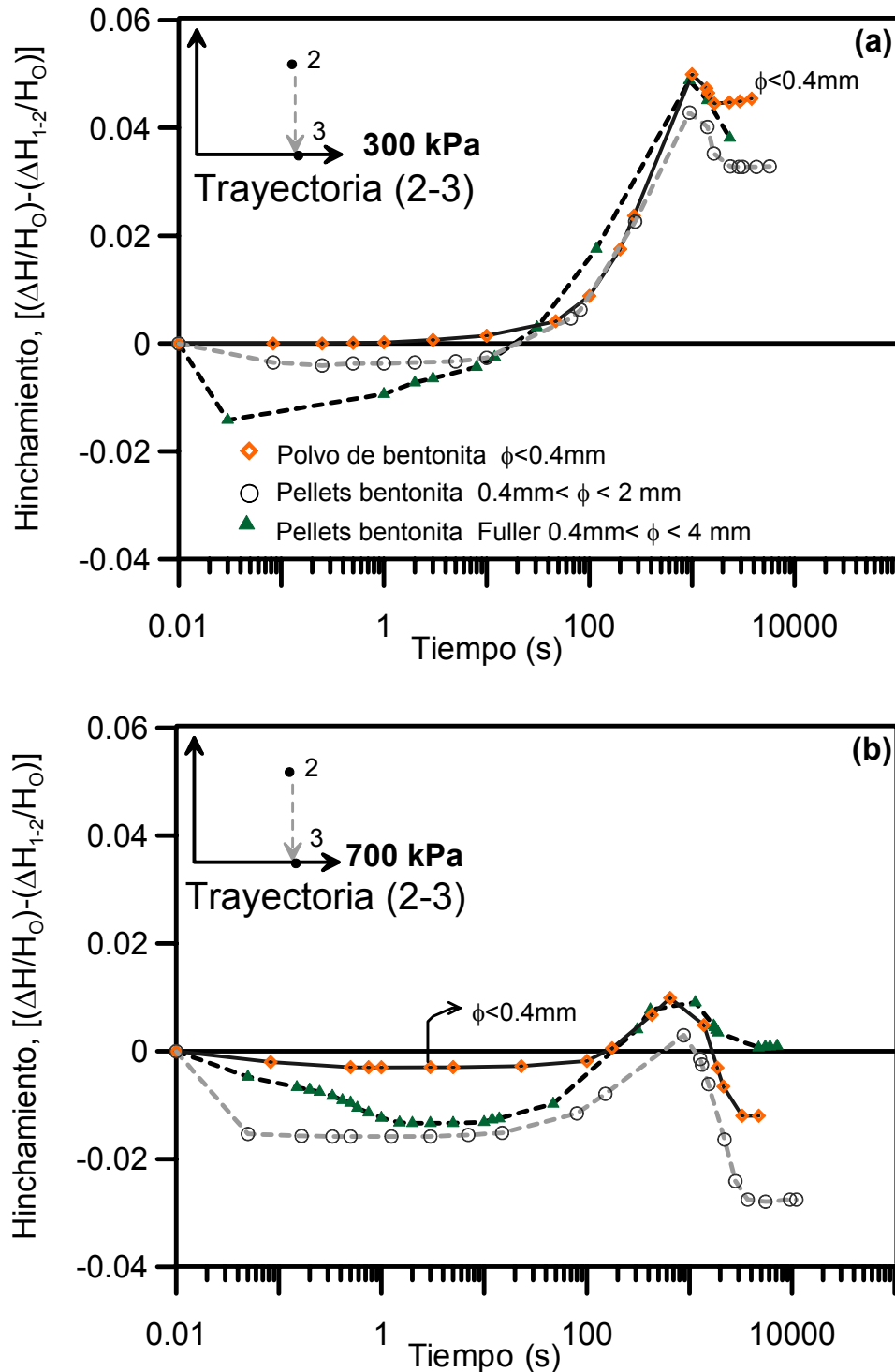


Figura 4.19- Resultados de ensayos de humedecimiento a carga constante obtenidos en muestras con densidad de  $\rho_d = 1.3 \text{ Mg/m}^3$  y preparadas con distintas granulometrías. (a)- Ensayos con carga vertical de 300 kPa. (b)- Ensayos con carga vertical de 700 kPa.

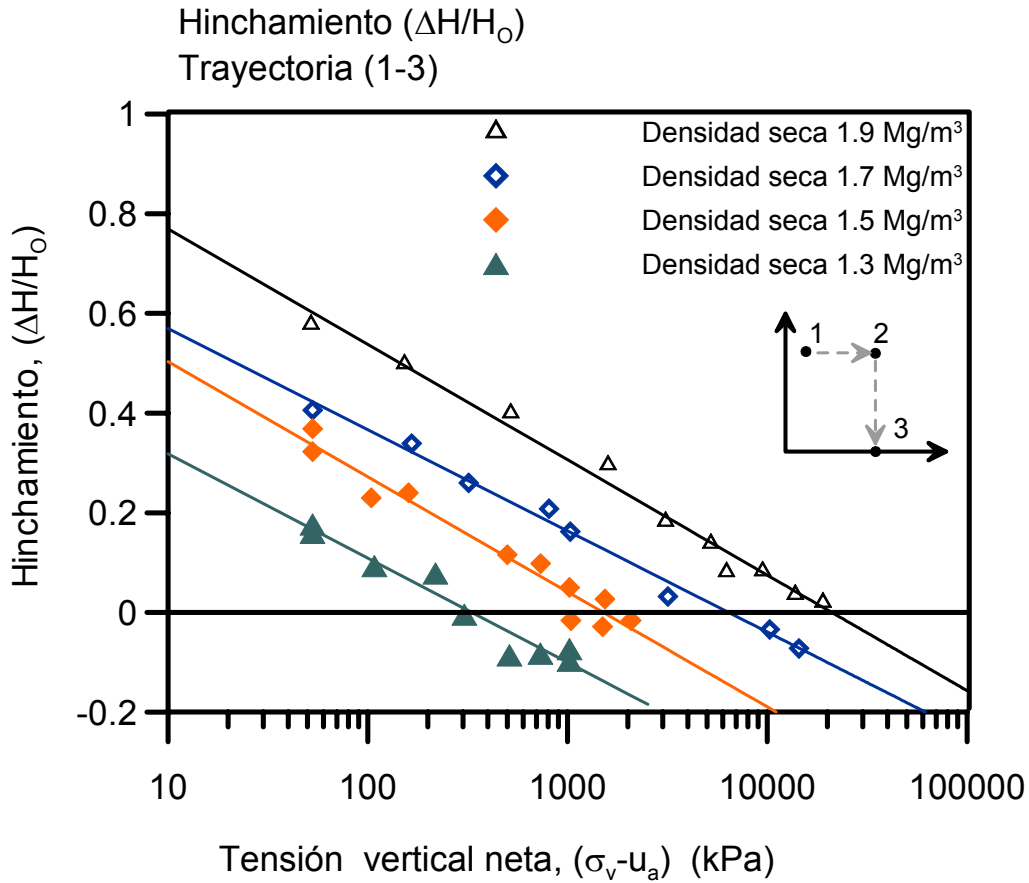


Figura 4.20- Expansión del material en función de la densidad seca habiendo aplicado una trayectoria de carga y humedecimiento (1-2-3) de acuerdo con la Figura 4.15.

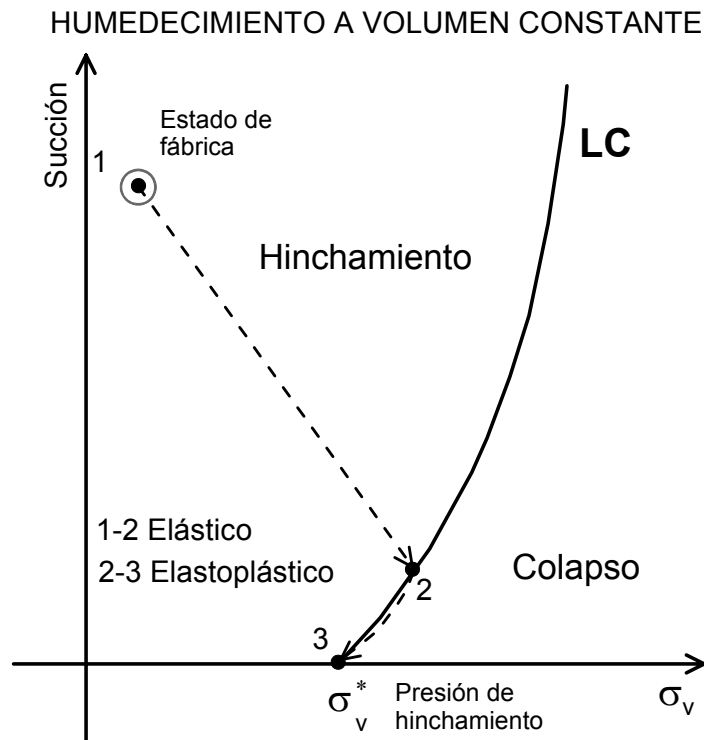


Figura 4.21- Trayectorias de humedecimiento a volumen constante.

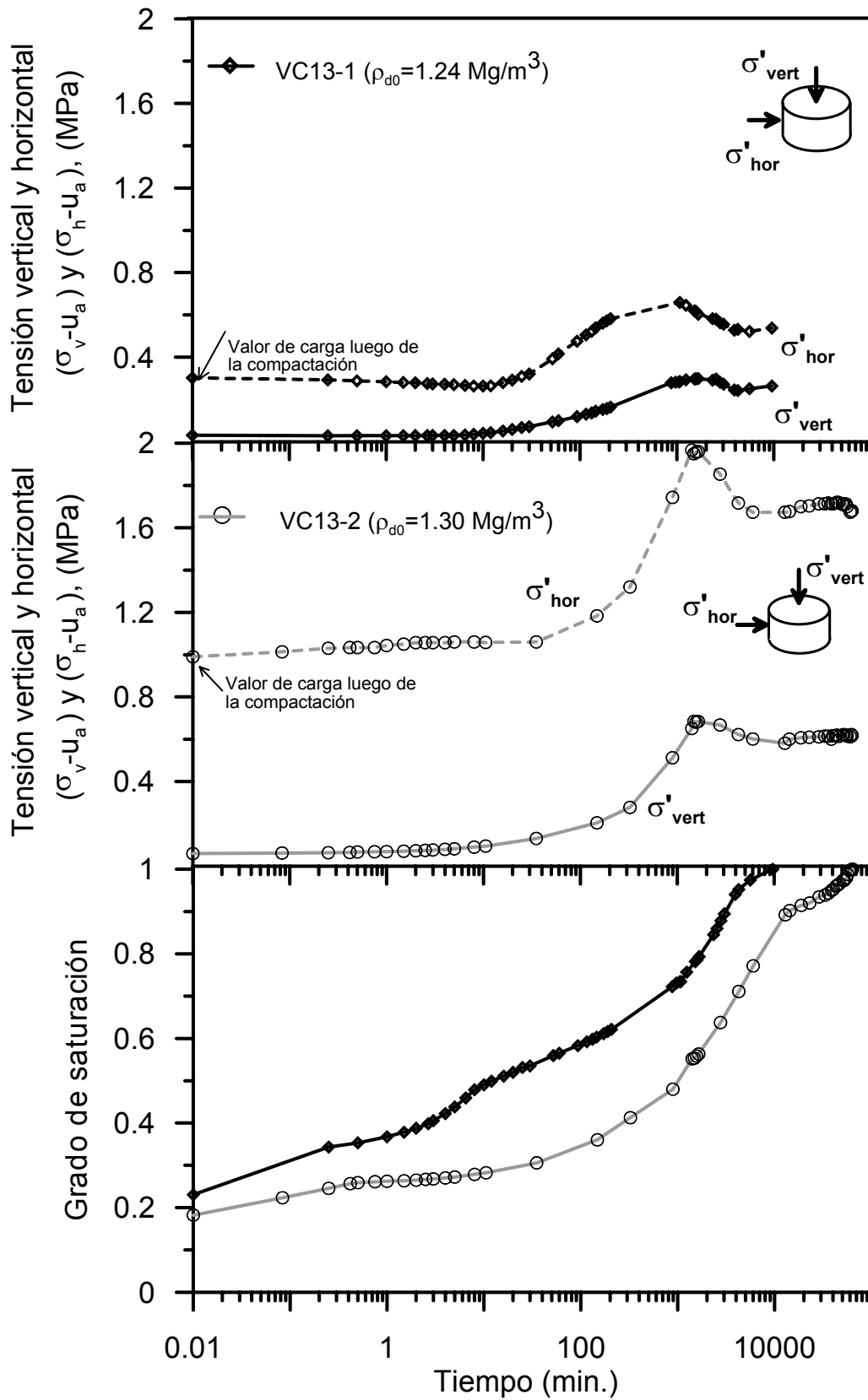


Figura 4.22- Evolución de la tensión vertical neta, la tensión horizontal neta y el grado de saturación durante los ensayos VC13-1 y VC13-2.

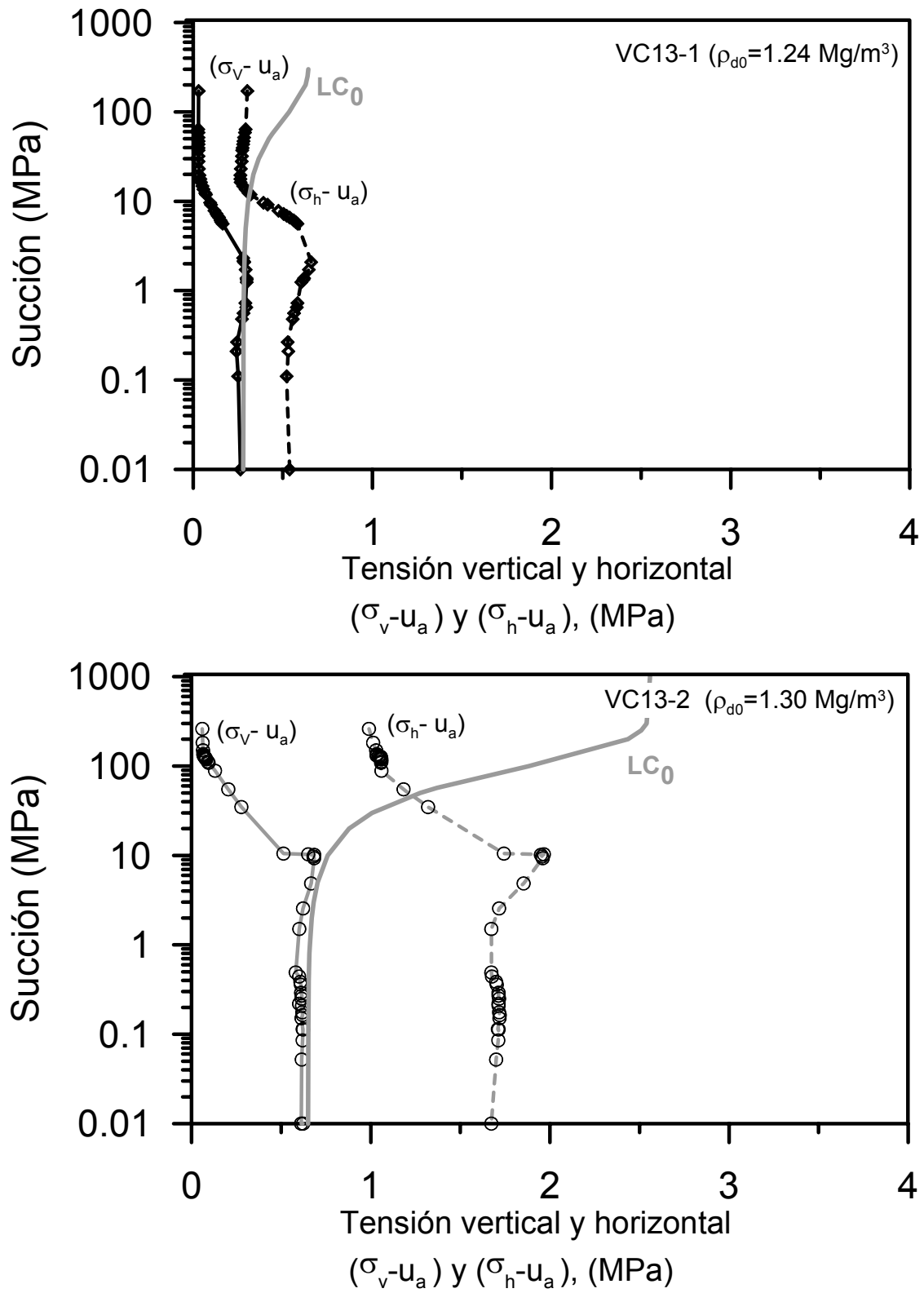


Figura 4.23- Evolución de la tensión vertical neta y la tensión horizontal neta con la succión durante los ensayos VC13-1 y VC13-2.



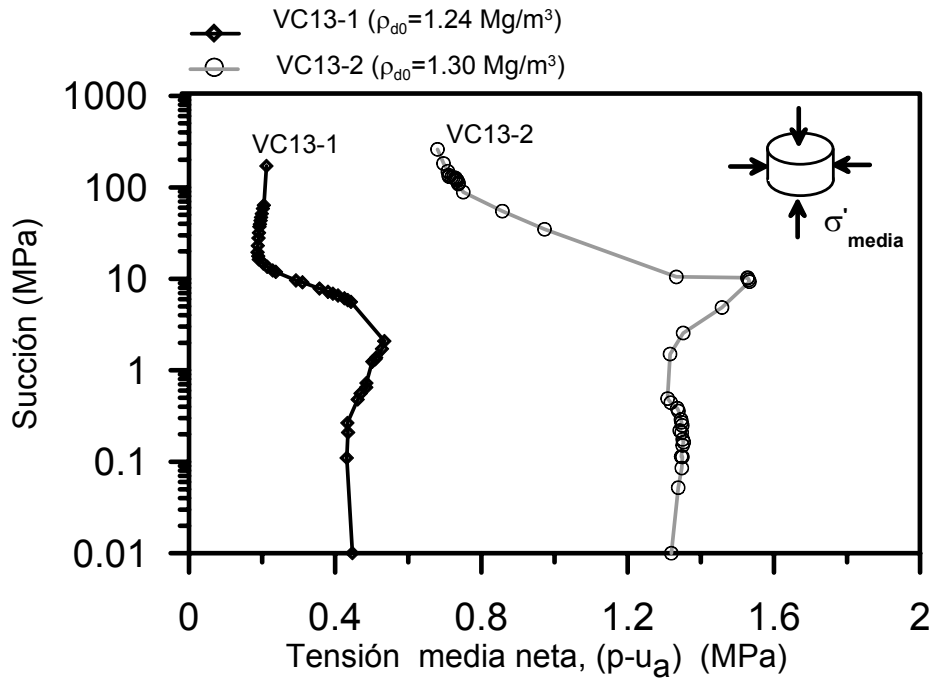


Figura 4.24- Evolución de la trayectoria de tensiones en el plano tensión media neta succión durante los ensayos VC13-1 y VC13-2.

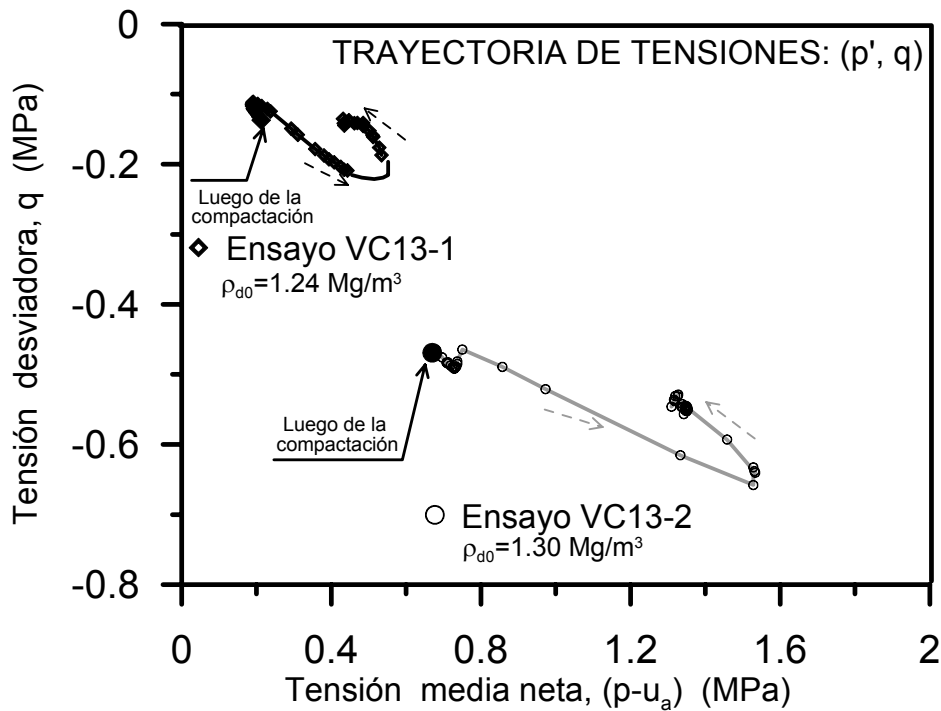


Figura 4.25- Evolución de la trayectoria de tensiones en el plano (p, q) durante los ensayos VC13-1 y VC13-2.

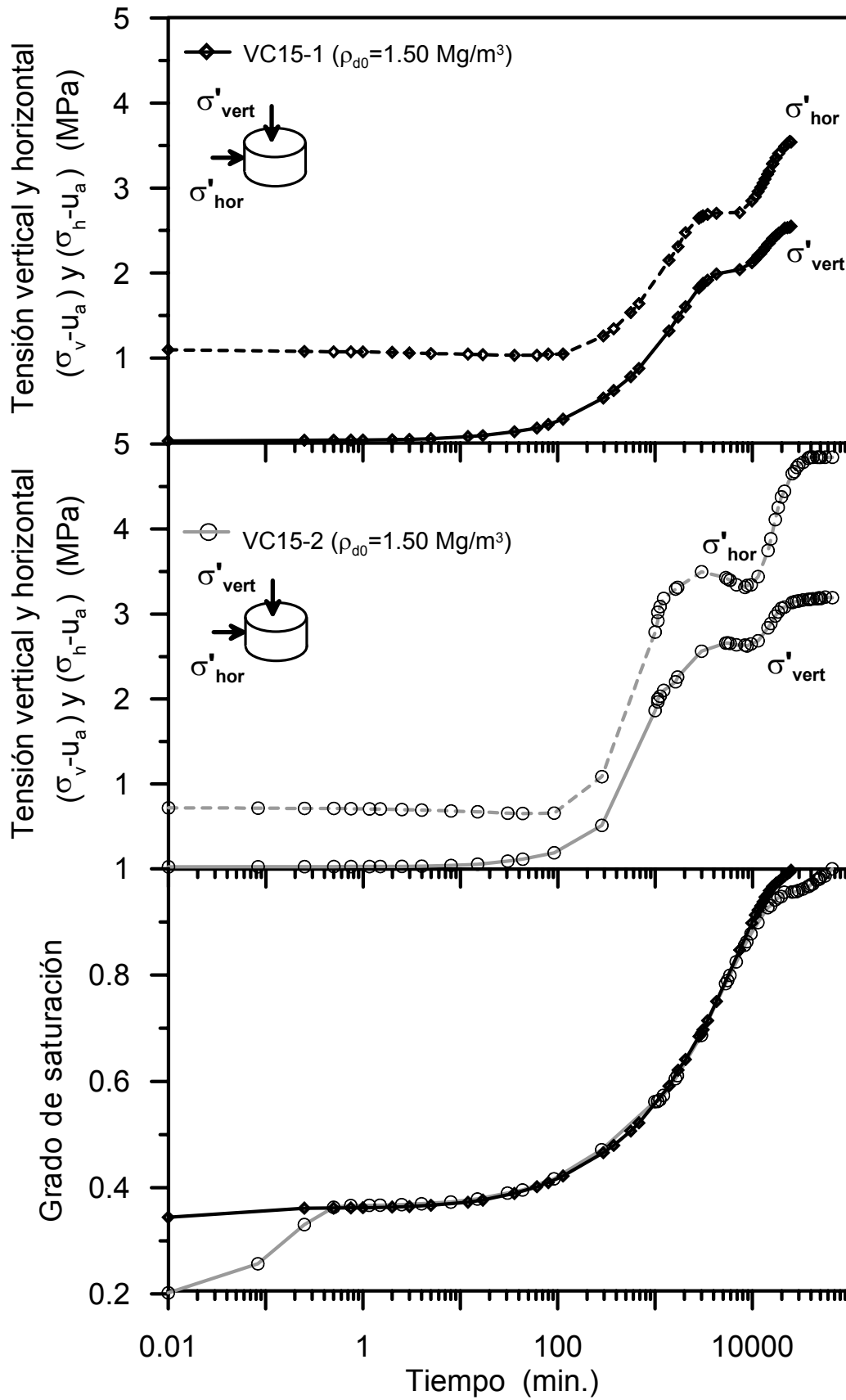


Figura 4.26- Evolución de la tensión vertical neta, la tensión horizontal neta y el grado de saturación durante los ensayos VC15-1 y VC15-2.

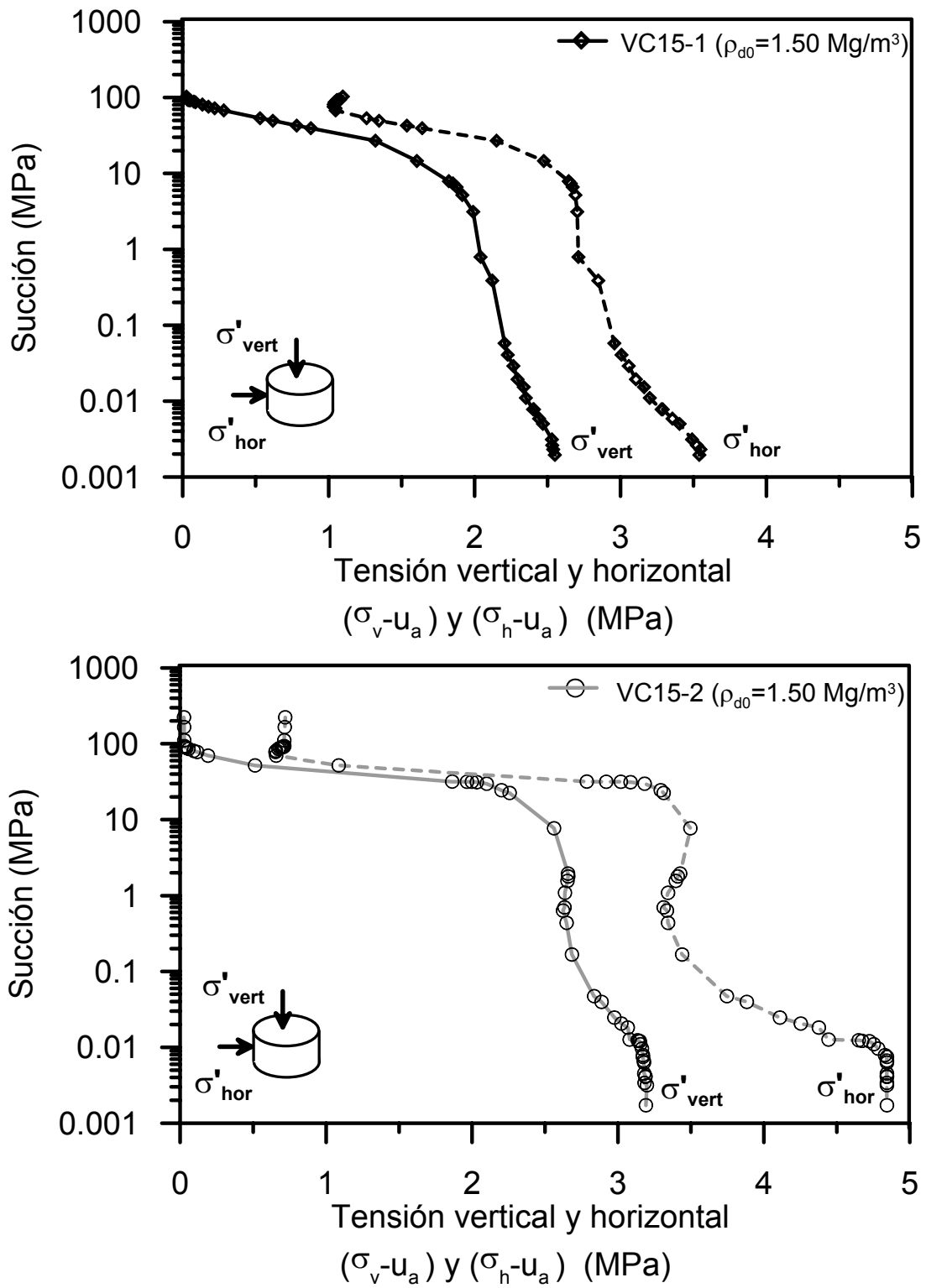


Figura 4.27- Evolución de la tensión vertical neta y la tensión horizontal neta con la succión durante los ensayos VC15-1 y VC15-2.

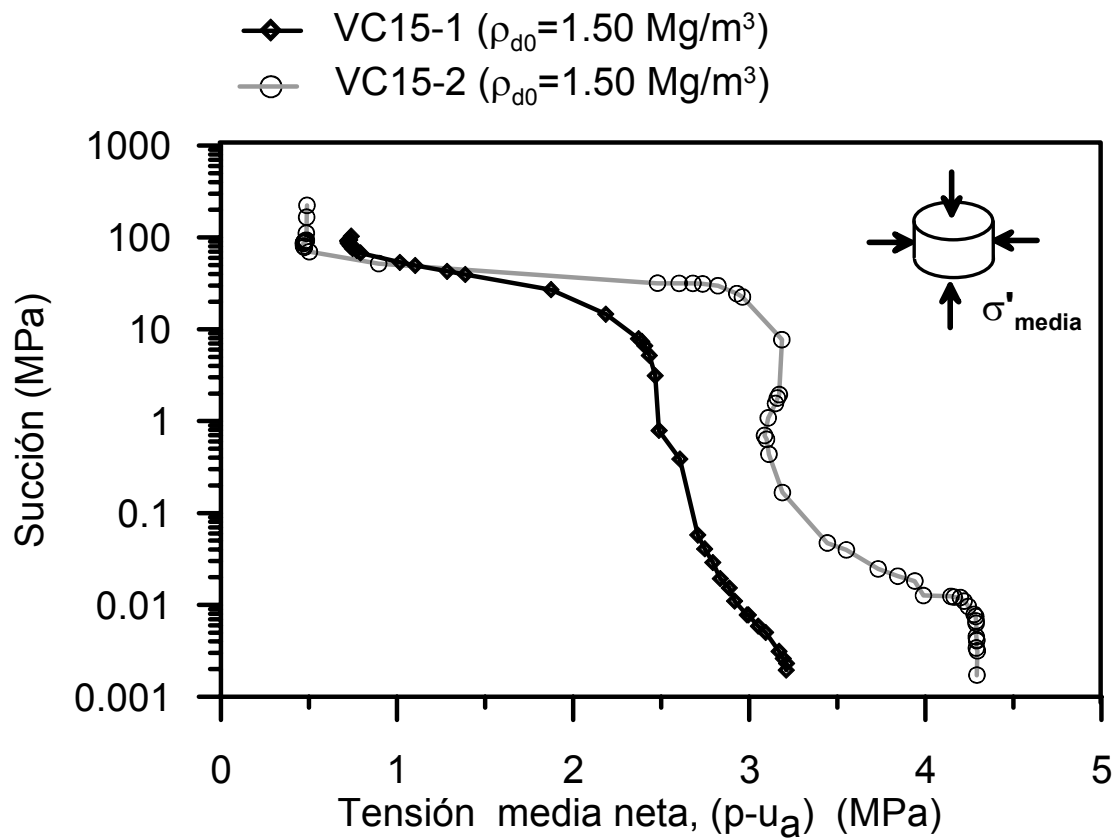


Figura 4.28- Evolución de la tensión media neta con la succión durante los ensayos VC15-1 y VC15-2.

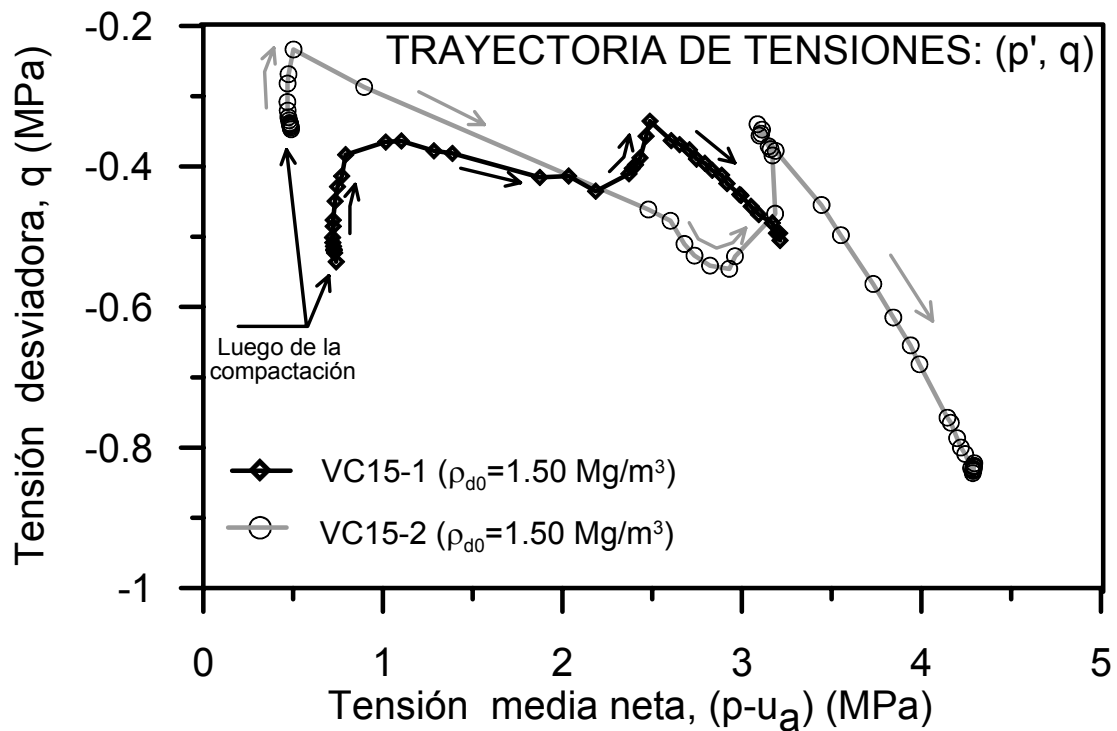


Figura 4.29- Evolución de la trayectoria de tensiones en el plano ( $p'$ ,  $q$ ) durante los ensayos VC15-1 y VC15-2.

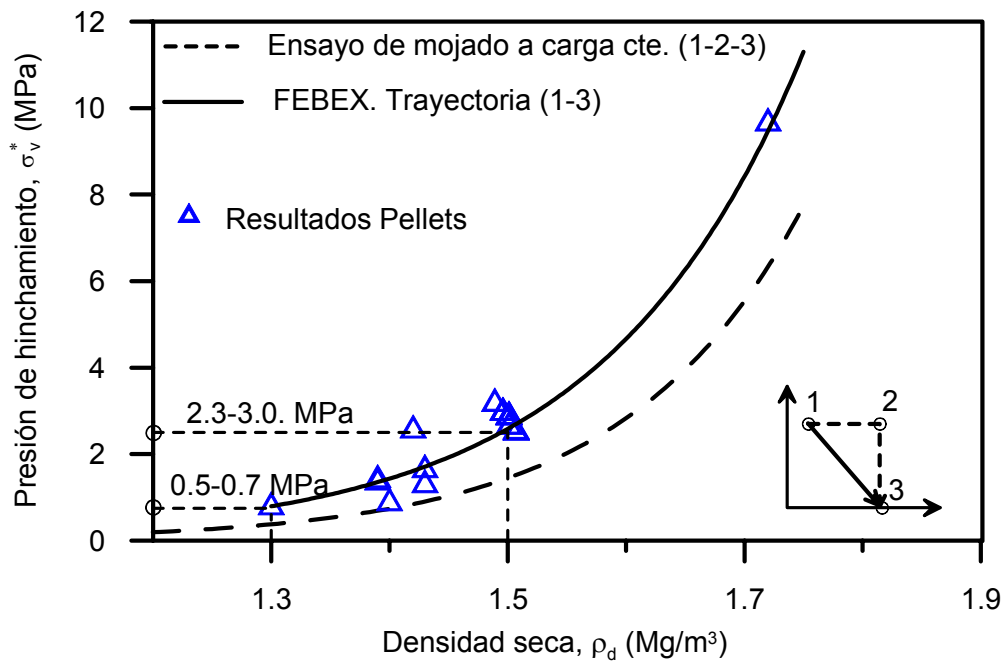


Figura 4.30- Presión de hinchamiento vertical obtenida en ensayos de humedecimiento a volumen constante.

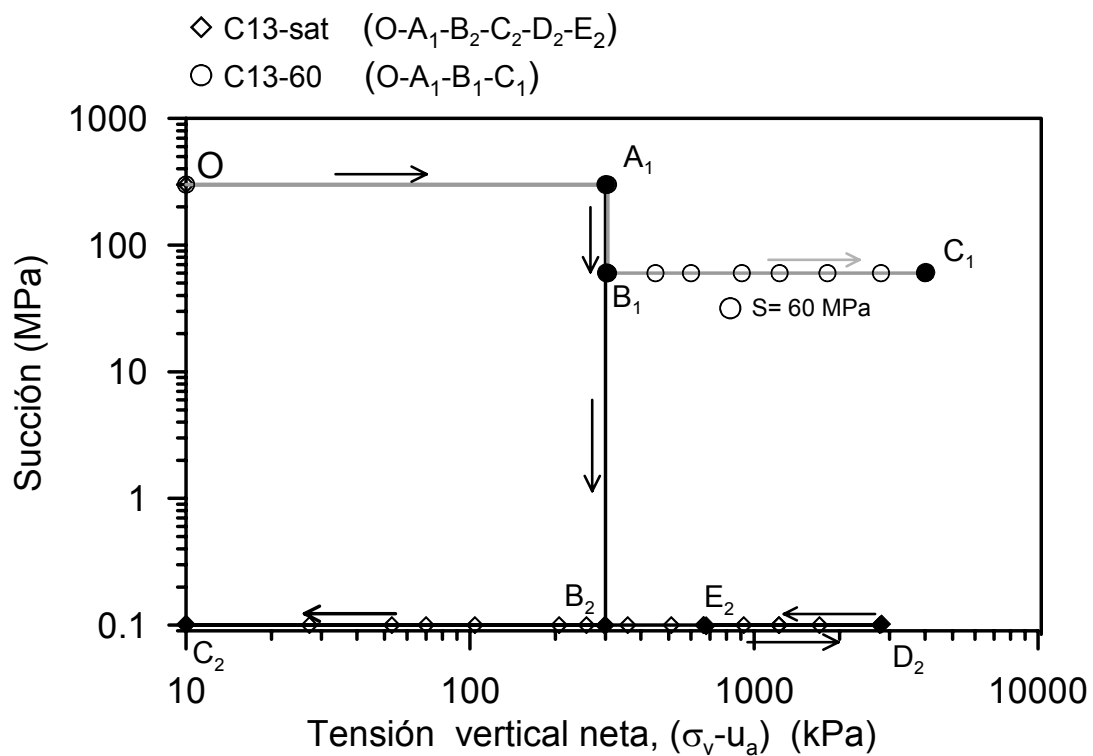


Figura 4.31- Trayectorias de tensiones aplicadas sobre muestras con densidad seca inicial de  $1.3 Mg/m^3$ .

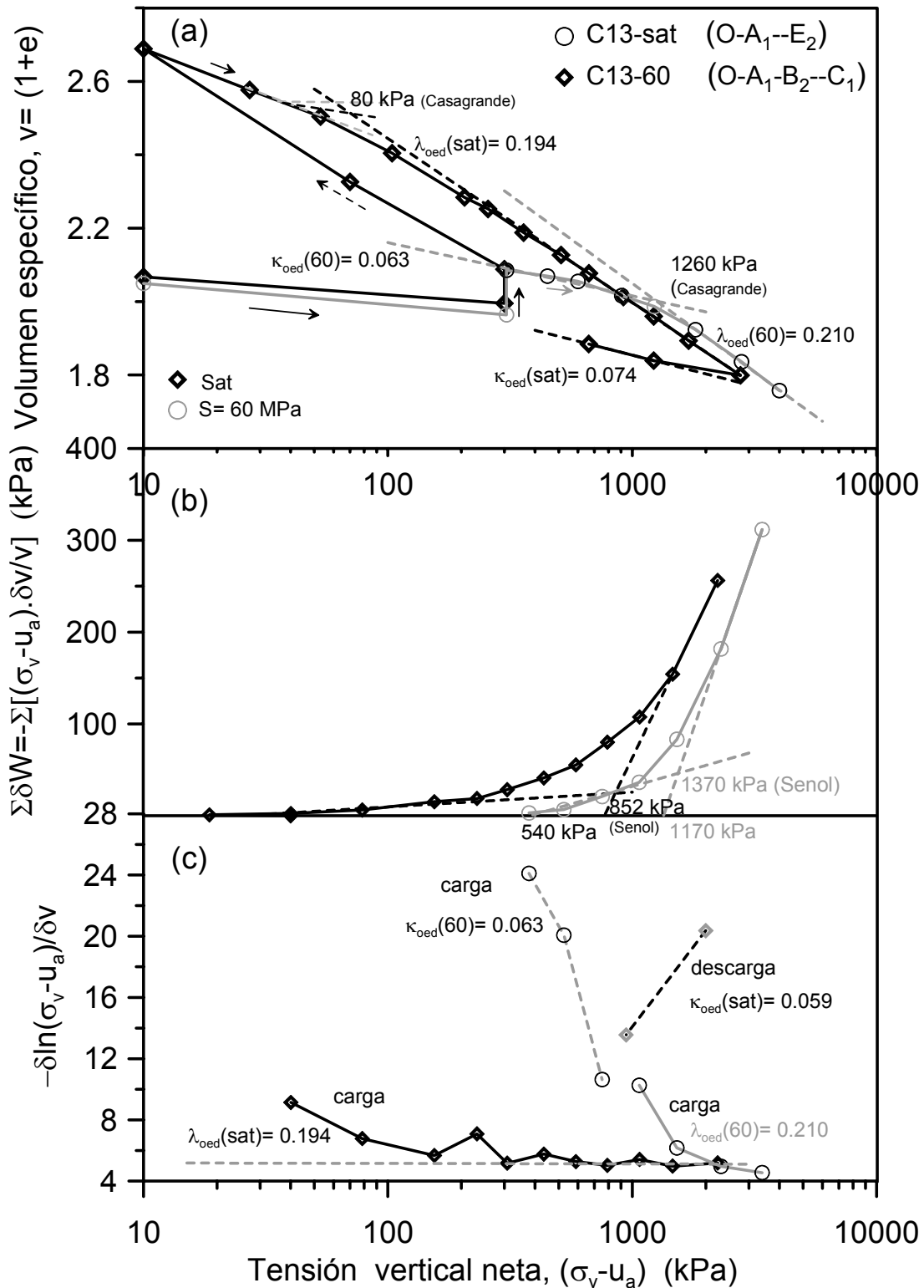


Figura 4.32- Resultados obtenidos en ensayos de carga a succión constante sobre muestras con densidad seca de  $1.30 \text{ Mg/m}^3$ . (a)-Curva de compresibilidad. (b)- Curva de trabajo entregado a la muestra (c)- Evolución de la compresibilidad.

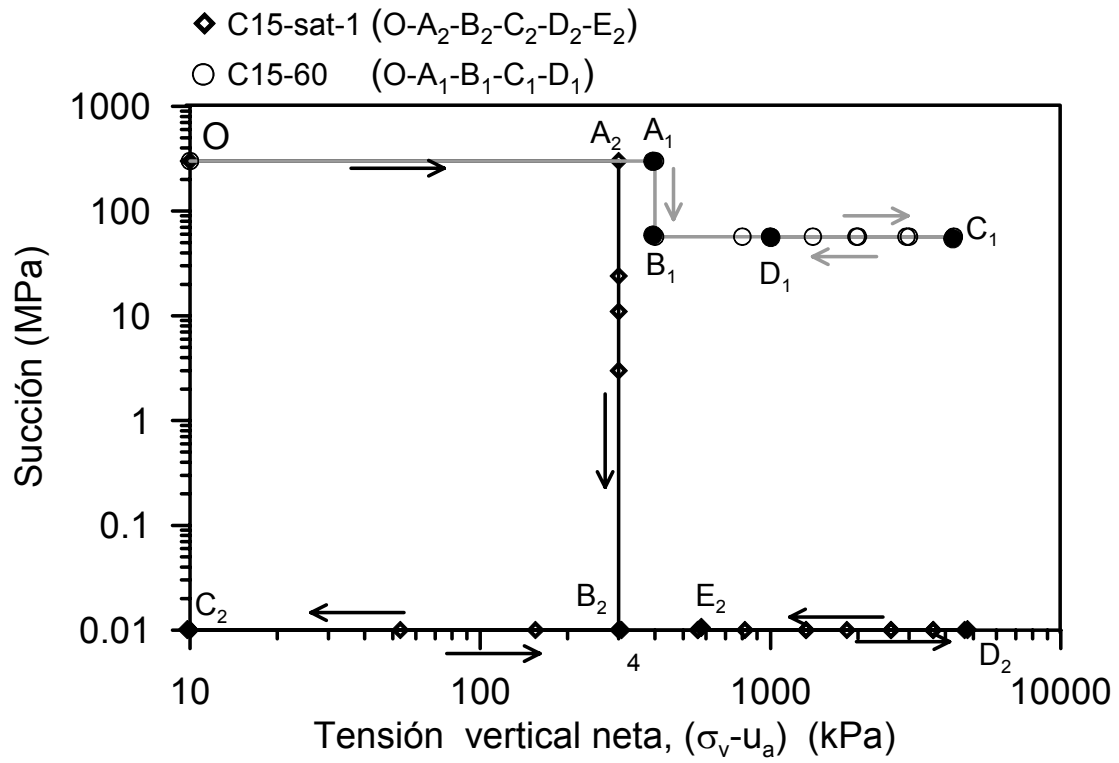


Figura 4.33- Trayectorias de tensiones aplicadas sobre muestras preparadas con una densidad seca de 1.5 Mg/m<sup>3</sup>.

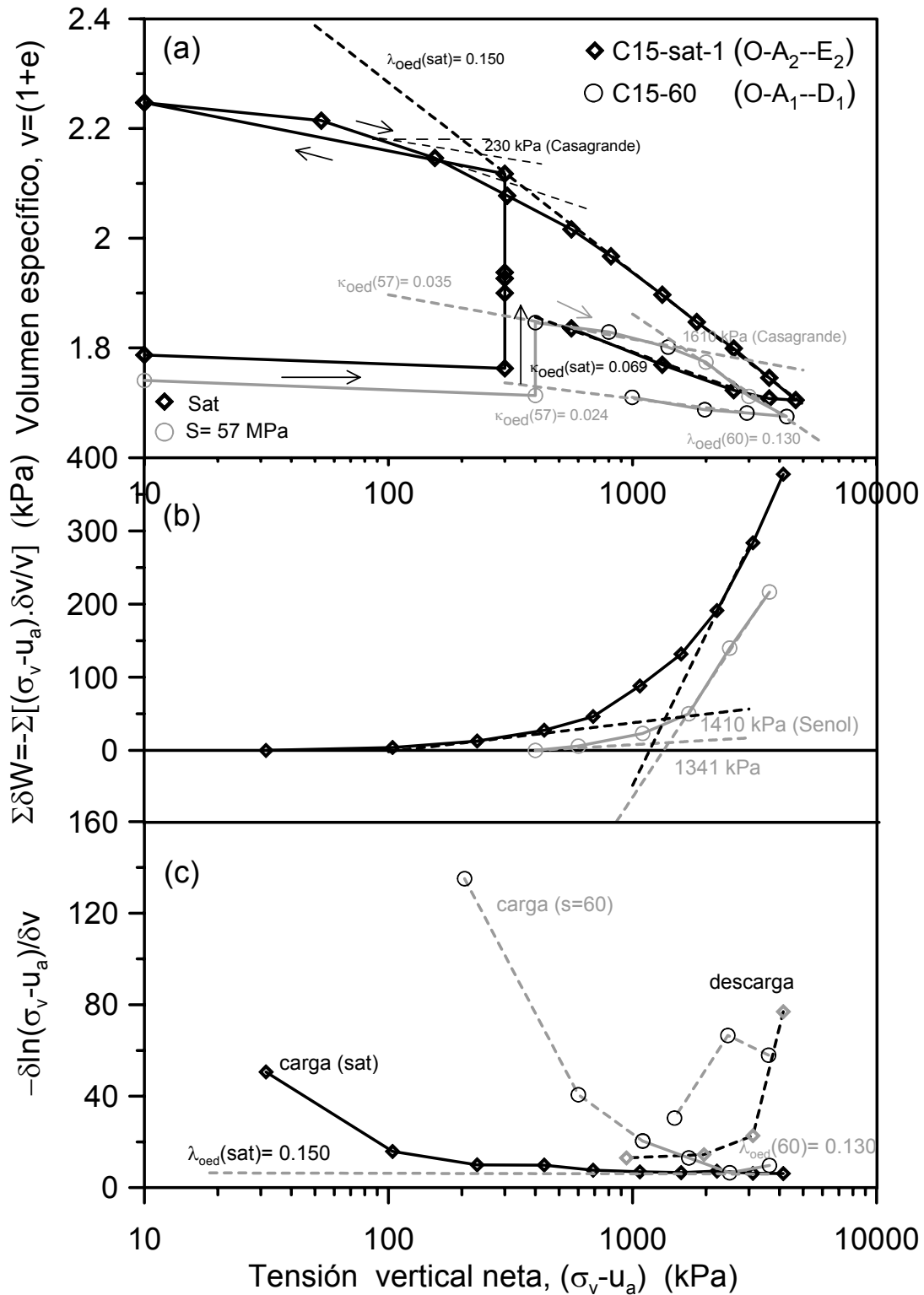


Figura 4.34- Resultados obtenidos en ensayos de carga a succión constante sobre muestras con densidad seca de  $1.50 \text{ Mg/m}^3$ . Ensayos C15-sat-1 y C15-60. (a)-Curva de compresibilidad. (b)- Curva de trabajo entregado a la muestra (c)- Evolución de la compresibilidad.



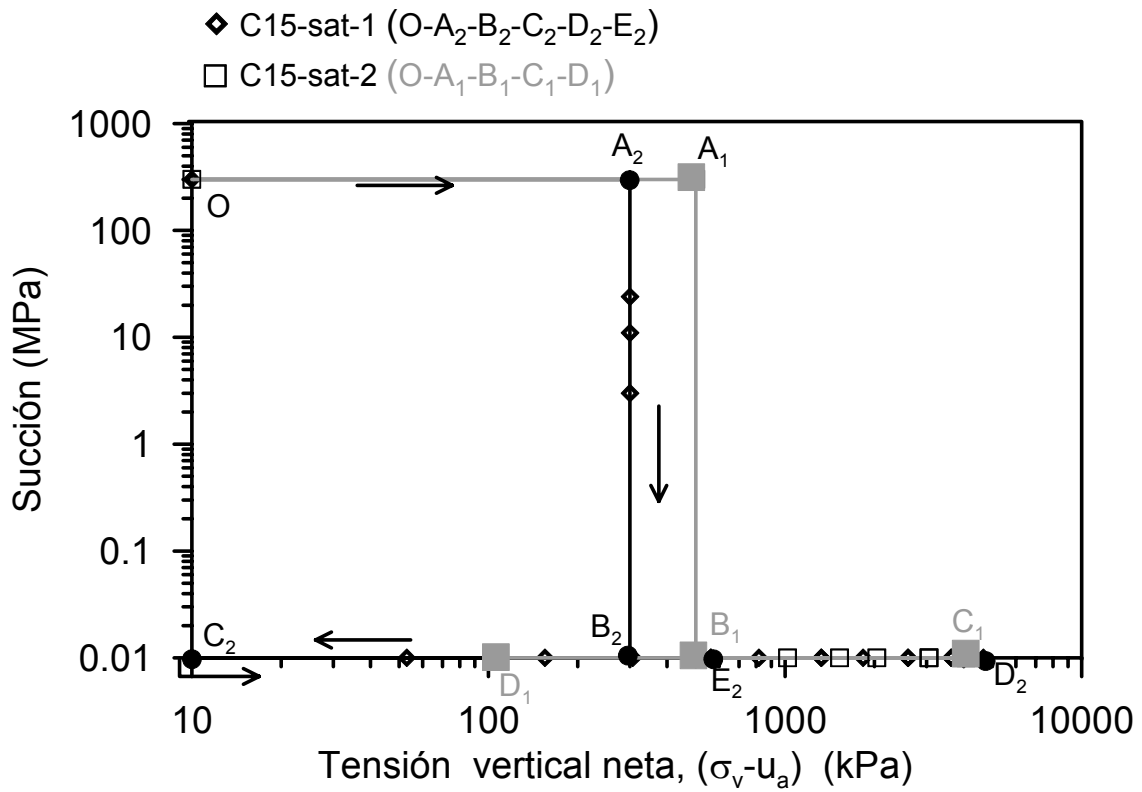


Figura 4.35- Trayectorias de tensiones aplicadas sobre muestras preparadas con una densidad seca de 1.5 Mg/m<sup>3</sup>. Ensayos C15-sat-1 y C15-sat-2.

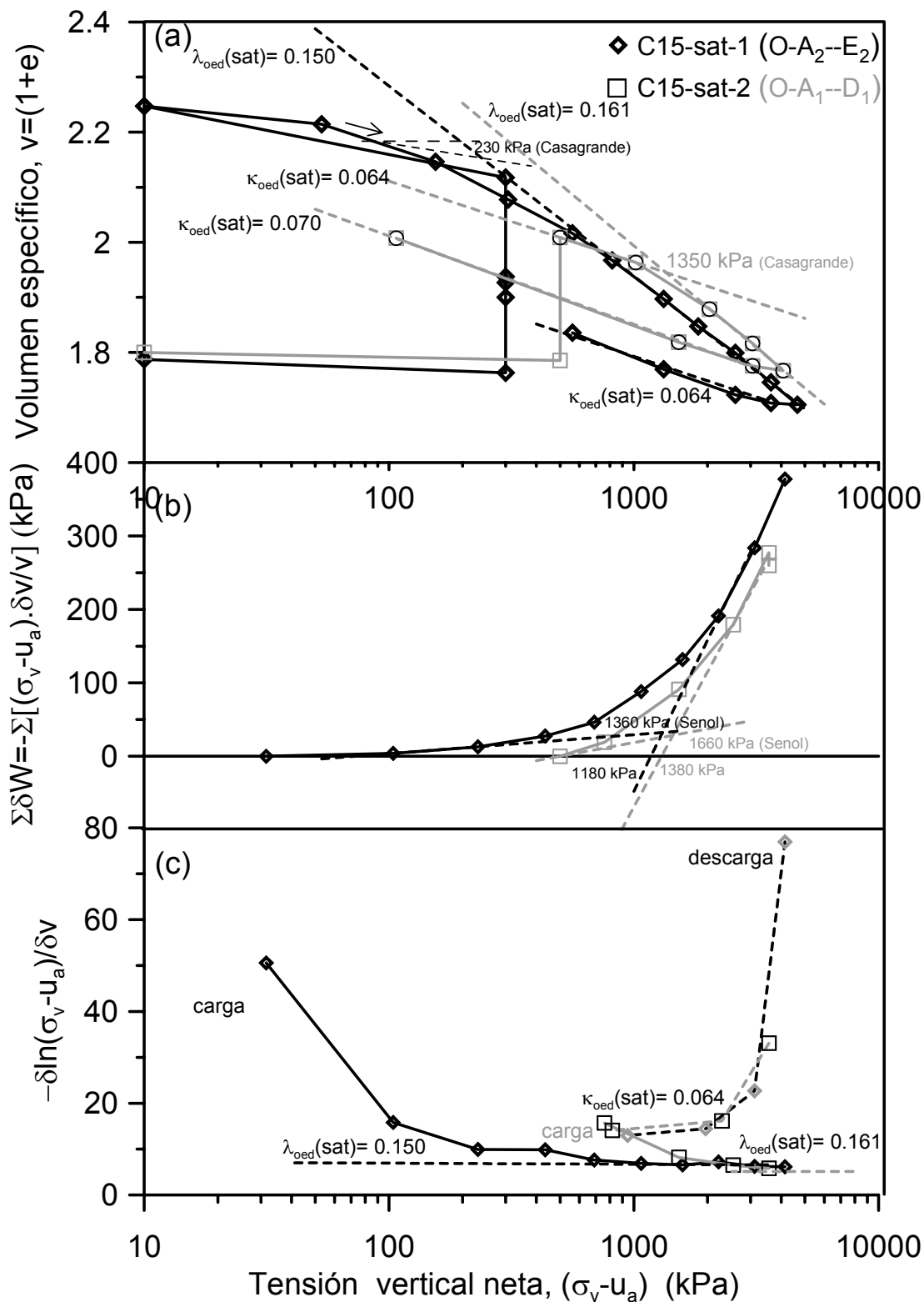


Figura 4.36- Resultados obtenidos en ensayos de carga a succión constante sobre muestras con densidad seca de  $1.50 \text{ Mg/m}^3$ . Ensayos C15-sat-1 y C15-sat-2. (a)-Curva de compresibilidad. (b)- Curva de trabajo entregado a la muestra (c)- Evolución de la compresibilidad.

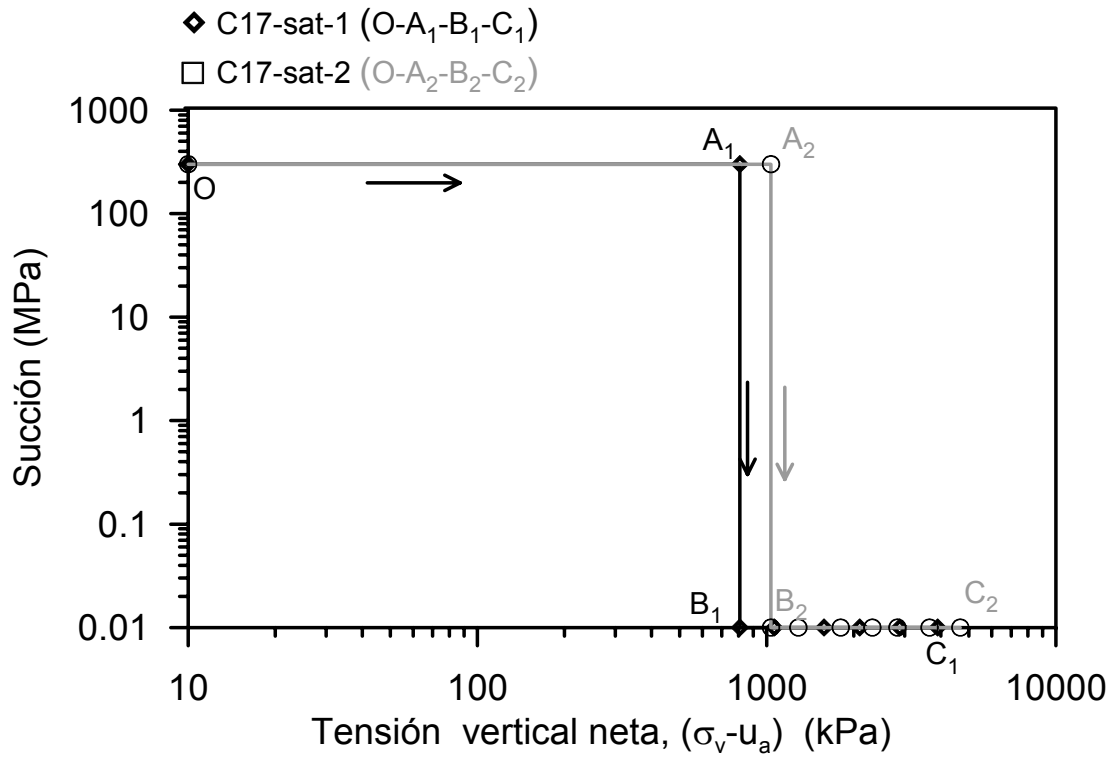


Figura 4.37- Trayectorias de humedecimiento y carga aplicadas sobre muestras preparadas con una densidad seca de 1.7 Mg/m<sup>3</sup>. Ensayos C17-sat-1 y C17-sat-2.

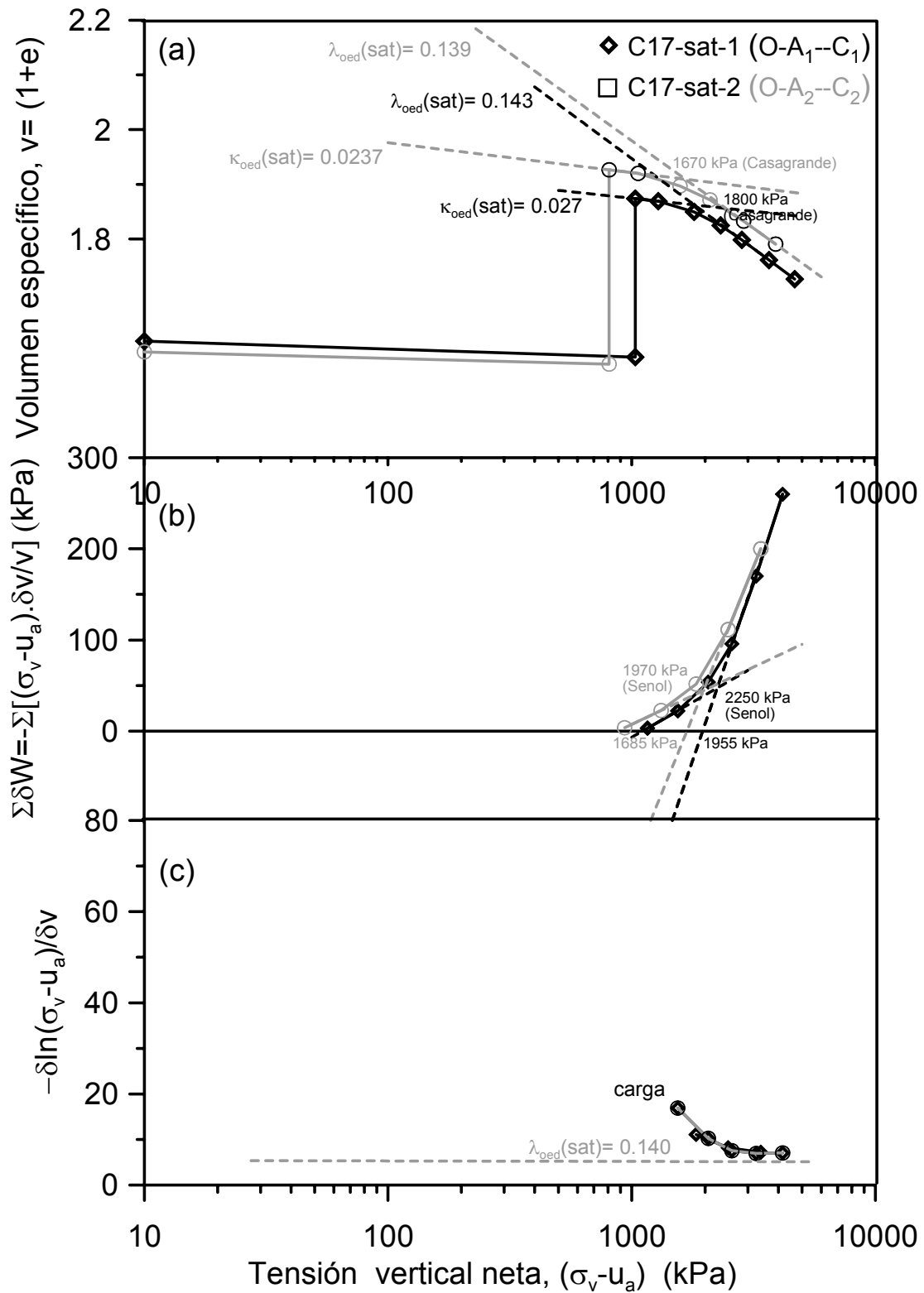


Figura 4.38- Resultados obtenidos en ensayos de carga a succión constante sobre muestras con densidad seca de  $1.70 \text{ Mg/m}^3$ . (a)-Curva de compresibilidad. (b)- Trabajo acumulado entregado a la muestra (c)- Evolución de la compresibilidad.

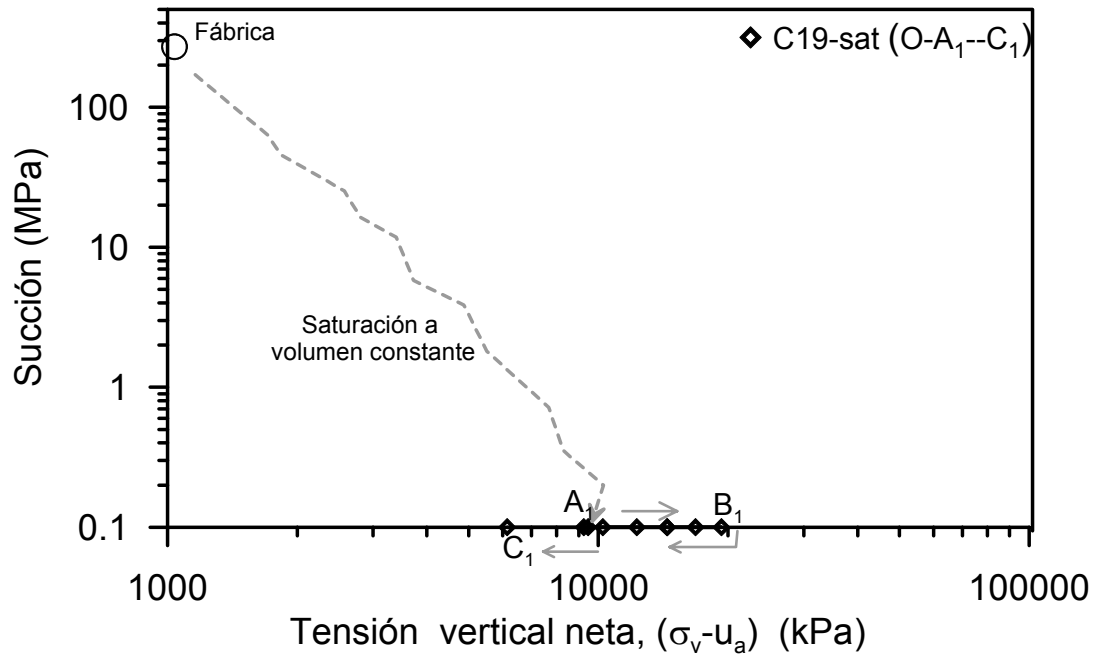


Figura 4.39- Trayectorias de humedecimiento a volumen constante y carga sobre muestras preparadas con una densidad seca de 1.90 Mg/m<sup>3</sup>.

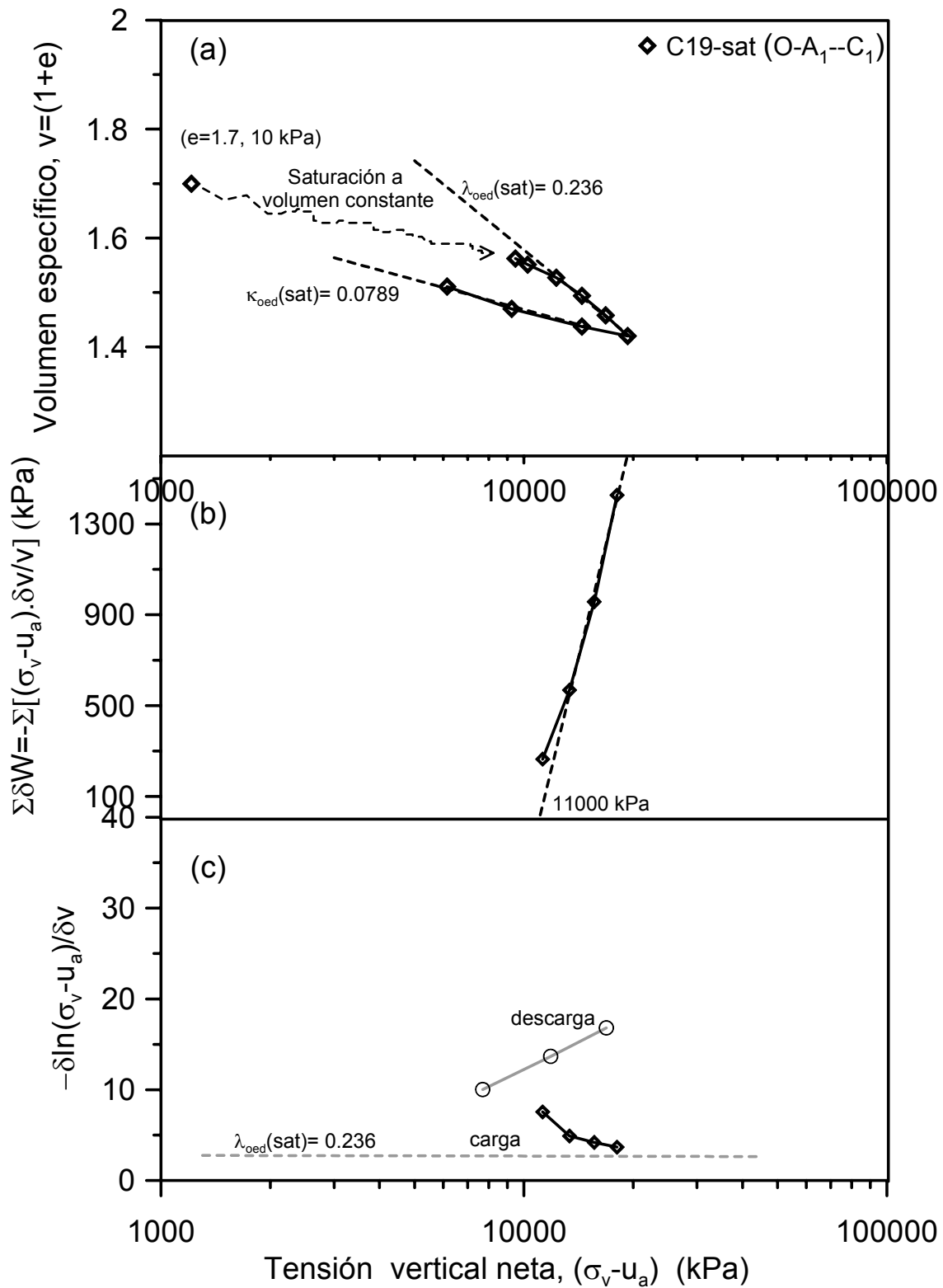


Figura 4.40- Curvas de compresibilidad en trayectorias de humedecimiento a volumen constante y carga. Muestras preparadas con una densidad seca inicial de  $1.90 \text{ Mg/m}^3$ . Ensayo C19-sat.

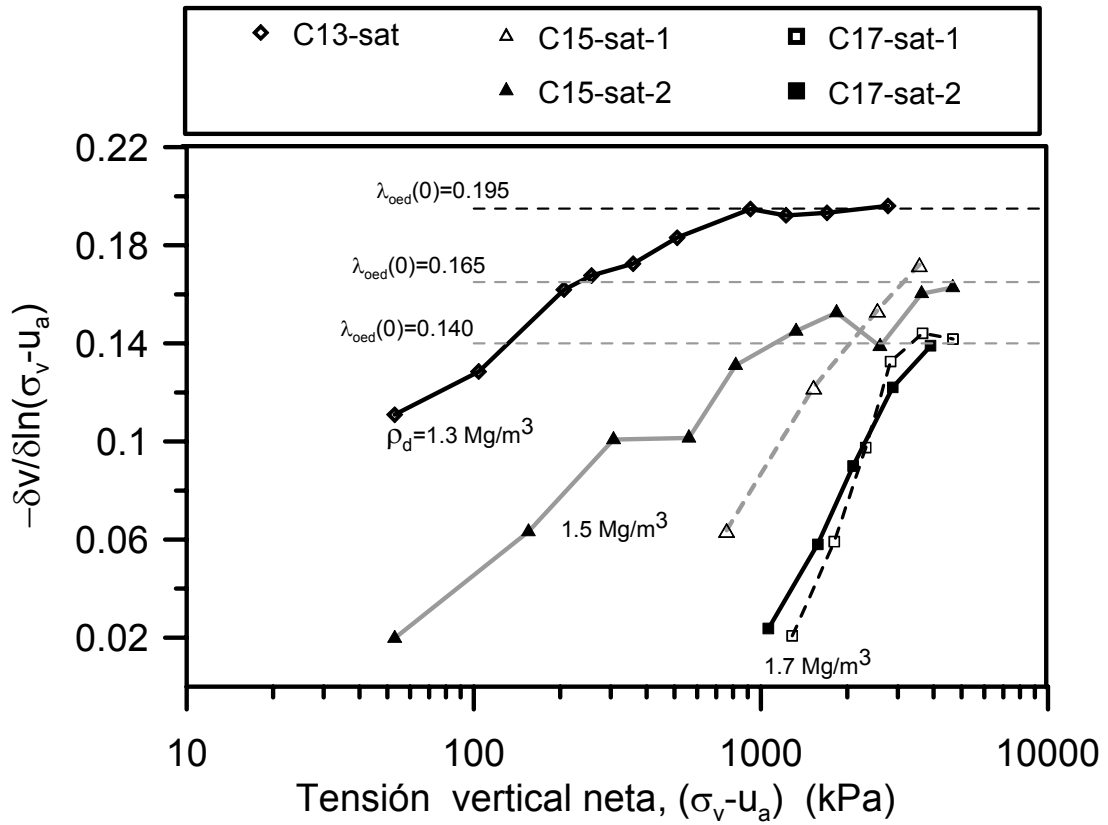


Figura 4.41- Evolución de la compresibilidad con la tensión vertical media neta en trayectorias de carga.

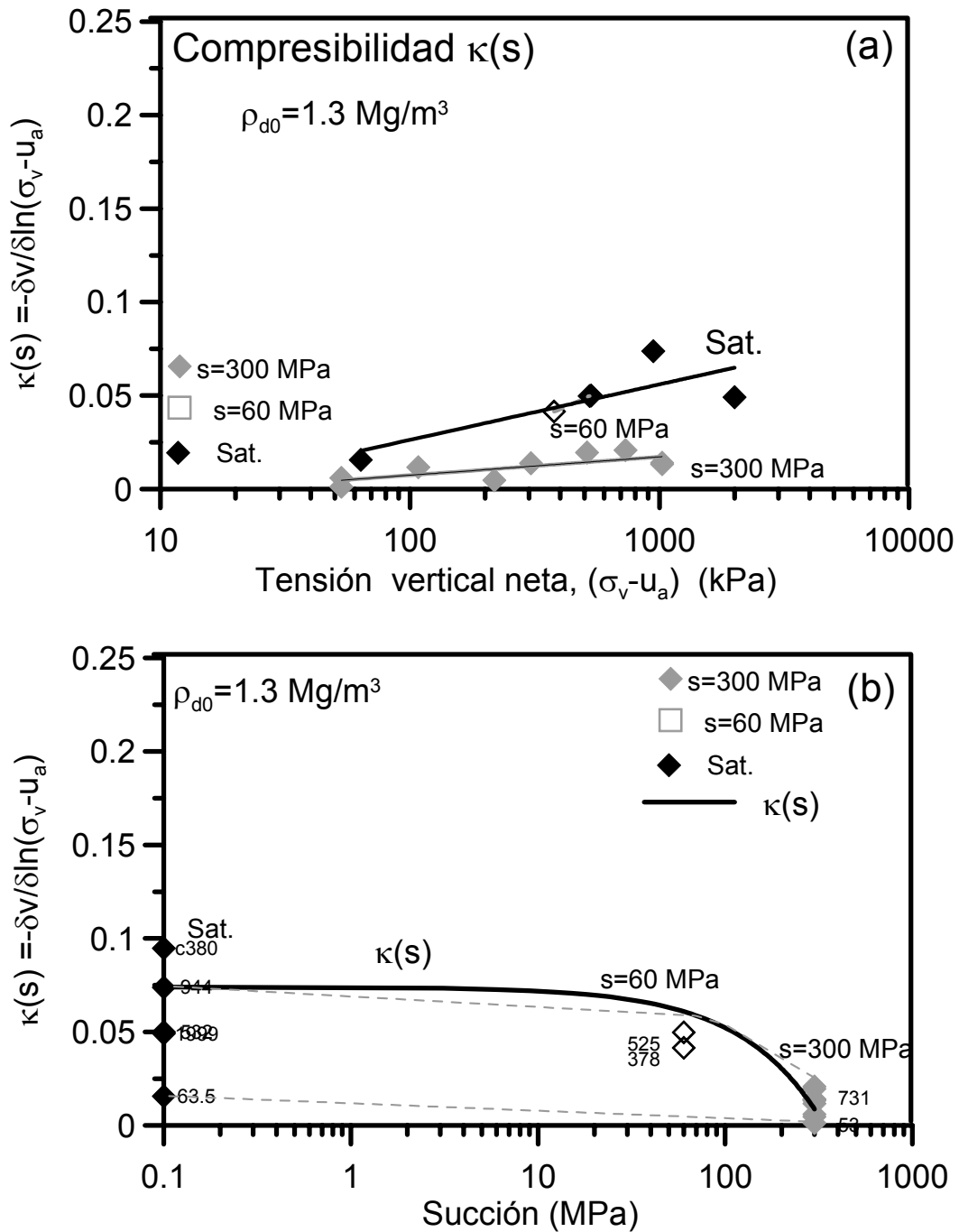


Figura 4.42- Evolución de la compresibilidad elástica para muestras con densidad seca inicial de  $1.3 \text{ Mg/m}^3$ . (a) Evolución de la compresibilidad con el nivel de carga. (b)- Evolución de la compresibilidad con la succión.



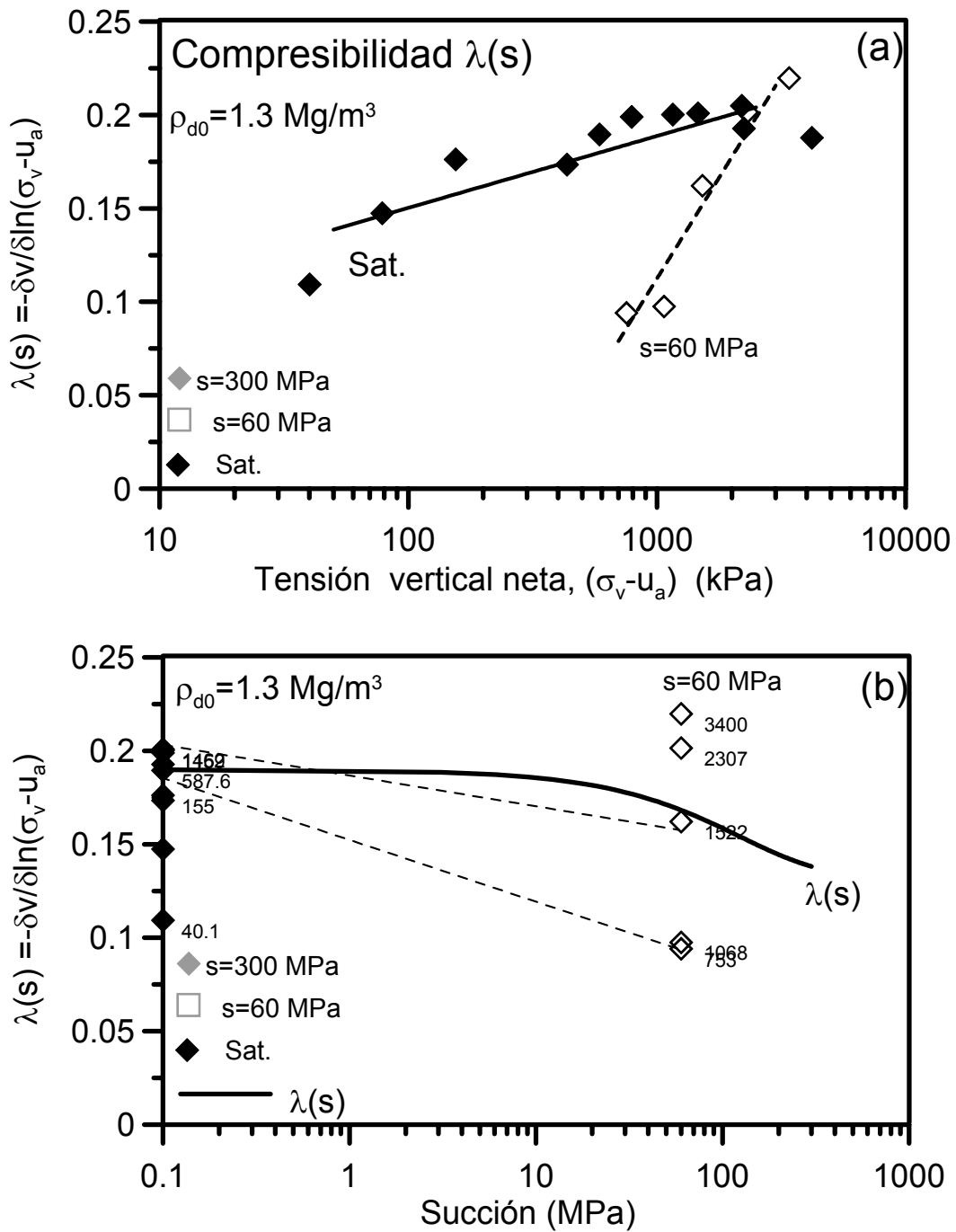


Figura 4.43- Evolución de la compresibilidad plástica para muestras con densidad seca inicial de  $1.3 \text{ Mg/m}^3$ . (a) Evolución de la compresibilidad con el nivel de carga. (b)- Evolución de la compresibilidad con la succión.

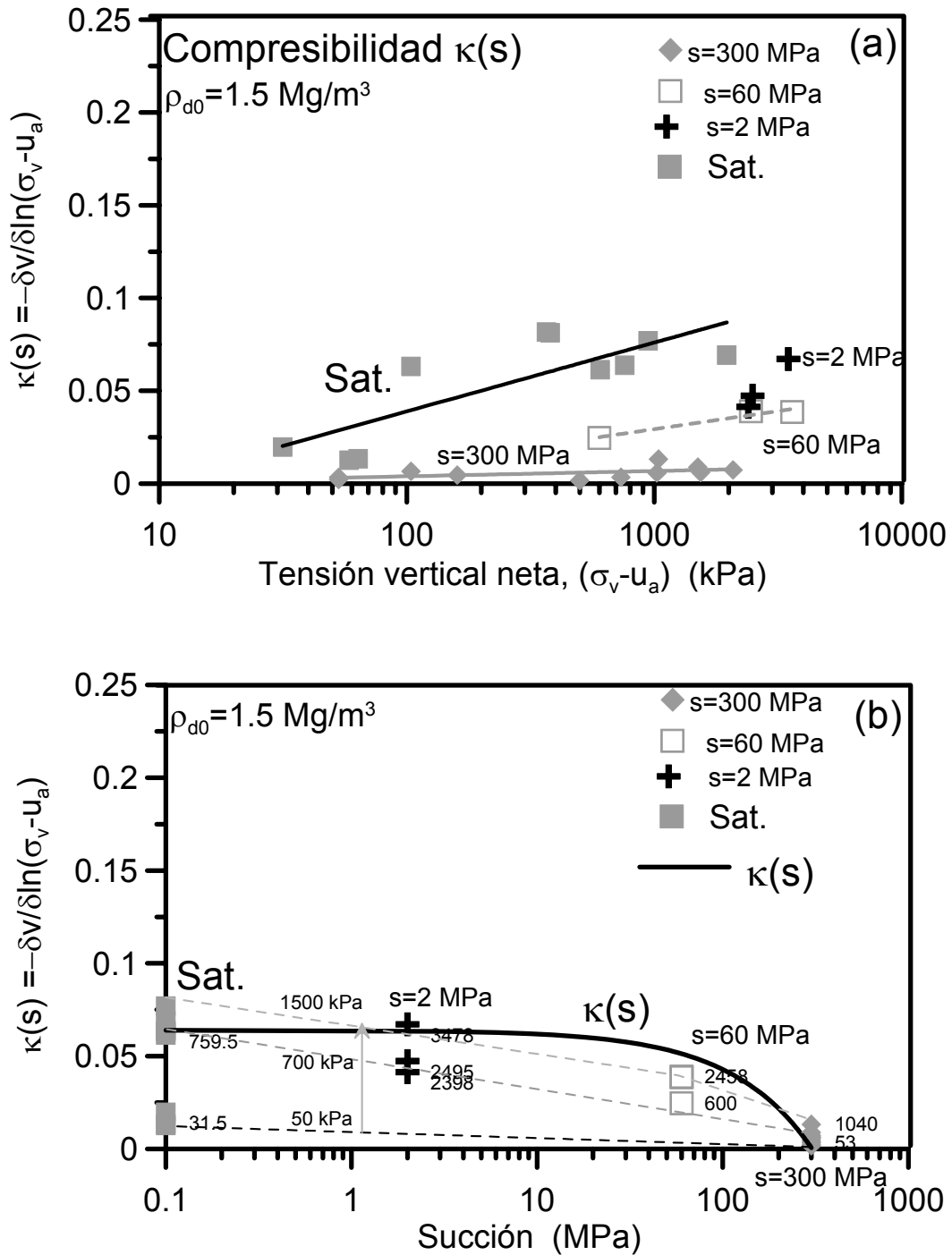


Figura 4.44- Evolución de la compresibilidad elástica para muestras con densidad seca inicial de  $1.5 \text{ Mg/m}^3$ . (a) Evolución de la compresibilidad con el nivel de carga. (b)- Evolución de la compresibilidad con la succión.

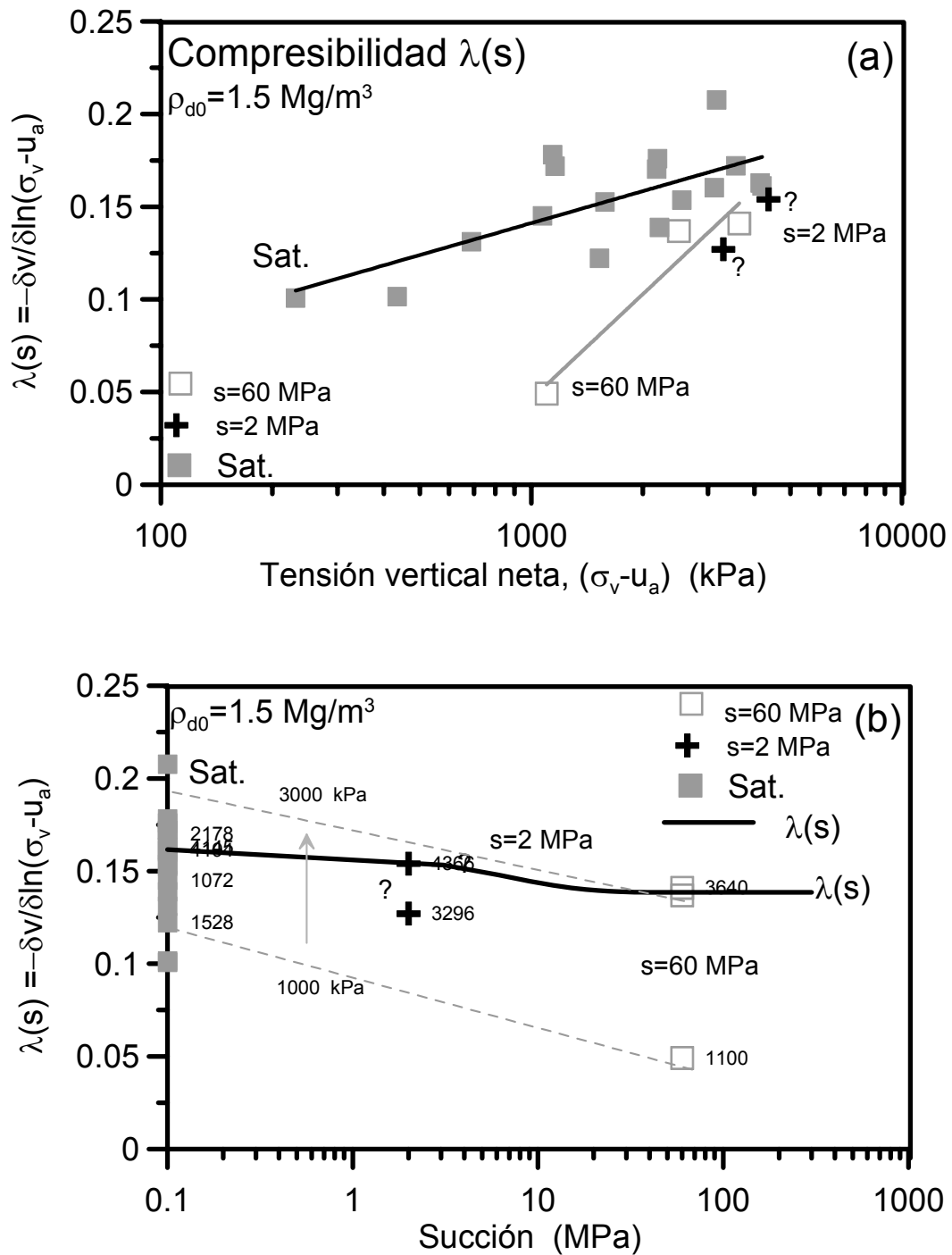


Figura 4.45- Evolución de la compresibilidad plástica para muestras con densidad seca inicial de  $1.5 \text{ Mg/m}^3$ . (a) Evolución de la compresibilidad con el nivel de carga. (b)- Evolución de la compresibilidad con la succión.

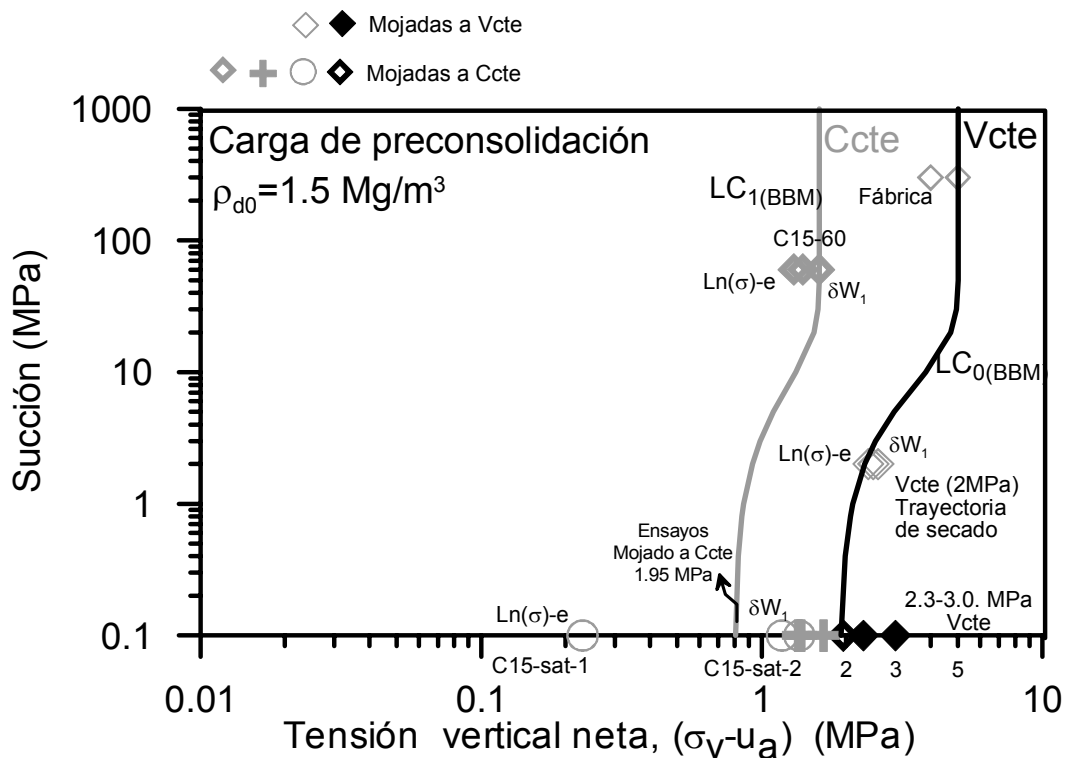
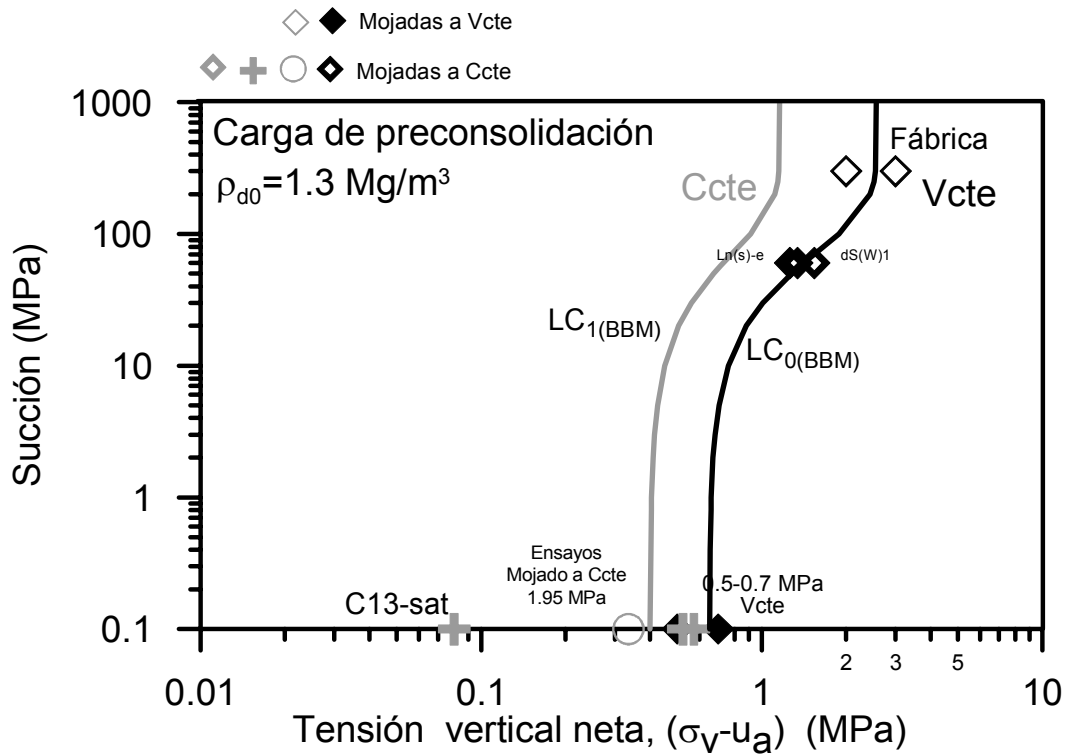


Figura 4.46- Evolución de la carga de preconsolidación con la succión. Superficie de fluencia LC obtenidas a partir de distintos ensayos de carga a succión constante.

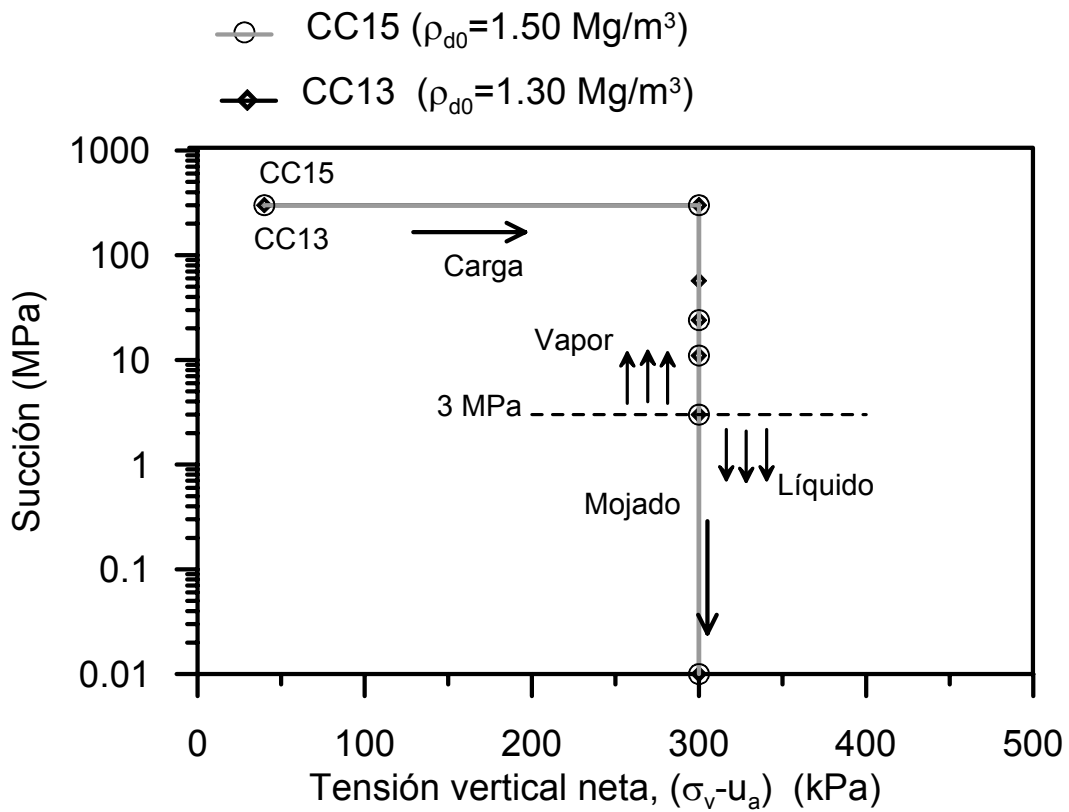


Figura 4.47- Ensayos de humedecimiento a carga constante con control de la succión. Trayectorias de tensiones.

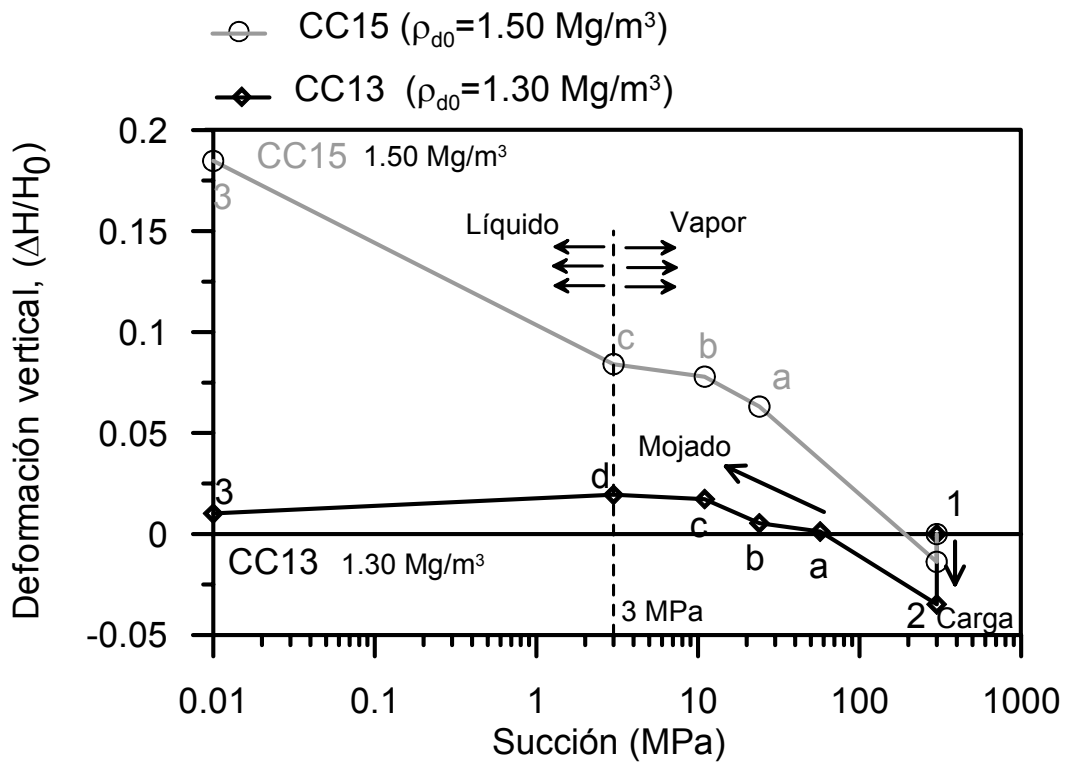


Figura 4.48- Ensayos de humedecimiento a carga constante con control de la succión. Evolución de la deformación vertical de la muestra durante el ensayo

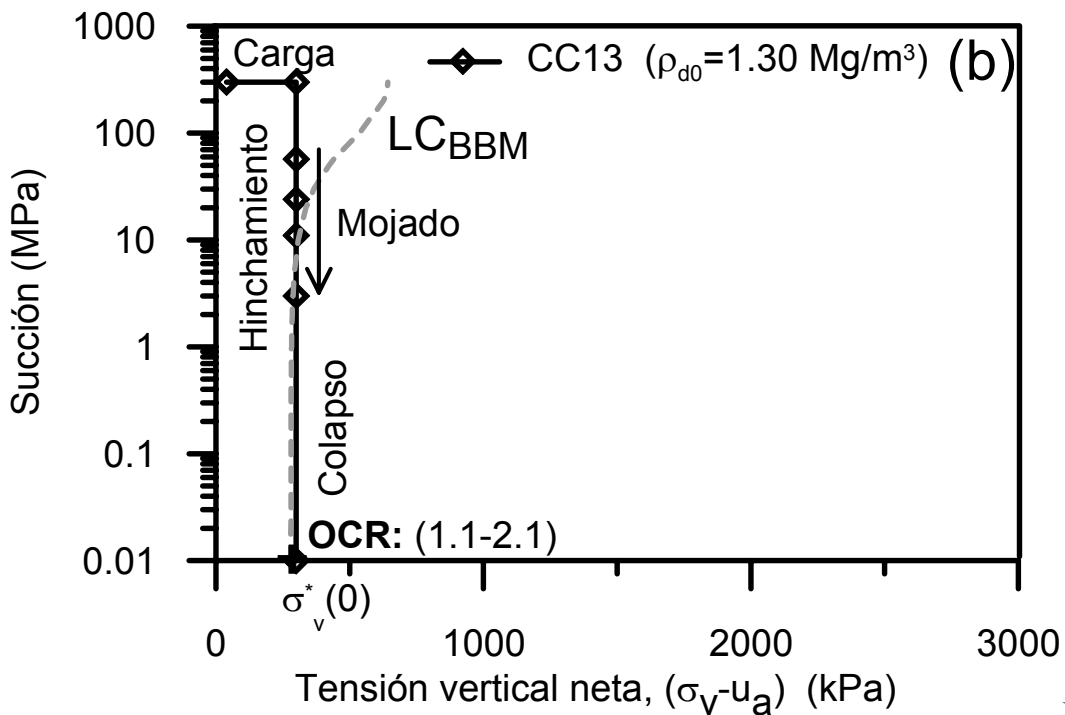
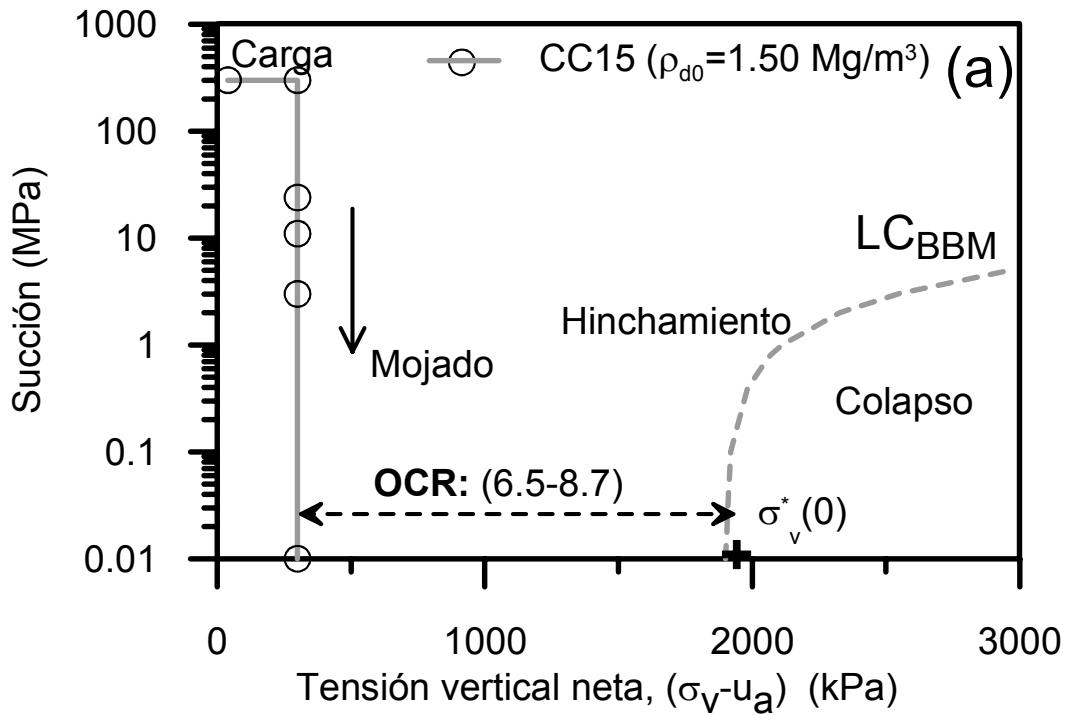


Figura 4.49- Trayectoria de tensiones aplicadas en cada uno de los ensayos de humedecimiento a carga constante con control de la succión y posición relativa de la superficie LC (a) Ensayo CC15. (b)- Ensayo CC13.

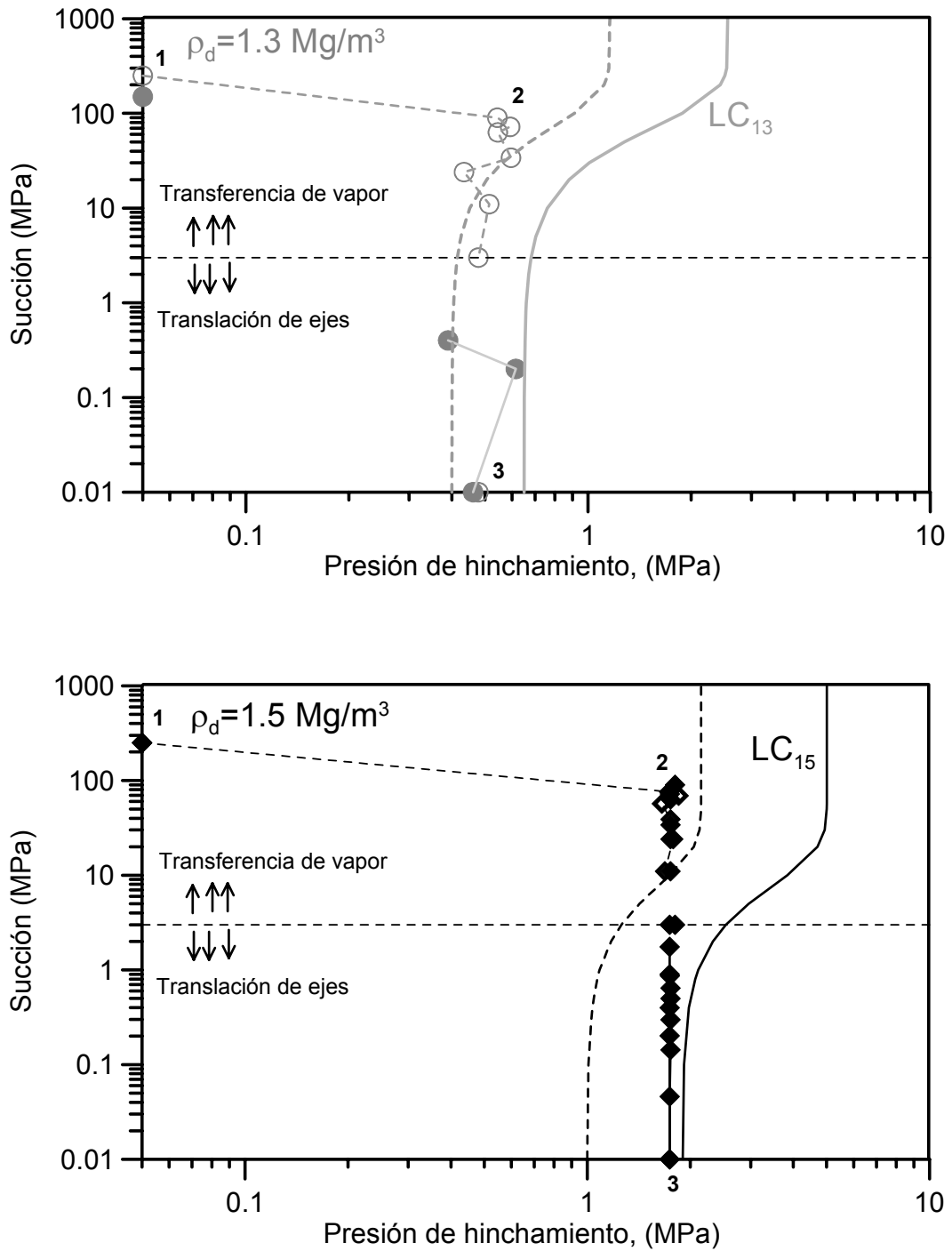


Figura 4.50- Ensayos de humedecimiento a volumen constante con control de la succión.

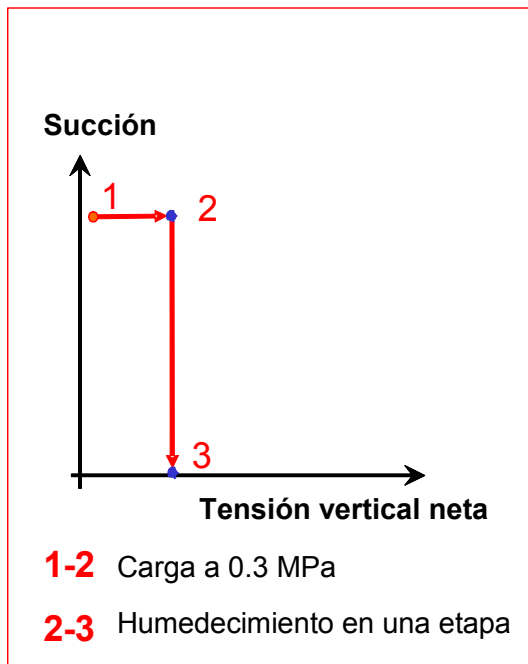
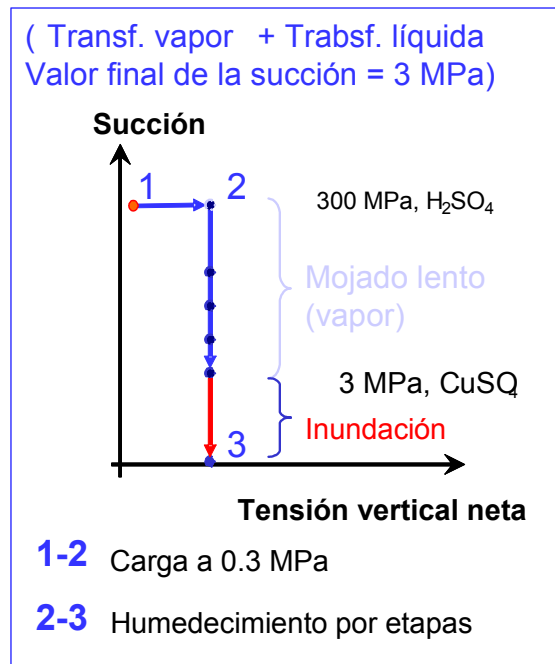
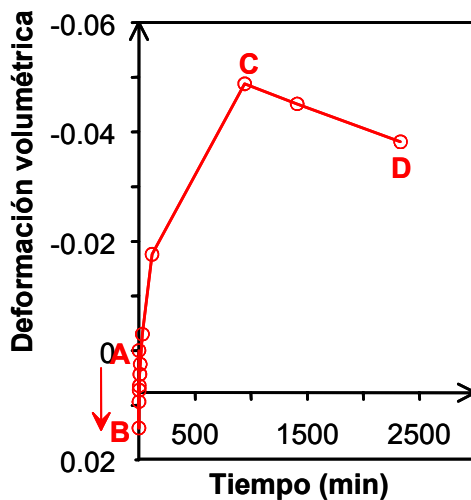
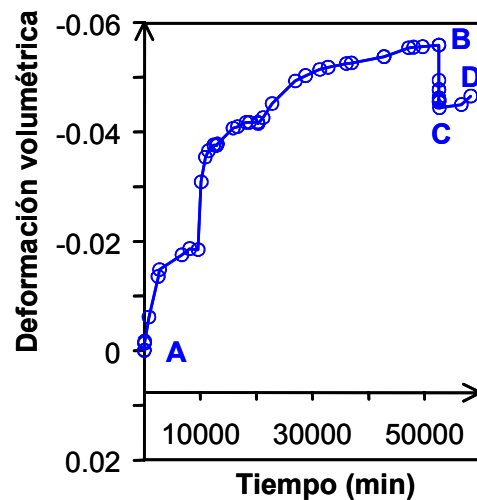
(a) Humedecimiento por inundación  
CC13-300-W(b) Humedecimiento por vapor (lento)  
CC13-300-V

Figura 4.51-Trayectoria de tensiones en ensayos de humedecimiento a carga constante. (a)- Utilizando inyección de agua líquida (b)- Humedecimiento por transferencia de vapor.

Humedecimiento por inundación



Humedecimiento por vapor (lento)



A-B: Colapso inicial (las fuerzas intergranulares disminuyen por la saturación: macro)  
B-C: Hinchamiento de los pellets (micro)  
C-D: Colapso adicional (reblandecimiento y fusión de pellets)

A-B: El hinchamiento de los pellets (micro) domina el comportamiento de deformación volumétrica frente al colapso (macro).  
B-C: Colapso por inundación (s=3 MPa)  
C-D: Hinchamiento adicional de pellets

Figura 4.52- Evolución de la deformación volumétrica en ensayos de humedecimiento a carga constante. (a)- Utilizando inyección de agua líquida (b)- Humedecimiento por transferencia de vapor.



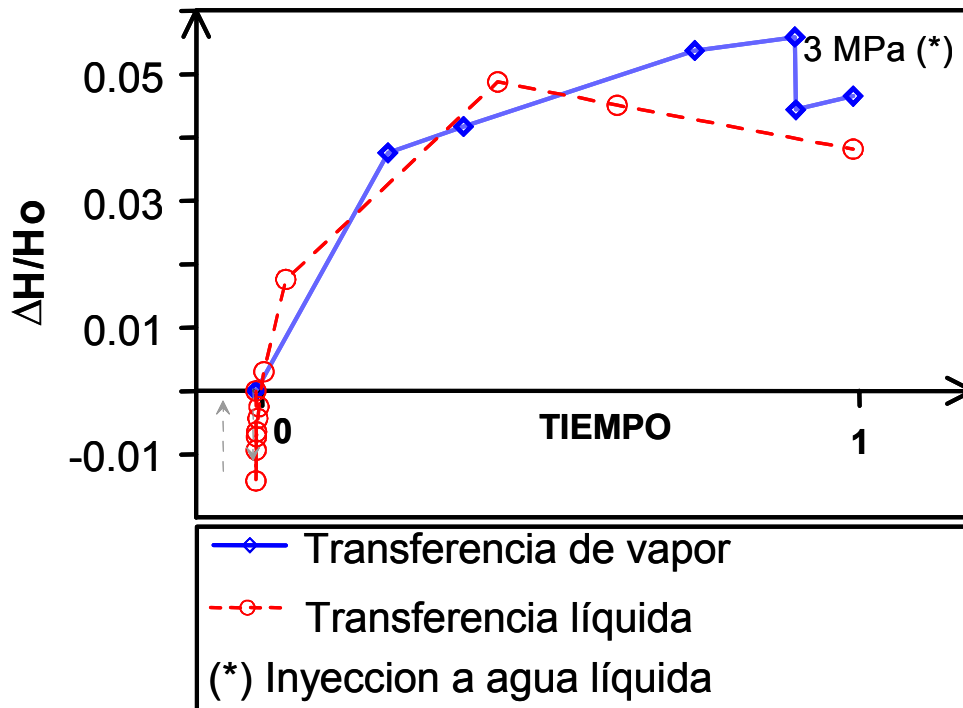
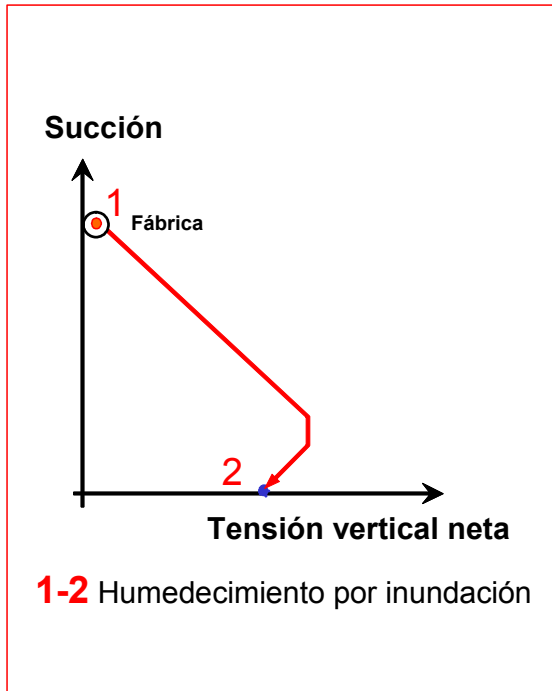


Figura 4.53- Ensayos de humedecimiento a carga constante utilizando inyección de agua líquida y humedecimiento por transferencia de vapor.

(a) Humedecimiento por inundación  
VC13-W y VC13-V



(b) Humedecimiento por vapor (lento)  
VC13-V y VC15-V

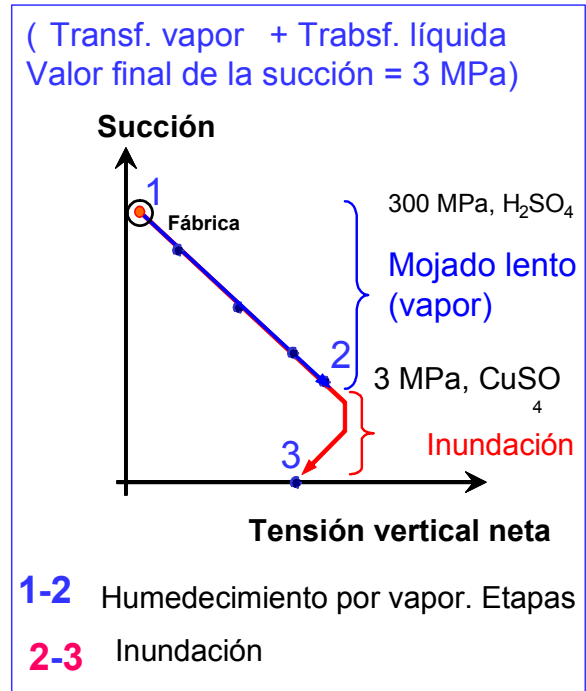


Figura 4.54-Trayectoria de tensiones en ensayos de humedecimiento a volumen constante. (a)- Utilizando inyección de agua líquida (b)- Humedecimiento por transferencia de vapor.

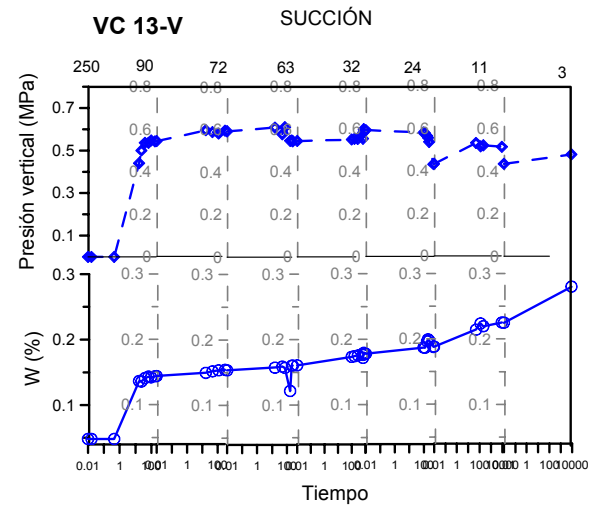
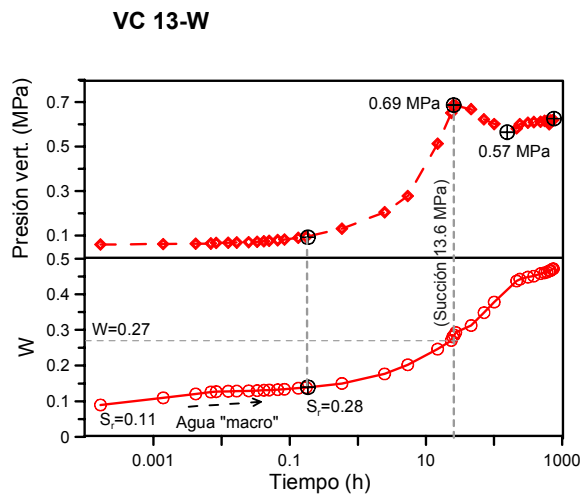


Figura 4.55-Evolución de la presión de hinchamiento y el contenido de agua en ensayos de humedecimiento a volumen constante. (a)- Utilizando inyección de agua líquida (b)- Humedecimiento por transferencia de vapor.

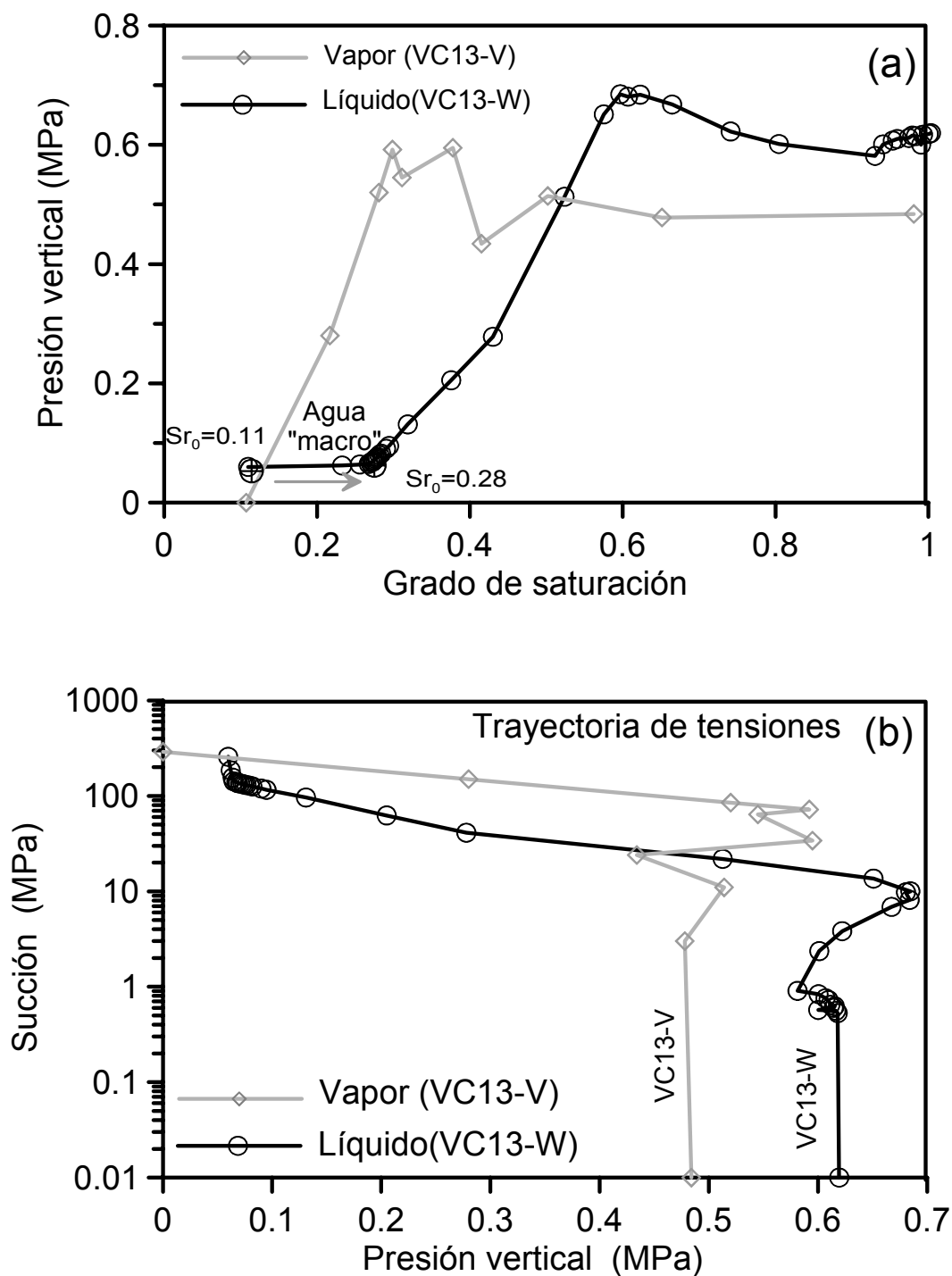


Figura 4.56- Ensayos de humedecimiento a volumen constante con transferencia líquida y de vapor. (a)- Evolución de la presión de hinchamiento con el grado de saturación. (b)- Trayectoria de tensiones.

**DISPOSITIVO ENSAYO VC13-W-2**

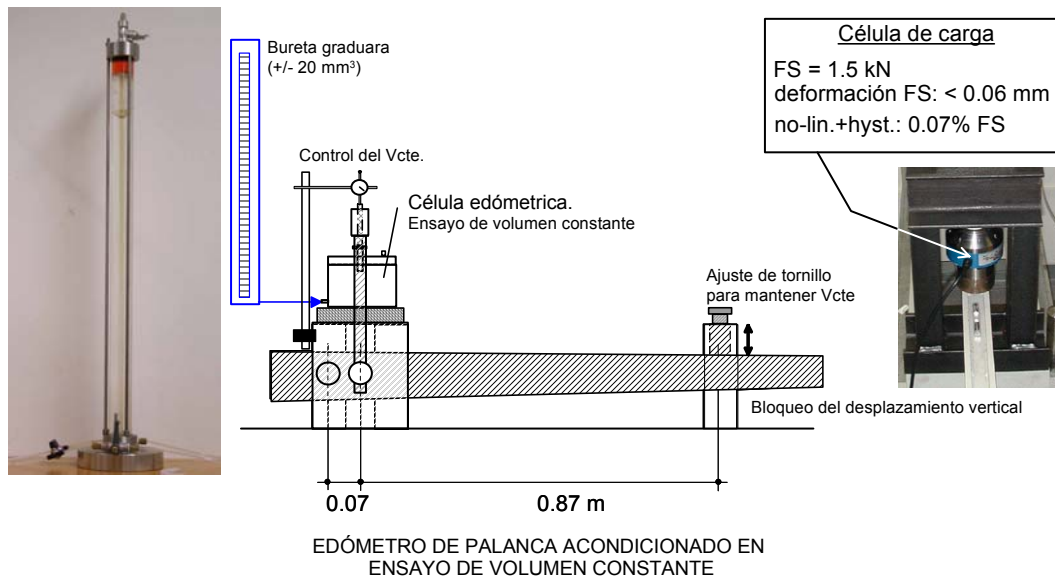


Figura 4.57- Dispositivo de ensayo utilizado para ensayos de humedecimiento a volumen constante con gradiente de inyección de agua de 2 m.

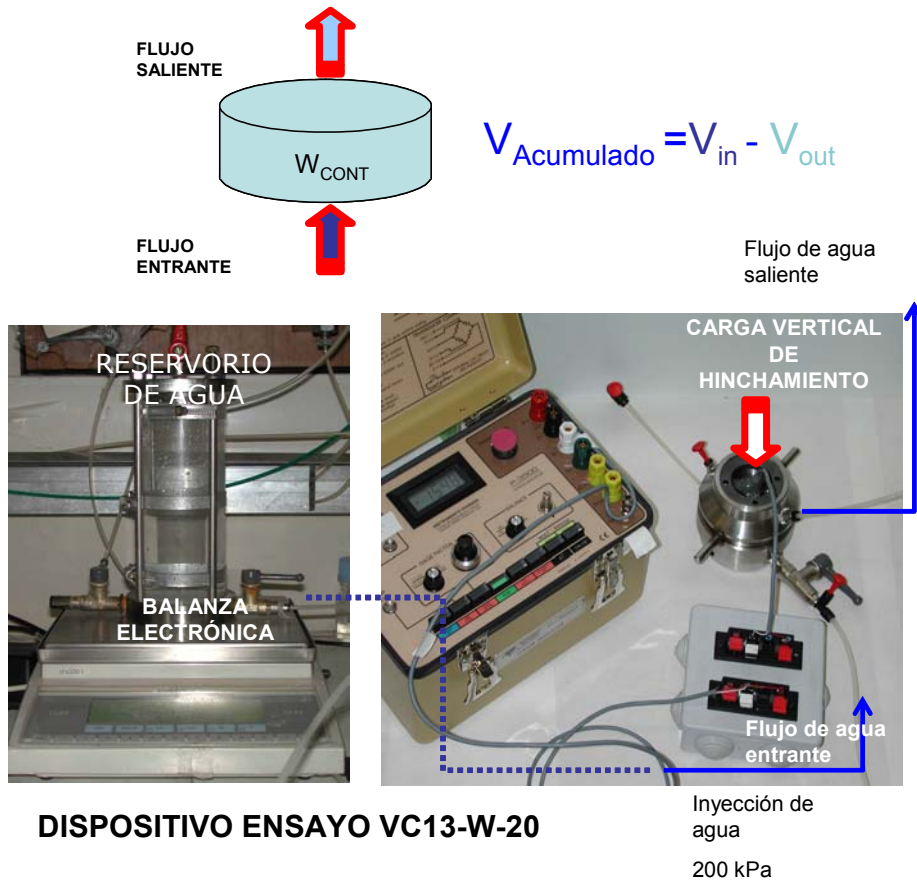


Figura 4.58- Dispositivo de ensayo utilizado para ensayos de humedecimiento a volumen constante con gradiente de inyección de agua de 20 m.

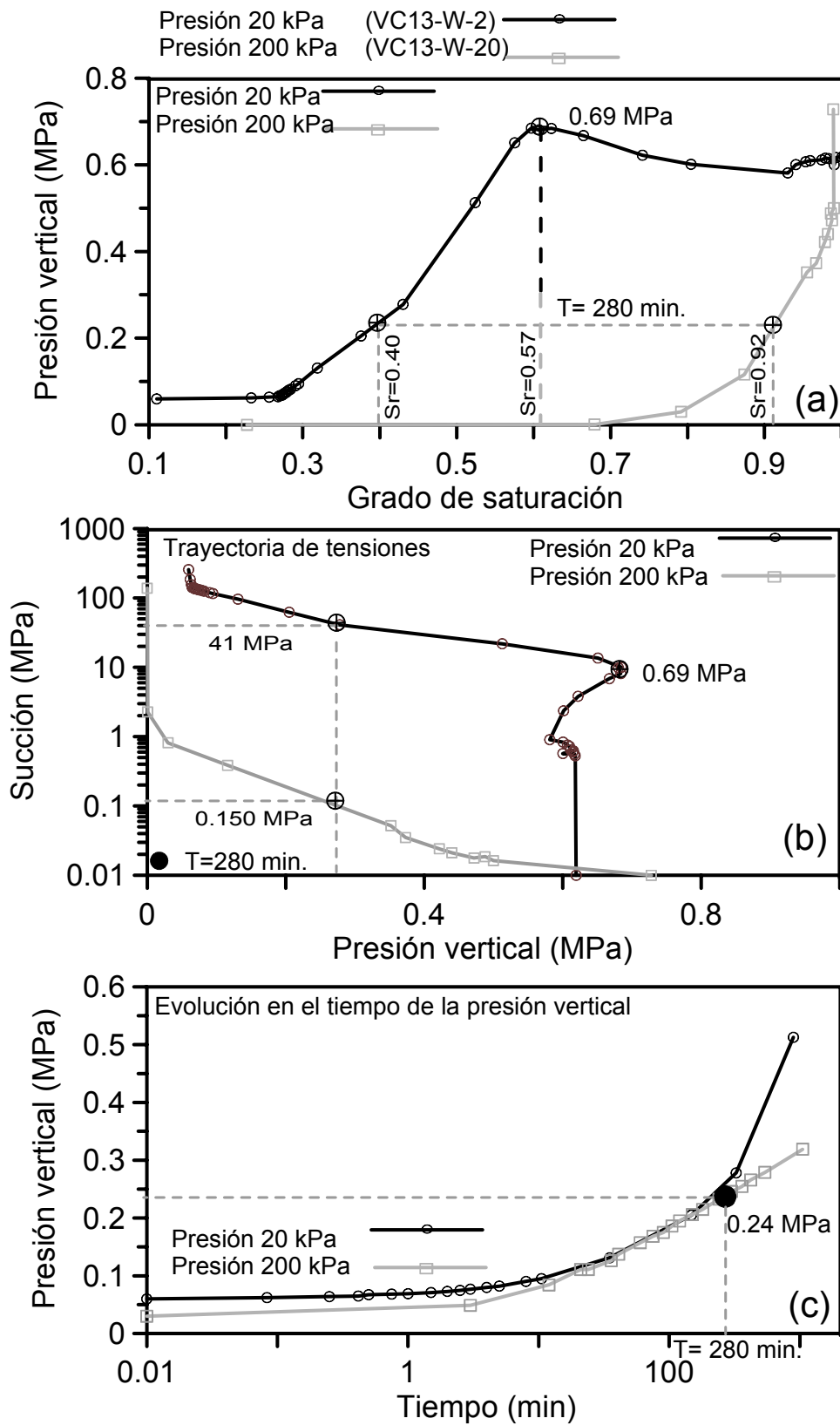


Figura 4.59- Resultados obtenidos durante ensayos de presión de hinchamiento utilizando diferentes gradientes de inyección de agua. (a)- Evolución de la presión de hinchamiento con el grado de saturación. (b)- Trayectoria de tensiones. (c)- Evolución en el tiempo de la presión vertical durante la parte inicial del ensayo.

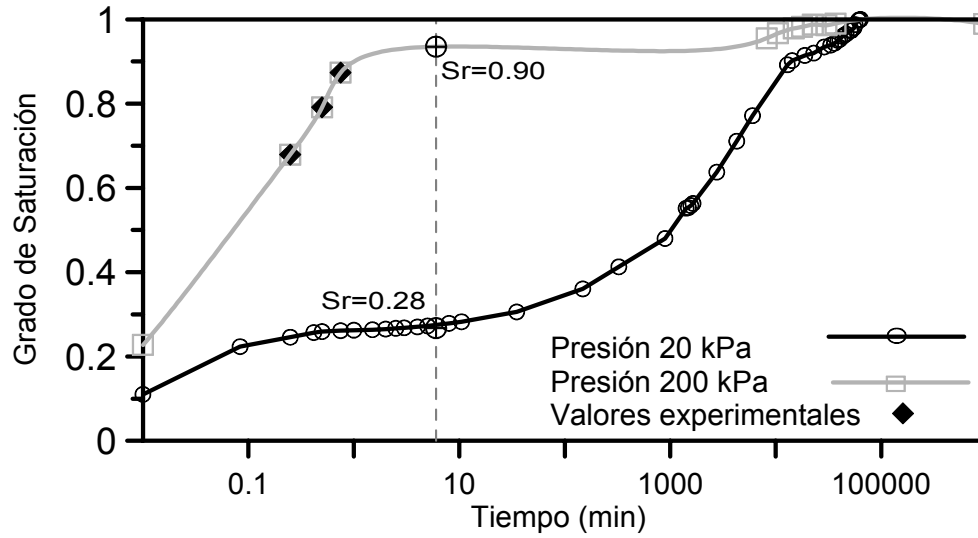


Figura 4.60- Evolución en el tiempo del grado de saturación para ensayos de humedecimiento a volumen constante con distintos gradientes de inyección de agua.