

Los rechazos minerales procedentes la explotación de calizas: limitaciones para su uso como sustrato para la restauración ecológica.

Autores:

R. Josa (1), M. Jorba (2), A. Hereter (3) y R. Vallejo (4)

(1) Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia (UPC).

(2) Departament de Biologia Vegetal (UB).

(3) Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (CEIB-UPC).

(4) Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la normativa vigente, las explotaciones mineras deben desarrollar y aplicar planes de restauración ecológica para corregir el impacto ambiental que genera la extracción del recurso natural. El éxito de la revegetación es la integración de diversos factores tanto ambientales como de ejecución. Entre los factores con incidencia directa se pueden citar las características climáticas locales, las condiciones meteorológicas en las fases iniciales de implantación, la calidad del material vegetal utilizado (Vallejo, 1996), las características geomorfológicas de las áreas a restaurar, la profesionalidad en la ejecución y mantenimiento y lógicamente la calidad del material mineral que se va a utilizar como sustrato.

Las demandas de sustrato para las tareas de revegetación suelen ser superiores a la disponibilidad del suelo natural original y la adquisición de la tierra vegetal necesaria suele ser la vía más empleada por las empresas explotadoras. La mayor parte de las veces, la restauración requiere como paso previo la generación y la disposición adecuada de materiales terrígenos convenientemente enmendados en las superficies finales de la explotación (Alcañiz et al, 1989 y Alcañiz et al, 1996) donde se implantará la vegetación prevista en el programa de restauración ecológica. La reconstrucción del medio edáfico es, pues, el primer paso para la reconstrucción del sistema natural (Jasper, 2002).

La minería a cielo abierto genera materiales minerales de rechazo sin salida comercial ni asimilables en los propios procesos industriales. Estos materiales tienen diferentes orígenes: decapado de la *tierra vegetal* (o suelo natural que incorpora abundantes restos vegetales), procedente directamente de las voladuras (materiales que por su composición petrográfica no son aptos para el proceso industrial) o bien residuo generado a partir de la trituración de piedra caliza para la obtención de áridos. La cantidad de material de rechazo puede representar entre un 5-20% del total de material extraído y si no se utiliza como sustrato para la restauración ecológica, suele eliminarse vía vertedero.

De hecho, los programas de restauración integrada, fomentados por la administración autonómica, determinan que coexistan áreas en proceso de restauración con áreas en explotación. Así, los materiales de rechazo que se generan en una zona pueden ser utilizados en otra, minimizando los problemas de almacenamiento y eliminación de los rechazos y obtención de sustratos aptos para la revegetación. Pero conviene recordar que un sustrato debe proporcionar las condiciones adecuadas para el desarrollo de la vegetación y determina en gran parte el éxito o el fracaso de la restauración, de aquí la importancia de caracterizar y corregir convenientemente el material de rechazo que se va a utilizar como sustrato ya que suelen presentar limitaciones severas.

Estos sustratos, obtenidos a partir del material de rechazo, se asemejan más a suelos pedregosos o esqueléticos (suelos minerales con un elevado contenido en piedras y fragmentos de roca) que a los sustratos que se utilizan habitualmente en jardinería. Este carácter esquelético, a su vez también los diferencia de los suelos agrícolas donde las fracciones finas son dominantes y los elementos gruesos (fracciones superiores a 2 mm) suelen ser un componente poco frecuente y por tanto con poca influencia sobre la fertilidad.

De hecho, los suelos pedregosos se comportan como un medio formado por dos fases de porosidad bien diferenciada: los abundantes elementos gruesos (EG) favorecen el desarrollo de poros de gran diámetro muy eficaces en los procesos de infiltración, redistribución y drenaje rápido del agua, mientras que los elementos más finos, que se albergan en los huecos que existen entre las piedras, generan la porosidad capaz de retener agua disponible para la vegetación (mesoporos o poros de almacenamiento entre 60 y 0,2 micras de diámetro equivalente). Por otra parte, las características porosas de los elementos gruesos pueden afectar el valor final de la porosidad del sustrato (Ashby, et al., 1982).

OBJETIVOS

Este artículo se centra en la problemática de los sustratos de restauración y presenta los resultados obtenidos del estudio con materiales que se aplican en la restauración en 6 explotaciones de piedra caliza, localizadas en el macizo del Ordal-Garraff (Barcelona). La elevada pedregosidad del sustrato es un factor de difícil corrección una vez está dispuesto en el área de restauración, pero que ejerce una fuerte influencia sobre la capacidad de almacenar agua disponible. A partir de funciones que transforman los contenidos en peso de una fracción a contenidos en volumen, se discuten algunos aspectos físicos de la fertilidad. En concreto se analiza la influencia de los abundantes elementos gruesos presentes sobre la capacidad de los sustratos de restauración para almacenar agua disponible para la vegetación.

EXPLORACIONES ESTUDIADAS

Los datos recogidos en ésta publicación proceden de 57 parcelas de restauración, estudiadas a lo largo de diversos años y agrupadas en 6 explotaciones activas, con planes de restauración aprobados y en proceso de aplicación. Las explotaciones pertenecen a los términos municipales de Cervelló, Vallirana, Begues y Sitges y se disponen a lo largo de un eje norte-sur de 17 km, con un desnivel máximo de 450 m (desde 50 a cerca de 500 m snm). Todas ellas están en la zona del macizo del Garraf – Ordal, una gran parte del cual está integrada en dos zonas catalogadas como *espacios naturales* afectados por planes de protección especial (PEIN): el Parc del Garraf y el espacio de les Muntanyes de l'Ordal.

El macizo de Garraf – Ordal es el extremo sur de una estructura geológica tipo horts, paralela a la línea de costa y que se prolonga hacia el norte, al otro lado del río Llobregat en las sierras de Collserola y Montnegre (Gómez-Gras et al., 2001). El macizo en su conjunto presenta tres litologías bien diferenciadas: pizarras paleozoicas y depósitos de la serie clásica del triásico Catalán en el flanco norte y las calizas y dolomías del Cretácico inferior en el lado sur. Las explotaciones estudiadas aprovechan las calizas grises con intercalaciones dolomíticas y las calizas masivas compactas con niveles dolomíticos del cretácico inferior (Valanginiense-Barremiense) y tienen como principal actividad la producción de cemento y /o de áridos.

En el 26% de las parcelas se ha utilizado material de rechazo procedente de la trituración de caliza (Trituración), mientras que en el 74% restante se utiliza material de rechazo proveniente directamente de voladuras (Voladura).

El tipo de clima, sobre la base del índice de humedad de Thornthwaite, varía entre seco subhúmedo (C1) y subhúmedo (C2) y se caracteriza por un notable déficit hídrico (entre 100 y 300 mm /año) como muestra la tabla nº 1.

La granulometría de los sustratos es muy variable según sea su procedencia y proceso de obtención. En la figura 1 se muestra la curva granulométrica de muestras medias, con indicación del límite entre los elementos gruesos (EG, fracción mayor de 2 mm) y la tierra fina (TF, fracción por debajo de 2 mm de diámetro equivalente) Aunque se trata de valores representativos, algunos pueden estar sesgados por la presencia de fragmentos de roca muy gruesos que exigen muestras representativas de gran tamaño y que escapan de los procesos de muestreo rutinarios. La relación, en peso, entre ambas fracciones (TF : EG) es de 1:3 o 1:4 en el material procedente de voladura, mientras que es más variable en el procedente de trituración, donde puede ser prácticamente de 1:1.

Por lo que respecta a la fracción menor de dos milímetros, muestra una variabilidad similar, tanto por la localidad de origen como por el proceso de obtención. A pesar de las diferencias observables, éstas no han resultado ser significativas en los casos que ha sido posible analizarlo estadísticamente. Esto es consecuencia de las dos características básicas de estos materiales: su variabilidad ligada al emplazamiento concreto de procedencia, aún dentro de una misma explotación y el amplio espectro de tamaños de partícula que contienen.

FERTILIDAD QUÍMICA DE LOS SUSTRATOS

La fertilidad de un sustrato incluye por lo menos tres aspectos diferenciados: la fertilidad química, la fertilidad física y la fertilidad biológica. Aunque se tratarán fundamentalmente aspectos de la fertilidad física, se expondrán brevemente los condicionantes químicos de la fertilidad que se han observado en este tipo de sustratos. Por otro lado, indicadores biológicos de buenas condiciones de rehabilitación son los niveles de carbón orgánico, respiración y biomasa microbiana y el desarrollo de invertebrados del suelo (Jaspe, 2002).

En general y por su propio origen, la fertilidad química de los sustratos, es baja y suele corregirse aplicando enmiendas orgánicas de origen diverso, aunque con frecuencia se utilizan biosólidos procedentes de depuradora (lodos de depuradora). En la tabla 2 se presentan algunos parámetros químicos de los sustratos sin y con enmienda orgánica (lodos de depuradora). La riqueza en elementos fertilizantes se expresa como concentración en peso (por ejemplo: mg de P / kg de tierra fina), al igual que se hace con las fracciones granulométricas. Si se conoce la densidad aparente y el espesor del sustrato, se puede expresar como concentración por unidad de superficie (mg de P / ha).

Como es de esperar los niveles iniciales de materia orgánica son muy bajos al igual que los de N y P, pero se corrigen con la aplicación de biosólidos superando, a menudo las concentraciones normales en el medio natural. No obstante y dada la basicidad del medio la disponibilidad de P es de esperar que disminuirá progresivamente. No se han detectado problemas de salinidad en los sustratos minerales no enmendados. El contenido en carbonato cálcico es superior en el material triturado y el elevado pH que muestran la mayoría de sustratos se reduce sustancialmente con la aplicación de los lodos. El carácter básico puede provocar deficiencias de micronutrientes como: Fe, Mn, Zn, B y Cu.

FERTILIDAD FÍSICA DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS.

La distribución espacial de las partículas y agregados de un sustrato determina su porosidad y establece por tanto las condiciones de aireación, circulación de agua y retención hídrica, e incluso influye en su régimen térmico. La adecuada conjunción de estos factores es tan necesaria para el correcto desarrollo de las plantas como la disponibilidad de nutrientes y es lo que se conoce como fertilidad física. La abundancia de elementos gruesos influye en la organización del espacio poroso y en consecuencia repercute sobre la dinámica del agua en el sustrato: la retención de agua en el sustrato y su disponibilidad para la vegetación. El déficit anual de agua que presenta la zona de Garraf-Ordal hace que la disponibilidad hídrica aparezca como un factor que limita el desarrollo de la vegetación, por lo que la opción de aplicar riegos puntuales de soporte debe considerarse como una opción de interés si se pretende obtener un buen resultado final de revegetación

En medio agrícola las necesidades de riego por gravedad, se determinan sobre la base de las necesidades de evapotranspiración del cultivo, a la precipitación y a características físicas del suelo, como por ejemplo el agua retenida a capacidad de campo (CC), que se alcanza al final del drenaje o el agua retenida en el punto de marchitez permanente (PMP), humedad a partir de la cual algunas plantas se marchitan de forma irreversible.

Estos parámetros (CC y PMP), cuantificables en condiciones de laboratorio, están asociados a la estructura y a la distribución de las partículas más finas. Se puede obtener una buena aproximación de sus valores a partir de la textura del suelo, bien sea utilizando modelos matemáticos (Gupta y Larson, 1979, Rawls et al, 1991) o simplemente a través de correlaciones obtenidas a partir de medidas experimentales. Habitualmente se miden como contenido de agua en peso (peso agua /peso suelo) y utilizando la densidad aparente se transforman a fracciones volúmicas (volumen agua /volumen suelo). En general y dentro de un rango de valores, contenidos elevados de arcilla se asocian a mayores cantidades de agua retenida. Conviene recordar que los valores utilizados en estos modelos se refieren exclusivamente a la fracción mineral, de forma que es posible incrementar la retención de agua con la utilización de materia orgánica (Sort, 1999). Los efectos de éste tratamiento no se discuten en este artículo.

Estos suelos de restauración se diferencian de un sustrato hortícola o de los utilizados en jardinería, por la mayor amplitud del rango de diámetros de partículas y difieren en su comportamiento de los suelos agrícolas por la elevada cantidad de piedras y fragmentos de roca. Los elementos gruesos favorecen una porosidad total mayor y de mayor diámetro equivalente (macroporos), mientras que las partículas menores, solas o en forma de agregados, se acumulan en los huecos creados como consecuencia de la trabazón de aquellos. El resultado global es complejo, con macroporos que incluyen los mesoporos (diámetro entre 60 y 0,2 micras) que son en definitiva los responsables que el sustrato retenga el agua para ser utilizada por la vegetación y los microporos.

La presencia de cuantiosos elementos gruesos disminuye la masa volúmica aparente de la tierra fina (Gras, 1988) y en consecuencia disminuye la capacidad de almacenamiento de agua. Para visualizar este efecto se pueden usar algunas relaciones empíricas que permiten trasladar el contenido de la fracción elementos gruesos expresada en unidades de peso, a unidades de volumen (Mc Cormack, et al, 1984). Hay que señalar que estas relaciones dependen de la densidad aparente del material y de la densidad real de la fracción y por tanto su aplicación puede estar condicionada por las características de la roca y de la tierra fina. En la figura 2 se

presentan los resultados de aplicar una de estas transformaciones (Baize,1988) al conjunto de muestras procedentes de las canteras de Garraf-Ordal.

Aplicando este razonamiento al conjunto de muestras estudiado se obtiene una distribución de fases y fracciones del sustrato como la que muestra la figura 3. Las muestras se han ordenado a lo largo del eje de abscisas por el contenido creciente en elementos gruesos y se ha estimado el volumen de agua que puede retener el sustrato a capacidad de campo (CC). El volumen de huecos restante se ha expresado como volumen de aire a CC.

De la grafica se pueden extraer algunas conclusiones. En primer lugar el volumen de agua retenido a CC por cualquiera de las muestras es muy pequeño (en todos los casos inferiores al 10%, llegando en casos extremos a valores entorno al 1-2 %). Para un mismo contenido de EG, los valores diferentes que pueden observarse corresponden a distintas texturas de la tierra fina. Por último debe destacarse que aproximadamente un 30% del espacio poroso estará libre de agua debido al mayor diámetro equivalente de los poros que tienen los sustratos como consecuencia del mayor contenido en elementos gruesos.

En definitiva, se trata de suelos que tienen una capacidad de retención de agua muy reducida, lo que da un medio edáfico árido, muy desfavorable para que la vegetación pueda resistir los períodos de estrés hídrico típicos del ambiente mediterráneo. Esta característica sólo puede ser corregida eficazmente incrementando el volumen de la fracción de TF o aplicando, durante las fases de implantación de la vegetación, riegos de apoyo debidamente dimensionados a partir de la capacidad real del sustrato para retener agua (mesoporosidad + microporosidad).

Si se agrupan las muestras por su origen (voladura o trituración) no se aprecian comportamientos muy diferenciado, tal como se muestra en la tabla 3, lo que indica que en éste caso, no hay grandes diferencias relacionadas con el proceso de obtención del material.

RELACIÓN ENTRE AGUA DISPONIBLE Y TIERRA FINA

Si bien la retención hídrica a CC, es un indicador interesante del agua que puede tener la vegetación a su disposición, es más habitual considerar la capacidad de retener agua disponible para la vegetación (CRAD), que se obtiene por diferencia volúmica entre CC y PMP, para un espesor de suelo (e) determinado:

$$CRAD = (CC - PMP) * e.$$

En la figura 4, se presentan los valores medios volumétricos de CRAD y de PMP calculados para las muestras agrupadas por localidades. Se observa el comportamiento diferenciado de ambos parámetros. A partir de los valores de la figura 4 se puede calcular que para un sustrato de 0,5 m, la CRAD puede pasar de 17,5 (Sitges) a 8 (Cervelló) L m⁻², al disminuir el volumen de tierra fina del sustrato. Esto significa doblar el valor de la CRAD y por tanto, en este caso doblar los recursos del suelo para hacer frente a los períodos de estrés hídrico, a condición que las aportaciones de agua permitan alcanzar los valores máximos de la reserva

Las características granulométricas de los sustratos son poco favorables a la retención de agua útil y sustentan la necesidad de aplicar riegos de apoyo para minimizar el estrés hídrico durante los meses más secos. El interés de la aplicación de los riegos crece en paralelo al contenido de tierra fina.

El dimensionado de los riegos debe hacerse de forma adecuada para evitar pérdidas de agua por drenaje a la vez que se alcanza la máxima reserva de agua útil para poder satisfacer las necesidades hídricas de la vegetación durante el mayor tiempo posible. Para ello debe tenerse en cuenta, las características granulométricas del sustrato, en particular el contenido de tierra fina respecto el volumen total de suelo. De aquí el interés de establecer procedimientos simples para determinar las relaciones entre peso y volumen de estas dos fracciones presentes en los sustratos.

CONCLUSIONES.

Se ha estudiado la fertilidad física de un total de seis sustratos (57 muestras) de restauración utilizados en 6 canteras de caliza de la zona del Garraf – Ordal. Como sustrato de restauración se utilizan materiales provenientes directamente de voladura o bien de rechazo de trituración del proceso de obtención de áridos.

Los resultados de aplicar la función propuesta por Baize (1988) para transformar los pesos de las distintas fracciones a volumen de la fracción respecto a volumen de sustrato, indican que la tierra fina ocupa un espacio realmente muy pequeño (entre el 13 y el 28 % del volumen del sustrato) y por tanto su capacidad para retener agua a capacidad de campo es también muy limitada, con independencia de sus características texturales. Pero además sólo se utilizará una parte ya que el agua de los microporos la puede utilizar con dificultad, de forma que el agua útil se reducirá entre el 50 % y el 36 % de la que el sustrato es capaz de retener.

Dadas las condiciones climáticas de la zona, la disponibilidad hídrica aparece claramente como un factor que puede comprometer los programas de restauración si no se asumen planes de riegos adecuados y / o correcciones de la granulometría.

En consecuencia, las aplicaciones de riego deben calcularse en función de la pequeña capacidad de reserva hídrica y adecuando la frecuencia de aplicación a la demanda evaporativa. De todos modos, la composición granulométrica debe permitir una dinámica hídrica suficiente una vez se finalicen las tareas de mantenimiento. Por tanto la correcta caracterización física de este tipo de materiales de rechazo, haciendo un esfuerzo en caracterizar el volumen de tierra fina presente, permitirá establecer una gestión mejor de los sustratos en función de cada tipología, de las características de las precipitaciones locales y de las necesidades de la vegetación. Si además se corrige adecuadamente la fertilidad química de estos materiales se pueden mejorar los resultados obtenidos hasta el momento en restauración ecológica y su uso podría ser más extensivo.

BIBLIOGRAFÍA

Alcañiz, J. M., Jorba, M., Josa, R., Solé, A., Vallejo, R., 1989. Guia per a la restauració de sòls en pedreres de roca calcària. D. Política Territorial i O. P., Generalitat de Catalunya, Doc. Dif. Res., 46 p.

Alcañiz, J. M., L. Comellas; M. Pujola.1996. Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora: recuperació de terrenys marginals. Ed. Junta de Sanejament, Generalitat de Catalunya. Barcelona.

Ashby, W. C., Vogel, W. G., Kolar, C.A. y Philo, G.R., 1984. Productivity of stone soils on strip mines. **In:** Erosion and productivity of soils containing rock fragments. Nichols, J.D., Brown, P.L. y Grant, W.J. **ed.** SSSA Special Publication N. 13. Madison, pp 31-44.

Baize, D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris, 72 p.

Gómez-Gras ,D., Parcerisa, D., Calvet, F., Porta, J., Solé de Porta, N. y Civís, J. 2001. Stratigraphy and petrology of the Miocene Montjuich delta (Barcelona, Spain). Acta Geológica Hispánica. **36:**115-136.

Gras, R. 1988. Physique du sol pour l'aménagement. Masson. Paris. 587 pp.

Gupta, S.C. y Larson, W.E., 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter and bulk density. Water Resour. Res. **15:** 1633-1635

Jasper, D., 2002. Indicators and monitoring of rehabilitation. In: "Encyclopedia of Soil Science" R. Lal, Ed. New York, pp. 1101-1103.

McCormack, D.E., Young, K.K., y Darby, G.M. 1984. Rock fragments and the K factor of the Universal Soil Loss Equation. **In:** Erosion and productivity of soils containing rock fragments. Nichols, J.D., Brown, P.L. y Grant, W.J. **ed.** SSSA Special Publication N. 13. Madison, pp. 73-81.

Rawls, W.J., Grish, T.J. y Brakensiek, D.L., 1991. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. Ad. Soil Sci. **16:** 213-234.

Sort, X., Alcañiz, J.M. 1999. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. Soil and Tillage Research. 49(4): 337-345

Vallejo, R., 1996. La restauración de la cubierta vegetal en la comunidad valenciana. CEAM, Valencia.

Localidad	Altura m snm	Precipitación media (mm)			Temp. (°C)		ETP	D. Hídrico (mm)
		Anual	Verano	Otoño	Anual	Agosto		
Vallcarca	50 aprox	500-550	100-200	200-220	15-16	22-23	712-855	200-300
Vallirana	500	700-750	120-140	240-260	12-13	20-21	712-855	100-200

Tabla 1. Indicadores climáticos de las estaciones situadas en los extremos N y S del área estudiada.

Fuente: Atlas climático de Catalunya. **D. Hídrico** = déficit hídrico

Localidad	Proceso	CaCO ₃ %	pH	MO %	N g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹
Vallirana	Voladura	32,0	8,3	0,7	0,9	
Begues	Voladura	59,6	7,6*	2,7*	15,8*	140*
Cervelló	Trituración	67,9	7,8*	3,1*		429*
Begues	Trituración	76,3	7,9*	2,6*	17,6*	239*
Sitges	Trituración	71,8	8,2*	1,8*		202*

Tabla 2. Características químicas del material utilizado en las restauraciones del macizo de Garraf-Ordal. Los parámetros seguidos de un asterisco (*) corresponden a las muestras que incorporan enmiendas orgánicas. **N** = nitrógeno total, **P**= Fósforo extraíble por el método Olsen. **M.O.** = Materia orgánica.

Condiciones de CC			Voladura	Trituración
Aire	% vol/vol		28,7	31,3
Agua retenida	% vol/vol		4,8	4,2
Tierra fina	% vol/vol		13,6	17,9
Elementos gruesos	% vol/vol		52,8	46,6

Tabla 3. Distribución de los distintos componentes en función del proceso de obtención del sustrato. CC = Condiciones de capacidad de campo.

Figura 1. Curvas granulométricas medias por tratamiento y origen del sustrato

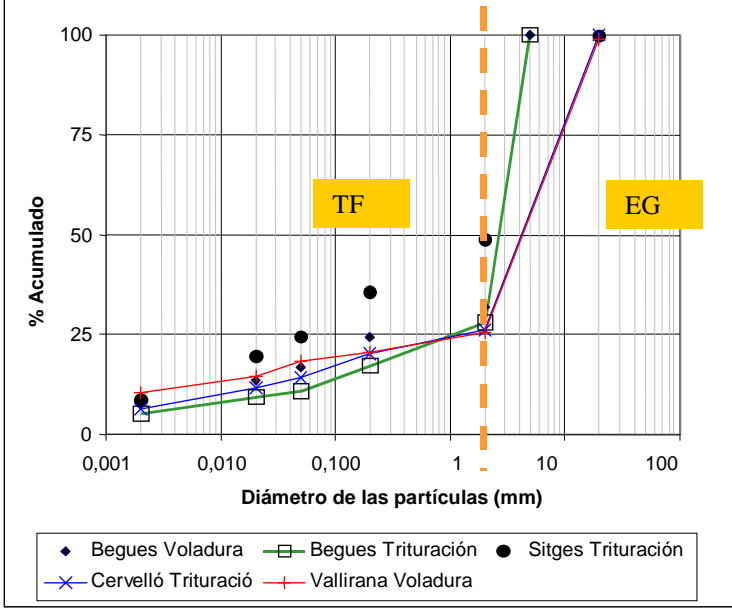


Figura 2. Aplicación de la transformación de Baize et al, 1988 a la fracción elementos gruesos

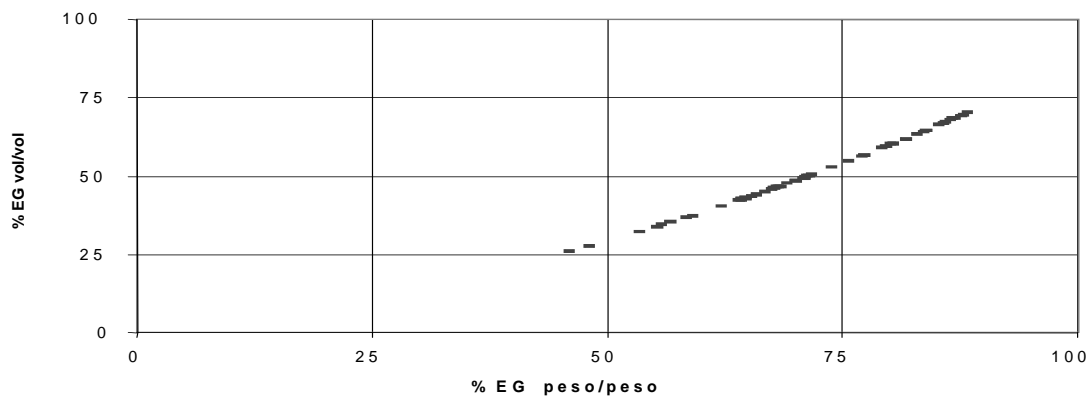


Figura 3. Distribución volúmica de las fases y fracciones a CC, en el conjunto de las muestras

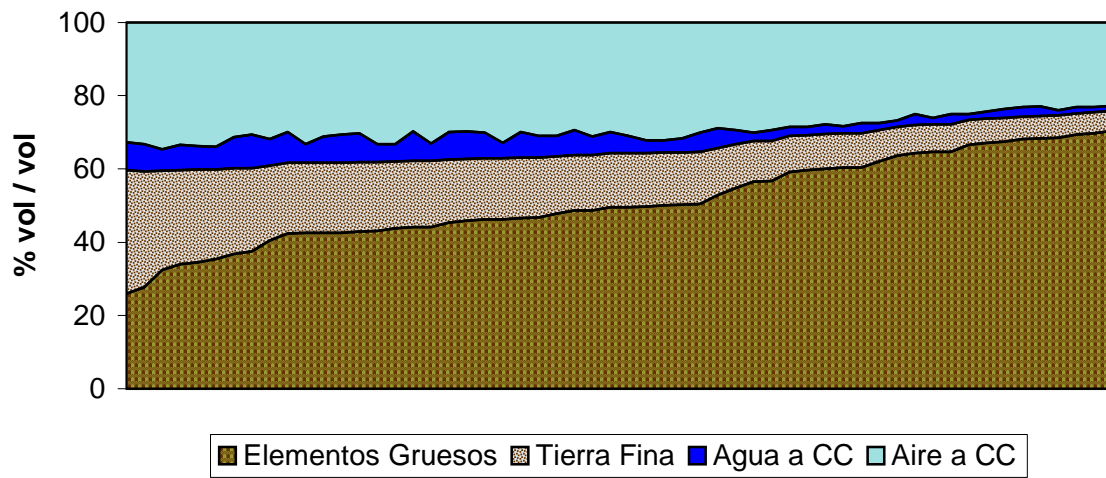


Figura 4. Distribución de las fases y fracciones de los sustratos a capacidad de campo

