

METODOLOGIA DEL MAPA PREVISOR DE RIESGOS POR EXPANSIVIDAD DE ARCILLAS EN ESPAÑA A ESCALA 1:1.000.000^(*)

CARLOS OTEO

Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)

JOSE L. SALINAS

Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)

MERCEDES FERRER

Instituto Geológico y Minero de España

1. INTRODUCCION

La capacidad expansiva de los suelos está condicionada por numerosas variables. Si en último término depende de características intrínsecas de los mismos, las condiciones en que se encuentran y, más específicamente, las modificaciones que se introduzcan a su estado natural, determinan que esa capacidad pueda o no desarrollarse. Cualquier intento de clasificación de la expansividad de un suelo debe, pues, recoger esas alternativas.

Con el propósito general de facilitar una primera información a los técnicos responsables del proyecto de cimentaciones acerca del riesgo de expansividad de las arcillas, se ha elaborado un mapa de España a escala 1.000.000 en que se recoge dicho riesgo. En su realización han colaborado el Instituto Geológico y Minero de España y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Se pretende que este trabajo constituya una primera etapa en una serie de estudios regionales sobre el tema.

Los criterios de clasificación del riesgo expansivo de los suelos arcillosos en España pretenden sintetizar la importancia relativa de las distintas variables implicadas en el fenómeno. Para la valoración de la capacidad expansiva se tienen en cuenta datos cuantitativos directos obtenidos de ensayos de expansividad. Estos valores se completan con otros indirectos derivados de las

(*) Este artículo es traducción del presentado al Fifth International Congress de la LAEG, Buenos Aires, 1986.

características geotécnicas de los suelos, agrupados por formaciones cronolitológicas, y se contrastan con índices climáticos. Se llega finalmente a zonas de equiexpansividad potencial, que se clasifica en 4 grados, y que se reflejan cartográficamente.

2. METODOLOGIA

La Figura 1 resume los criterios seguidos para la clasificación de arcillas expansivas en España. Comprenden varias líneas concurrentes de actuación:

- Definición de unidades cronolitológicas (referidas únicamente a las formaciones arcillosas).
- Definición, mediante el índice de Thornthwaite, de las condiciones climáticas regionales, utilizando estudios previamente realizados por Justo y Cuéllar (1972) y Rodríguez Ortiz (1975).
- Recopilación de información sobre ensayos de laboratorio de formaciones arcillosas obtenida mediante una encuesta realizada entre las principales entidades públicas y privadas con laboratorios homologados.
- Revisión sectorial de ensayos de expansividad, contrastados con eventuales problemas derivados de la expansividad, y adscripción a las diferentes unidades cronolitológicas.

Con la primera línea de actuación se pretendía asegurar una clasificación de suelos con unas características mineralógicas, texturales y estructurales equiparables (facies e historia geológica equivalente). Esto conlleva una capacidad

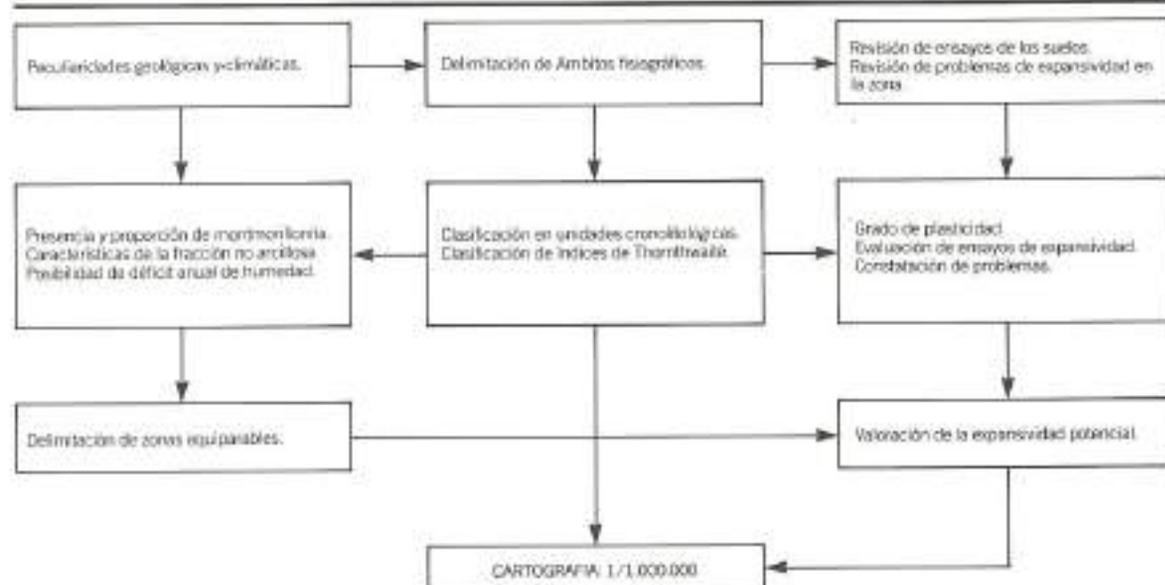


FIGURA 1. Metodología para la clasificación de arcillas expansivas en España.

Grado de expansividad	Limite Líquido (promedio)	Limite Líquido (extremo)	P.V.C. (Ensayo de Lambe)	Expansión lineal probable %	Presión de hinchamiento (KN/m ²)
Nulo a bajo	<35	<20/<50	<2	<1	<25
Bajo a moderado	35-50	20-30/50-70	2-4	1-4	25-125
Moderado a alto	50-65	30-40/70-90	4-6	4-10	125-300
Alto a muy alto	>65	>40/>90	>6	>10	>300

CUADRO 1. Índices para evaluar la capacidad de hinchamiento de una formación arcillosa.

expansiva específica de la formación sedimentaria, que, a nivel global, puede ver relacionada con otras similares. Esa capacidad expansiva específica se matizó de acuerdo con el índice climático de la zona en que se encontraba.

Al mismo tiempo, la adscripción a esas unidades cronotitológicas de ensayos de expansividad, completados eventualmente con otros de plasticidad para disponer de un mayor número de datos, permitió valorar las alternativas expansivas inherentes a la formación sedimentaria y, consecuentemente, evaluarlas. La Tabla 1 resume los índices de valoración —además de los índices climáticos de Thornthwaite— utilizados. En el caso de existir referencias a problemas constructivos concretados a un tipo de suelo, la formación se definió obviamente como de máximo riesgo de expansividad.

La correlación entre plasticidad y capacidad de hinchamiento se realizó analizando el límite líquido y el índice de expansividad Lambe alcan-

zado en cada caso. Aunque, como muestra la Figura 2, es frecuente la superposición de plasticidades para un mismo grado de expansividad, globalmente sus valores medios y extremos se van incrementando con la misma, resultando estadísticamente más frecuentes las referencias que recoge el Cuadro 1.

Se evaluó asimismo la incidencia de la humedad natural sobre la capacidad expansiva del suelo. Así, clasificando en 4 grados la expansividad de suelos consolidados procedentes del Mioceno de la ciudad de Madrid (formación arcillosa que ha sido origen de problemas) se obtuvo la siguiente relación:

% Humedad natural media	Expansividad probable (Cambio de volumen, %)
22	<1
19	1-4
16	4-10
13	>10

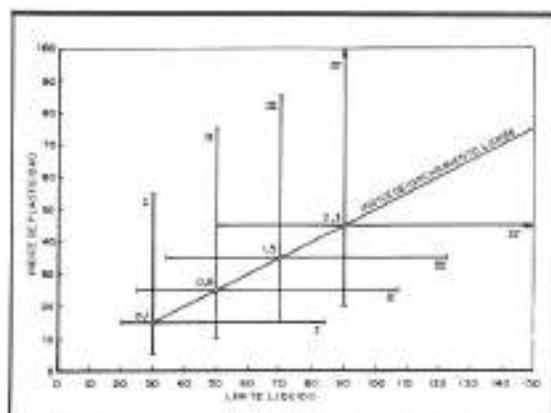


FIGURA 2. Distribución de plasticidades de suelos españoles para índices de Lambe característicos.

Relacionando los valores del límite líquido y los resultados obtenidos en el ensayo de presión de hinchamiento, y comparándolos con la humedad natural de la muestra, se obtuvo el gráfico que recoge la Figura 3. Aproximadamente el

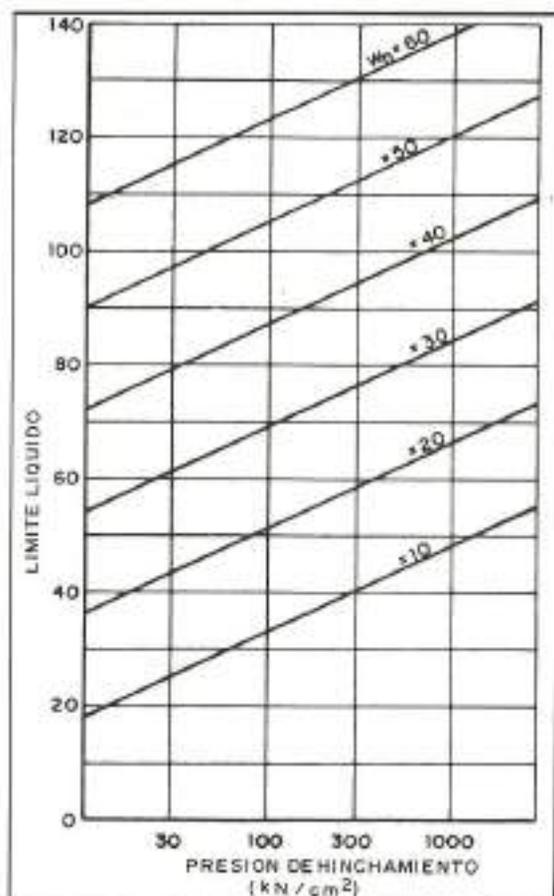


FIGURA 3. Correlación entre L.L. y P.H. en función de la humedad natural para suelos españoles consolidados.

90% de los contenidos de humedad quedaron comprendidos en el intervalo $\pm 5\%$ de la humedad natural señalada.

Como un resultado colateral, Oteo (1986) ha desarrollado un criterio para evaluar la expansividad de los suelos españoles. Este criterio relaciona la humedad natural y el límite líquido con la presión de hinchamiento y el hinchamiento libre de los suelos (de forma similar a los criterios de Vijayvergiya y Ghazzaly (1973) y Cuéllar (1978), pero con mayor énfasis en el riesgo de expansividad).

Estos criterios facilitaron la posterior integración de todos los datos disponibles, tanto de la naturaleza geológica del suelo como de su expansividad potencial, evitándose así en lo posible los errores de correlación a formaciones arcillosas de las que no se disponía de datos geotécnicos.

Finalmente hay que señalar que, como base de partida, y para facilitar una primera integración de datos, se juzgó útil referirlos a ámbitos territoriales con unas características relacionables. Para ello se clasificó el territorio en estudio en zonas de actuación que compartieran ciertas generalidades geológicas, morfológicas y climáticas (peculiaridades en parte coincidentes con cuencas hidrográficas). En total se clasificaron siete ámbitos fisiográficos relacionados por una cierta identidad geomorfológica. Algunos de los criterios mencionados son similares a los utilizados por Patrick y Sneath (1976) para delimitar los materiales expansivos en Estados Unidos por áreas fisiográficas.

3. CRITERIOS DE ACTUACION

Puesto que el grado de expansividad se clasifica generalmente en 4 categorías por numerosos autores (Lambe, 1960; Holtz, 1969; Rodríguez Ortiz, 1975, etc.), es lógico que la valoración del riesgo de expansividad se realizara también en 4 grupos. De esta manera puede equipararse la capacidad expansiva global de unos mismos tipos de suelos, evaluada mediante ensayos, con una potencialidad expansiva de la formación litológica de procedencia.

Los grados de expansividad establecidos fueron los siguientes:

- I. Potencialidad expansiva del suelo nula a baja.
- II. Potencialidad expansiva del suelo baja a moderada.
- III. Potencialidad expansiva del suelo moderada a alta.
- IV. Potencialidad expansiva del suelo alta a muy alta.

La estimación del grado de expansividad de los suelos de una misma procedencia se realizó,

básicamente, de acuerdo con la máxima capacidad expansiva encontrada, la frecuencia con que se manifestaba y sus alternativas.

Complementariamente, como esa capacidad está relacionada con las características del suelo, definidas por su composición, textura y estructura, el grado de expansividad podrá globalizarse para unas mismas unidades cronolíticas.

Las unidades cronolíticas se han establecido en función de la edad geológica y de la litología de las formaciones arcillosas. Son las siguientes:

Edad geológica	
I. Neógeno	Cenozoico
II. Paleógeno	
III. Mesozoico	
IV. Paleozoico	
Litología	
a. Arcillas masivas	
b. Arcillas con limos y arenas, ocasionalmente gravas	
c. Arcillas con carbonatos	
d. Arcillas con sulfatos, con o sin carbonatos	
e. Arcillas con arenas y carbonatos y/o sulfatos	
f. Arenas, ocasionalmente gravas, con limos y arcillas subordinadas	

Finalmente, si la formación cronolítica se encontraba emplazada en una zona climática estacionalmente deficitaria en humedad, su potencial expansivo podría desarrollarse más fácilmente que si ese déficit no se producía. El riesgo expansivo debería contemplar también las alternativas climáticas. Estas alternativas se han clasificado mediante el índice de Thornthwaite, que establece si una zona es climatológicamente deficitaria en humedad.

La conjunción de todos estos criterios condujo a la siguiente clasificación de la capacidad expansiva de los suelos arcillosos, de acuerdo con las 4 categorías anteriormente establecidas:

- I. Arcillas no expansivas o diseminadas en matriz no arcillosa.
- II. Arcillas expansivas subordinadas o emplazadas en zonas climáticas sin déficit anual de humedad.
- III. Arcillas expansivas localmente predominantes y emplazadas en zonas climáticas con déficit anual de humedad.
- IV. Arcillas expansivas zonalmente predominantes o emplazadas en puntos con problemas derivados de la expansividad.

4. BASE DE DATOS

Se ha partido de dos tipos de datos: a) con criterio geológico; b) con criterio geotécnico.

La definición y cartografía de las unidades cronolíticas a escala 1:1.000.000 se realizó a partir de los siguientes documentos:

— Cartografía de base por reducción del Mapa Nacional de Síntesis Geológica a escala 1:200.000 del I.G.M.E.

— Confrontación con el Mapa Geotécnico General a escala 1:200.000 del I.G.M.E.

— Revisión con el Mapa Nacional de Rocas Industriales a escala 1:200.000 del I.G.M.E., Mapas Geotécnicos de Ordenación Territorial y Urbana a escalas 1:100.000 y 1:25.000 del I.G.M.E., Mapa Litológico de España Peninsular e Insular a escala 1:500.000 de Macau y col. y Guía para la elaboración de estudios del medio físico del CEOTMA.

Los datos referentes a la mineralogía, textura y estructura de los suelos arcillosos se obtuvieron en gran parte de la información contenida en las correspondientes Memorias. También se manejaron datos puntuales de otras procedencias, y algunos investigados específicamente para este trabajo.

Los datos estrictamente geotécnicos se obtuvieron a partir de los siguientes documentos:

— Memorias de Mapas Geotécnicos Generales y Mapas Geotécnicos de Ordenación Territorial y Urbana del I.G.M.E. (Escala 1:25.000 a 1:200.000).

— Estudios Previos de Terrenos para Autopistas llevados a cabo por el M.O.P.U. y estudios geotécnicos sectoriales procedentes de informes geotécnicos.

— Trabajos referidos a actuaciones concretas.

La revisión y análisis comparativo de las conclusiones contenidas en esos estudios ha permitido una aproximación, en ocasiones muy concreta, a los problemas de expansividad vinculados a zonas y formaciones litológicas específicas.

— Ensayos de plasticidad y expansividad procedentes de informes realizados por entidades públicas y privadas, además de algunos obtenidos para este trabajo.

El grado de expansividad de las diferentes unidades cronolíticas se ha definido a partir de unos 1.400 ensayos de expansividad y de alrededor de 2.000 ensayos de plasticidad. La distribución de ensayos disponible fue muy variable. Esta dispersión está justificada por la presión constructiva en cada entorno geográfico, pero también por el riesgo de expansividad secularmente presumible en la zona. Es por ello que el

número de ensayos disponibles se incrementaba, en buena parte, para las formaciones con un elevado riesgo de expansividad contrastado por la experiencia.

5. SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACION REALIZADA

La adscripción de un grado de expansividad para una determinada formación litológica no la supone, como es lógico, para todos los términos arcillosos que la integran. Existen alternativas de la misma, puesto que los materiales geológicos no suelen ser ni espacial ni temporalmente continuos al nivel de escala de trabajo desarrollado.

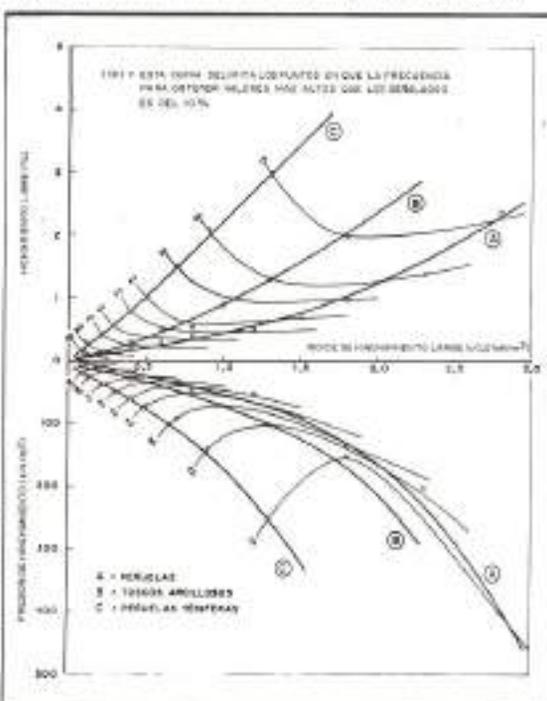


FIGURA 4. Distribución de resultados correspondientes a ensayos de expansividad para suelos de Madrid.

Como ejemplo de esas alternativas, la Figura 4 presenta la capacidad expansiva encontrada para las formaciones arcillosas miocenas de la ciudad de Madrid, suelos que han dado origen a problemas derivados de su expansividad. Los gráficos representan la frecuencia, obtenida en intervalos acumulados de un 10%, de resultados que superan el valor que define. La representación se ha realizado relacionando los valores obtenidos para los ensayos de presión de hinchamiento e hinchamiento libre con el de expansividad de Lambe.

Puede constatar que el porcentaje de suelos con una expansividad clasificable como alta o muy alta, aunque significativo, es ampliamente

minoritario. Ello corrobora el hecho de que los términos litológicos expansivos no son verdaderamente predominantes ni incluso en una formación arcillosa conceptualmente globalmente "expansiva".

Sin embargo, puesto que se trataba de elaborar un mapa predictor de riesgos por arcillas expansivas, habían de ser destacadas aquellas formaciones litológicas que las contenían en proporción significativa, y que se encontraban, por las características climáticas, en condiciones de manifestarse.

En la definición final del grado de peligrosidad de la unidad cronolitológica se llegó a un compromiso entre lo que podría denominarse el "riesgo medio" de expansividad de la formación y el "riesgo máximo", para evitar valoraciones en exceso o poco conservadoras. El "riesgo medio" se adoptó en unidades con arcillas expansivas subordinadas en toda la formación, pero se aceptó el "riesgo máximo" si esas arcillas llegaban a ser en algún momento predominantes y, desde luego, si se habían descrito problemas de expansividad. Al mismo tiempo, esta valoración intrínseca a la unidad cronolitológica se contrastó con factores climáticos.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Las alternativas básicas que caracterizan los distintos grados de expansividad potencial de las unidades cronolitológicas en España pueden resumirse como sigue:

I. POTENCIALIDAD EXPANSIVA DE LOS SUELOS NULA A BAJA.

Características litológicas y/o climáticas desvinculadas de problemas de expansividad. Parámetros definidores:

- Mineralogía poco o nada montmorillonítica (Unidades cronológicas IV y, parcialmente, III).
- Arcillas texturalmente diseminadas (Unidades litológicas f y, parcialmente, e).
- Climatología perhúmeda-subhúmeda.
- Plasticidades bajas y ensayos de expansividad con valores bajos o nulos.

II. POTENCIALIDAD EXPANSIVA DE LOS SUELOS BAJA A MODERADA.

Características litológicas y/o climáticas donde normalmente no deben producirse problemas de expansividad. Parámetros definidores:

- Mineralogía algo montmorillonítica (Unidades cronológicas III y, parcialmente, II).
- Arcillas mayoritariamente diseminadas (Unidades litológicas e y, parcialmente, b).
- Climatología húmeda-subhúmeda.
- Plasticidades máximas de tipo medio y ensa-

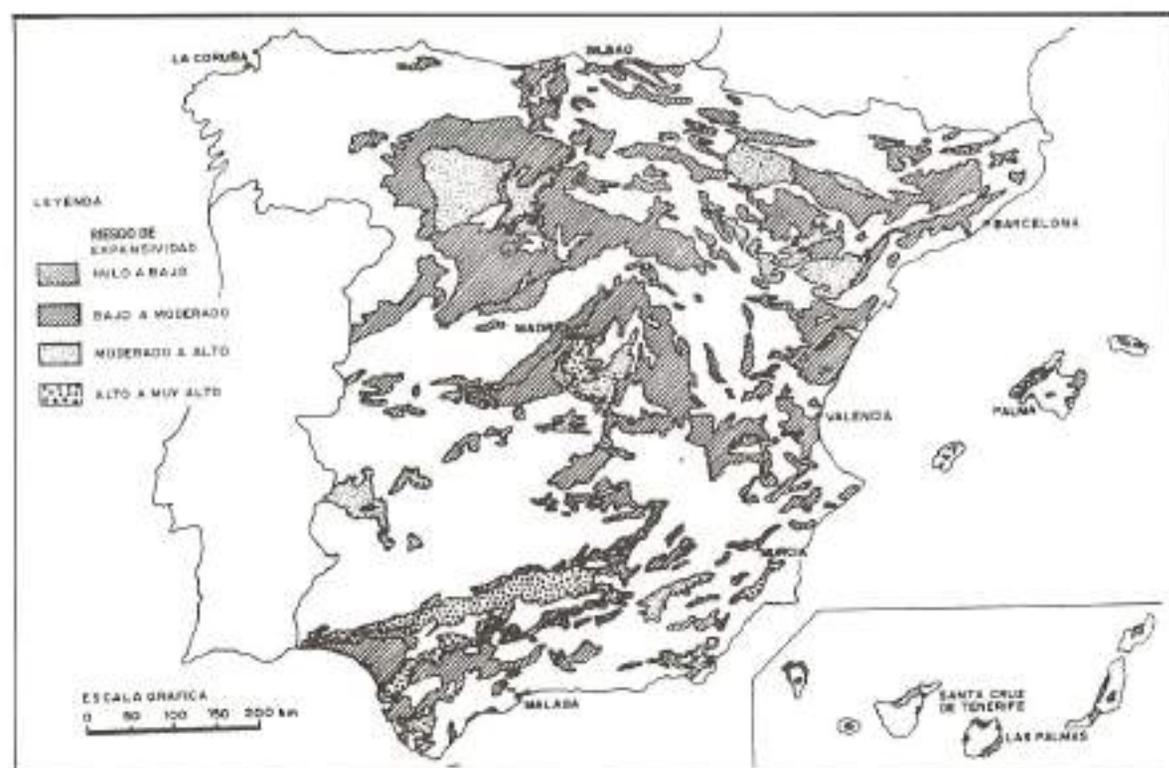


FIGURA 5. Síntesis del mapa predictor de riesgos por expansividad de arcillas en España.

yos de expansividad con valores máximos medios.

III. POTENCIALIDAD EXPANSIVA DE LOS SUELOS MODERADA A ALTA.

Características litológicas y climáticas que pueden producir problemas de expansividad, sin que se hayan localizado referencias a ellos. Parámetros definidores:

- Mineralogía frecuentemente montmorillonítica (Unidades cronológicas I y, parcialmente, II).
- Arcillas en tramos continuos (Unidades litológicas a, c y d).
- Climatología seca-árida.
- Plasticidades máximas de medias a altas y ensayos de expansividad máximos altos.

IV. POTENCIALIDAD EXPANSIVA DE LOS SUELOS ALTA A MUY ALTA.

Características litológicas y climáticas que determinan problemas de expansividad. Parámetros definidores:

- Mineralogía globalmente montmorillonítica (Unidad cronológica I).
- Arcillas en tramos continuos (Unidades litológicas a, c y d).
- Climatología subhúmeda-semiárida.

— Plasticidades que pueden ser muy altas y ensayos de expansividad frecuentemente altos.

La conjunción de estas alternativas se concretó en un Mapa Predictor de Riesgos a escala 1:1.000.000. La Figura 5 presenta una síntesis del mismo a escala aproximada 1:5.000.000. La reducción de escala ha hecho necesario suprimir gran número de detalles del original.

Finalmente hay que reseñar que el riesgo expansivo de los sustratos arcillosos en España se incrementa, globalmente, en la mitad Sur debido a unas condiciones climáticas deficitarias en humedad y a unos litotipos arcillosos geológicamente recientes, con frecuencia muy montmorilloníticos.

La distribución porcentual del riesgo de expansividad inherente a los sustratos arcillosos españoles (aproximadamente el 35% del total del territorio), ha resultado ser la siguiente:

Riesgo de expansividad	Frecuencia %
Nulo a bajo	7,4
Bajo a moderado	64,2
Moderado a alto	21,3
Alto a muy alto	7,1

7. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo pueden resumirse como sigue:

— Ha sido necesario establecer una metodología previa para la cartografía del riesgo de expansividad.

— En el caso de las arcillas expansivas es necesario tener en cuenta, como mínimo, las características cronolitológicas de cada formación arcillosa, el índice climático de la zona en que se encuentra, y los resultados de ensayos de hinchamiento en laboratorio disponibles.

— Es necesario tener también en cuenta datos referentes a la plasticidad y a la humedad natural de los suelos.

— Finalmente, ha sido posible establecer cuatro grados de riesgo de expansividad de las formaciones arcillosas, que se han reflejado en un mapa a escala 1:000.000 para una primera y general previsión de la expansividad presumible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su profunda gratitud a todas las personas que han prestado su colaboración a este trabajo con aporte de datos, comentarios, etc. Especialmente al I.G.M.E. (con referencia a Francisco Ayala, Jefe de la Div. de Geotecnia) y al C.E.D.E.X., patrocinadores del proyecto, y a J. Plaza e I. Ferrero por su cooperación en el tratamiento de los datos.

REFERENCIAS

CEOTMA. 1984. "Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología". Manuales, 3, 372 págs.
 CUELLAR, V. 1978. "Análisis crítico de los métodos existentes para el empleo de arcillas expansivas en obras de carreteras y recomendaciones sobre las técnicas idóneas para su uso habitual en España". Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, 303 págs.

HOLTZ, W.G. 1969. "Expansive Clays Properties and Problems". Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 54, nº 4, pp. 89-153.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Mapa Nacional de Síntesis Geológica. Escala 1:200.000, 87 Hojas y Memorias.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Mapa Geotécnico General. Escala 1:200.000. 93 Hojas y Memorias.

JUSTO, J.L. y CUELLAR, V. 1972. "Humedad de equilibrio en el terreno. Mapa de España del índice de Thornthwaite". Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, nº 89, pp. 3-23.

LAMBE, T.W. 1960. "The Character and the Identification of Expansive Soils". Federal Housing Administration, Report FHA-701, Washington, D.C.

MACAU, F. y COLAB. 1970. Mapa litológico de España Peninsular e Insular. I.N.E., S.G.O.P. e I.G.M.E., Madrid, cartografía 1:600.000 y memoria, 5 págs.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. 1967-1975. Estudios previos de terrenos para autopistas. Varios volúmenes.

OTEO, C. 1986. "Las arcillas expansivas en España: Distribución y propiedades". Curso sobre Cimentaciones en Terrenos metaestables. Instituto Agustín de Betancourt. Madrid.

PATRICK, D.M. y SNETHEN, D.R. 1976. "An occurrence and distribution survey of expansive materials in the United States by physiographic areas". F.H.A., report nº FHWA-RO-76-82, 73 págs.

RODRIGUEZ ORTIZ, J.M. 1975. "Las arcillas expansivas: su estudio y tratamiento". Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, nº 108, pp. 3-30.

VLIJAYVERGIYA, V.N. y GHAZZALY, O.J. 1973. "Prediction of Swelling Potential for Natural Clays". Proc. of the 3rd. Int. Conf. on Expansive Soils, Haifa, Vol. 2, pp. 227-236.



Un aliado
muy rentable.

Motobasculantes



14 Modelos de 1000 a 3000 Kgs.
Diferentes sistemas de descarga.
Tracción a 2 y 4 ruedas.



Carretillas Elevadoras

De 1000 a 2500 Kgs.



Pala Cargadora

Modelo standard: 400 litros.
Versiones con pinzas para troncos,
retro excavadora, etc.



Auto- hormigonera

Capacidad de amasada: 750 litros.



APART. P.O.B. 194
TEL. (93) 874 73 11
TELEX 53102 AUDU E
MANRESA (Barcelona) ESPAÑA