

Aplicación del ensayo M.C.V. en la Presa del Barbate

Por J. L. RAMIREZ VACAS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Por A. SORIANO PEÑA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid

1. INTRODUCCION

El ensayo M.C.V. (Moisture Condition Value) fue desarrollado principalmente por A.W. Parson en el Transport and Road Research Laboratory. El Laboratorio del Transporte (hoy Laboratorio de Geotecnia) del CEDEX y la Sociedad Española de Mecánica del Suelo, publicaron las traducciones españolas de uno de los artículos de A.W. Parsons. (Ver referencias).

En este artículo se da cuenta de una aplicación concreta del M.C.V. al control de ejecución del cuerpo de la presa del Barbate. Las pruebas iniciales se han realizado con el equipo de M.C.V. del CEDEX, a quien se agradece, desde aquí, el permiso para su utilización.

2. DESCRIPCION DEL ENSAYO

El ensayo M.C.V. consiste en compactar una muestra de suelo de aproximadamente 1,5 kg. de peso, con sus condiciones naturales de humedad, dentro de un molde cilíndrico de 100 mm. de diámetro interno. La compactación se realiza con una maza de 7 kg. con caída guiada de 250 mm. golpeando sobre un disco fino interpuesto entre la parte superior del suelo y la maza, evitando, así, la extrusión durante el golpeo.

En el equipo de compactación existe una regleta que permite ir midiendo el descenso de la parte superior del suelo a medida que se va incrementando el número de golpes.

La idea del ensayo estriba en el hecho, bien conocido, de que los suelos que están muy húmedos, respecto a su humedad óptima de compactación, no pueden compactarse aunque se den muchos golpes, mientras que los suelos muy secos pueden seguir compactándose a

medida que se sigue golpeando. (Ver Fig. 1). En principio es posible deducir de la relación entre el número de golpes y el descenso de la cabeza de la muestra, si la humedad es alta o baja para su posterior compactación en obra.

En la fase de desarrollo del ensayo, A. W. Parsons, definió el índice M.C.V. en función de un número de golpes «N» a partir del cual la compactación ya no era prácticamente posible. Tal punto, a su vez, se eligió arbitrariamente como el momento en el que al aumentar el número de golpes en 3N (n.º total de golpes 4N), el descenso de la cabeza de la muestra era precisamente igual a 5 mm. La forma de hacer el ensayo es, de acuerdo con esto, ir midiendo el descenso de la muestra en función del número de golpes, utilizando series crecientes del número total de golpes tales como: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32...

El descenso de la cabeza se calcula después por diferencia entre los golpes 1 y 4, 2 y 8, 3 y 12, etc... Con un gráfico auxiliar sencillo se representa la relación entre el número inicial de

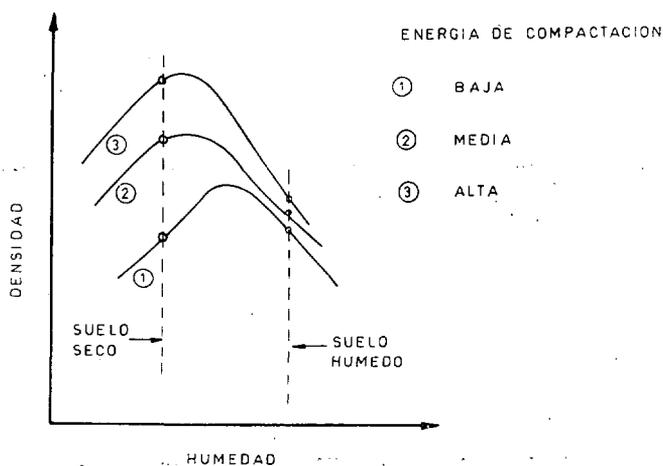


Figura 1.— Esquema de comportamiento de suelos húmedos y secos al aumentar la energía de compactación.

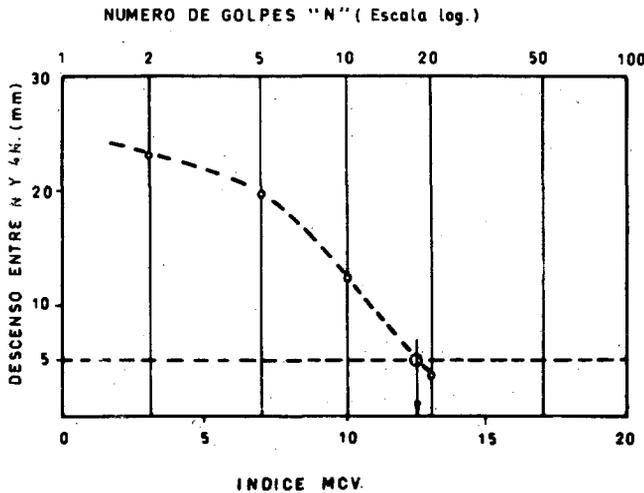


Figura 2.—Determinación del índice M.C.V.

golpes (1,2,3...) y el descenso de cuadruplicar ese número de golpes (4,8,12...) y de esa forma se puede calcular el número inicial de golpes «N» que cumple la condición antes indicada. (Ver Fig. 2).

Los números de golpes «N» que resultan de estos ensayos pueden oscilar entre valores muy bajos (2 ó 3 golpes) y valores muy altos (varios cientos) por lo que en lugar de utilizar «N» como resultado del ensayo se utiliza el índice M.C.V. definido por la relación.

$$\text{M.C.V.} = 10 \lg_{10} N$$

3. EXPERIENCIA PREVIA

En la bibliografía citada en las referencias puede verse buena parte de la experiencia previa en la aplicación de este ensayo. La utilidad principal y el motivo de su desarrollo, fue proporcionar un procedimiento rápido para decidir si un material era o no utilizable como préstamo para construcción de terraplenes de carreteras. Valores muy bajos del M.C.V. indicarían suelos húmedos difícilmente compactables y valores del M.C.V. muy altos indicarían suelos que requerirían un gran esfuerzo de compactación. La situación óptima correspondería a un cierto valor (o rango) del M.C.V. Una vez conocido este rango para un determinado suelo, el control del préstamo sería sencillo, ya que el ensayo M.C.V. podría sustituir al ensayo de compactación más tradicional (ensayo Proctor p.e.)

y a la determinación de la humedad del préstamo.

Por otro lado, si se completase el ensayo M.C.V., determinando su valor en distintas condiciones de humedad del suelo, se podría ver que el índice M.C.V. está relacionado con la humedad mediante una ley lineal.

$$\text{Humedad, } W (\%) = a - b \cdot \text{M.C.V.}$$

Las constantes a y b serían típicas de cada suelo y por lo tanto, conociéndolas, se podría llegar a clasificarlo.

Es más, según la experiencia previa, las constantes a y b guardan entre sí cierta relación y sería posible conocer una de ellas determinando la otra, o lo que es lo mismo, sería posible tener una cierta idea del tipo de suelo con sólo determinar un punto de la relación humedad M.C.V.

4. ARCILLAS DEL BARBATE

La presa del Barbate (Cádiz) se está construyendo con las arcillas del vaso aguas arriba de la cerrada. La explotación prevista es muy extensa y de poca profundidad y dentro de ella la dispersión de propiedades índice es muy alta; el porcentaje de arcilla (fracción inferior a dos micras) puede oscilar entre menos del 10 por 100 y más del 80 por 100 y como consecuencia el índice de plasticidad puede oscilar, dentro de la zona del préstamo, entre menos del 10 por 100 y más del 35 por 100.

A la heterogeneidad del material se une otra heterogeneidad, la de la humedad natural que cambia en profundidad y horizontalmente; en vertical debido a la transferencia de humedad entre el nivel freático, que está a unos tres metros bajo la superficie, y la atmósfera y en horizontal ya que la arcilla presenta, en verano, grandes fisuras de retracción que hacen que el proceso de secado y humectación sea más rápido cerca de las grietas.

A la hora de colocar las arcillas en el cuerpo de presa se presentó un inconveniente grave; era difícil decidir si una determinada tongada tenía mayor o menor humedad que la óptima, ya que el Proctor de referencia era altamente variable y por otra parte en zonas próximas,

dentro de una tongada, existían arcillas aparentemente muy secas con otras que parecían saturarse al intentar humectar las tongadas.

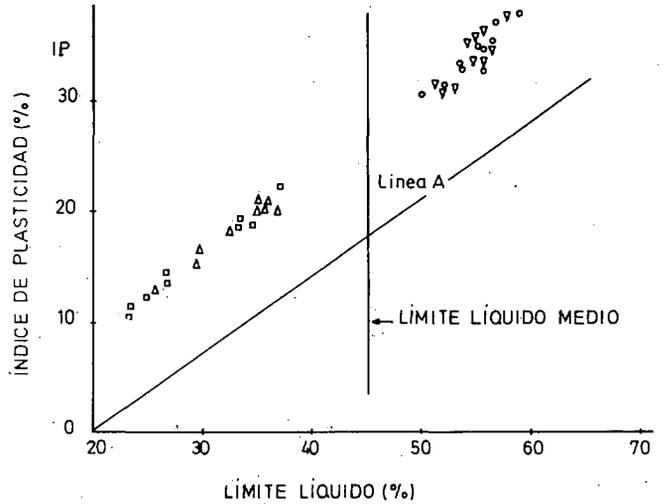
Para solucionar este inconveniente se procedió a zonificar la cantera en dos partes, una en la que se esperaban arcillas con límite líquido inferior al 45 por 100 y otra con el límite líquido superior al 45 por 100. Después se intentó poner a punto un procedimiento rápido para clasificar la arcilla y determinar su humedad natural. Cada una de estas zonas será utilizada en la construcción de cada una de las dos partes en que se ha dividido el cuerpo de presa. La cantera se explotará por franjas horizontales en zonas lo más homogéneas posibles haciendo un tratamiento previo mediante escarificado y riego cuya intensidad depende de la humedad del préstamo. Para comprobar este procedimiento se realizó una prueba colocando arcillas de cuatro puntos distintos de la cantera con un doble control, uno el más tradicional en base al ensayo Proctor, otro simultáneo, utilizando el ensayo M.C.V.

Dos de las áreas explotadas para la prueba, las denominadas A y D, corresponden a la parte de la cantera que se espera de baja plasticidad, y las otras dos áreas, denominadas B y C, corresponden a la parte de mayor plasticidad.

El resultado de los ensayos de identificación de las muestras de estas cuatro áreas se representa en la carta de plasticidad de Casagrande de la Fig. 3.

Los resultados de los ensayos de compactación Proctor se representan en la Fig. 4. Puede verse que en las condiciones óptimas de este ensayo, el grado de saturación está próximo al 80 por 100.

La humedad natural de la cantera, para cada una de las capas de medio metro de espesor en que se explotaron estas cuatro zonas para realizar las pruebas de compactación, se representa en la Fig. 5, junto con las humedades óptimas de los ensayos de compactación Proctor. Puede verse que existe una cierta correlación entre la humedad óptima y el límite líquido de manera que un buen criterio de clasificación, a la hora de construir, podría estar basado en la identificación del material, determinando sus

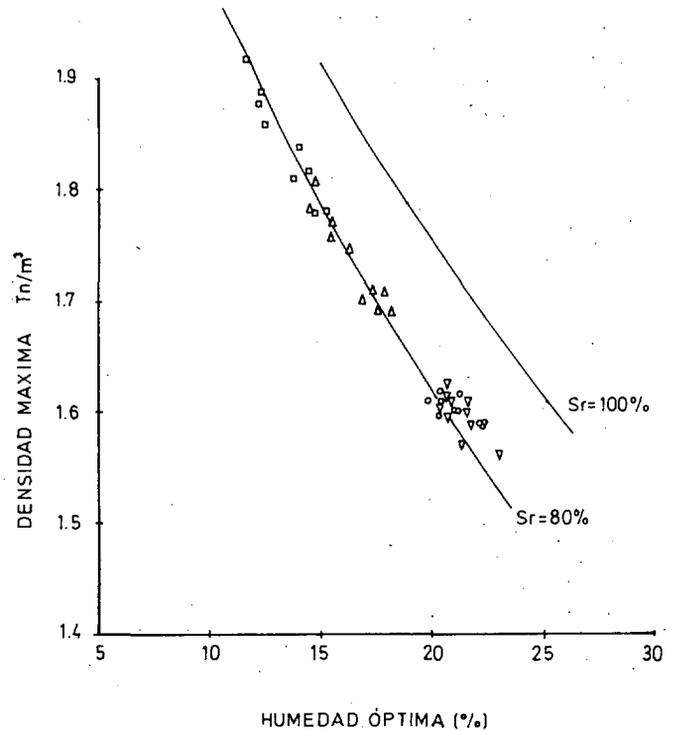


Leyenda

- Zona A
- Zona B
- ▽ Zona C
- △ Zona D

Nota: Una muestra de la zona A, y otra de la zona B, no tienen plasticidad.

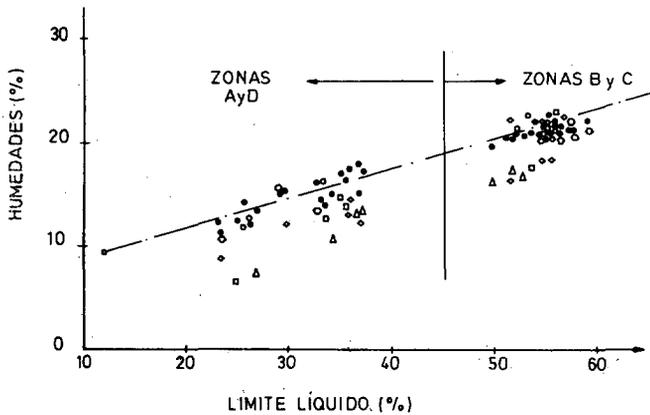
Figura 3.—Plasticidad de la cantera.



Leyenda

- Zona A
- Zona B
- ▽ Zona C
- △ Zona D

Figura 4.—Resultado del ensayo Proctor.



Leyenda.

● Humedad óptima del ensayo proctor normal

○ Humedad natural en cantera, capas 1ª a 5ª

Figura 5.—Humedades naturales y óptimas P.N., V.S. Limite líquido.

límites de Atterberg o bien determinando la humedad óptima del ensayo Proctor.

5. EL M.C.V. COMO INDICE DE LA DESVIACION DE HUMEDAD

En primer lugar se esperaba que el ensayo M.C.V. fuese capaz de predecir si la muestra ensayada estaba por encima o por debajo de la humedad óptima y además que pudiera cuantificar tal diferencia. Para establecer esta relación se determinó el valor del M.C.V. y la humedad natural sobre muestras en las que se conocían los resultados del ensayo de compracción Proctor Normal.

Es prácticamente imposible realizar el ensayo Proctor y el ensayo M.C.V. con muestras que sean iguales y por lo tanto la comparación de la humedad de la muestra con la que se hace el ensayo M.C.V. con la correspondiente del ensayo Proctor, tendrá cierta dispersión.

Para establecer la correlación M.C.V.-desviación de humedad, se procedió a realizar, con cada capa de cada zona de la cantera, con un total de unos 1.000 m³/capa, dos ensayos Proctor y tomar como humedad óptima de referencia la media de la dos determinaciones.

Ese mismo volumen fue ensayado con cinco ensayos M.C.V. y cinco determinaciones de

la humedad. Como valor de referencia se tomó la medida de los resultados de los cinco ensayos. El resultado que se obtuvo al comparar los veinte valores de referencia (cinco capas por cuatro zonas) se representa en al Fig. 6.

Dentro de las reservas lógicas del limitado número de ensayos (cuarenta ensayos Proctor y cien ensayos M.C.V. y considerando la impercisión en la determinación de la humedad en este suelo y en el ambiente de la zona del Barbate, donde el secado de las muestras en el transporte del tajo al laboratorio puede ser significativo, se puede decir que parece existir una cierta correlación entre el ensayo M.C.V. y la diferencia de la humedad del suelo respecto a la humedad óptima de compactación, según el ensayo Proctor Normal. Tal correlación es:

$$W - W_{opt} = (15 - M.C.V.) / 2$$

Se cree que la desviación típica de esta correlación, en el entorno de la humedad óptima, es del orden del 1 por 100.

6. EL INDICE M.C.V. COMO CLASIFICADOR DEL SUELO

Los resultados de los ensayos M.C.V. y humedad natural se comparan con los resultados de los correspondientes límites líquidos en la Fig. 7. Se observa claramente que la posible línea de correlación lineal del tipo.

$$W = a - b.M.C.V.$$

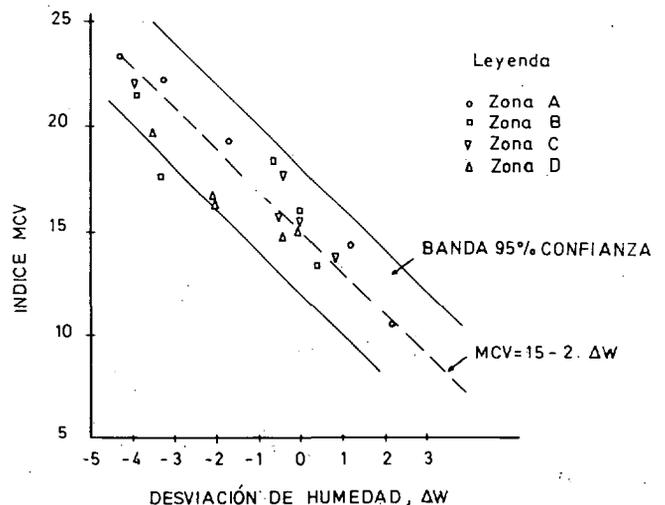


Figura 6.—Precisión del M.C.V. en la desviación de humedad.

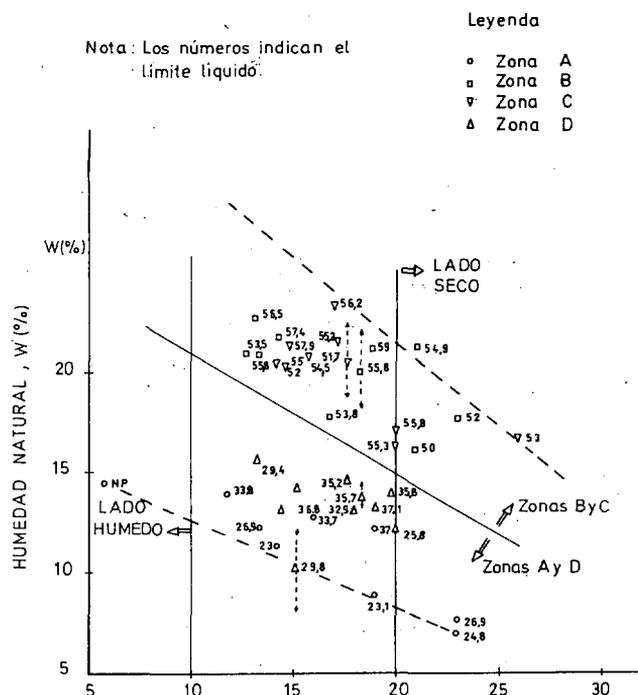


Figura 7.—Identificación de arcillas mediante el ensayo M.C.V.

Es tanto más alta (mayor valor del parámetro «a») cuanto mayor es el límite líquido y la pendiente de la correlación (parámetro «b»), también parece aumentar con el límite líquido.

Si esta experiencia de clasificación del suelo se compara con la experiencia publicada por A.W. Parsons (1981). Fig. 8, puede verse que los parámetros a y b que corresponden a las arcillas del Barbate caen en una zona que corresponde a arcillas y limos de plasticidad baja e intermedia. Los rangos de variación de humedad analizados en este caso son pequeños, sólo cerca de la humedad óptima ya que no se pretendía una investigación en este sentido y no es fácil obtener los parámetros de la correlación. Es evidente que un valor más alto de ambos parámetros, «a» y «b» podría dar el mismo resultado en las zonas de humedad en torno a la humedad óptima y habría coincidido algo mejor con las experiencias previas.

En cualquier caso, el obtener los parámetros a y b de la correlación M.C.V.-humedad, es un trabajo lento si se quiere hacer con cada una de las muestras, ya que exigen repetir varias veces el ensayo; parece un procedimiento poco adecuado, en este caso, para clasificar los sue-

los, ya que no ahorraría muchos esfuerzos respecto al procedimiento tradicional de la determinación directa de los límites de Atterberg.

En el caso de la presa de Barbate se ha creído más conveniente utilizar otro procedimiento, que se cree más sencillo y, probablemente, más preciso, para clasificar el suelo en base a los resultados del ensayo M.C.V.

Con los ensayos previos se ha podido establecer una correlación entre el límite líquido y la humedad óptima de compactación del ensayo P.N. de manera que las arcillas que tienen un LL superior al 45 por 100 tienen, al mismo tiempo, una humedad óptima de compactación superior al 18 por 100, aproximadamente (Ver Fig. 5).

Según la correlación establecida en el apartado anterior se puede obtener una aproximación de la humedad óptima del suelo en función del M.C.V. y su humedad asociada.

$$W_{opt} = W - 0.5 (15 - M.C.V.)$$

Y de esta forma clasificar el suelo y conocer con suficiente precisión sus límites de Atterberg y su densidad seca máxima en el ensayo P.N. que está también claramente correlacionada con la humedad óptima.

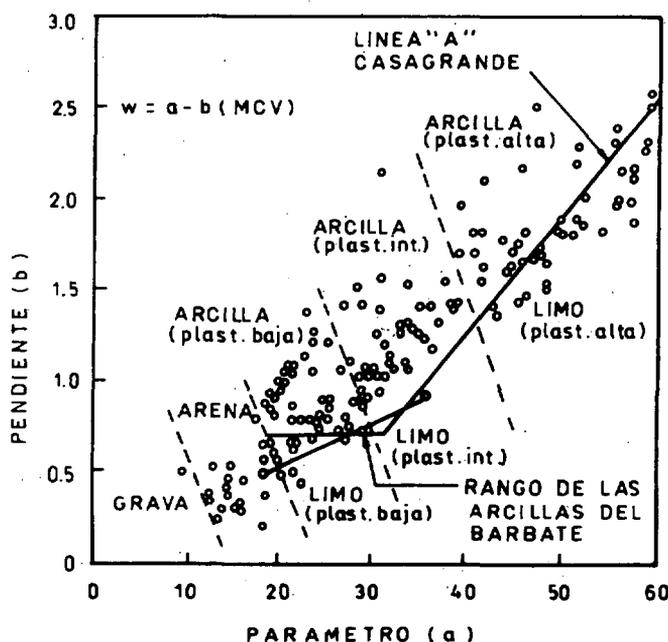


Figura 8.—Clasificación provisional de suelos basada en los parámetros (a) y (b) de la curva de calibrado con los resultados de numerosos ensayos (A.W. Parsons, 1981).

Este procedimiento de clasificación se cree suficientemente preciso como para seleccionar las arcillas que han de colocarse en cada una de las dos zonas de la presa y servir además como elemento del posterior control de compactación.

7. CONCLUSION

Las pruebas previas a la construcción de la presa del Barbate indican que el ensayo M.C.V. es útil para conocer de una manera rápida si la humedad natural del suelo es adecuada para ser compactado o en caso contrario cuantificar el exceso o defecto de humedad correspondiente. En ese sentido, el ensayo M.C.V. puede sustituir con ventaja al procedimiento más tradicional del ensayo Proctor cuando la heterogeneidad del terreno es alta y el ritmo de construcción rápido.

Estas pruebas indican, además, que tras una buena caracterización global del préstamo, el ensayo M.C.V. sirve para identificar el tipo de material si tras la realización del ensayo se determina la humedad de la muestra.

Las correlaciones que se dan en este artículo están basadas en los resultados de los primeros cien ensayos M.C.V. realizados en la fase de pruebas, antes de iniciar la construcción de la presa. Durante la construcción se piensa realizar muchos más ensayos, como parte del control de ejecución y la experiencia que se obtenga permitirá precisar los datos que se han avanzado aquí.

REFERENCIAS

- PARSONS, A. W.: «The rapid measurement of the moisture condition of earthwork material». Transport and Road Research Laboratory. Lab. Report 750. Crowthorne 1976.
- PARSONS, A. W.: «Moisture condition test for assessing the engineering behaviour of earthwork material». Int. Symposium on Clay fills. Institution of Civil Engineers. London 1978. Publicada la traducción en el Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del suelo, n.º 133, mayo-junio 1979 y en el Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cementaciones, núm. 39. mayo-junio 1979.
- PARSONS, A. W.: «The assesment of soils and soft rocks for embankment construction». Q. J. Eng.-Geology. Vol. 14, pp. 219-230. London 1981.