

Título: Los materiales diatomíticos en Andalucía: Distribución espacial, características geotécnicas y su uso como materiales marginales en la red viaria.

Autores

Juan Carlos Hernández Garvayo. ICCP. (DEA. Por la Universidad de Granada).

Director Técnico de Geotécnica del Sur. S.A.

Isidro Ocete Ruiz. Licenciado en Ciencias Geológicas.

Jefe del Departamento de Suelos de Geotécnica del Sur S.A.

Ramón García Sánchez. ICCP. (DEA. Por la Universidad de Granada).

Jefe de la Oficina Técnica de Carreteras de la Junta de Andalucía. (Jaén)

Pablo Jiménez Guigarro. ICCP. (DEA. Por la Universidad de Granada).

Jefe de Unidad de Asistencia Técnica y Control de Obra. SGS Tecnos S.A.

Juan Carlos Hernández del Pozo. Doctor ICCP. Profesor Titular de Universidad.

Prof. Responsable de Geotecnia y Cimientos de la Universidad de Granada.

Resumen:

La apertura de nuevas comunicaciones en Andalucía, ha definido la existencia de ingentes volúmenes de tierras, de naturaleza diatomítica, que debieran transportarse a vertedero si no se trataran como suelos marginales a la luz de la circular del Ministerio de Fomento del 2.002. Valgan como ejemplo 3.000.000 m³ que serían eliminados en la autovía Córdoba-Antequera, tramo Monturque- Lucena.

Se presenta la posible distribución, de estos materiales, en Andalucía y dentro de la depresión del Guadalquivir y las causas de dicha distribución, al objeto de definir en el futuro áreas que pueden estar sometidas a esta problemática. Así mismo analizaremos las causas y origen de estos depósitos, así como una propuesta de clasificación de tipo geotécnico.

1 INTRODUCCIÓN

Cada vez es más frecuente, durante la construcción de carreteras, encontrarse con el problema de la necesidad de enviar a vertedero volúmenes muy importantes de materiales que no cumplen los requisitos mínimos exigidos en las normativas existentes. Esta situación suele verse agravada por la inexistencia de vertederos adecuados y los requisitos medioambientales.

La situación reflejada se pone de manifiesto en las obras que se están desarrollando entre Lucena y Monturque, en Córdoba, perteneciente al tramo Aguilar de la Frontera-Lucena de la Autovía Córdoba-Antequera, donde de no acudir a tratar a los materiales como marginales con estudios especiales, como prescribe la circular del MOP de Mayo del 2000, nos encontraríamos con un volumen, para llevar a vertedero, superior a los tres millones de metros cúbicos, con lo que ello supone.

Nos hallamos ante unos barros de diatomeas, con características de roca blanda, que en los ensayos realizados han dado resultados tan significativos para la alarma, como su baja densidad natural o el valor del ensayo Proctor, alternativamente, con valores próximos a una tonelada por metro cúbico y con límites líquidos superiores a cien.

2 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DIATOMEAS Y LAS ROCAS DIATOMÍTICAS

La Diatomita, Tierra de Diatomeas o Kieselguhr, corresponde a un suelo de origen vegetal formado por "crústulas" microscópicas compuestas mayoritariamente de sílice.

Para este trabajo se han recopilado antecedentes de experiencias previas del comportamiento geotécnico del suelo de Diatomeas, los cuales indican algunos resultados relevantes como:

1. Para tensiones efectivas bajas se tiene un ángulo de fricción interno alto y cohesión nula.
2. A grandes tensiones las diatomitas pueden quebrarse por lo cual pueden llegar a ser altamente compresibles, etc.

Las diatomeas son algas de formas y tamaños variados. Hay aproximadamente 5.000 especies de Diatomea, todas ellas compuestas por una pared celular transparente, con una capa externa traslúcida de sílice semejante al cristal y una capa interna de pectina (sustancia neutra que forma soluciones coloidales).

Cuando la célula muere todo el contenido orgánico del protoplasto y de la pared celular se destruye, con excepción de las valvas silicosas, las cuales generalmente van a depositarse al fondo de las aguas, para formar al cabo de siglos grandes depósitos de tierra de diatomeas. Esos depósitos se denominan diatomitas.

Las cualidades de la tierra de diatomeas son a la vez extrañas y variadas: es agente de purificación, filtrado, abrasivo, material aislante y a prueba de sonido.

Las representantes marinas presentan un rango de tamaño que fluctúa entre 50 y 500 μm (Microplancton).

La diatomita es un mineral de origen sedimentario y organogénico, de composición silícea, formado esencialmente por frústulos de diatomeas.

La Diatomita pura está compuesta por ópalo, que en caso de ser suficientemente antigua pasa a cuarzo, tratándose en ambos casos de polimorfos. El mineral por lo general es de coloración clara, blanquecino, con una densidad aparente de 0,2 a 0,6 g/dm^3 y de gran porosidad. El contenido de agua libre puede variar desde menos del 1% g/g, hasta más del 60% g/g.

Las importantes propiedades Filtrantes, Decolorantes, Aislantes, Absorbentes y Astringente que caracterizan a las Diatomeas, están dadas por su composición química, pero fundamentalmente por la presencia de multitud de microporos en las frústulas de diatomeas. El mayor porcentaje de frústulas sanas, respecto de rotas o trituradas se encuentra íntimamente ligado con la capacidad filtrante, decolorante y de absorción.

3 ENTORNO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO ESTUDIADO

La provincia de Córdoba se encuentra en el entorno central andaluz. Las sierras que ocupan el Sur de la Provincia pertenecen al conjunto de las Sierras Subbéticas situadas entre la Depresión del Guadalquivir al Norte y la Cordillera Penibética al Sur.

Las Sierras Subbéticas Cordobesas, forman parte del Subbético Externo de las Cordilleras Béticas y responden a una superposición de mantos de corrimiento de pliegues alóctonos.

Estas Sierras, están formadas por materiales sedimentarios depositados en el mar de Thetis durante la era Mesozoica y que fueron plegados y fracturados en el Oligoceno y Mioceno.

En el primer periodo del Mesozoico, el Triásico, la zona estaba emergida y recibía depósitos de tipo continental lacustre.

A comienzos del Jurásico, el mar ocupa toda la cuenca que posteriormente daría lugar a las Cordilleras Béticas. En el comienzo del Lías, la zona Prebética queda emergida, mientras la Subbética forma parte de un surco marino de carácter pelágico, que recibe grandes

espesores de sedimentos marinos, calizas en el Subbético Externo, y alternando margas y calizas en el Subbético Interno.

Durante el resto del Jurásico, el Dogger y el Malm, y todo el Cretácico, la subsidencia de la cuenca se intensifica sumergiendo también la zona Prebética.

A comienzos de la era Cenozoica, las profundidades emigran hacia el Norte y el ambiente del depósito pasa a ser nerítico. En este momento comienza la emersión del área Subbética. Ya en el Eoceno Superior comienzan los movimientos que plegaron la región. Desde finales del Eoceno hasta finales del Burdigaliense, en el Mioceno, la comarca debió parecer un archipiélago, produciéndose sedimentación en los fondos marinos. Es precisamente durante el Burdigaliense que tienen lugar los deslizamientos que originan los cabalgamientos tan típicos de la comarca.

A finales del Mioceno, en el Tortoniense, se retiran definitivamente las aguas y comienza el predominio de la erosión sobre la sedimentación en el modelado de la región.

4 INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE SU DISTRIBUCIÓN

Las Diatomeas viven tanto en aguas marinas como en aguas salobres, incluso en fuentes termales, suelos húmedos o zonas de turbera.

Por su necesidad de la fotosíntesis, su presencia queda restringida a zonas iluminadas (a 50m en los lagos y mares). Su alta capacidad de reproducción y su muerte, acaecida de forma anual, da lugar a fuertes acumulaciones de las frústulas en el fondo. Los yacimientos de Diatomitas se encuentran en las provincias del Sudeste y Sur de la Península. Su extracción aparece concentrada esencialmente en Albacete, Jaén, Almería y Sevilla. Murcia, Cádiz y Córdoba, por este orden, presentan también ciertas posibilidades, aunque, hasta el momento, han sido productoras en muy bajo grado. Las Diatomitas se encuentran en estas provincias con niveles intercalados, formando conjuntos sedimentarios correspondientes al Mioceno Medio y Superior, y algunos al Plioceno.

Las Diatomitas aparecen entre las Margas y Calizas, marinas o continentales según las zonas.

Su distribución en las distintas provincias es la siguiente:

- **Provincia de Jaén**, situadas en su parte más occidental, Porcuna, Santiago de Calatrava, Martos, Mengibar, Pegalajar, Jamilena, Torredonjimeno, Arjona... etc.

En Porcuna, se encuentran situados a dos kilómetros al sur de dicha localidad, a la derecha de la carretera que une Porcuna y Valenzuela, de unas 40 hectáreas de extensión.

En Santiago de Calatrava, a unos dieciséis kilómetros al sur de Porcuna. En Martos, a unos cuatro kilómetros al oeste de Martos. Las láminas de diatomitas son de orden centimétrico, intercaladas entre margas arcillosas. La edad de las diatomitas es Aquitaniense.

El resto de yacimientos se sitúa en los alrededores de Menjíbar, donde las láminas de Diatomitas aparecen concentradas en dos niveles de cuarenta centímetros de espesor.

- **Provincia de Albacete**, situadas al Sur de la provincia, en su límite con Murcia, en las proximidades de Elche de la Sierra y en las proximidades del Embalse del Cenajo, también se encuentran en otras localidades como Lietor, La Roda. La edad de las diatomitas es del Mioceno superior, los niveles de Diatomitas se intercalan entre calizas y calizas margosas silificadas y niveles de finos de sílex.

- **Provincia de Sevilla**, situadas en la zona de Lebrija y en la localidad de El Cuervo. Las Diatomitas se intercalan entre niveles margo-calizos, buzando el conjunto hacia el oeste, y son de formación marina, con una alta proporción de sílice.

- **Provincia de Cádiz**, situadas al norte de la Provincia, sobre todo en Jerez de La Frontera.

- **Provincia de Córdoba**, tienen una amplia distribución por toda la provincia, denominándose como margas blancas arenosas (“albarizas” y/o “moronitas”). Se presentan a techo de los distintos materiales subbéticos, suprayacentes en contacto discordante o mecánico, según los puntos. Se les atribuye una edad Miocena (Aquitaniense-Tortonense).

- **Provincia de Almería y Murcia**, están situadas por debajo de la sucesión de Evaporitas Messiniense, en localidades como, Lorca, Sorbas, Alcor, Campo de Nijar, Cuenca de Agua Amarga. Los niveles de Diatomitas y de margas ricas en Diatomeas son frecuentes en el terciario superior, destacar el poco espesor de los niveles y la fuerte presencia de carbonatos.

5 RELACIÓN ENTRE EL ENTORNO GEOLÓGICO Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS MATERIALES DIATOMÍTICOS

Hace más de un siglo se definieron con el nombre de “moronitas”, en referencia a la localidad de Morón de la Frontera, en Cádiz, los sedimentos miocenos de la Cuenca del Guadalquivir que incluyen gran cantidad de diatomeas.

Las asociaciones de diatomeas en estas rocas están constituidas fundamentalmente por especies planctónicas de aguas templado-cálidas que aparecen preferentemente en áreas marinas con corrientes ascendentes.

La Cuenca del Guadalquivir constituyó durante el Mioceno un amplio estrecho denominado "nordbético" que, junto al estrecho "rifeño" constituían los lugares de intercambio entre las aguas atlánticas y mediterráneas.

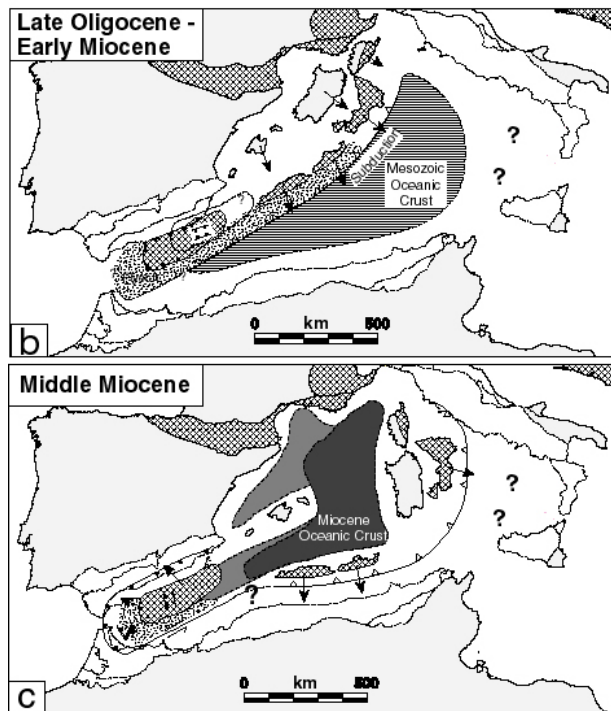
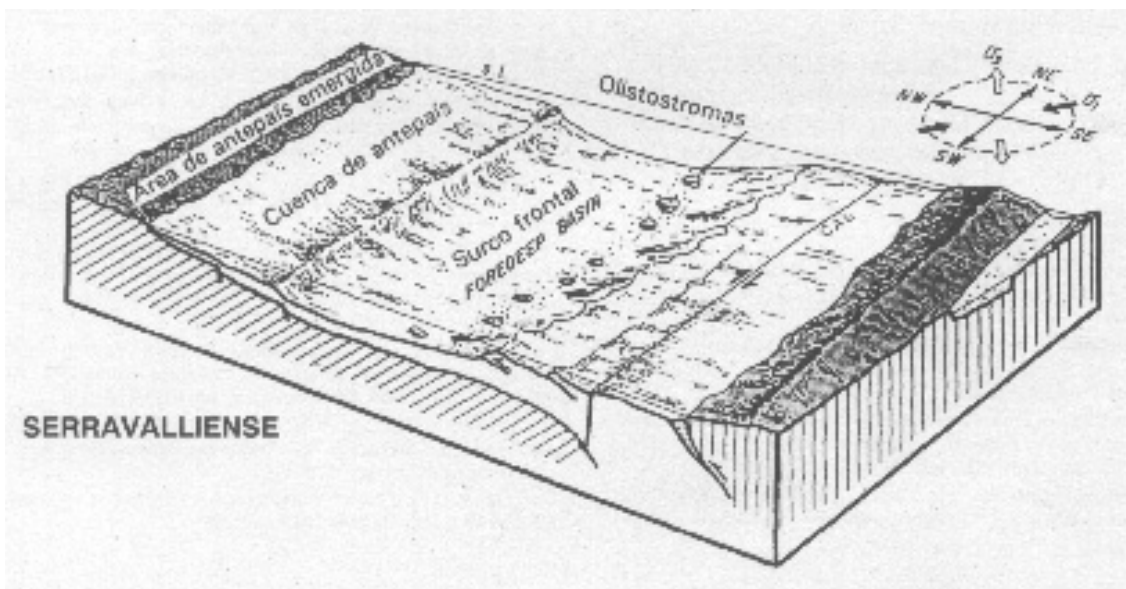
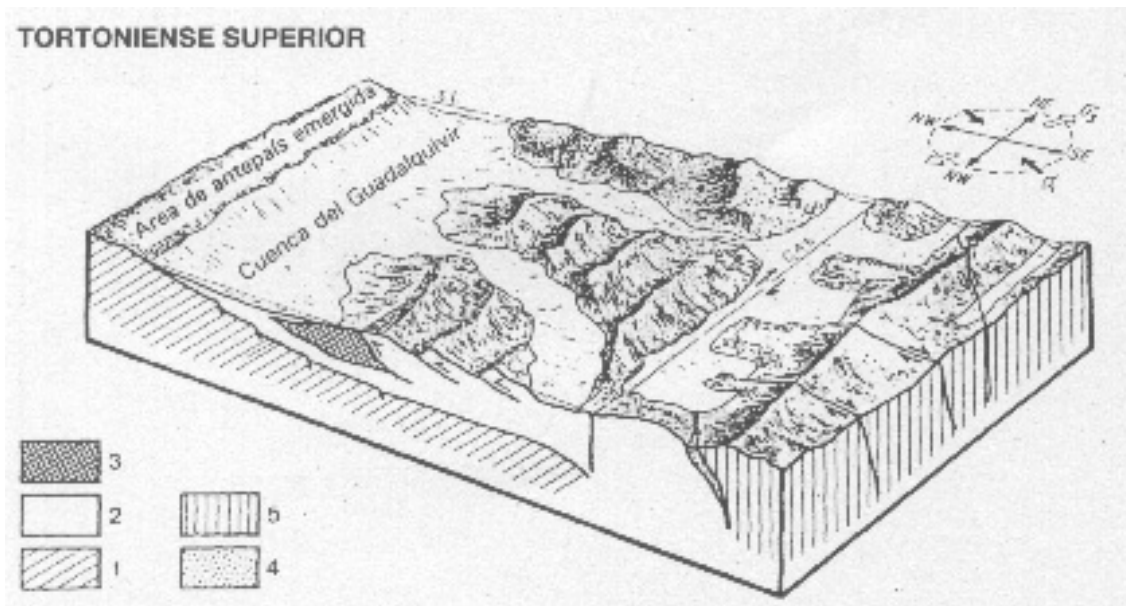


Fig.1.- Evolución del área bética durante el Mioceno.



Bloque A



Bloque B

Fig.2.- Bloques diagramas esquemáticos en los que se muestra el cambio paleogeográfico desde la etapa de formación de las Cordilleras Béticas (Mioceno medio) y la etapa postorogénica (Mioceno superior), según Sanz de Galdeano y Vera (1991). Leyenda: 1.- Macizo hercínico de la Meseta (Macizo Hespérico) y su continuación como zócalo en las zonas Externas de las Cordilleras Béticas. 2.- Cobertura sedimentaria (Triásico- Mioceno inferior) de las Zonas Externas. 3.- Olistostromas del frente norte de la cordillera y borde sur de la depresión del Guadalquivir. 4.- Flysch de las unidades del Campo de Gibraltar. 5.- Zonas internas de las Cordilleras Béticas.

En la figura 2 se aprecian los cambios ocurridos en la zona bética durante el Mioceno medio y superior. En el bloque superior se aprecia la ubicación de las dos masas continentales formadas por el macizo hercínico y al sur la Subplaca Mesomediterránea colisionando. La parte más meridional de este margen se elevó iniciándose con ello la formación de la futura cadena montañosa y al norte de dicha elevación se individualizó un surco frontal en el que se depositaron masas de materiales deslizados (olistostromas). En el segundo bloque se representa la distribución de tierras y mares de la fase inmediatamente posterior al final de la colisión y la consiguiente estructuración definitiva de las Cordilleras Béticas, con la emersión de la mayor parte de las mismas, seguida de una sumersión parcial, que afectó a las áreas más "deprimidas": la Depresión (o cuenca) del Guadalquivir y las depresiones intramontañosas.

Al final del Mioceno superior (6,5 ma.) el mar se retiró de las cuencas intramontañosas, pasando a ser cuencas endorreicas. Así, durante el Plioceno inferior (5 ma.) la línea de costas difería de la actual, solamente, en que el mar invadía parte de las cuencas neógenas

de Almería y Málaga y en que penetraba por la depresión del Guadalquivir hasta cerca de Sevilla.

Al inicio del Pleistoceno (1,6 ma.) se produjo un levantamiento generalizado de gran parte de Andalucía que produjo el encajamiento de la red fluvial, que ya sería bastante similar a la actual, y la disposición de la línea de costas que también sería similar a la actual. Al final del Pleistoceno (0,1 ma.) la red fluvial actual quedó definitivamente estructurada y el depósito de los materiales holocenos se limitó a las zonas de inundación de los ríos actuales.

Desde una perspectiva paleoceanográfica hay que señalar que la abundante presencia de diatomeas en la zona se produce durante parte del Mioceno.

El intercambio de las aguas oceánicas entre el Atlántico y el mediterráneo era entonces distinto al actual. Mientras ahora las aguas superficiales atlánticas entran en el Mediterráneo para compensar el exceso de salinidad por evaporación existente en este mar, durante el Mioceno las aguas de superficie salían del Mediterráneo hacia el Atlántico.

No se sabe el momento de esta inversión. El modelo de circulación oceánica antiguo era el que permitía la formación de un área de alta productividad en esta zona y que, por lo tanto, el cambio de circulación debió estar relacionado con la terminación de la sedimentación diatomínica.

De este modo, la generación de plancton depende de la existencia en la superficie de los océanos de los elementos nutritivos adecuados para su desarrollo y son esenciales unas condiciones hidrográficas específicas para su presencia en abundantes cantidades. Los movimientos verticales ascendentes del agua oceánica son los que controlan la producción del fitoplancton.

Por la latitud y situación de la zona que nos ocupa, parece lo más lógico suponer que el causante de la formación de sedimentos con diatomeas en el “estrecho nordbético” fueron las corrientes ascensionales marinas costeras, pero éstas sólo desplazan la capa superficial del agua (10-100m).

Existe una relación entre los hiatos de origen erosivo en las series estratigráficas de los fondos oceánicos y las intensificaciones de los afloramientos costeros en los bordes de los continentes. La causa de ambos hechos es el desarrollo de la circulación oceánica profunda, consecuencia de deterioros climáticos.

En la zona que nos ocupa, todo lo anteriormente expuesto conduce a un modelo hidrológico complejo en dos etapas: incorporación de las aguas oceánicas profundas a niveles intermedios y ascensión de esta agua rica en nutrientes a la superficie.

Por otro lado, las corrientes ascensionales pudieron ser más efectivas en el “estrecho nordbético” y durante parte del Mioceno, debido a la influencia de factores locales tales

como: morfología de la costa, topografía del fondo de la cuenca, progresivo estrechamiento de ésta.



Fig.3.- Relación entre la geología de la zona estudiada y la distribución de los yacimientos diatomíticos en el entorno sur peninsular. Se representa una línea de la tendencia geográfica de distribución de dirección Suroeste - Noreste claramente asociada al estrecho Norbético.

6 TRABAJOS REALIZADOS Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES DIATOMÍTICOS

Los materiales estudiados son extremadamente finos y de elevada plasticidad pudiendo clasificarse como limos de alta plasticidad. En general, son resistentes a los esfuerzos por compresión presentando, no obstante, un deterioro muy acusado a la acción del agua.

Presenta densidades máximas muy bajas y humedades óptimas muy altas, para elevado poder de succión; en muestra intacta, ángulos de rozamiento elevados, tanto en valores pico como residuales, y elevada cohesión. En suelos remoldados existe una clara variación entre los ángulos pico y residuales (31.7° y 19.2), para cohesión inicial de 0.3 kg/cm².

Se han medido índices de poros muy elevados, igualmente se detectan abundantes arcillas del tipo esmectítico en la muestra ensayada, que puede ser la responsable de la plasticidad detectada.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos obtenidos de estos materiales diatomíticos hasta este momento definen claramente un material que debe ser clasificado como un suelo de tipo marginal con unas características geotécnicas muy particulares y diferenciadoras.

Actuar clásicamente retirándolo a vertedero es, a todas luces, un enorme problema, además de un grave perjuicio económico, técnico y medioambiental. Es necesario, proceder a su estudio y caracterización geotécnica que permita su utilización, aunque ésta sea sectoria, dentro de las obras a desarrollar.

Las características principales de estos barros de diatomeas vienen definidas por unas densidades máximas inferiores a la del agua y elevadísimas plasticidades, pero con unas características naturales in situ de roca blanda y que genera, en situaciones favorables, taludes muy verticales. Esta situación define valores en el ensayo de corte directo, para estados residuales, de ángulo de rozamiento interno de aproximadamente 19° , prácticamente exenta de cohesión, frente a valores de pico elevados en cuanto a ángulo y cohesión.

Pero ¿es suficiente conocer sus características geotécnicas y su comportamiento? Evidentemente no. El poseer unos conocimientos sin posibilidad de aplicación futura no deja de ser desconocimiento por omisión de los datos.

Es imprescindible aplicar los conocimientos adquiridos a actuaciones posteriores. Esta aplicación debe de estar amparada en el conocimiento de la ubicación de estos materiales, que sólo podrá desarrollarse desde la geología de los materiales y su entorno regional, motivo vertebral de estas líneas. Para desarrollar una cartografía como la que se propone deben de participar ciencias tan variables como la propia estadística, la geomorfología y la geología.

Esta cartografía debe de indicar las áreas donde existe la probabilidad de aparición de estos materiales diatomíticos y que habrán de ser susceptibles de aplicación de los condicionantes geotécnicos conocidos.

Así se ha hecho, obteniéndose el siguiente resultado:

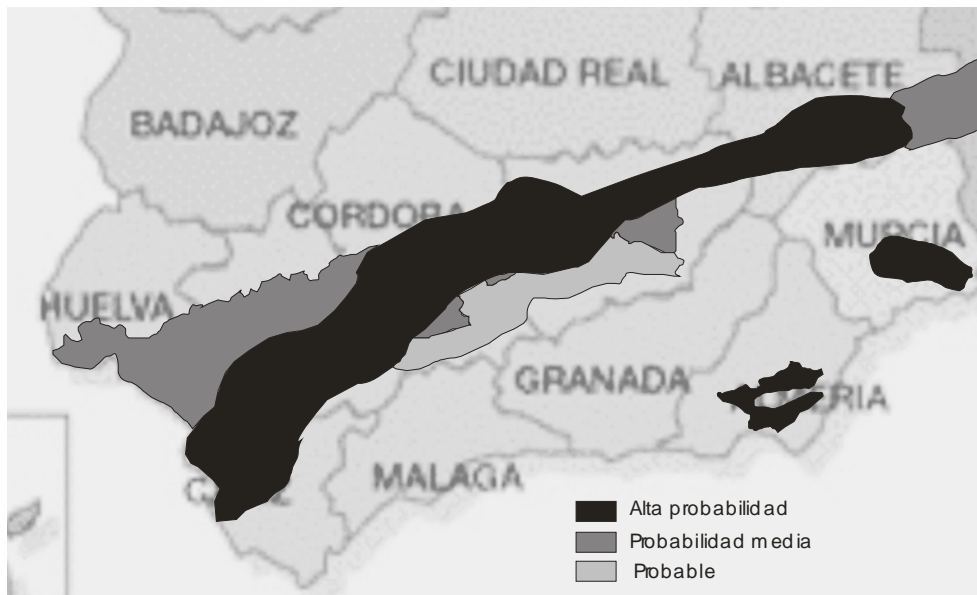


Fig.4.- Probabilidad de detectar paquetes importantes de barros diatomíticos en el entorno regional. Se ha realizado una gradación en función de dicha probabilidad.

A partir de la cartografía realizada se ha detectado que los afloramientos diatomíticos se localizan exclusivamente en el Sur y Suroeste peninsular, siendo muy frecuentes en las provincias de Sevilla, Cádiz, Córdoba, Jaén, Albacete, Murcia y Almería, quedando exentas Málaga y Granada, en Andalucía. Es probable que tanto en las provincias de Valencia, Alicante y Huelva puedan aparecer paquetes de estos barros diatomíticos.

La diferencia geográfica realizada debe de estar acompañada inexorablemente por la definición geológica de los materiales implicados y que vienen definidos principalmente por la depresión del Guadalquivir, que generó en el Mioceno lo que se ha dado en definir el estrecho Norbético, auténtico “paraíso” para el desarrollo de las algas silíceas.

En general y a modo de conclusión, es necesario comentar que el uso de estos materiales dentro de las obras longitudinales debe estar claramente justificado en los terraplenes de menor entidad de obras, pero solamente puede ser adoptada si el correspondiente estudio de estabilidad de estos materiales y el consiguiente coeficiente de seguridad así lo establecen. Igualmente su uso debe de restringirse a obras de tierras de pequeño porte, limitadas no solo en magnitud sino en conocimiento y definición que nos permita garantizar su estabilidad y puesta en servicio.

Sin los estudios que se han realizado y los que se ejecutan actualmente, los suelos referidos como materiales con una alta proporción de barros de diatomeas, hubiesen sido irremisiblemente trasladados a vertedero siguiendo las prescripciones marcadas por la normativa vigente.

8 BIBLIOGRAFÍA

DALLMEYER, R.M. y MARTÍNEZ-GARCÍA, E, (editores) (1990): Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Ed. Springer-Verlag, Berlín, 416 pags.

GARCÍA-LLEYNÁNDEZ, M., LÓPEZ-GARRIDO, A.C., RIVAS, P., SANZ DE GALDEANO, C. Y VERA, J.A. (1980): Mesozoic paleogeographic evolution of the External Zones of the Betic Cordillera (Spain). Geol. Mijnb., vol. 59, pp.455-168.

GARCÍA-HEMÁNDEZ, M., LÓPEZ-GARRIDO, A.C., MARTÍN-ALGARRA, A., MOLINA, J.M., RUIZ-ORTIZ, P.A. Y VERA, J.A. (1989): Las discontinuidades mayores del Jurásico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas: análisis e interpretación de los ciclos sedimentarios. Cuader. Geol. Ibérica., vol, 13, pp---3552.

HERNÁNDEZ DEL POZO, J. C., OCETE RUIZ, I, BLANCO MARTÍN, J., Y HERNÁNDEZ GARVAYO, J.C. (2002): Análisis y usos de los residuos de la construcción de obras lineales: El caso de la Autovía Monturque-Lucena, Córdoba. Congreso Nacional de Ingenieros Consultores. Madrid, 21 y 22 de Octubre de 2002

HERNÁNDEZ GARVAYO, J.C. (2002): Los materiales diatomíticos: Estudio y caracterización geomecánica en las obras para la construcción de la Autovía de Monturque a Lucena, en Córdoba. Trabajo de investigación tutelada (Inédito)

MARTÍN-ALGARRA, A. (1987): Evolución paleogeográfica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética. Tesis, Univ. Granada, 1171 pags.

SANZ DE GALDEANO, C. Y VERA, J.A. (1991): Una propuesta de clasificación de las cuencas neógenas béticas. Acta Geológica Hispánica, vol. 26, pp.-205-227.

VERA, J.A. (1986): Las Zonas Externas de la Cordillera Bética. In: Geología de España, Libro Homenaje J.M. Ríos, Ed. Inst. Geol. Min. España, vol. 11, pp.-218-251.

VERA, J.A. (1988): Evolución de los sistemas de depósito en el margen ibérico de las Cordilleras Béticas. Rev- Soc. Geol. España, vol. 1, pp.-373-391.