VII. RESULTADOS GEOTECNICOS DE LOS MATERIALES GEOLÓGICOS QUE AFLORAN EN EL LUGAR UTILIZADOS PARA CUBIERTA:

Aseguramiento de Muestras y Metodología para Análisis Geotécnicos y Geo-químicos de Componentes Principales:

Debido a trabajos previos conducidos en la Formación Juana Díaz, y, en su unidad superior de origen calcáreo, hemos sostenido la creencia de que este material geológico es capaz de regenerar, y, hasta cierto punto neutralizar, ciertos elementos o componentes degradantes en los lixiviados que se generan en estas facilidades. Se nos ha presentado la oportunidad y hemos decidido comprobar tal conjetura llevando a la práctica varios experimentos de rigor para este proyecto en particular.

Con la colaboración de la firma de geotécnicos Victor E. Rivera & Asociados; los laboratorios de investigaciones químicas AES International, Inc. y el Instituto de Investigaciones Georgia Tech hemos procedido de manera más específica con la evaluación y análisis, tanto cualitativa como cuantitativamente, de estas margas calcáreas y arcillas que son los materiales geológicos claves en la operación del Vertedero Municipal de Yauco. La abundante presencia de las margas y arcillas en el lugar proponen desde un punto de vista práctico y científico la maximización en la utilización de recursos disponibles en el lugar y la conservación ambiental al contar con las bondades regenerativas de estos materiales geológicos.

Todo el proceso se inicia con el recogido de muestras representativas del material geológico (margas calcáreas comúnmente conocido como caliche y las arcillas densas que se encuentran estratificadas entre las margas calcáreas) que es utilizado como cubierta de los desperdicios y otros usos inherentes a la operación. Fueron utilizados envases estériles para transportar el material geológico desde el lugar de recogido en la cantera del Vertedero hasta los laboratorios. También se

utilizaron envases plásticos de un galón para asegurar muestras de los lixiviados típicos que se generan en el vertedero. Ambas muestras, las geológicas y los lixiviados, fueron presentadas ante el laboratorio químico AES International, Inc. Muestras del material geológico también fue presentadas a los laboratorios geotécnicos de Victor E. Rivera y Asociados en Ponce, para determinar sus características físicas. Esto con el fin de obtener el perfil de los factores co-relacionables en la trilogía de parámetros que se quieren decifrar y que abarcan la geológica, geotécnica y geo-química del material de cubierta y lixiviados.

Dado que ya el ambiente geológico y geo-estructural donde se encuentra asentada la facilidad, fue descrito y evaluado y, considerando que a las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, por su importancia, se le concede un capítulo investigativo por separado en este documento ambiental, procedemos primero aquí con las descripciones y resultados geotécnicos del material geológico aflorante en esta facilidad.

La propuesta expansión de la facilidad se realizará no muy distante de la facilidad actual; dentro de la misma comarca geológica e hidrogeológica prevaleciente. Esto implica que el mismo material geológico que aflora en el lugar y, que sirve como lecho, también se utilizará y servirá como material de cubierta para esta facilidad de disposición. Los factores y parámetros geotécnicos más importantes que caracterizan el material calcáreo se analizan y discuten a continuación.

Cabe recordar que las margas calcáreas que dominan como la unidad topográficamente superior de la Formación Juana Díaz, también incluye lentes importantes de arcillas-limosas, a veces de lodolitas (mudstone) y de arcillas montmorilonitícas. Por tal razón, en forma similar, hemos asegurado y analizado

además de las margas, las muestras típicas de material arcilloso que se encuentra en lentes o inter-estratificado con los margas calcáreas. Esto con el fin de determinar sus propiedades físicas y parámetros geotécnicos ya que ambos materiales se confunden o se unen en el proceso de excavación, transportación y emplazamiento como material de cubierta. Esta mezcla de margas y arcillas, tiende a facilitar más cohesividad y estabilidad a las capas de relleno que se utilizan como cubierta. Veamos los resultados de los análisis de laboratorio geotécnico para ambos materiales.

A. Distribución de Partículas -Granulometría:

Los resultados del material geológico, que llamamos una marga calcárea, caliche o caliza margosa pobremente consolidado, en cuanto a su distribución de partícula, encontramos la siguiente gráfica ilustrativa de su granulometría.

Los referidos resultados han sido obtenidos de muestras típicas (sin alterar) asegurados en el área de préstamo. Hay que señalar sin embargo, que el alto contenido de partículas de arena que da el resultado granulométrico es un resultado cuantitativo que trata más bien del tamaño de particulas que pasan por el tamiz #4 y se retienen en el tamiz #200.

No obstante, estas partículas calcáreas son friables y fáciles de fragmentar durante el proceso de corte, emplazamiento y compactación. Por lo tanto, sostenemos que el porciento de finos, en el componente arenoso, de limo y arcilla, aumenta entre un 10 a 15 por ciento de lo que revela o arroja el estudio granulométrico una vez emplazado y compactado el material con maquinaria pesada sobre los desperdicios. Podemos sustentar por lo tanto, que el contenido de material fino, que sirve como ente aglutinante y sellador del relleno, sobrepasa el cincuenta

por ciento (50%) en estas margas calcáreas.

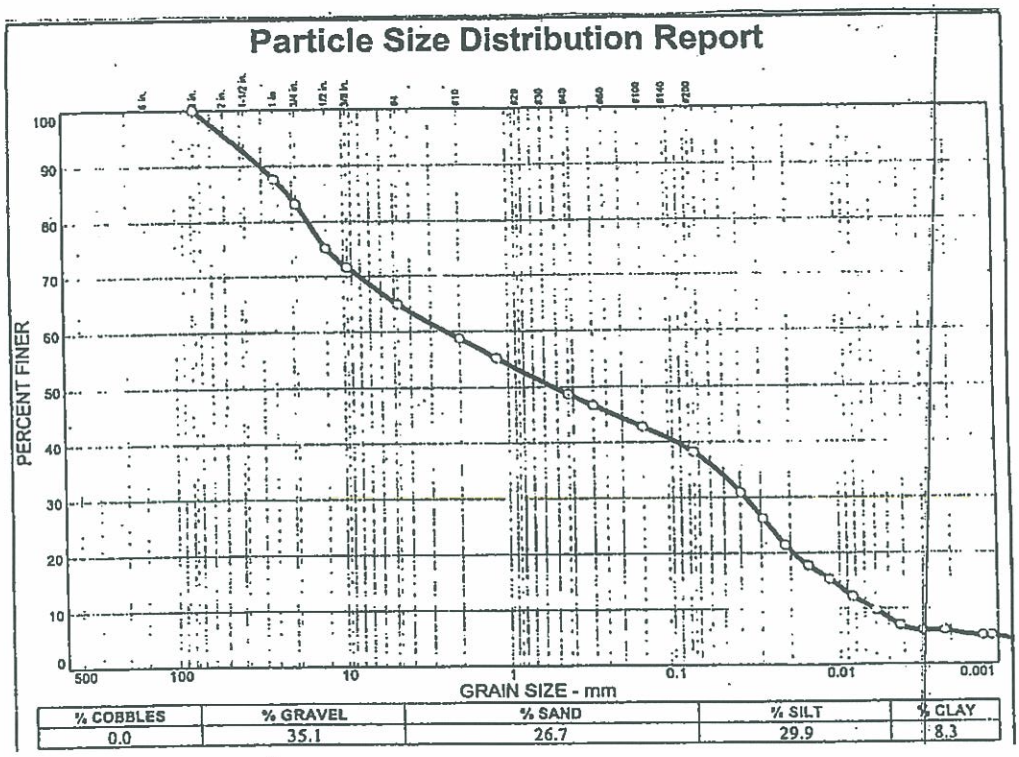
En el caso de las arcillas no cabe duda que predominan las partículas finas y los límites de Atterberg obtenidos dan fe de una mayor plasticidad y cohesividad como se puede apreciar en la distribución de partículas que arroja el análisis de granulometría para arcillas limosas obtenidas de la zona de préstamo que ubica en el Vertedero.

b. Compactación:

El alto volumen de partículas finas en el material de relleno de la mencionada formación geológica facilita para la densificación del material bajo presión y bajo un reducido a moderado contenido de humedad. Las partículas finas son fácilmente re-agrupadas bajo la aplicación de esfuerzos dinámicos durante la compactación reduciendose así la razón de vacíos o porosidad y aumentándose por ende la densidad del material.

En las figuras que se ilustran a continuación se presenta la curvas de compactación obtenidas en ensayo del laboratorio geotécnicos para los suelos típicos anteriormente reseñados. Se trata por un lado de la misma marga calcárea que es capaz de alcanzar densidad máxima de 110.6 lbs. por pies cúbico bajo un contenido óptimo de humedad de sólo doce por ciento (12%) y por otro lado la curva de compactación para arcillas limosas contenidas en la misma unidad geológica que alcanza una densidad máxima de unas 94.4 libras por pies cúbicos bajo un contenido de humedad de 20.0 por ciento. Nótese que en el caso de la arcilla su composición granulométrica es sustancialmente más alta en cuanto a su contenido de finos (arcilla y limo) que en las margas calcáreas. Esta abundancia de material fino viene a suplir las deficiencias que puedan encontrarse en las margas calcáreas en cuanto a granos

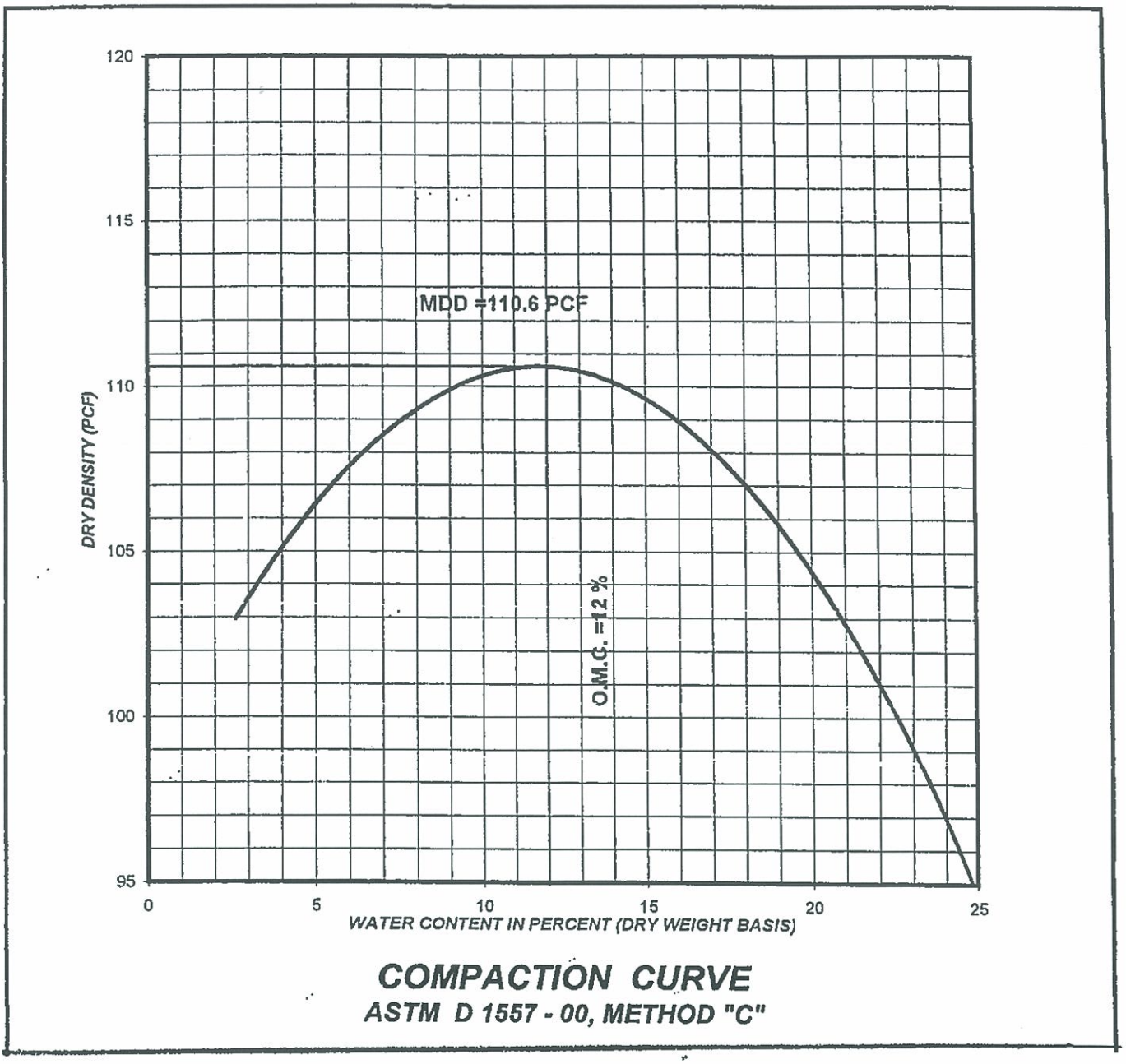
con tamaño de partícula pasando el tamiz #200 y por ende aumenta la aportación a la cohesividad y fortaleza del material una vez emplazado y compactado. Vease también anejos para más resultados geotécnicos obtenidos para estos dos materiales claves en la operación del Vertedero.



% COBBLES	% GRAVEL	% SAND	% SILT	% CLAY
0.0	35.1	26.7	29.9	8.3

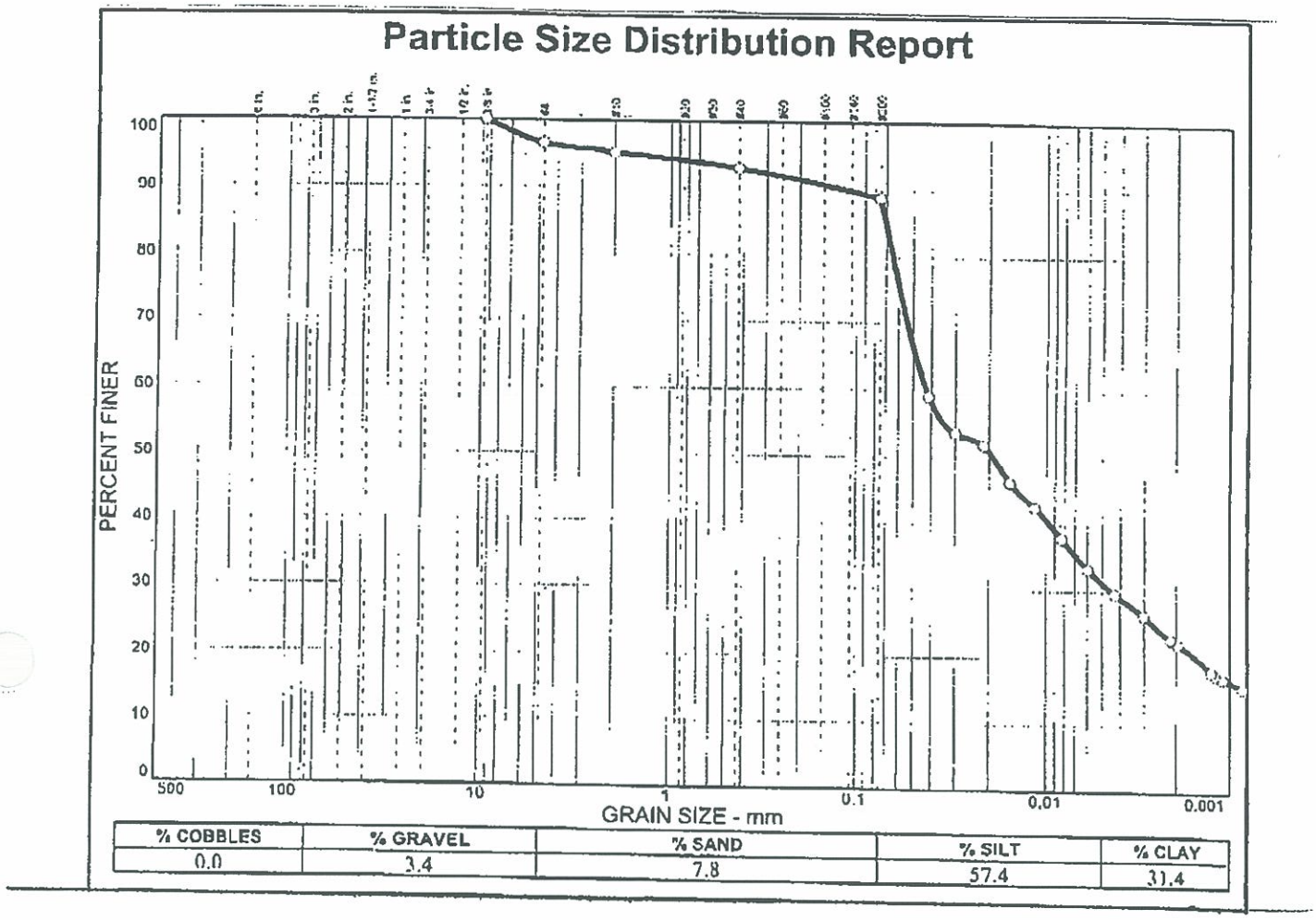
Granulometría del Material Margoso que Aflora en el Lugar y es Utilizado como Cubierta

Figura Núm. 5



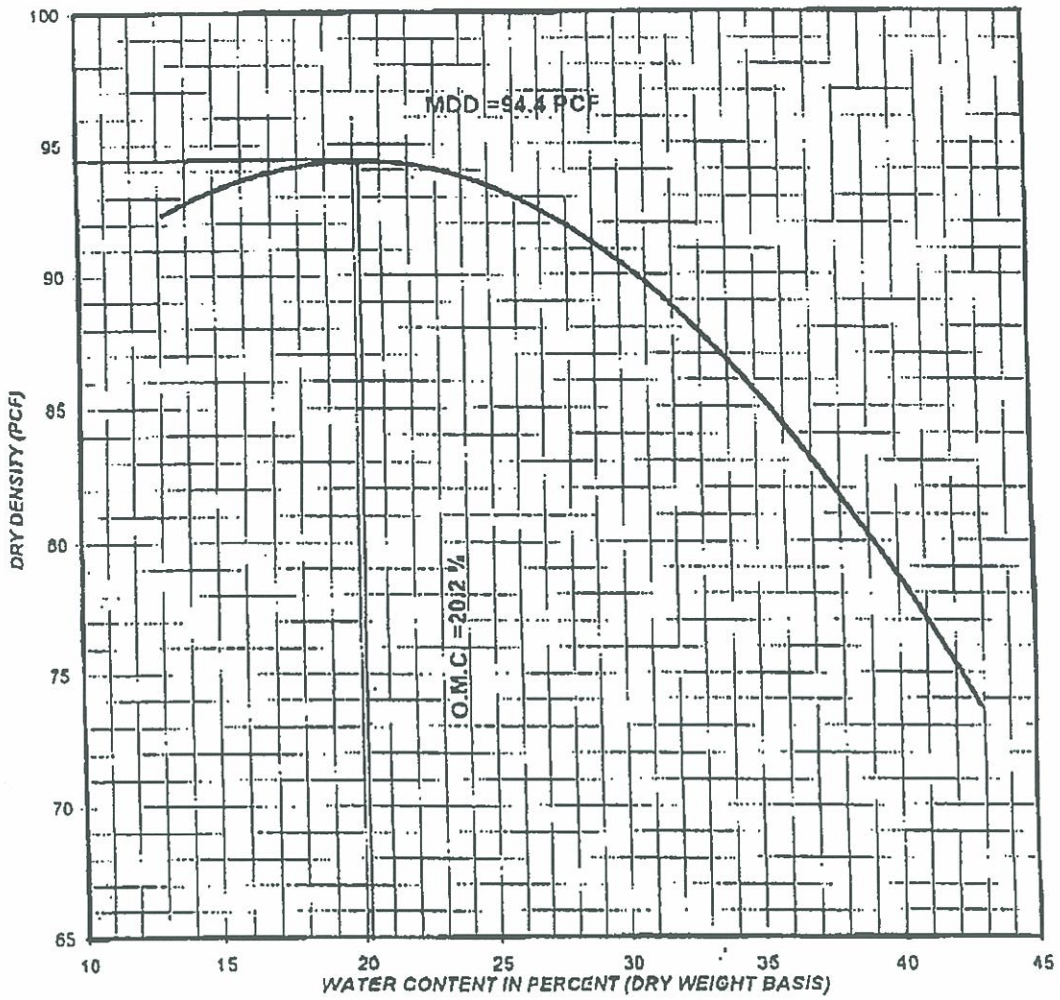
Curva de Compactación Obtenida del Material Geológico Morgoso (Caliche) Utilizado como Cubierta

Figura Núm. 6



Granulometría del Material Arcilloso Utilizado Conjuntamente con el Material Margoso

Figura Núm. 7



COMPACTION CURVE
ASTM D 1557 - 00, METHOD "C"

Curva de Compactación Obtenida para el Material Arcilloso del Horizonte Superior Donde se Encuentra el Vertedero de Yauco

Figura Núm. 8

VIII. LOS SUELOS

El Vertedero Regional de Yauco se encuentra ubicado como ya hemos analizado entre colinas en na región, particular donde se entrelazan los estratos de calizas, margas calcáreas y arcillas. Implica lo anterior que por lo menos sobre el cincuenta por ciento (50%) del material geológico superior que constituye la zona de préstamo se compone de carbonato de calcio la formación y acumulación de suelos con horizontes definidas es escaso. A penas es discernible la acumulación del material orgánico proveniente de la vegetación local entremezclado con fragmentos de roca caliza. Esto ocurre principalmente sobre el carapacho de material calizo recristalizado (case- hardening).

No obstante el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos en cooperación con el Colegio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico en su publicación, Soil Survey of the Lajas Valley Área (1965) (Referencia Núm. 1), clasifica los suelos prevalecientes en el lugar del proyecto como suelos tierra - rocoso-calizas (Lr) en pendientes rocosas cubiertas en su mayoría de guijarros y trazos de piedra caliza.

Son suelos de escaso valor agrícola, continua la definición de los suelos rocosos en la señalada referencia. "Este suelo tiene escaso valor agrícola porque es pedregoso, poco profundo y de poca capacidad para retener agua."

La definición que antecede, se refiere al carapacho calizo que aflora en la superficie de la unidad calcárea de la formación Juana Díaz. Es precisamente en esta unidad geológica donde se ubicará y se operará la propuesta expansión lateral del vertedero.

Por otro lado en los márgenes o bases de las colinas caliza donde prevalecen

los pocos suelos que se acumulan suelos de características coluviales denominados suelos Pozo Blanco Cascajoso - arcilloso lómico (P2 C), según la referida publicación del Departamento de Agricultura, Conservación de Suelos.

En el lugar que nos ocupa el suelo Pozo Blanco Cascajoso es muy limitado y se concentra en estrechas franjas en las bases de las colinas de calizas y margas calcáreos que dominan el panorama regional. Estos suelos pedregosos también tienen poca utilidad para fines agrícolas.

Abundando sobre el suelo principal que prevalece en la región del barrio Barinas es necesario enfatizar que la descripción oficial de estos suelos no abunda sobre el hecho de que lo que se trata es de un pavimento calizo creado por la re-cristalización superficial de las margas calcáreas que predominan en el horizonte geológico superior de la formación Juana Díaz. Por lo que suelos tales como horizontes A y B definidos no existen en estos pavimentos calizos ni en sus derivados como lo son las acumulaciones coluviales.

IX. ALCANCE DEL PRIMER ANÁLISIS GEO-QUÍMICO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DEL MATERIAL GEOLÓGICO PARA REMOVER TÓXICOS EN LIXIVIADOS:

En esta primera etapa de los análisis para determinar las propiedades de intercambio iónico entre las sales calcáreas (margas calcáreas) y los lixiviados generados en la facilidad del vertedero de Yauco, las muestras utilizadas fueron las ya señaladas según descritas en el Capitulo XII que antecede a saber la marga calcárea y arcilla limosa.

La primera investigación consistió en el análisis de los ácidos de lixiviación para determinar analitos claves (Tal -23 metales) y de los compuestos claves (TLC- Volátiles orgánicos , semi volátiles, pesticidas y herbicidas) y RCI - reactividad, corrosividad, e inflamabilidad. Vease tabla número 1.

Se realizó un espectrografía de difracción (X- ray diffraction spectroscopy) del material geológico para determinar sus componentes mineralógicos previo a proceder con la fase del experimento que incluyó mezclar y exponer el líquido del lixiviado con el material geológico. Una muestra del material margoso (caliche) que constituye, conjuntamente con el material arcilloso, la materia prima principal utilizada como relleno o cubierta, fue enviada a los laboratorios de Georgia Tech Research Institute para el correspondiente análisis de difracción espectroscópica por medio de rayos X; Vease figura numero 9.

La información asegurada, en cuanto al análisis semi-cualitativo del material geológico se presenta a continuación seguido por el difraciograma (experimental diffractogram) obtenido en el mismo experimento. Se desprende del resultado semi-cuantitativo que los componentes principales de la marga calcárea con la Dolomita y el carbonato de calcio.

La Dolomita clásica en su composición de Ca Mg (Co3) 2, constituye el 48.6%, mientras que la dolomita, en su forma de (ankerita) donde el magnesio -Mg es sustituido por el hierro- Fe, alcanza un 22.3% en dicha composición. Y, un 11.1% como el mineral de ankerita en la composición química más compleja que se descifra como Ca1.01Mg0.45Fe0.54. El carbonato de calcio (C03)2, aparece con un 17% mientras que la silica, componente menor, alcanza un por ciento (1.0%) cuantitativamente.

Es de importancia comparar los resultados incluidos en la tabla Núm. 1 (metales TAL) donde sólo utilizó en esta prueba el componente margoso (caliche) con alto contenido de CaCo3 y Mg.

Este contacto entre estos elementos se extendió por cuatro días consecutivos bajo un control atmosférico para evitar la evaporación y el escape de cualquier reacción. Luego de la exposición el filtrado del lixiviado fue analizado para determinar cambios en los analitos claves. El resultado de esta fase de las investigaciones se ilustra en la segunda columna de la tabla número 1 la cual se incluye más adelante por separado.

En la tabla número 2, la cual recoge los resultados del lixiviado para los componentes orgánicos (TCL) antes y después de haberse expuesto el líquido al material geológico, refleja, una situación tal vez paradójica porque el resultado en estos análisis no refleja la presencia de componentes orgánicos requeridos ni antes ni después del ensayo.

Estos resultados nos trae a evaluar una incógnita; el hecho de que dichos componentes orgánicos no fueron detectados o estuvieron presentes en estos líquidos. Nos convida a meditar si en efecto ya el lixiviado, recuperado para estos

ensayos, emanaba o surgía regenerado del vertedero luego de atravesar y filtrarse, por tiempo prolongado, a través del material geológico emplazado como cubierta.

La misma interrogante surge con los resultados obtenidos según la tabla número 3 que antecede, que incluye los resultados para reactividad, corrosividad, inflamabilidad (RCI), donde no se detectaron dichos componentes.

Estos resultados nos motivaron a proceder con una segunda fase de ensayos y análisis donde se le agrego al caliche el material arcilloso que abunda en el vertedero, y, el lixiviado fue contaminado [spiked] con una cantidad conocida de PCB, PESTICIDA Y METALES [TAL]. Los sorprendentes resultados obtenidos se discuten a continuación y se presentan en el Apéndice (C y D).

X. ALCANCE Y RAZÓN PARA EL SEGUNDO ANÁLISIS GEO-QUÍMICO:

Como el material geológico utilizado como cubierta en el vertedero no se compone exclusivamente de caliza y material margoso, por encontrase éstos inter-estratificados con arcillas limosas y hasta arcillas margosas. Se procedió, por tal motivo, a repetir los anteriores ensayos y análisis, esta vez con una mezcla de margas calcáreas y de material arcilloso tal y como ocurre y está presente en el lugar. Se pretendió en este segundo ensayo lograr recrear de forma más certera la composición del material geológico utilizado como cubierta. De tal forma estaríamos más confiados y, nos acercaríamos más, a la situación geológica en la verificación de las propiedades de intercambio iónico, entre el material de relleno con los lixiviados.

En este segundo ensayo también se optó por añadirle al lixiviado, proveniente del vertedero, concentraciones conocidas de los parámetros que se nombran más adelante, debido a que la presencia de éstos no fue detectada en el primer análisis. El proposito de sembrar concentraciones conocidas de estos comunes e indeseables contaminantes, es con el fin de observar y determinar con certeza cambios significativos cuantitativos en estos parámetros una vez sembrados a base del intercambio iónico entre las referida mezcla de arcilla y marga calcárea y el lixiviado así alterado. (spiked)

Los análisis así programados prosiguieron para los siguientes parámetros añadidos:

- TAL - Lista inorgánica de metales (23 metales)
- RCI - Hidrocarburos totales en petroleo, benceno, tolueno, benceno etílico y xileno (componente de gasolina).
- PCB - Pesticidas y Plaguicidas