

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE SUYO, PROVINCIA AYABACA, DEPARTAMENTO DE PIURA

A GEOLOGICAL - GEOTECHNICAL STUDY OF THE AREA FOR A SANITARY FILL IN THE CITY OF SUYO, PROVINCE OF AYABACA, DEPARTMENT OF PIURA

Teófilo Allende Ccahuana*

RESUMEN

La Municipalidad de Suyo está impulsando proyectos para resolver el problema ambiental por el manejo inadecuado de los residuos sólidos, uno de los cuales es el proyecto de relleno sanitario para la ciudad.

En este sentido, el presente estudio es una investigación básica para desarrollar un proyecto de relleno sanitario en una área de 0.75 Has., ubicada en el km 1000 + 132 en la vía Sullana-Las Lomas-Suyo, y asentada en el cono aluvial de la quebrada Leones, el cual es parte del flanco de la Cordillera de los Andes.

El relieve se ha perfilado en afloramientos de roca volcánico-sedimentario de los Volcánicos Lancones, está cubierto por sistemas depositacionales aluviales. Los depósitos conforman un suelo de dos horizontes, un nivel superficial de arcilla (CL), y otro inferior areno-arcilloso (SC) que varía en sentido horizontal a limo arcilloso, el último es moderadamente cohesivo asociado a permeabilidades bajas y a una resistencia a la carga que varía de 1 a 3 kg/m³.

Por último, el área presenta condiciones geológicas-geotécnicas para la instalación de relleno sanitario, pero con medidas para la impermeabilización de la base del relleno sanitario, controlar la filtración de lixiviados, para mantener estables las estructuras formadas, y para adecuar un sistema de drenaje de evacuación de las aguas de precipitación pluvial.

Palabras clave: Geológico, geotécnico, relleno sanitario, suyo, arcilla, areno-arcilloso

ABSTRACT

The Suyo Municipality is impelling projects to solve the environmental problem for the inadequate handling of the solid residuals, one of those which is the project of sanitary filler for the city.

In this sense, the present study is a basic investigation to develop a project of sanitary filler in an area of 0.75 Has., located in the km 1000 + 132 in the road Sullana-Las Lomas-Suyo, and seated in the alluvial cone of the Qda. Leones, which is part of the flank of the Andes Mountain.

The relief has been profiled in sedimentary volcanic rock of the Volcanic Lancones, it is covered for systems alluvial depositacional. The deposits conform a soil of two horizons, a superficial level of clay (CL), and another inferior argillaceous sand (SC) that varies in horizontal sense to argillaceous silt, the last is moderately cohesive associated to low permeabilities and to a resistance of the soil that varies from 1 to 3 kg/m³.

Lastly, the area presents conditions geologic-geothechnic for sanitary filler, but with measures for the impermeabilización of the base of sanitary filler, to control the filtration of having leached, to maintain stable the formed structures, and to adapt a system of drainage of evacuation of the waters of pluvial precipitation.

Keywords: Environmental geologic, geothechnic, sanitary filler, suyo, clay, argillaceous sand.

* Departamento Académico de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: teo4557@terraemail.com.pe / tallendec@unmsm.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Suyo tiene aproximadamente 756 habitantes y la disposición final de los residuos sólidos se realiza sin criterio técnico en una zanja ubicada en la margen derecha de la quebrada Morocho, con las consecuencias de un deterioro del suelo, aire y del agua. Ante la problemática ambiental se ha planteado realizar un Proyecto de Relleno Sanitario.

El proyecto debe tener la información básica del medio físico, como el estudio geológico-geotécnico que tendrá un enfoque para mantener las condiciones estables de las estructuras diseñadas y un control de algún riesgo de contaminación del suelo y agua. En dicho estudio se destacarán los aspectos climáticos, hidrológicos, geológicos, geodinámicos y geotécnicos, que tienen influencia en el diseño del proyecto y algunas veces en la vida útil del relleno sanitario.

2. OBJETIVO

Delinear el conocimiento geológico-geotécnico que puede limitar y favorecer el diseño de un Proyecto de relleno sanitario.

3. HIPÓTESIS

En el km 1000 +132,5 km de la vía Sullana-Las Lomas-Suyo al noreste de la ciudad del mismo nombre, se ubica un área que presenta condiciones geológica-geotécnicas que permitirán adaptar un Proyecto de Relleno Sanitario manual para dicha ciudad.

4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Se realizó la recopilación de la información de los reportes técnicos y de las coordinaciones con la autoridad local.

El trabajo de campo se realizó en las cercanías de la ciudad del Suyo, donde se aplicó el criterio descriptivo, analítico y deductivo, y las técnicas cartográficas para que los componentes básicos de un proyecto de relleno sanitario como la parte administrativa, vías de acceso y el área de relleno de los residuos, se adecúen a las características físicas del medio físico.

Finalmente, se reajustó la información obtenida en el campo y en los ensayos de laboratorio para consolidar el presente estudio.

5. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio, está ubicada a 1000 +132,5 km de la vía Internacional Piura-Macará al noreste de la ciudad de Suyo, en la margen derecha de la quebrada Leones afluente de la quebrada Morocho (Mapa N° 1), y está definida aproximadamente en sus vértices por las siguientes coordenadas UTM:

Vértice N° A 9 502 690 m N - 611 410 m E

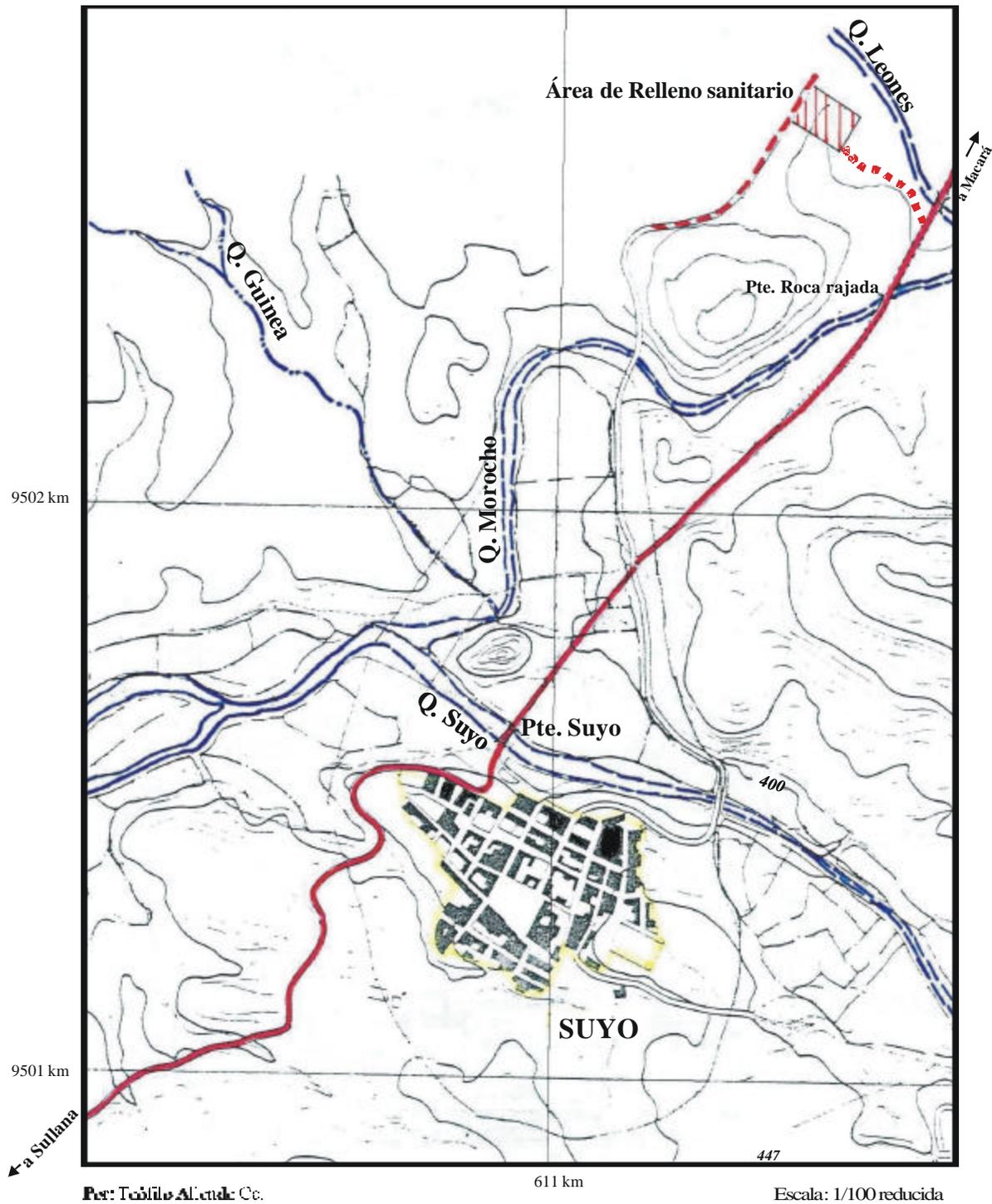
Vértice N° B 9 502 760 m N - 611 450 m E

Vértice N° C 9 502 700 m N - 611 530 m E

Vértice N° D 9 502 640 m N - 611 500 m E

Asimismo, el área se encuentra entre las cotas 410 a 420 m.s.n.m. Políticamente pertenece a la jurisdicción del distrito de Suyo, provincia de Ayabaca, departamento de Piura en la Región Grau (Mapa 1).

El área del relleno abarca 0,75 Has aproximadamente, y el acceso a la zona del relleno se efectúa a través de un tramo de 300 m de trocha a la quebrada Leones, el cual parte del km 1000+132,50 de la carretera asfaltada Sullana -Las Loma - Suyo.



MAPA N° 1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE SUYO

6. CONDICIONES CLIMÁTICAS, VEGETACIÓN Y RELIEVE

El área se ubica en el piso climático que de acuerdo a la altitud corresponde «Bosque seco ecuatorial», caracterizado por presentar un clima húmedo tropical, con promedios mensuales de precipitación de 200 mm con máximos de enero a abril y mínimos de mayo a agosto, y temperaturas de 23° a 25° C. La dirección predominante de los vientos es noreste-suroeste y la mayor intensidad ocurre en horas de la tarde.

La flora silvestre está conformada por palmeras en diversas variedades: guayabo, siboney, aguano pasmado, cético, ishanga y otras vegetaciones arbóreas y arbustivas. Además, los suelos son zonas agrícolas principalmente con cultivos de plátanos y pastos aprovechados en la ganadería sobretodo de ganado vacuno de la raza cebú. La fauna silvestre está constituida de reptiles, carachupa, majas, gallinazos, variadas aves, etc.

La configuración topográfica del área presenta un contraste entre relieves accidentados interrumpidos por pequeñas colinas de laderas suaves a moderadas y de pequeñas superficies con pendientes que varían de planas a ligeramente inclinadas, que corresponden a los conos aluviales de las quebradas.

7. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

El eje principal de drenaje en la zona, lo constituye la quebrada Leones al que discurren todos los drenajes naturales del sector. La quebrada Leones desemboca por la margen derecha a la quebrada Morocho, la cual es afluente principal del río Quiroz ubicado al norte de la ciudad de Suyo.

Considerando que el área de estudio se localiza en una microcuenca que carece de información hidrometeorológica, el enfoque hidrológico se orienta a la protección contra un probable ingreso de agua, generado por un evento extraordinario de precipitación y en especial de intensidades máximas de precipitación, que puedan generar escorrentía superficial. Ante la presencia de una escorrentía superficial extraordinaria generada por altas precipitaciones pluviales como las que provoca el Fenómeno «El Niño», sus efectos serían mayores en la parte de la desembocadura, por lo tanto es preferible tomar medidas para mitigar los desastres.

Regionalmente se reconoce que la precipitación promedio mensual es de 200 mm,

desconociéndose las intensidades máximas de precipitación por hora. Considerando como indicador los datos de precipitación pluvial de varias localidades del interior de Piura publicados en el diario «El Correo» el 8 de abril de 1999, donde la localidad de Suyo presenta la precipitación media semanal varía de 56 a 72 mm/día. Además en el cuadro N°1, se adjunta las precipitaciones pluviales normales y asociadas a la ocurrencia del Fenómeno El Niño, los cuales han provocado escurrimiento superficial en las localidades de Piura y Talara:

Cuadro N° 1

Año	Fenómeno El Niño	Piura	Talara	pp asociada al Fenómeno Niño (mm/día)
		pp normal (mm/día)	pp normal (mm/día)	
1952/53	moderado		10.9	156.4
1957/58	moderado	40.1		137
1971/72	moderado	40.1		156
1982/83	fuerte	40.1		2165.9
1986/87	moderado	40.1		228
1991/92	moderado	39.4		251.6

Fuente: INDECI- 1998.

En general, las precipitaciones pluviales máximas con 130 mm/día ocurren durante los meses de enero a abril, donde llueve intermitentemente y se desarrollan las escorrentías de las aguas de precipitación pluvial y que han delineado los pequeños cauces que atraviesan el área, como lo manifestado por los pobladores de Suyo.

8. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El área motivo del estudio se localiza en la parte baja del Flanco Occidental de la Cordillera de los Andes, unidad caracterizada por la morfología accidentada asociadas con pequeñas colinas rodeados de superficie casi plana por donde discurren las quebradas Morocho y Leones.

La geomorfología ha sido determinada principalmente por la acción pluvio-fluvial del sistema hidrográfico de la quebrada Morocho y Leones, como resultado de los movimientos tectónicos de la región y la actividad antrópica.

Localmente la zona donde se emplazaría el Relleno Sanitario corresponde al cono aluvial de la quebrada Leones constituida de una superficie suave interrumpida por lomadas de pendientes suaves a moderadas (10% a 15%) y cortados por pequeños surcos formados por las escorrentías de

aguas durante la temporada de altas precipitaciones pluviales.

9. ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

9.1 Aspectos litológicos estructurales

El relieve característico de la región se ha desarrollado en su mayor parte en afloramientos de roca volcánico-sedimentarias (andesitas interpuestas con limolitas-arcillitas) denominadas como Volcánico Lancones, que están cubiertas por sistemas depositacionales de conos aluviales fluviales.

Las rocas que predominan en la parte baja de la quebrada Leones son andesitas gris verdosas macizas, masivas, interestratificadas con horizontes limo-arcillíticos amarillentos, poco consolidados y en estratos de mediana potencia.

Los afloramientos se encuentran en franco proceso de meteorización y fracturados, con tonalidades grises a gris amarillentas, algunas fracturas están rellenas por cuarzo. Las fracturas debido a esfuerzo de tensión, son evidentes en los taludes de corte de la carretera Suyo-Macará. Cubriendo los afloramientos rocosos se hallan depósitos inconsolidados de origen fluvial y aluvial, el primero constituido por fragmentos de naturaleza ígnea, redondeados de tamaño variable, y los segundos conformados por arcilla interpuesta en menor proporción con materiales areno-arcilloso de color marrón a pardo amarillenta, y con espesores variables que pueden superar los 5 metros.

La morfología y disección de la región de Suyo, no está controlada por sistemas de estructuras locales, sino que pertenecen o están controladas por alineamientos estructurales mayores relacionados con los movimientos tectónicos andinos.

9.2. Aspectos hidrogeológicos

En el área de estudio no se ha identificado ninguna fuente de agua subterránea, ni se ha detectado la presencia de una napa freática.

La zona por encontrarse en una región húmeda tropical donde la precipitación pluvial es alta, una buena parte cae sobre los materiales superficiales casi impermeables que pueden determinar una saturación superficial, dando lugar a que algunas veces forman zonas pantanosas que pueden constituir fuente superficial de los recursos

hídricos. El suelo arcilloso superficial se caracteriza por presentar malas propiedades de conductividad hidráulica y no constituye acuífero alguno, y se encuentra en los 2 metros de profundidad.

El material limoso a areno-arcilloso que yace a una profundidad (debajo de los 2 metros de profundidad) presenta propiedades hidráulicas asociados a una mala permeabilidad (10^{-5} a 10^{-6} cm/seg), que representa una dificultad en el proceso de infiltración de cualquier fluido.

Cuadro N° 2

CLASE DE PERMEABILIDAD	COEFICIENTE (cm/seg)	TIPO DE MATERIAL
Muy buena	$10^2 - 10^1$	Grava, arena gruesa desprovista de material fino.
Buena	$10 - 10^{-3}$	Arena pura, arena y grava fina sin material fino.
Mala	$10^{-4} - 10^{-7}$	Arena muy fina, limo, mezclas de arenas y arcillas.
Impermeable	$10^{-7} - 10^{-9}$	Arcillas homogéneas.

Fuente: Aguirre Morales, A. Hidrogeología. 1981.

Por lo que en el diseño del relleno, la impermeabilización de la base será una medida de control ante un riesgo latente de contaminación de cualquier recurso hídrico que se distribuye en la confluencia de las quebradas Leones y Morochu.

9.3. Aspectos geodinámicos

Los fenómenos geodinámicos externos en el área de estudio, se manifiestan con mayor intensidad en épocas de altas precipitaciones pluviales y ocasionalmente en estiaje, y la ocurrencia de los procesos se encuentra condicionada por:

- El aspecto litoestructural, donde por sectores los afloramientos rocosos se hallan meteorizados y fracturados, expuestos a la acción de los agentes geodinámicos provocando desprendimientos de los fragmentos rocosos inestables y deslizamiento de los materiales de cobertura.
- Las lluvias cíclicas y continuas propias de la región andina.
- La acción evolutiva de las quebradas y ríos.
- La actividad antrópica.

Localmente los fenómenos de geodinámica externa han estado circunscritos a las inundaciones que ocurren en épocas de precipitación pluvial

extraordinaria afectando zonas amplias y de poca pendiente de la quebrada Leones, las cuales son ocupadas por sedimentos gruesos y finos.

Aunque en el sector de estudio, la acción de las aguas es mínima y la zona aparentemente se halle estabilizada, es necesario considerar un buen sistema de drenaje en el diseño del relleno que permita la rápida recolección y evacuación de las aguas de precipitación pluvial, y de la percolación de lixiviados de los residuos sólidos para no afectar la estabilidad de los materiales (rocas y suelo) y estructuras construidas.

De acuerdo a la información sísmica registrada y a los datos históricos existentes, entre 1582 a 1986 (*Atlas del Perú*, 1985), en la zona no se han registrados terremotos que hayan ocasionado desastres, los sismos más próximos a la zona de estudios han ocurrido principalmente al oeste de Suyo, y está caracterizada por sismos con magnitudes que han alcanzado los 7.0 - 7.5, y de profundidades mayores de 20 km asociadas a fallas geológicas (alineamiento estructural norte-sur, al este de Suyo). Por lo tanto los fenómenos de geodinámica externa influenciados por movimientos sísmicos locales resultan poco probables.

9.4. Aspectos geotécnicos

Los aspectos geotécnicos que interesan al área están orientados principalmente a los siguientes propósitos:

- Determinación de las propiedades índice del suelo que conforman el terreno de fundación.
- Definir las propiedades físico-mecánicas de dicho suelo.

9.4.1. Investigaciones de campo

Para conocer la estratigrafía del suelo donde se instalará el relleno en toda su extensión y las características de sus componentes, se excavaron tres (3) calicatas de forma cuadrada con dimensiones de 1,50 x 1,50 m², habiendo alcanzado profundidades de hasta 1,85 metros.

En el Cuadro N° 3 se muestra las calicatas ejecutadas y se presenta en detalle; en cada una de ellas se elaboró el registro litológico correspondiente y se obtuvieron muestras representativas para ser ensayadas en el laboratorio.

Cuadro N° 3

CALICATA	OBRA	LONGITUD (metros)	DIRECCIÓN
P1SU	Relleno sanitario	1,62	Vertical
P2SU	Relleno sanitario	1,85	Vertical
P3SU	Relleno sanitario	1,27	Vertical

En el área se constituye un suelo transportado donde se tomaron cinco muestras alteradas, tres que han sido reconocidas como: P1SU2, P1SU3 y P3SU1 corresponden a la capa superficial y dos como P1SU1 y P2SU1 que pertenecen al material reciente. Las muestras han sido ensayadas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales del SENCICO, y fueron sometidas a ensayos de:

- Análisis granulométrico por tamizado - Norma ASTM D-422.
- Límites de Atterberg.
- Clasificación de suelos (SUCS).

Los resultados representados en el Cuadro N° 4, forman un criterio cuantitativo de las propiedades índice del suelo que facilitan el desarrollo del proyecto de relleno sanitario. Así, en el área se distribuyen suelos gruesos (P1SU2, P1SU3 y P3SU1) y suelos finos (P1SU1 y P2SU1), estos últimos se desarrollan como una capa superficial.

Los suelos gruesos presentan fracciones de finos donde la muestra P1SU2 tiende a mantener un comportamiento de suelos SM, mientras las muestras P1SU3 y P3SU1 conservan determinada plasticidad y elasticidad asociados a suelos SC, que le hacen un suelo con comportamiento físico favorable para los trabajos de enterramiento de residuos sólidos. Mientras los suelos finos presentan un comportamiento moderado ante una deformación (baja plasticidad y compresibilidad) asociada a suelos CL, el cual en forma directa no es aprovechable para trabajos de enterramiento e impermeabilización de la base de un relleno sanitario.

Cuadro N° 4

Muestra	P1SU1	P1SU2	P1SU3	P2SU1	P3SU1
Profundidad (m)	0,4	0,77	1,62	1,25	0,5
1 ½"			100,0		
1"			92,7		
¾"		100,0	89,8	100,0	
½"	100,0	97,7	86,7	99,3	100,0
3/8"	99,7	95,9	84,5	99,7	99,5
¼"	99,4	94,4	81,8	99,5	98,7
N° 4	99,2	92,5	79,8	99,3	98,0
N° 10	97,7	84,2	73,6	98,0	93,9
N° 20	94,0	71,5	65,6	96,4	86,8
N° 40	88,7	60,7	56,8	92,6	75,5
N° 60	83,0	52,8	49,2	87,7	63,6
N° 140	65,6	36,1	39,1	78,7	47,0
N° 200	57,5	29,9	36,1	75,4	41,4
Límite líquido (%)	23,6	-No presenta-	30,1	38,9	25,7
Límite plástico (%)	14,9	-NP-	15,2	18,3	14,4
Índice plástico (%)	8,8	-NP-	14,9	20,6	11,3
Clasificación de suelos (SUCS)	CL	SM	SC	CL	SC

Fuente: SENCICO, junio, 1999.

Con estos resultados se procedió a efectuar las correcciones de las características de los suelos obtenidos en el campo.

9.4.2. Características físicas del suelo

Para determinar los tipos de suelos del área se ha realizado ensayos en el mismo lugar para determinar su resistencia y tomado muestras alteradas para enviarlas al Laboratorio de Ensayos Materiales. Las evaluaciones de campo y las pruebas de laboratorio han determinado un registro litológico del área estudiada.

Así, en superficie conformando un estrato de 0,50 m hasta 1,60 m de espesor se halla un suelo arcilloso (CL) color marrón, de baja compresibilidad y con moderada humedad con restos de raíces, debajo del cual yace hasta una profundidad que puede ser mayor de los 2,00 m un nivel areno-arcilloso (SC), color marrón a marrón amarillento, de baja a mediana plasticidad, moderadamente húmedo, cohesivo que en ciertos lugares presenta clastos angulosos de roca ígnea de hasta 0,40 m de diámetro, de fácil a mediana excavabilidad. En esta parte el suelo varía a arena con limo con baja a mediana plasticidad y cuyo espesor es variable y supera los 2 metros de profundidad. No se ha localizado la presencia de un nivel freático.

Los suelos de acuerdo a la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Suelos) varían de arcilloso inorgánico (CL) a areno-arcillosos (SC) siendo este último variable a un suelo areno-limoso (SM).

En general, los suelos constituyen terrenos de fundación aceptables con resistencias que varían desde 1,0 a 3,0 kg/cm² en estado natural, los que son aceptables para la excavación con el apoyo de tractores, cargador frontal, etc., y para la implantación de relleno sanitario, así como ser empleados como material de cobertura. Dichos valores se encuentran en el rango de la capacidad portante de los suelos donde se han desarrollado proyectos de relleno sanitario como se presenta en el cuadro N° 5:

Cuadro N° 5

LOCALIDAD	RESISTENCIA kg/cm ²
Abancay	3 a 4
Yurimaguas	>1 a 3.5
Huancayo	1.5 a 2.0
Huanta	2 a 4

Fuente: Proyectos de relleno sanitario aprobados por DIGESA/DESAB. 1998

Considerando que el área corresponde al cono aluvial de la quebrada Leones y limitada tanto lateralmente como en profundidad por rocas de naturaleza ígnea, los materiales conforman suelos con características físicas que varían en profundidad y con malas condiciones hidráulicas, y como tal los efluentes líquidos que acompañan a los residuos sólidos, y de las precipitaciones pluviales pueden tener dificultades de infiltración. En caso que sucediera lo contrario, la implantación de pozos de observación ubicados en las cercanías del cauce de la quebrada Leones permitirá detectar algún impacto negativo en el suelo.

9.4.3. Material de cobertura

El material de cobertura puede extraerse de los materiales excavados en el área del relleno, y están constituidos por limo arcilloso, areno-arcilloso y arcilla donde se debe preparar para obtener un material de cobertura adecuado como limo arenoso. El volumen disponible de material de cobertura considerando una excavación de hasta 5 m puede alcanzar los 37 500 m³, y permitirá cubrir las necesidades de operación del relleno.

Por ubicarse en las cercanías del cono aluvial la abundancia donde se distribuyen material fino y granular, de necesitarse para los diferentes trabajos deberá extraerse material de cantera en la parte baja de la quebrada Leones a 300 m del área de estudio.

10. CONCLUSIONES

1. El relleno sanitario para la ciudad de Suyo está ubicado en un área de 0.75 Has, en un relieve que se caracteriza por tener una morfología suave a accidentada, entre 410 a 800 m.s.n.m. asociadas a una superficie moderadamente inclinada de 5%, que está interrumpida por colinas de pendientes suaves a moderadas (10% a 15%).
2. Las colinas y el flanco en el área están constituidos por rocas de naturaleza ígnea de color gris verdoso a grises, de aspecto masivo, interpuesta con arcillita de color pardo amarillenta, superficialmente cubierta por un suelo arcilloso y areno-arcilloso de color marrón.
3. En la zona donde se ubicará el relleno, el suelo superficial por sectores está conformado de un horizonte de hasta 0,50 m donde encontramos un suelo arcilloso (CL), color marrón con

restos de raíces, debajo del cual yace una profundidad de hasta 1,85 m un suelo areno-arcilloso (SC) color gris verdoso a marrón amarillento, húmedo, de baja a mediana plasticidad, bien cohesivo, de baja a mediana compresibilidad y de fácil a mediana excavabilidad.

4. No se ha localizado ninguna napa freática en el sector, pero según el desarrollo del horizonte areno-arcilloso cuyo tope se inicia a partir de los 0,60 m de profundidad, presenta mala permeabilidad, que dificulta la infiltración de cualquier fluido (aguas de precipitación pluvial y lixiviados).
5. Como material de cobertura se puede emplear el suelo limo arcilloso, areno-arcilloso y arcilloso previa preparación a un material limo arenoso que se obtendrá de la adecuación del relleno en su primera etapa y de las zonas de inundación de la quebrada Leones a la entrada al relleno.

11. RECOMENDACIONES

1. Para aprovechar el terreno e implantar un relleno sanitario será necesario:
 - a. Explotar el área por etapas, desarrollando en una primera etapa trincheras y continuar con el sistema de plataforma aprovechando la pendiente de las laderas de la colina.
 - b. Que para impermeabilizar las celdas del relleno, la base del relleno debe ser cubierta con una capa de arcilla compactada para evitar la infiltración de los lixiviados, y debe estar dotada de un sistema de drenaje que permita captar y evacuar tanto las aguas de precipitación pluvial como los efluentes líquidos que produzca la basura.
 - c. Que para el control de cualquier índice de contaminación de los recursos hídricos será necesario el diseño y ejecución de una red de monitoreo, ubicándose los puntos de control (pozos de monitoreo) próximo a la vía Suyo-Macará. El monitoreo de los efluentes que se produzcan puede estar a cargo de Ministerio de Salud o la Municipalidad de Suyo.
 - d. Siendo una zona con una densa cobertura vegetal, sólo se deforestará el área de uso efectivo, manteniendo la vegetación natural de los alrededores, el cual contribuirá como una medida de protección ambiental en el área del relleno sanitario.

- e. La capa de suelo superficial a excavar debe ser acumulada en un sector del terreno y emplearla como material de cobertura.
2. Con la finalidad de evitar posibles movimientos de los residuos sólidos pendiente abajo (deslizamiento), es necesario que el diseño de cada talud contemple la protección de su base, para lo cual se pueden construir banquetas empleando sacos rellenos con grava, materiales que deben ser extraídos del cauce de la quebrada Leones.
 3. El sistema de drenaje que se diseñe para la captación de las aguas superficiales (pluviales y de escurrimiento) y del sobresaturamiento de los suelos por las altas precipitaciones de la región debe ser construido sin considerar limitaciones económicas, ya que de él dependerá su estabilidad. Así mismo, se acondicionará el canal natural para obtener un mejor rendimiento de la captación de las aguas superficiales y pluviales.
- 12. BIBLIOGRAFÍA**
1. Alzate B., J. 1992. Fundamentos de Mecánica de Suelos y de Rocas. IGAC. Colombia.
 2. Allende T. 2000. Aspectos Geológicos en los Proyectos de Relleno Sanitario. CD del X Congreso Peruano de Geología, julio 2000. Lima
 3. Allende T. 2001. Evaluación geológico-ambiental en la determinación de la factibilidad de un área para relleno sanitario. *Revista del Instituto de Investigación de FGMMCG*. Vol 4 N° 7 enero-junio, 2001.
 4. Allende T. 2001. Evaluación geológico-ambiental de áreas para relleno sanitario de las ciudades de Urubamba, Ollantaytambo y Machupicchu, Departamento de Cusco. *Revista del Instituto de Investigación de FGMMCG*. Vol 5 N° 10. julio-diciembre 2002.
 5. *Atlas del Perú*. 1985.
 6. DIGESA-MINSA. 1998. Análisis sectorial de residuos sólidos-Perú. Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud.
 7. DIGESA-MINSA. 1998. III Curso-Taller Relleno Sanitario Mecanizado.
 8. Jaramillo, Jorge. 1991. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Programa de Salud Ambiental. Serie Técnica N° 28. OPS / OMS.
 9. Ley General de Residuos Sólidos: Ley N° 27314 del 21.07.2000.
 10. Morales Aguirre, A. 1981. *Curso Hidrogeológica*. UNMSM.
 11. Proyecto Relleno Sanitario de la localidad de Abancay. DIGESA, 1998.
 12. Proyecto Relleno Sanitario de la localidad de Chimbote. DIGESA, 1999.
 13. Proyecto Relleno Sanitario de la localidad de Huancayo. DIGESA, 1999.
 14. Proyecto Relleno Sanitario de la localidad de Huanta. DIGESA, 2000.
 15. Reglamento para la disposición de basuras mediante el empleo del método de relleno sanitario: Decreto Supremo N° 6-STM del 09.01.64.
 16. Rico, A. y del Castillo, H. 1990. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Vol. I. Ed. LIMUSA.