Biorgánicos
DEL SUR DEL HUILA S.A. E.S.P.

# MONITOREO GEOTÉCNICO Y CIVILES EN LA CELDA CLAUSURAD PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE BIORGÁNICOS DEL SUR DEL HUILA S.A.S E.S.P.

MUNICIPIO DE PITALITO

DEPARTAMENTO DEL HUILA

MES DE OCTUBRE 2024

# TABLA DE CONTENIDO


1. INTRODUCCION ..... 4
2. ALCANCE ..... 5
3. OBJETIVOS ..... 6
Objetivo general: ..... 6
Objetivos específicos: ..... 6
4. CONSIDERACIONES DE OBRA ..... 7
5. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO ..... 7
6. COMPONENTE fisico DEL AREA DE INFLUENCIA ..... 9
6.1 Topografía: ..... 9
6.2 Climatología: ..... 10
6.3. Precipitación: ..... 11
6.4. Evaporación: ..... 11
6.5. Temperatura: ..... 11
6.6. Humedad Relativa: ..... 13
6.7 Brillo solar: ..... 13
6.8 Velocidad del Viento: ..... 14
6.9. Dirección vientos: ..... 14
6.10. Clasificación climática: ..... 15
6.11. Hidrología: ..... 15
6.12. Geología: ..... 16
6.12.1. Geologia local: ..... 17
6.12.2. Unidades Litológicas: ..... 17
6.13. Geomorfología: ..... 20
6.14. Suelos: ..... 21
6.15. Hidrogeología: ..... 22
7. COMPLEJIDAD DEL PROYECTO ..... 26
8. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS DEL RELLENO SANITARIO Y SUS COMPONENTES ..... 29
9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS ..... 45
9.1 Estado del arte ..... 45
9.2 Prospección geotécnica ..... 47
9.3 Caracterización geomecánica de los materiales ..... 50
9.3. Consideraciones para el análisis de estabilidad ..... 53
Definición de la zona de amenaza ..... 53
Definición del tipo perfil del suelo ..... 54
9.4. Perfiles de análisis ..... 58

9.5. 6. Resultados de los análisis de estabilidad ..... 59
CONDICIÓN SECA Y SIN SISMO ..... 59
CONDICIÓN SECA Y CON SISMO ..... 61
10. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES ..... 66

# 1. INTRODUCCION

El MONITOREO GEOTÉCNICO Y CIVILES EN LA CELDA DE OPERACIÓN PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE BIORGÁNICOS DEL SUR DEL HUILA S.A.S E.S.P. tiene como finalidad dar a conocer las condiciones geotécnicas del lugar de estudio, basados en los diseños originales, en el levantamiento topográfico realizado, en el análisis de los datos de campo y demás requeridos para obtener los factores de seguridad arrojados por el software SLIDE 6.0 en la modelación del relleno sanitario.

Para el presente monitoreo, el contratista del servicio Agroinversiones del Sur SAS, en apoyo del profesional en Ingeniería Civil, Especialista en Estructuras Carlos Stephen Gerardino y del monitoreo topográfico realizado por la misma empresa a cargo del profesional en Topografía Sergio Muñoz Urbano, siguiendo las directrices de las normas competentes como lo son: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Título F y H); Norma Sismo Resistente NSR-10; Decreto 1077 de 2015; Decreto 1784 de 2017 y Resolución 0938 de 2019.

Es importante resaltar que la empresa Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. no solo realiza la disposición final de los residuos sólidos sino que antes de eso existen unos procesos de tratamiento para los residuos orgánicos fermentables, aprovechamiento de los residuos inorgánicos que pueden ser comercializados y por último los residuos que son denominados como inservibles son llevados al relleno sanitario, esto es un claro ejemplo de economía circular y una correcta gestión integral de los residuos evidenciando así una reducción del impacto ambiental.

Estos monitoreos de topografía y geotecnia realizados In Situ se hicieron cumpliendo con los estándares de calidad de las normas vigentes para Colombia y el análisis riguroso de los suelos de cimentación, para las estructuras a construir, donde se determina la estratigrafía, clasificación, índice de liquidez y compresión, capacidad portante admisible y ensayos complementarios, herramientas claves para la comprensión principalmente de las condiciones mecánicas del suelo. Este documento contiene, la localización y descripción general del proyecto, la

condición geológica en el área del estudio y la caracterización geotécnica, hecha en los resultados obtenidos en campo y en el laboratorio. Vale la pena destacar que las labores de prospección geotécnica (perforaciones y descripciones de los materiales) y los resultados de los ensayos de laboratorio son basados de la prospección geotécnica llevada a cabo por el ingeniero Javier Conde Gutiérrez en el marco de los informes técnicos titulados "ESTUDIO DE SUELOS POR REFRACCIÓN SÍSMICA METODO MASW EN EL RELLENO SANITARIO DE BIORGANICOS DEL SUR DEL HUILA, MUNICIPIO DE PITALITO. (HUILA)" y "CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA Y HUMEDAD DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL RELLENO SANITARIO MEDIANTE EL ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA (METODO MASW) Y SONDEOS EN CAMPO" adelantados en el mes de diciembre de 2021 y es de allí de donde se obtiene la información geomecánica correspondiente.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y los datos utilizados para la modelación en el software SLIDE, empleado para modelaciones de estabilidad de taludes que permite identificar posibles superficies de falla y factores de seguridad, siendo este parámetro fundamental para el cumplimiento de diseño y construcción de taludes como lo exige la Norma Sismo Resistente NSR-10, dichas modelaciones fueron realizadas bajo condiciones estáticas, pseudo - estáticas y de saturación, teniendo en cuenta los coeficientes de aceleración sísmica contempladas en la NSR-10 título A y usando como referencia los factores de seguridad estipulados en la NSR-10 título H.

# 2. ALCANCE

El alcance del presente informe tiene como finalidad dar a conocer las condiciones reales traducidas en términos de factores de seguridad de la celda de disposición final de residuos sólidos de Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. teniendo en cuenta los estudios realizados de Topografía del lugar, determinando el volumen ocupado, volumen remanente, modelación de los perfiles de los taludes presentes y posteriormente el estudio geotécnico del relleno sanitario, basados en datos de campo y bibliografía acorde a las condiciones del lugar. Adicionalmente, este estudio no implica la investigación del subsuelo ni la caracterización geomecánica

de los materiales toda vez que esta información se obtiene a partir de la consultoría llevada a cabo por el ingeniero Javier Conde en diciembre del 2021.

Este estudio geotécnico se realiza basado en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, tomando en cuenta escenarios saturados y secos y usando como referencia los factores de seguridad estipulados en el título H de la NSR- 10, donde se determinan los mínimos admisibles para que un talud se considere estable y seguro.

Los resultados aquí obtenidos son comparados con la normatividad vigente, donde se establece las condiciones en las que se encuentra la celda y se dictan algunas observaciones y recomendaciones para que el prestador del servicio en este caso Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. pueda ejecutar para mejorar y/o fortalecer su estabilidad y evitar posibles contratiempos.

# 3. OBJETIVOS

## Objetivo general:

Realizar el monitoreo geotécnico de carga, ambientales y civiles celda de disposición final de residuos sólidos de Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P del mes de OCTUBRE 2024.

## Objetivos específicos:

- Verificar las condiciones actuales de estabilidad, basados en los diseños aprobados y en la información geomecánica disponible.
- Desarrollar las modelaciones de estabilidad en el software SLIDE 6.0, para determinar los factores de seguridad.
- Realizar los análisis de estabilidad del relleno sanitario.
- Realizar las observaciones que dieran lugar y las recomendaciones para asegurar una correcta estabilidad.

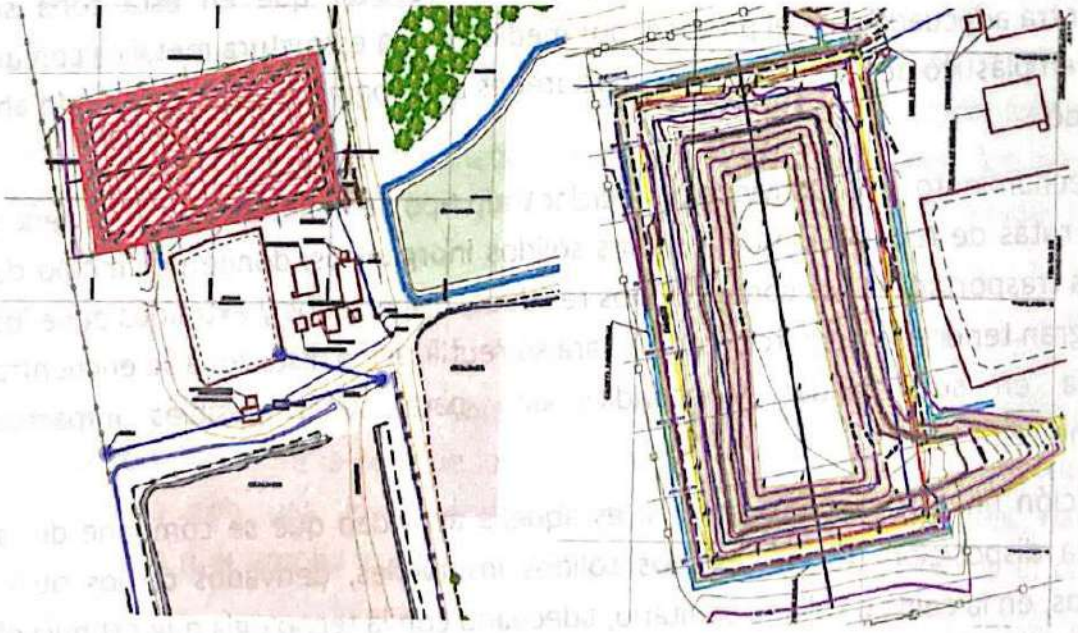
# 4. CONSIDERACIONES DE OBRA

Cualquier consideración de obra o decisión que afecte las recomendaciones aquí descritas o que, por encontrarse condiciones diferentes a las descritas en el monitoreo geotécnico, la construcción deba alejarse de las conclusiones aquí reportadas, debe estar sujeta a discusión y aprobación de los especialistas de las áreas de geotecnia y estructuras.

# 5. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La planta de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos de Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. se encuentra ubicada en el Kilómetro 8 de la vía Pitalito – San Agustín, en la vereda Llano Grande, jurisdicción del municipio de Pitalito, exactamente en las coordenadas Magna Sirgas origen Bogotá EPSG3116 E 772249 N 698890 (WGS84 76.1241°W 1.8719°N).

Figura 1. Localización del área de interés



Empotrado en inicios de la Cordillera Central, localizado en el extremo sur oriente del departamento del Huila a 188 Km. de Neiva. Se ha calculado una extensión 666

km.2 con una temperatura promedio de 21º C; su posición geográfica corresponde a 1º 51' 3" de latitud norte y 76º 2' 23" de longitud oeste.

Limita por el norte con los municipios de Saladoblanco y Elías; por el sur con el municipio de Palestina y el departamento del Cauca; por el oriente, con el municipio de Acevedo y por el occidente con el municipio de Isnos y San Agustín. El municipio de Pitalito forma parte de la subcuenta del río Magdalena y como tal toda su área drena hacia el río grande de La Magdalena en compañía de otros municipios vecinos como Oporapa, Saladoblanco, San Agustín, Palestina y algún porcentaje pequeño del departamento del Cauca. Así podemos determinar que el municipio se abastece y drena en la misma subcuenca; fue fundado en el año 1781 por José Hilario Sierra y Jerónimo España. (EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE PITALITO., 2011) Las actividades realizadas en la planta de Biorgánicos son:

Tratamiento: esta actividad es derivada de la trasformación de los residuos sólidos orgánicos fermentables en abono orgánico destinado para todo tipo de cultivos. Este tratamiento es realizado en un área destinada para el mismo, denominada Compostaje, es ahí donde inician las fases de maduración, degradación del material, secado del mismo y tamizaje. Es de resaltar que en esta zona se encuentra adecuada para el proceso, por medio de una estructura metálica con un techo en plástico de secadero y con unos drenes para lograr evacuar el lixiviado ahí formado.

Aprovechamiento: es la actividad de reciclar todo tipo de materiales que provienen de las rutas de recolección de residuos sólidos inorgánicos, donde por medio de bandas trasportadoras es conducido los residuos, dispersados y extraídos aquellos que logran tener una comercialización para su reutilización. Esta zona se encuentra techada en su totalidad y acondicionada para evitar posibles impactos ambientales.

Disposición final de residuos sólidos: es aquella actividad que se compone de la correcta disposición de los residuos sólidos inservibles, derivados de los otros procesos, en la celda o relleno sanitario, adecuado con la tecnología que estipula el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento

Básico "RAS" en su Título F, Decreto 1077 de 2015, Decreto 1784 de 2017 y Resolución 0938 de 2019.

Es importante mencionar que los residuos sólidos que llegan al relleno sanitario tienen las siguientes composiciones:

- El 10 % pertenecen a residuos sólidos orgánicos.
- El 90 % pertenecen a residuos sólidos inorgánicos.

Esto tiene una incidencia muy notoria a comparación de los demás rellenos sanitarios, debido a que en Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. no se disponen todos los residuos que se generan y por el contrario se logra aprovechar una cantidad considerable. De igual forma los residuos orgánicos son los que más se logran aprovechar y es aquí donde hay una condición muy importante la cual es la generación de lixiviados en el relleno sanitario que es muy controlada y eso favorece las condiciones de estabilidad del mismo.

# 6. COMPONENTE FISICO DEL AREA DE INFLUENCIA

La siguiente información fue tomada de Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. (2020) del Plan de Manejo Ambiental. El componente físico está conformado por los elementos naturales del medio ambiente relacionados con los elementos hidrosféricos, atmosféricos, litosféricos y los elementos bióticos asociados (fauna y flora).

## 6.1 Topografía:

El predio donde se encuentra ubicado el relleno sanitario tiene un área de 4,51 Has, se localiza sobre la cota de los 1269 msnm, el sitio presenta una topografía homogénea con una leve pendiente, sin presencia de drenajes naturales, información que amplia y sustenta los documentos técnicos anexos al presente estudio.

## 6.2 Climatología:

El clima es el conjunto de condiciones de la atmósfera que caracterizan el estado del tiempo atmosférico y su evolución en un lugar dado. Éste se determina por el análisis espacio-tiempo de los elementos que lo definen y los factores que lo afectan. Los elementos del clima son: precipitación, temperatura, evaporación, nubosidad, recorrido del viento, humedad, brillo solar, radiación solar entre otros, estos clasifican y zonifican el clima de una región.

La zona donde se localiza el sitio de disposición final de residuos sólidos corresponde al clima medio muy húmedo MMH, caracterizado por una temperatura media anual entre 18° y 24º centígrados y una precipitación media anual entre 2000 y 4000 mm año.

En la zona se localiza la estación climatológica Sevilla, la cual reporta los siguientes datos meteorológicos.

Tabla 1. Datos climatológicos de la Estación Sevilla, Pitalito.

| Estación | EN | FE | M | AB | M | JU | JU | A | SE | O | N | DI | EN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Precipitación | 60,3 | 75,9 | 105,7 | 138,5 | 138,2 | 140,6 | 138,9 | 108,8 | 89,4 | 104,4 | 105,7 | 67,5 | 1,273.9 |
| Evapotranspiración | 102 | 96 | 96 | 89 | 93 | 83 | 84 | 87 | 96 | 97 | 90 | 96 | 1,109.0 |
| Humedad | 78 | 78 | 79 | 81 | 81 | 82 | 83 | 81 | 80 | 80 | 80 | 79 | 80.2 |
| Evaporación | 11 | 10 | 10 | 97, | 10 | 84, | 86, | 90, | 96, | 11 | 10 | 10 | 119 |
| Nubosidad | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5.9 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Temperatura* | *20,* | *20,* | *20,* | *20,* | *20,* | *19,* | *19,* | *19,* | *19,* | *20,* | *20,* | *20,* | 20.2 |
| *Brillo solar* | *11* | *11* | *10* | *10* | *12* | *11* | *11* | *11* | *12* | *12* | *13* | *14* | 1,43 |

## 6.3. Precipitación:

La precipitación media anual alcanza un valor de 1274 mm, observándose un comportamiento bimodal con un periodo marcado de lluvias entre los meses de marzo a agosto y otro en noviembre y diciembre en los cuales la precipitación media mensual supera los 100 mm.

## 6.4. Evaporación:

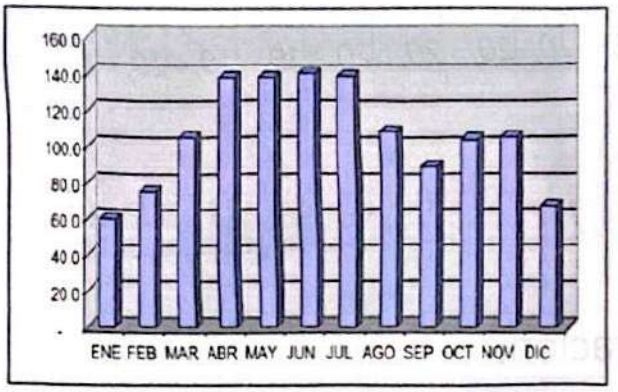
La evaporación es el agua en forma de vapor de agua en la atmósfera. Está influenciada por factores como el tipo de suelo y climáticos como la temperatura atmosférica, radiación solar entre otros.

La evaporación y evapotranspiración presentan un comportamiento similar al de la temperatura, ya que los rayos solares son un factor predominante en el proceso de evaporación. La evaporación presenta un valor que oscila entre 85 y 113 mm/mensuales, con un valor anual medio de 1197,2 mm.

## 6.5. Temperatura:

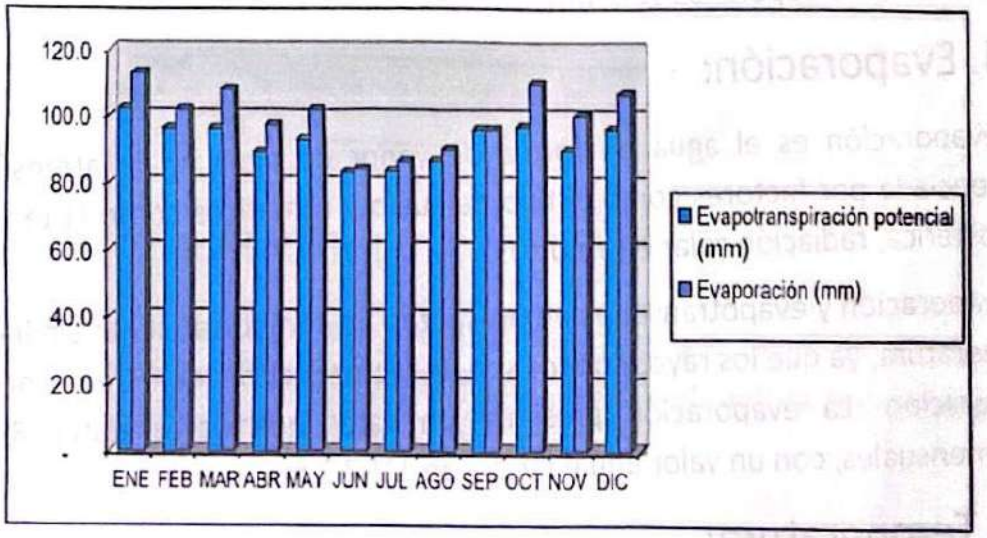
El comportamiento térmico de la zona está influenciado directamente por la variación de la precipitación presentándose un periodo de bajas temperaturas entre los meses de junio a septiembre cuando las temperaturas medias mensuales están por debajo de los 20 o C, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. Comportamiento de la precipitación en la estación Sevilla del municipio de Pitalito (Huila).



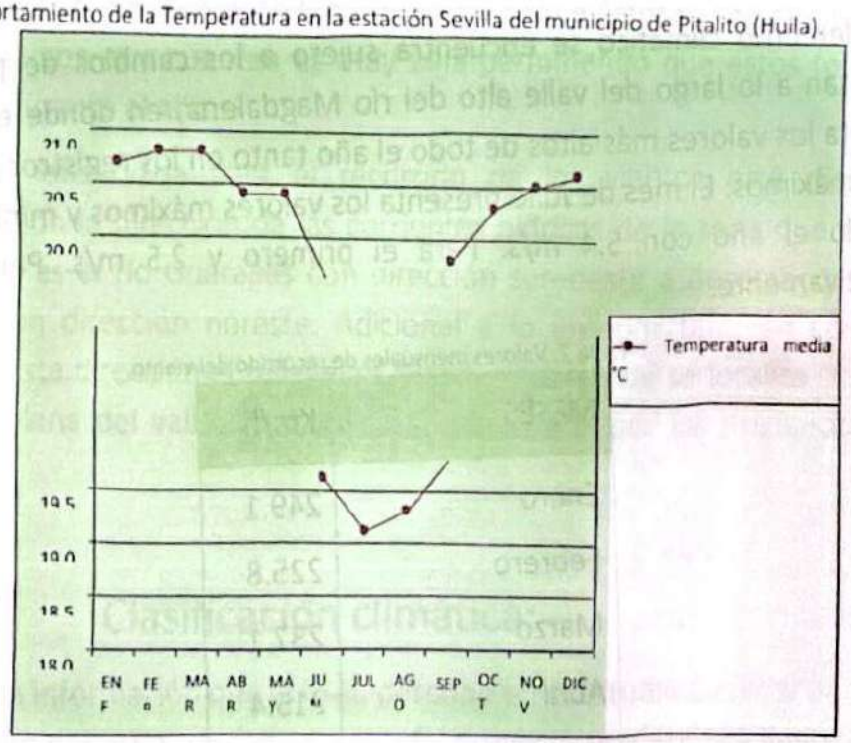

Fuente: Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P.

Figura 3. Comportamiento de la evaporación y evapotranspiración en la estación Sevilla del municipio de Pitalito (Huila).




Fuente: Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P.

Figura 4. Comportamiento de la Temperatura en la estación Sevilla del municipio de Pitalito (Huila).




## 6.6. Humedad Relativa:

La humedad relativa tiene una variación muy leve a lo largo del año con valores que van desde 78 al 83%, comportamiento sustentado por la poca variabilidad de la precipitación a lo largo del año.

## 6.7 Brillo solar:

El brillo solar se calcula por las horas al día que brilla el sol, es importante para calcular la evapotranspiración y es fundamental para el modelo climático de Thornthwaite. El municipio cuenta con un buen número de horas de brillo solar, a excepción de la zona sur que permanece gran parte del tiempo nublado, el promedio mensual es de 130 horas.

## 6.8 Velocidad del Viento:

Este elemento climático se encuentra sujeto a los cambios de presión que se presentan a lo largo del valle alto del río Magdalena, en donde el periodo seco presenta los valores más altos de todo el año tanto en los registros mínimos como en los máximos. El mes de Julio presenta los valores máximos y mínimos más altos de todo el año con 5.4 m/s. Para el primero y 2.5 m/s. Para el segundo respectivamente.

Tabla 2. Valores mensuales de recorrido del viento.

| MESES | Km/h |
|---|---|
| Enero | 249.1 |
| Febrero | 225.8 |
| Marzo | 237.1 |
| Abril | 215.4 |
| Mayo | 224.0 |
| Junio | 206.7 |
| Julio | 209.9 |
| Agosto | 220.6 |
| Septiembre | 226.1 |
| Octubre | 238.8 |
| Noviembre | 232.2 |
| Diciembre | 240.1 |
| ANUAL | 2725.8 |

Fuente: Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P.

## 6.9. Dirección vientos:

La dirección de los vientos predomina hacia el sur y sur – oeste, de la zona. En los primeros seis meses del año, los valores medios mensuales de velocidad del viento máximos evidencian una tendencia muy marcada hacia el sur, para luego dirigirse

al sur – oeste, durante los meses de agosto y noviembre. En relación con los registros de vientos mínimos, se logró evidenciar que éstos varían mucho debido a que la fuerza con que cuentan es muy baja permitiendo que éstos tomen varias direcciones durante el año.

La dirección observada para el recorrido de los vientos está directamente relacionada con la dirección de las corrientes hídricas de la zona que en nuestro caso puntual es el río Guarapas con dirección sur–oeste a desembocar en el río Magdalena en dirección noreste. Adicional a lo anterior también contribuye a determinar esta dirección el relieve, ya que la zona donde se localiza la playa está en la zona plana del valle de Laboyos y encajonada por las estribaciones de la cordillera.

## 6.10. Clasificación climática:

Basados en la información que el IGAC describe en el Estudio General de Suelos del Departamento del Huila, en toda el área del proyecto se identifica la provincia MH-FH (clima medio y húmedo transicional a frío húmedo) Esta provincia se caracteriza por localizarse en una altitud entre los 1.200 y 2.000 metros, con precipitaciones que pueden oscilar entre los 2.000 a 3.000 mm /año y temperaturas que varían desde los 18 a 24 °C.

## 6.11. Hidrología:

El sitio de disposición final de residuos sólidos del municipio de Pitalito hace parte de la cuenca alta del Rio Magdalena, se ubica sobre la subcuenca del Río Guarapas el cual es afluente del Rio Guachicos.

El predio en su costado norte se localiza a menos de 100 metros del cauce del rio Guarapas, sobre una terraza con un escarpe que supera los 50 metros de altitud. El predio no es afectado por ninguna fuente hídrica de tipo permanente, pero si cuenta con algunas depresiones naturales por las cuales drenan las aguas de escorrentía de aguas lluvias.

## 6.12. Geología:

La zona comprende formaciones geológicas, desde las rocas ígneas asociadas con la Serranía de La Fragua, hasta las rocas sedimentarias del Cretáceo- Terciario al norte y los rellenos aluviales y fluvio - volcánicos de los valles de Laboyos y Magdalena. Otros estudios confirman la presencia de las unidades principales y detallan los depósitos cuaternarios de los valles.

Las rocas más antiguas en la región corresponden a rocas meta-sedimentarias del Paleozoico que afloran en el cañón de la magdalena entre la confluencia con el rio Guarapas y la vereda de la Laguna. Rocas más recientes de la edad Jura-triásica conforman una secuencia volcánica –sedimentaria de la formación

Saldaña hacia el sur y suroeste del Valle de Laboyos en la Serranía de la Fragua. Está misma clase de roca, comúnmente muy fracturada, se presenta en el filo Chillurco, al norte del valle.

Localmente, rocas sedimentarias, de edad cretácica, se presentan fuertemente plegadas tal como en las regiones montañosas de Bruselas y Charguayaco compuesto por capas de arenisca, limolitas y lutita relacionadas con las formaciones Caballos, Villeta, Guadalupe y Guaduas. También, sobre la margen derecha del Magdalena, veredas el Tigre y El Chircal se encuentra rocas sedimentarias de tipo caliza fosilífera asociada a esta secuencia cretácica.

El mismo valle de Laboyos corresponde a una trampa tectónica de sedimentos fluviales y lacustres recientes, asociados con los aportes de los ríos Guarapas y Guachicos y posiblemente del mismo rio Magdalena. Esta gran planicie aluvio-lacustre consta de espesas acumulaciones de arcillas, arenas, turbas y gravas aluviales, resultado del relleno de cuencas intra montañas en épocas recientes. Hacia los flacos de los valles de encuentran localmente abanicos aluvio- coluviales recientes dominados por arenas y gravilla, generalmente de poca extensión.

Hacia el filo de Chillurco y Guacacallo, se encuentra una secuencia rocas volcánicas llamado formación Guacacallo, conformada por lavas ignimbríticas de edad terciaria. Depósitos fluvio-volcánicos y lahares de origen más reciente conforman las terrazas medias y bajas que siguen el curso del rio Magdalena en las zonas aledañas a La Laguna. Estos depósitos, correspondientes a flujos de lodo volcánico, provenientes los volcanes de actividad reciente de la cordillera central.

## 6.12.1. Geología local:

Geológicamente el área de análisis se encuentra conformada por depósitos fluvio-lacustres (Qfl) según lo reportado por el servicio geológico colombiano plancha 388, donde es posible observar una depresión topográfica que da lugar a pensar en la existencia de cuerpos de agua antiguos que quizás fue colmatado por el aporte de sedimento de los cuerpos litológicos circundantes conformado por unidades ígneas volcánicas cartografiadas como Formación Saldaña que la conforman tobas volcánicas que por procesos de erosión superficial pudieron haber realizado la colmatación de dicho paleo lago. En los predios que comprende la celda de disposición final de residuos, la configuración geológica corresponde a depósitos de sedimentos medios a finos que permite inferir zonas de depósito tranquilas sin mayor estimulo por oleajes fuertes que genere una estratigrafía caótica.

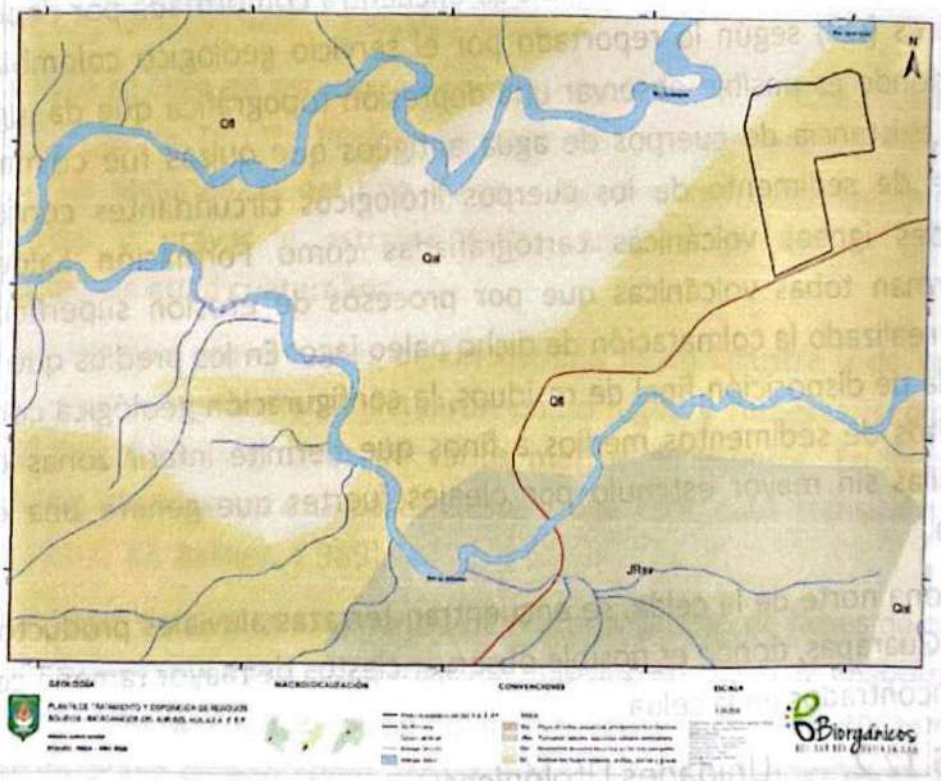
En la zona norte de la celda, se encuentran terrazas aluviales producto del acción del rio Guarapas, donde es posible observar clastos de mayor tamaño con respecto a los encontrados en la celda.

## 6.12.2. Unidades Litológicas:

En este trabajo se utiliza la nomenclatura oficial propuesta por el INGEOMINAS en la Memoria Explicativa del Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Huila, a escala 1:400.000 (INGEOMINAS; 1.989).

A continuación, se describe cada una de las unidades observadas, las cuales se encuentran cartografiadas en el mapa geológico en orden geocronológico decreciente (de mayor a menor antigüedad), indicando su composición litológica, edad y sitios de exposición dentro del área de estudio

Figura 5. Geología de la zona donde se localiza el relleno sanitario.




Fuente: Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P.

### 6.12.2.1. Formación Saldaña (JRsv):

Aunque no aflora en el área de estudio, si lo hace en zonas adyacentes, consta de una secuencia Vulcano-sedimentaria; formada por rocas volcánicas ácidas a intermedias, especialmente riolíticas y riodacíticas, ignimbritas y lavas dacíticas y andesíticas; presenta entre las sedimentarias aglomerados y areniscas tobáceas, algunas veces con intercalaciones de capas rojas y chert. Está secuencia es correlacionable con la Formación Saldaña denominada por CEDIEL et al. (1.980,1.981), la cual fue conocida anteriormente como formación post – Payandé (RENZ, en TRUMPY, 1.943). Las rocas volcánicas generalmente están alteradas y hay una ausencia de materiales máficos, asociados espacial y composicionalmente con cuerpos intrusivos jurásicos.

La edad de esta formación se infiere como triásico – jurásico debido a su posición estratigráfica y similitud con la formación Payande. (CEDIEL et al 1.980-81; MOJICA

et al 1.978; JARAMILLO et al 1.980). Esta formación aflora en el sur, oriente y occidente del municipio.

#### 6.12.2.2. Terraza Fluvio – Lacustre (Qfl):

Aflora en toda el área de estudio. La geología local del Municipio de Pitalito está caracterizada por la Terraza fluvio – lacustre, término de carácter informal para referirse a los sedimentos del tipo fluvio – lacustre representados por arcillas, limos, arenas y gravas y estratos turba, además de relleno de cuencas intramontanas de edad cuaternaria.

Los sedimentos son provenientes de un sistema fluvio lacustre y de llanuras de inundación que posteriormente actuaron como lagos y turberas, sedimentando materiales muy finos a gruesos de varios metros de espesor. En la cuenca de Pitalito puede dividirse en una parte Oeste y una Este, cuya transición es el Río Guarapas (Jos G. M. Bakker, 1.989).

En la parte Oeste existe una alternancia de material grueso de facies de canal en la base y una transición gradual hacia material más fino de facies de desbordamiento. En esta parte de la cuenca predominan los limos y arcillas encajonados en materiales de grano grueso como arenas y conglomerados, además es notoria la ausencia de estratos turbosos en toda esta región.

La parte Este de la cuenca está constituida por diques compuestos de arena gruesa a media y depresiones con material relativamente espesos de turba y arcilla, con delgadas intercalaciones de arena. En contraste con la parte Oeste, esta zona tiene un alto contenido de materia orgánica.

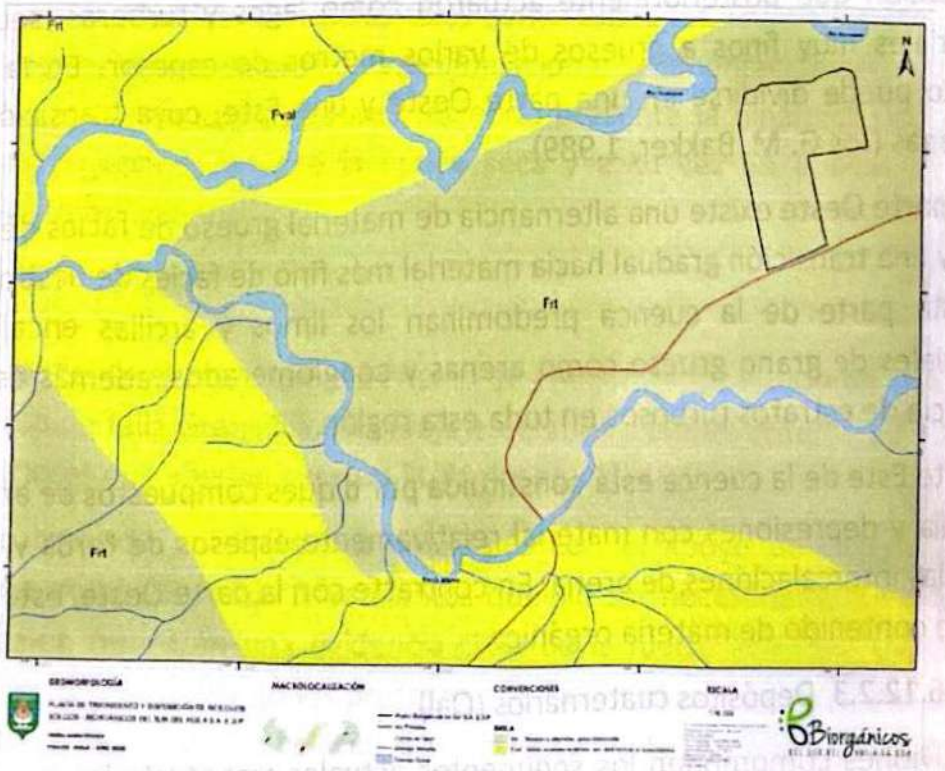
#### 6.12.2.3. Depósitos cuaternarios (Qal):

Los aluviones comprenden los sedimentos actuales transportados como material de arrastre y algunos niveles de terrazas bajas asociadas a Memoria Explicativa Plancha 388 Pitalito 102 INGEOMINAS las corrientes principales de la plancha, como los ríos Magdalena, Guarapas, Guachicos.Están conformados por fragmentos de tamaño grava, arena y limo. Presentan variaciones en granulometría y composición de acuerdo con la dinámica de la corriente y las unidades geológicas que drenan. Son las acumulaciones más recientes relacionadas con la actividad de las corrientes fluviales en el Holoceno.

## 6.13. Geomorfología:

Para la elaboración del mapa geomorfológico se identificaron dos unidades del relieve en la plancha 388-pitalito, mapa 10/15. Las unidades identificadas están definidas bajo criterio genético, morfológico, geométrico y litológico, las cuales estas unidades están agrupadas según su ambiente de formación, en el caso de la geoforma de origen Aluvio-lacustre (amarillo) se definen procesos de erosión, transporte y depositación, para los procesos fluvio-aluviales (rojo) hace referencia a la dinámica aluvial reciente y activa.

Figura 6. Mapa Geomorfológico.




Fuente: Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P.

### 6.13.1. Geoforma de ambiente aluvio-lacustre.

#### 6.13.1.1. Terraza aluvial levemente disectada (Frt):

La mayor parte del valle de Laboyos consta de un depósito aluvio-lacustre extenso, con relieve plano formando una terraza que se encuentra disectada sobre el eje central por las vegas de los ríos Guachicos y Guarapas. En la zona de interés la

terraza se encuentra levemente erosionada y alcanza una altura de 1269msnm, en el sitio no hay presencia de drenajes naturales que causen procesos erosivos por el cual los procesos de meteorización, erosión y trasporte son de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes en la unidad preexistente. Las observaciones en campo muestran una serie de tendencia gradacional inversa sucesiva de arenas, arenas limosas, arenas arcillosas, arcilla arenosa y limo arenas.

#### 6.13.2. Geoforma de origen fluvio-aluvial.

##### 6.13.2.1. Valle aluvial reciente (Fval):

Esta unidad geomorfológica corresponde a los valles aluviales recientes, a las vegas de los ríos y quebradas principales tales como Guarapas, Guachicos y magdalena, que generan procesos de erosión y acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichos causes teniendo presente la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca y a su vez en épocas de grandes avenidas e inundaciones.

## 6.14. Suelos:

Estructuralmente el municipio de Pitalito se encuentra localizado en zona de falla del sistema de falla Granadillo que deja en el municipio un sistema de ramales de fallas menores que afectan cuerpos litológicos locales.

Según lo revisado por imágenes satelitales con el apoyo de Google Earth, es posible observar pequeños lineamientos que sin ser necesariamente sistemas de fallas locales, muestran una evidencia clara de la fuerte actividad tectónica que tiene el sector, sin embargo los procesos erosivos evidenciados sobre el área de la celda, no pueden verse relacionados directamente con procesos tectónicos locales, pues no se muestra evidencia clara de controles estructurales sobres los cuerpos fluviales y mucho menos rasgos en el paisaje que permita inferir sistemas estructurales considerables, a pesar que en según lo cartografiado en la plancha 388 del SGC es posible observar un sistema de falla cubierta con rasgo claro en imagen satelital.

### 6.14.1. Suelos de Valle de Clima Medio Húmedo (VQ)

Este tipo de suelos, formado sobre terrazas, conforman depósitos arcillosos de origen lacustre, abundando en las profundidades los materiales gruesos y pedregosos.

En las terrazas los suelos de las áreas plano-cóncavas son poco evolucionados, mal drenados y superficiales, mientras que los de áreas planas son bien drenados, más evolucionados, aunque también superficiales, algunos limitados por horizontes arcillosos.

## 6.15. Hidrogeología:

El análisis de vulnerabilidad del agua subterránea y superficial es importante para el desarrollo adecuado del diseño del relleno sanitario, así que para ello se estimó mediante parámetros hidrogeológicos, geológicos y geotécnicos, los cuales son determinados en campo o por medio de pruebas indirectas y revisiones de información secundaria que nos mostrara la capacidad que tiene el sistema acuífero de resistir a los impactos humanos y naturales a los cuales será sometido.

Para evaluar la vulnerabilidad es importante primero el reconocimiento de las unidades hidrogeológicas en el área de interés y sus alrededores, el cual se realizó a partir de las formaciones geológicas que afloran atendiendo a su permeabilidad, y se han diferenciado en los dos siguientes grupos:

A) Formaciones permeables.
B) Formaciones poco permeables o impermeables.

- Formaciones Permeables.

Son las de mayor importancia hidrogeológica. Dentro de este grupo se distinguen los subgrupos siguientes:

(A- 1) Acuíferos generalmente extensos, muy permeables y productivos:

Dentro de esta clasificación se encuentran todos los Depósitos Cuaternarios. Incluyéndose aquí todos los Depósitos Aluviales y de terraza fluvio-lacustre, los cuales están en estrecha relación con la red fluvial a la que drenan o alimentan según el caso.

Para estos se habla de Acuíferos Libres, es decir, que están en contacto directo con la atmósfera y de acuíferos compuestos que son aquellos que tienen comportamiento libre y semi confinado o confinado (es decir que están limitado superior e inferiormente por capas impermeables o por capas con una permeabilidad mucho menor que la del acuífero), estos acuíferos están formados por materiales granulares de tamaño variable como bloques, cantos, arenas, limos sub redondeados a redondeados, sub esféricos a sub elongados de origen vulcano-clástico dentro de una matriz areno-arcillosa que dejan entre sí espacios o poros a través de los cuales circula el agua. Normalmente se trata de materiales recientes no consolidados con un grado de cementación que no elimina totalmente su porosidad primaria o congénita.

- Formaciones Poco Permeables o Impermeables:

Son las de menor importancia hidrogeológica. Se incluyen en este grupo las formaciones de permeabilidad reducida o impermeables debido al pequeño tamaño de los granos que las constituyen o a que el grado de consolidación o procesos metamórficos ha dado lugar al sellado total o parcial de los poros preexistentes. Dentro de este grupo se distinguen los subgrupos siguientes:

(B- 2) Formaciones generalmente extensas y de baja permeabilidad que pueden albergar en profundidad acuíferos de mayor permeabilidad y productividad, incluso de interés regional:

Se incluye aquí la Formación Saldaña (Js) que son de carácter vulcano clástico e ígneo y están constituidas principalmente por rocas volcánicas ácidas a intermedias, aglomerados y areniscas tobáceas y cuarzo monzonitas. Aunque la permeabilidad de esta formación, como cuerpo de roca, es baja. Es importante tener en cuenta que la alternancia de niveles permeables como los aglomerados y areniscas tobáceas en la Formación Saldaña pueden constituir acuíferos cautivos de mayor permeabilidad y productividad, que dependiendo del espesor saturado pueden ser de interés regional. Debido al denso fracturamiento, que caracteriza a la zona de estudio, es probable que estas formaciones tengan un incremento importante de su permeabilidad por dicho proceso (permeabilidad secundaria).

En el área de estudio para la ampliación del relleno sanitario se realizaron seis sondeos de 15m de profundidad (ver anexo de estudio de geotécnico para la viabilidad del relleno), en donde se evaluó entre ellas la característica de drenaje dando como resultado promedio: de mala a prácticamente impermeable, en la cual predominan las arcillas con trazas de arenas, arenas con trazas de arcilla y limos con trazas de arenas. Tampoco hubo evidencia de zonas de saturación de agua, por lo tanto, a una profundidad de 15m aún se encuentra en la zona no saturada y con muy baja permeabilidad del acuífero, lo que me indica un interés hidrogeológico moderado a bajo.

Otro factor importante a evaluar son los resultados de laboratorio obtenidos en los análisis físico-químicos de agua subterráneas, lixiviados, vertimientos, superficiales y drenaje del relleno sanitario, como resultado no muestra contaminación alguna de parte de los desechos.

En el área de la ampliación del relleno se encuentra el piezómetro 2 que también fue sometido a estos análisis dando como resultado: demanda bioquímica de oxígeno <5.00mg O2/L, materia orgánica 5.73%, temperatura muestra 25 °C, alcalinidad total 50,38 mg CaCO3/L y acidez total de 5.94 mg CaCO3/L, lo que me indica niveles aceptables es decir libre de contaminación. Ver anexo de análisis fisicoquímicos.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente se realizó el análisis de vulnerabilidad del área de interés para la implementación del relleno sanitario, a partir del método GOD, desarrollado por Foster (1987).

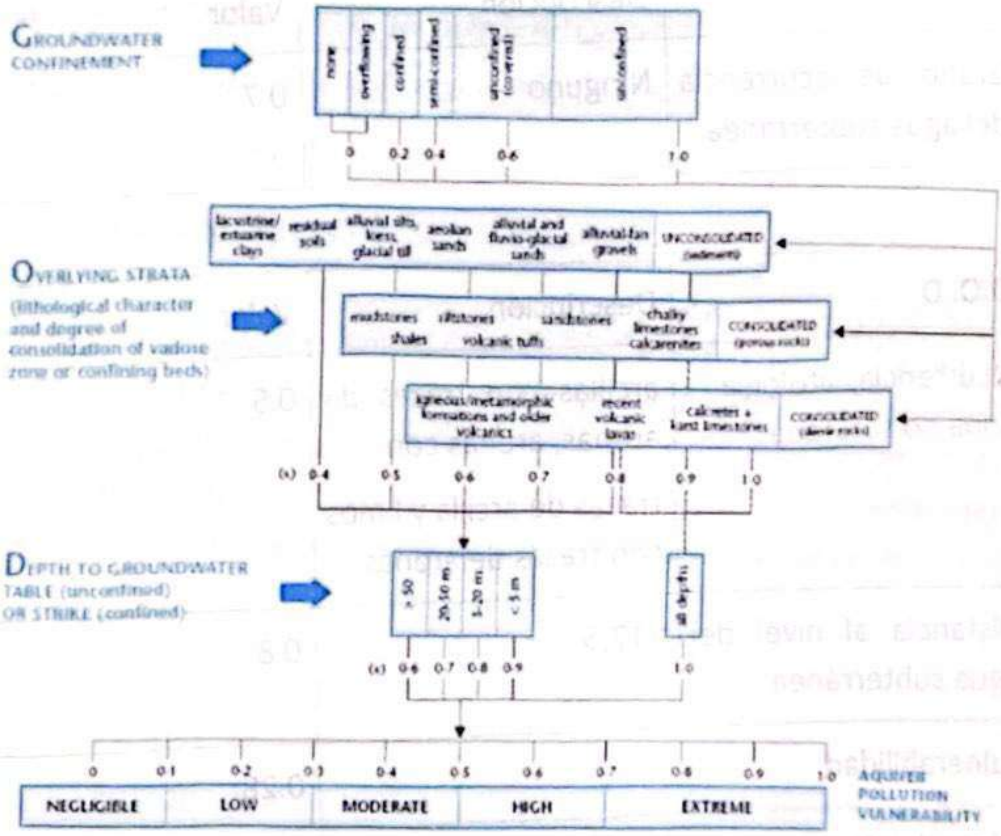
Tabla 3. Valores de vulnerabilidad hidrogeológica (contaminación de acuíferos) a partir del método GOD

| G.O. D | Descripción | Valor |
|---|---|---|
| Grado de ocurrencia del agua subterránea | Ninguno | 0.7 |

| G.O. D | Descripción | Valor |
|---|---|---|
| Ocurrencia, litología zona no saturada | arcillas con trazas de arenas, arenas con trazas de arcilla y limos con trazas de arenas | 0.5 |
| Distancia al nivel del agua subterránea | >17,5 | 0.8 |
| **vulnerabilidad** | | **0.28** |

La vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es muy baja, sin embargo, se impermeabilizará la celda de disposición de los desechos, para tener un control casi total de la desviación de los lixiviados que terminan en las piscinas.

Figura 7. Método GOD - Valorización numérica de parámetros.




Fuente: CEPIS-Foster/Hirata 1988.

# 7. COMPLEJIDAD DEL PROYECTO

"Biorgánicos del Sur del Huila S.A E.S.P. recibe en promedio 2.880,07 toneladas de residuos sólidos al mes, donde son aprovechados 1.349,19 toneladas y 1.530,88 toneladas son dispuestas en el relleno sanitario" (Biorgánicos del Sur del Huila SAESP, 2021). Esto nos lleva a que en promedio día se disponen 51,03 Toneladas de residuos sólidos.

Basados en Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017) en el Decreto 1784 del 02 de noviembre de 2017, en su Artículo 2.3.2.3.10. Categorización de Rellenos Sanitarios. Establece que: "El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio definirá las condiciones mínimas de diseño y operación, que deberán ser utilizadas de acuerdo con la siguiente categorización para los sitios de disposición final, a partir del promedio diario registrado durante el último año.

- Categoría 1. De 0 a 50 ton/día.
- Categoría II. Mayor de 50 hasta 500 ton/día.
- Categoría III. Mayor de 500 hasta 3000 ton/día.
- Categoría IV. Mayor de 3000 ton/día.

Según lo mencionado anteriormente, la empresa contratante se encuentra en la Categoría II.

En el 2019, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio bajo la Resolución 0938 del 19 de diciembre de ese mismo año, dio a conocer las actividades y/o obligaciones según las categorías definidas para cada relleno sanitario, en su Artículo 3. Monitoreo e instrumentación define que: el monitoreo y la instrumentación deberá ser realizada de conformidad con lo siguiente:

Tabla 4. Frecuencia de monitoreo de parámetros acorde a la categoría del relleno

| Parámetros | Frecuencia | Categoría del relleno | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV |
| Caracterización de residuos sólidos en el relleno sanitario | Anual | x | x | x | x |
| Monitoreo de la densidad de compactación mayor o igual a 1,1Ton/m3 | Semanal | | | | x |
| Monitoreo de la densidad de compactación mayor o igual a 1Ton/m3 | Mensual | | x | x | |
| Monitoreo de densidad de compactación mayor o igual a 0,85 Ton/m3 | Mensual | x | | | |
| Monitoreo del área máxima descubierta | Diaria | x | x | x | x |
| Monitoreo geoeléctrico para detectar zonas de acumulación de biogás o de lixiviados en la masa de residuos | Semestral | | | x | |
| Monitoreo geoeléctrico para detectar zonas de acumulación de biogás o de lixiviados en la masa de residuos | Mensual | | | | x |
| Monitoreo de caudales y concentración de biogás en chimenea | Semestral | x | x | x | |
| Monitoreo de caudales y concentración de biogás en chimenea | Mensual | | | | x |
| Monitoreo geotécnico con topografía | Mensual | x | x | x | |
| Monitoreo geotécnico con topografía | Semanal | | | | x |
| Monitoreo geotécnico con inclinómetros o extensómetros | Bimestral | | x | | |
| Monitoreo geotécnico con inclinómetros o extensómetros | Mensual | | | x | |
| Monitoreo geotécnico con inclinómetros o extensómetros | Semanal | | | | x |
| Monitoreo de la vida útil remanente | Semestral | x | x | | |
| Monitoreo de la vida útil remanente | Mensual | | | x | x |
| Monitoreo del caudal y calidad de las aguas lluvias y de escorrentía | Semestral | x | x | | |
| Monitoreo del caudal y calidad de las aguas lluvias y de escorrentía | Mensual | | | x | x |
| Monitoreo de aguas subterráneas con piezómetros | Mensual | x | x | x | x |
| Monitoreo de presencia y calidad de aguas subterráneas | Mensual | | | x | x |
| Monitoreo de presencia y calidad de aguas subterráneas | Semestral | x | x | | |
| Monitoreo del caudal y calidad del lixiviado | Semestral | x | x | | |
| Monitoreo del caudal y calidad del lixiviado | Bimestral | | | x | |
| Monitoreo del caudal y calidad del lixiviado | Mensual | | | | x |

Categoría del proyecto

Por otro lado, desde el punto de vista geotécnico, según lo establecido por el título H de la Norma Sismo Resistente NSR-10 el proyecto materia de este estudio está categorizado como de categoría baja, tomando en cuenta la tabla

H.3.1-1 de la NSR-10-

Tabla 5. Categorías de estructuras según su grado de complejidad

**Clasificación de las unidades de construcción por categorías**

| Categoría de la unidad de construcción | Según los niveles de construcción | Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN) |
|---|---|---|
| Baja | Hasta 3 niveles | Menores de 800 kN |
| Media | Entre 4 y 10 niveles | Entre 801 y 4,000 kN |
| Alta | Entre 11 y 20 niveles | Entre 4,001 y 8,000 kN |
| Especial | Mayor de 20 niveles | Mayores de 8,000 kN |

De acuerdo con la Tabla H.3.1-1, si bien el relleno sanitario no representa una estructura propiamente dicha que se pueda discretizar en niveles, sí se puede hacer una categorización con base en las cargas analizadas. Se parte del supuesto que en un área unitaria de 1 metro cuadrado no se tendrán cargas superiores a 800 KN según los diseños aprobados por la corporación a la empresa BIORGÁNICOS DEL SUR DEL HUILA S.A E.S.P , por lo tanto, la categoría geotécnica es baja.

# 8. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS DEL RELLENO SANITARIO Y SUS COMPONENTES

La siguiente información es extraída del documento (ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE CONTINGENCIA PARA EL RELLENO SANITARIO DE BIORGÁNICOS DEL SUR DEL HUILA S.A. E.S.P., 2022).

Los parámetros de diseño se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 6. Parámetros de diseño

| No. | Parámetros de diseño | Especificación |
|---|---|---|
| 1 | Sistema de impermeabilización de fondo | Capa de arcilla K< 1x10 -6cm/s y geomembrana compatible con lixiviados. |
| 2 | Manejo de Agua de escorrentía | Canales revestidos. Velocidad mayor a 0.30 m/s. |
| 3 | Drenaje de lixiviados | Capa drenante en todo el fondo espesor mínimo de 0.30 m y permeabilidad mínima de K< 1x10 -2 cm/s |
| 4 | Drenaje de gases | Tubería perforada y grava de 0.15 m de diámetro. Chimeneas máx. cada 50m. |
| 5 | Celda de residuos | Altura hasta 3.0 m. Ancho depende de flujo de vehículos. Taludes 3:1 (H:V) |
| 6 | Compactación Mecánica | Varias pasadas hasta alcanzar densidad esperada |
| 7 | Cobertura diaria | Geo-sintético o material pétreo |
| 8 | Cobertura intermedia | material pétreo e=0.30m |
| 9 | Cobertura final | Capa de arcilla de 0.60 m de espesor (capa de control de infiltración), capa de control de erosión de 0.15 m y capa granular drenante. |
| 10 | Estabilidad de taludes | FS>1.5 para condiciones estáticas y FS>1.0 para condiciones pseudoestáticas |
| 11 | Obras complementarias | Vías señalizadas e iluminadas, cerco perimetral en alambre tejido 1.80 m de altura, caseta de vigilancia de 10 m², basculas de pesaje, almacén y oficinas, área de amortiguación y franja de aislamiento reforestado, valla publicitaria. |

## • DISEÑO GEOMÉTRICO DEL RELLENO:

El diseño geométrico del relleno juega un papel muy importante en cuanto a capacidad, estabilidad y operatividad. En nuestro caso se proyecta un relleno tipo trinchera y área, debido a la topografía relativamente plana. Su capacidad está dada por el área disponible y la máxima altura que pueda lograrse sin afectar la estabilidad.

La geometría planteada del relleno tiene forma rectangular, la volumetría propuesta es de forma piramidal, generada por los taludes inclinados requeridos para dar estabilidad a los mismos.

Vaso: Lo conforma la excavación con profundidad media de 5 metros y taludes 1:1 y diques perimetrales artificiales que aportan a la estabilidad y operabilidad del relleno. Estos diques se conforman con un recebo compactado al 95% del Proctor modificado, en capas sucesivas formando un área transversal trapezoidal de base promedio 4m, talud externo 1:1, talud interno 1:1 (V:H), cresta promedio 2m.

Altura: Se logra mediante una terraza sobre el nivel de llenado de vaso, respetando los taludes de diseño hasta alcanzar una altura máxima de 6.80 metros a partir del suelo natural. Y 11.80 m en total.

Inclinación de taludes: Este parámetro es de vital importancia teniendo en cuenta el aporte de estabilidad al relleno sanitario. Para determinar el talud optimo en cuanto a estabilidad sin afectar significativamente la capacidad se realizan varios modelos geotécnicos- geométricos, partiendo de datos característicos de rellenos, recopilados, estudiados y analizados a nivel mundial y de información recopilada en sitio sobre el relleno existente.

De acuerdo a la normatividad sobre rellenos Sanitarios en diversos países, se pueden evidenciar las siguientes inclinaciones máximas establecidas para los taludes:

"1V:2,5H (21,8°, Banco Mundial); 1V:3H (18,4°, Australia, Sudáfrica, Chile, etc.), que bajo condiciones normales permanecen estables incluso a grandes alturas.

1V:4H (14°, Canadá), con esta inclinación se asegura un talud estable aun con alturas superiores a los 60 m, condiciones de saturación y coeficientes sísmicos superiores a 0,15.

En relación a lo anterior se mencionan dos accidentes atribuidos entre otros problemas, a una falta de estabilidad de talud por la altura excesiva y pendientes elevadas:

- Vertedero de Sarajevo (Bosnia-Herzegovina, 1997): El talud tenía una pendiente de 60° (1,7V:1H).
- Vertedero de Hiriya (Tel-Aviv, Israel, 1998): La parte superior del talud tenía una inclinación de 40° (1V:1,2H), pero en la parte inferior la pendiente era de 56° (1V:0,6H). "

Para nuestro caso empleamos el talud recomendado por el Banco Mundial:1V:2,5H cuya estabilidad proporcionada junto con los parámetros de resistencia de los residuos sólidos se analiza más adelante.

Bermas: las bermas definen los límites de cada terraza. En nuestro caso empleamos bermas de 2 metros de ancho. esta configuración aporta estabilidad a los taludes, tal como se explica en el documento: "EVALUACIÓN DEL RIESGO GEOTÉCNICO EN VERTEDEROS DERESIDUOS SÓLIDOS: IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES PELIGROS" II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009. También se pueden aprovechar como franja para transitabilidad y acopio de material de cobertura.

## • IMPERMEABILIZACIÓN:

Con el fin de garantizar la no contaminación del subsuelo y de las aguas subterráneas a causa de los residuos y el lixiviado involucrados en el proyecto, y atendiendo a la normatividad vigente, se propone una estructura de impermeabilización conformada por una geomembrana que se instalará en el fondo y taludes de los diques de contención, para el total de las zonas de llenado. Los materiales antes mencionados deberán cumplir las siguientes características y consideraciones:

**preparación de la subrasante**: La superficie del estrato de suelo compactado debe ser plana y fuerte para que proporcione un soporte continuo a la geomembrana. Esta superficie debe estar libre de rocas, raíces y exceso de agua. En superficies donde no se pueda tener uniformidad por presencia de materiales punzantes, deberá colocarse un geotextil no tejido como medida de protección de la geomembrana. Para establecer el contenido de humedad óptimo y el peso unitario seco máximo se recomienda compactar el suelo con energías de compactación adecuadas, representadas por la energía promedio y alta de compactación. Se recomienda utilizar el ensayo de Proctor estándar o Proctor modificado para las energías promedio o alta, respectivamente. Deben compactarse las capas de suelo hasta lograr como mínimo el 95% de la densidad máxima del Proctor estándar o el 90% de la densidad máxima del Proctor modificado.

**Arcilla:**

De acuerdo al estudio de suelos, se encuentra un estrato arcilloso hasta los 9 metros de profundidad, por lo que este mismo material natural sirve de base. En caso de que al excavarse se encuentre algún material distinto a lo esperado, se debe conformar la base con las siguientes características:

- Espesor igual a 40 cm, con Permeabilidad $K \leq 1 \times 10\text{-}6$ cm/s. Estará compuesta por suelos naturales extraídos en el mismo predio de BIORGÁNICOS DEL SUR.
- Porcentaje de finos entre 20% y 30%

- Porcentaje de gruesos ≤ 30%
- Tamaño máximo de partícula entre 25 mm y 50 mm
- Índice de plasticidad ≥ 20%

Geomembrana:

- La membrana será de Polietileno de alta densidad (HDPE), calibre 60 MILS, espesor 1.5 milímetros, K=10-12 cm/s.
- Se transportará en rollos hasta el lugar donde será almacenada y protegida de la exposición excesiva al polvo, agua y calor.
- Se dispondrá sobre una superficie sin rugosidades, libre de rocas, raíces y exceso de agua.
- El proceso constructivo garantizará juntas confiables.
- Una vez instalada se procederá a efectuar una revisión general del estado de la membrana, y en caso tal de encontrar imperfecciones éstas serán reparadas inmediatamente.

- **DRENAJE DE LIXIVIADOS:**

Después de realizarse la impermeabilización debe construirse el sistema de recolección de lixiviados, el cual debe asegurar que se acumule menos de 0,30 m de lixiviado sobre el estrato compuesto de impermeabilización para minimizar encharcamientos.

- **DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADOS:**

El sistema de drenaje de lixiviados se compone de:

**Área recolectora.** El área recolectora cubre la superficie del área impermeabilizada y recoge el lixiviado. Consiste de un estrato de arena

gruesa de 0,30 m de espesor con una permeabilidad mínima de 10-2 cm/s, localizado en el fondo del relleno.

**Recolectores laterales:** Se requieren para mantener la cabeza de 0,30m, para lo cual los recolectores laterales deben ser tubos perforados, de manera que el lixiviado sea conducido a los colectores longitudinales para ser removido del relleno sanitario. La pendiente de los recolectores laterales debe ser mayor de 2%. Estos se proponen confinar en un filtro de área 0.60mx0.60m conformado por piedra con tamaño entre 3" y 4" envuelto en geotextil no tejido NT2000 para la retención de finos. Estos drenes se disponen en forma diagonal a 45° de los colectores longitudinales a los cuales conecta. Su diámetro será de 4".

**Conducción:** los drenes laterales serán conectados a las tuberías conductoras longitudinales las cuales se encargarán de sacar el lixiviado del relleno y conducirlo hacia la planta de tratamiento de lixiviados. Estas conducciones son analizadas y diseñadas como un sistema de alcantarillado sanitario, teniendo en cuenta los parámetros requeridos para tal fin. se emplea el software AKUA que emplea la ecuación de Manning para tuberías a flujo libre.

Toda la tubería de conducción será en PVC de 6". Al interior del relleno será perforada, y localizada entre filtro de 60cmx60cm, en la parte externa será sin perforar.

Después de conformar la primer terraza o llenado del vaso, con el fin de lograr que el lixiviado percole desde la parte superior hasta el fondo del vaso, se deben hacer filtros longitudinales pasantes en grava gruesa que conecten un nivel con el siguiente de tal forma que se permita el flujo de lixiviados de forma vertical entre niveles.

**Pozo de Achique**: teniendo en cuenta la profundidad superior a los 5 metros a la salida de la celda, se plantea la construcción de un pozo de achique que permita la recolección de lixiviados y posterior expulsión de los mismos a través de una bomba sumergible automatizada mediante control de niveles. Se propone un pozo de sección cilíndrica de diámetro interno 1.50m, en concreto reforzado (ver planos) y 6.80 metros de profundidad.

Bomba sumergible: la bomba deberá ser capacitada para transportar el caudal máximo de lixiviados. Para nuestro caso emplearemos la capacidad de diseño de la planta de tratamiento de lixiviados igual a 1.0 LPS

Es de resaltar que mientras el vaso esté en proceso de llenado, la celda estará expuesta a captar directamente la lluvia en la totalidad del área, por lo que se requiere una bomba adicional para coadyuvar la evacuación sin que se vea afectada la celda por inundación durante eventuales lluvias de alta intensidad.

## • RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Los lixiviados que se generan de la descomposición de los residuos sólidos, son recolectados mediante galería de filtración instalada en el fondo de la celda mediante filtros tipo francés los lixiviados recolectados son conducidos mediante tubería 6" PVC al tanque de achique N° 1. Construido en concreto el cual tiene una capacidad de almacenamiento útil de 18 m3.

Tabla 7. Dimensiones del tanque de recolección de lixiviados Achuique No.1

| TANQUE DE ACHUIQUE N° 1 RECOLECCION DE LIXIVIADOS | | |
|---|---|---|
| LARGO | 3 | Mts |
| ANCHO | 3 | Mts |
| ALTURA HUMEDA | 2 | Mts |
| ALTURA TOTAL | 4,42 | Mts |
| BORDE LIBRE | 2,42 | Mts |
| TIEMPO DE LLENADO TANQUE | 1,814,07 | Minutos |
| | 1,26 | Días |

Tanque de achique se bombea el Lixiviado mediante electrobomba 2HP trifásica modelo 2x 4-2 marca IHM; de acuerdo a la curva adjunta a un Desarenador-

Skimmer donde se retendrán las arenas y material flotante previo a la entrada a la laguna o pondaje de almacenamiento de lixiviado de 22 mts de largo por 12 mts de ancho y una profundidad de 2,50 mts esta laguna por seguridad se debe impermeabilizar con una geomembrana de 40 miles o 1 mm de grosor.

Después de esta laguna se envía a un nuevo tanque de achique donde se bombea el Lixiviado hacia el distribuidor de caudales del sistema de tratamiento tipo UASB, el afluente del reactor pasa a un tanque donde se hace el corrector de pH, y de este a un pos-tratamiento mediante un reactor de flujo a pistón (RAP).

Tabla 8. Consideraciones técnicas del equipo de bombeo

| **EQUIPO DE BOMBEO** | | |
|---|---|---|
| Caudal Diseño (Qd) = | (Qlix +Qprec) X FS | |
| Caudal de Precipitación (Qprec) | 0,50 | Lts/seg |
| Factor de Seguridad | 1,50 | |
| Caudal de lix (Qd)= | 1,00 | Lts/seg |
| Caudal de Diseño (Qd)= | 86,23 | M3/Día |

Para efectos de los equipos de bombeo requeridos, como ya se estableció se necesita una electrobomba de 2 HP trifásica modelo 2x 4-2 marca IHM; de acuerdo a la curva adjunta.

Diseño sistema de tratamiento Tipo "UASB" (upward anaerobic sludge blanket): el tratamiento y purificación de las aguas se realiza en tanque de diferentes tipos y formas, en condiciones de control diversas, Las trasformaciones biológicas y químicas, que ocurren en dichos reactores, por lo general se concentra en la formación de un floculo biológico y/o químico que se separa ecológicamente en un tanque de sedimentación.

Dentro de un reactor, una sustancia puede reaccionar de diferentes maneras, la sustancia es transportada a un reactor por flujo ascendente y extraído por un

flujo descendente. El transporte por convención o advección propaga la sustancia por el movimiento del flujo; dispersión disemina la sustancia en el reactor mediante el movimiento aleatorio o biológicamente, dentro del reactor, para que obtenga una producción o destrucción de la misma. Para el tiempo el cual la sustancia reside en el reactor, su mecanismo de reacción produce una alteración en su concentración.

En un reactor UASB, el residuo que se requiere tratar se introduce por la parte inferior del reactor, el agua residual fluye en el sentido ascendente a través del manto de lodos constituido por granuloso o partículas formadas biológicamente.

El tratamiento se conduce al entrar en contacto el agua residual y las partículas. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas (metano y dióxido de carbono) provocan una circulación interior, que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos, evitando la utilización de algún equipo mecánico, parte del gas generado dentro del manto de lodo se adhiere a las partículas biológicas. Tanto el gas libre como las partículas a las que se han adherido a las partículas, al entrar estas en contacto con unos deflectores descalificadores. Las partículas desgasificadas suelen volver a caer hasta la superficie del manto de lodo.

El gas libre y el gas liberado de las partículas se capturan en una bóveda o campana de recogida de gases instalada en la parte superior del reactor. El líquido que contiene algunos solidos residuales y algunos gránulos biológicos, se conduce a una cámara de sedimentación, donde se separan los sólidos residuales. Los sólidos separados se reconducen a la superficie del manto de lodo a través de sistema de deflectores, para mantener el manto de lodo en suspensión, es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor ente 0,3 y 0,9 m/h rango establecido por la literatura.

**ORIGEN Y FUENTES DE PRODUCION:** Las aguas afluentes a los reactores UASB provienen del Lixiviado, por lo que deben considerarse caudales poco variables. Así mismo, las características físico-químicas del agua a tratar se caracterizan por un contenido significativo de materia orgánica y altamente degradables.

**PERIODO DE DISEÑO:** puesto que se considera un caudal constante, no habrá consideraciones de variación en un periodo de diseño determinado ($0,30 < v < 0,60$) cumple con este rango, establecido por la RAS2000. Para la velocidad ascensional,

por lo que se puede asumir que la turbulencia generada no afectara la estabilidad del manto de lodos y, por consiguiente, el proceso anaerobio de depuración (remoción de materia orgánica-Demanda bioquímica de Oxigeno) del agua residual dentro del reactor.

Tabla 9. Consideraciones técnicas del diseño del reactor UASB

| DISEÑO REACTOR UASB | | |
|---|---|---|
| Caudal de diseño (Qd)= | 1,00 | Lts/seg |
| Periodo de Retención (θ) | 13,00 | Hrs |
| Volumen (V)= | Qd x θ | M3 |
| Volumen (V)= | 0,78 | M3 |
| Área (A)= | V x Hh | M2 |
| Altura Húmeda (Hh) | 4,00 | Mts |
| Área (A)= | 3,11 | M2 |
| Diámetro (Mts) | √(Ax4) / π | Mts |
| Diámetro (Mts) | 2,00 | Mts |
| Velocidad Ascensional (Vel) | Hh / θ | Mts/seg |
| Velocidad Ascensional (Vel) | 0,31 | Mts/Hr |
| Demanda Bioquímica de Oxigeno | 1,640,00 | mg/lt O2 |
| Carga Orgánica (kg/Dia DBO) | 140,77 | Kg/día DBO |
| Remoción de Carga Orgánica | 50% | |
| Carga Orgánica efluente (Kg/día DBO) | 70,38 | Kg/día DBO |

DISEÑO REACTOR ANAEROBICO FLUJO A PISTON (RAP):

Para el desarrollo del diseño se seguirán las recomendaciones y parámetros de diseño contemplados en la resolución (RAS 2000) que fija el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Desarrollo Económico.

## RECOLECCION, CONCENTRACION Y VENTEO DE GASES

Los gases generados en el proceso de descomposición de los residuos sólidos

son captados mediante chimeneas. Estas chimeneas estarán conectadas a la tubería de recolección de lixiviados y son protegidas por un gavión de 1 x 1 m el cual va desde la base de la celda hasta la superficie. El diámetro de la tubería de evacuación de gases es de 6 pulgadas, la cual fue perforada en la zona donde está en contacto con los residuos, sobresaliendo 2.5 metros en la superficie del relleno. La ubicación y detalles de construcción de las chimeneas se referencia en el plano 3/4 que contiene "Planta y perfiles" y plano 4/4 que contiene "Detalles constructivos".

La descomposición natural y/o putrefacción de los desechos sólidos, producen gases entre los cuales se pueden mencionar el dióxido carbono $CO_2$, el ácido sulfhídrico $H_2S$ (olor repugnante) y metano $CH_4$, inoloro, inflamable y explosivo si se encuentra en el aire en una proporción de 5 al 15%. El metano no es soluble en el agua y de este modo se concentra dentro del relleno sanitario, hasta que comienza a moverse a través de los espacios vacíos, alcanzando finalmente las chimeneas del relleno, donde son quemados para así minimizar el impacto que pueden producir estos en la atmosfera.

Diariamente se debe realizar el encendido de las chimeneas, verificando así cuales y cuantas poseen gas.

## ACTIVIDADES Y ACCIONES DE MANEJO DE CONTROL PARA LA ESTABILDIAD DE TALUDES

Los ingenieros y demás personal operativo, analizaran las eventualidades que se presenten en el área de trabajo, determinando alertas tempranas para así tomar

las medidas pertinentes y necesarias asegurando la estabilidad de los taludes. Para ello se tiene en cuenta la siguiente información:

- Determinación de la densidad de compactación de los residuos en el relleno.
- Levantamiento topográfico inicial y periódico.
- Aforo del Caudal de lixiviados.
- Seguimiento de grietas.
- Seguimiento de puntos de control topográficos • Seguimiento a las presiones de poros.
- Seguimiento a inclinaciones del terreno.

Con toda la información recolectada (levantamientos topográficos. inclinaciones del terreno), se definen perfiles del relleno sobre los cuales se corren programas de análisis, para determinar el factor de estabilidad en los taludes, en las secciones más críticas del mismo.

De igual forma se estipulan actividades en pro de prevenir posibles deslizamientos en el talud:

- Plantación de vegetación que actúan como retenedores evitando la erosión y el arrastre del material.
- Cubrimientos con geotextiles y/o mallas de refuerzo para evitar deslizamientos mientras germina la vegetación, la cual ayuda a la retención de los diferentes materiales del talud.

Es de resaltar que el relleno sanitario cuenta con 3 terrazas las cuales están diseñadas con bermas al finalizar cada una, con el fin de aumentar los factores de seguridad para evitar deslizamientos.

EQUIPOS E INSTALACIONES DE INSTRUMENTACIÓN

a. MONITOREO DE LIXIVIADOS

En la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos se recolectan lixiviados, estos deben medirse constantemente y registrarse de dos maneras: mediante la lectura de los niveles líquidos en los tanques o en los embalses de almacenamiento de lixiviado, o la lectura de las bombas de lixiviado o de las líneas de descarga equipadas con medidores de flujo.

La cantidad de lixiviado debe registrarse para analizar las tendencias o variaciones significativas con el transcurso del tiempo. Debe hacerse una correlación de los cambios en la cantidad de lixiviado con los cambios en los niveles de precipitación. Las variaciones que no se relacionan con los efectos de las lluvias pueden buscarse en los cambios de operación de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos. También es útil comparar la proporción actual de la generación de lixiviado con los cálculos del diseño original. Si las tasas reales exceden los cálculos por un margen sustancial, puede deberse a un problema de operación o el exceso podría indicar que las instalaciones para recoger, transportar o tratar el lixiviado son pequeñas.

El objetivo fundamental del monitoreo es establecer un control sobre la calidad de Lixiviados y el grado de eficiencia del sistema de Tratamiento de Lixiviados propuesto. El programa de monitoreo es básico, porque permite verificar, que tan aceptables son las medidas adoptadas para el control de los lixiviados generados en el Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos y en caso de que estas fallen, ya sea por inadecuada operación de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos falta de mantenimiento, el monitoreo detecta el flujo de contaminantes y permite tomar las medidas necesarias para la preservación del medio ambiente.

Objetivo: Determinar semestralmente la calidad fisicoquímica del Afluente y Efluente de la Laguna Facultativa como sistema de tratamiento de lixiviados.

Equipo: Medidor de caudal, recipiente para recolectar la muestra, nevera portátil para conservar la muestra en frío, peachímetro, termómetro y oxímetro.

Parámetros: pH, Temperatura Agua, Temperatura Ambiente, Conductividad,

Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DB05), Alcalinidad, Dureza Total, Grasas y Aceites,

Fenoles, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, Aluminio" Metales Pesados (Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Plomo, Zinc), Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Fosfatos, Coliformes Fecales, Coliformes Totales.

Muestreo: En las estaciones de muestreo localizadas en el Afluente (Entrada) y en el Efluente (Salida) se medirá el caudal (Q), la temperatura (T°C), el pH y el Oxígeno Disuelto (OD). Estas mediciones se toman en forma instantánea cada 30 minutos. Se Toma una muestra agua cada 30 minutos durante un lapso de tiempo de 2 horas. Se compone la muestra a analizar con alícuotas proporcionales al caudal instantáneo con relación al caudal promedio. Las alícuotas se calculan mediante la expresión:

Vl = (Vl(N*Qp) * Qi)

Vi = Volumen de la alícuota (mi)

V = Volumen de la muestra a componer N = Número de alícuotas (5)

Qp = Caudal promedio en la jornada de muestreo

Qi = Caudal instantáneo Puntos de Muestreo: Afluente (Entrada) y en el Efluente (Salida) de la Planta de Tratamiento de Lixiviados.

Reporte de resultados:

- Fecha y hora en que se realiza la toma de muestra.
- Condiciones durante el monitoreo, Temperatura, tiempo de monitoreo.
- Parámetros de evaluación.
- Análisis de los parámetros evaluados, comportamientos anormales, sugerencias.
- Determinación de la eficiencia del sistema de acuerdo a la siguiente ecuación:

E = (So - Se) I So Donde:

So: Concentración del Afluente.

Se: Concentración del Efluente.

Todos los registros deben ser archivados, para que sea posible confirmar resultados o hacer predicciones en cuanto a los comportamientos que se esperan en los monitoreos siguientes.

b. MONITOREO DE GASES

Una vez instaladas las coberturas finales a parciales, la superficie de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos debe evaluarse periódicamente para observar señales adversas producidas por el gas. Estas señales pueden incluir efectos observables en la vegetación de la cobertura final, olores fuertes o brechas visibles en el sistema de cobertura por donde se emiten vapores o donde se puede observar humo o llamas del gas en combustión. En el caso de los revestimientos con membrana flexible, la acumulación excesiva de presión de gas debajo del revestimiento puede crear burbujas grandes y levantadas.

Cualquiera de las señales descritas en el párrafo anterior revelará la necesidad de tomar medidas adicionales para contener, colectar o descargar el gas. En los sistemas pasivos, la adición de ventilación en los lugares críticos puede corregir el problema. En los sistemas activos, las emisiones no deseadas o la acumulación del gas pueden controlarse mediante el aumento del vacío en los pozos de extracción o en los respiraderos existentes, o con la instalación de pozos adicionales o ventilación en las áreas problemáticas.

Sumado a ello de forma periódica se monitorea por medio de laboratorio acreditado por el IDEAM, el caudal de gases, Composición de Biogás CH4, CO2, O2, Explosividad, Partículas Suspendidas Totales y Partículas Respirables, con el fin de determinar que variaciones se presentan y verificar el control de contaminación.

# 9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS

## 9.1 Estado del arte

La selección de los parámetros resistentes, ángulo de fricción interna y cohesión, a emplear los métodos tradicionales de cálculo es una de las mayores dificultades que se presentan al analizar la estabilidad de un talud en de un relleno sanitario.

Varias inestabilidades en rellenos sanitarios han sido reportadas en la literatura. Debido a ello en las últimas tres décadas se ha dado importancia a la determinación de los parámetros de resistencia al corte de rellenos sanitarios, a partir de ensayos insitu o de laboratorio, especialmente en países desarrollados. En países en desarrollo la técnica es más reciente y comúnmente no se determinan los parámetros de resistencia del sitio, si no que los diseñadores usan como referencia valores de otros lugares, los cuales tienen diferencias en su composición.

El hecho de utilizar parámetros estimados (Sobre todo basándose en trabajos en el extranjero) en algunos casos ha obligado a realizar modificaciones importantes y de alto costo en el diseño de la ingeniería y las obras de construcción.

Para estimar la resistencia de los desechos sólidos, se han usado tres técnicas (Singh and Nurphy, 1990; Howland and Landva, 1992; citados por Quian X, et al (2002)

Palma (1995), realizo una compilación y comparación de los parámetros resistentes publicados en la literatura especializada, derivados de investigaciones a escala de laboratorio, ensayos insitu y análisis a posteriori de casos de rotura reales, concluyendo con una banda de parámetros resistentes recomendados para el diseño que se presenta en la figura. En muchos casos, la resistencia al corte está definida sobre la base de deformaciones inaceptables, antes que una verdadera rotura

Figura 8. Parámetros resistentes recomendados para el diseño

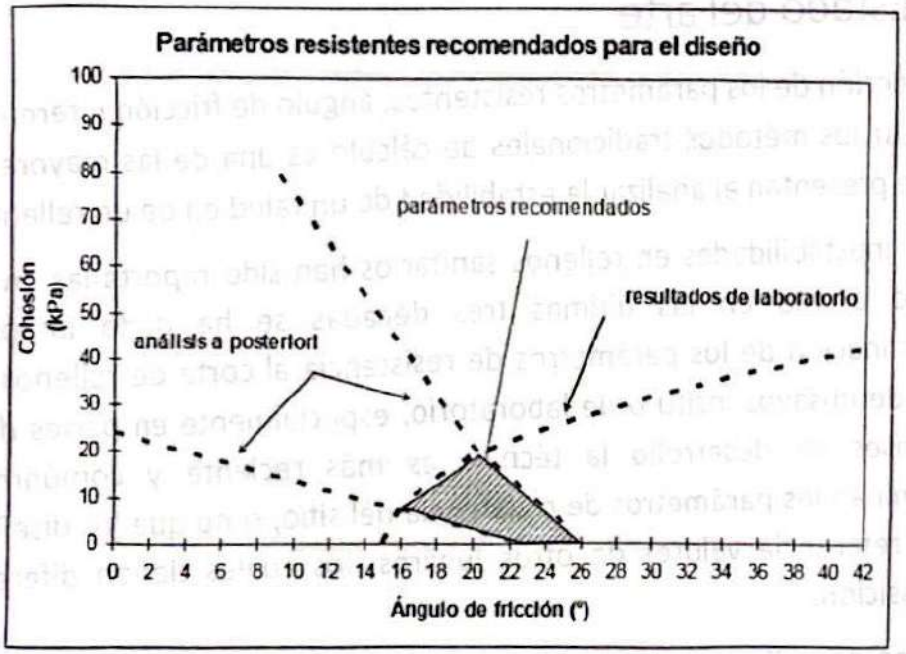



Figura: parámetros resistentes para diseño en rellenos sanitarios. Publicado en Palma et al (2006). Fuete Palma 1995.

Altabella et al (2016) cita al estudio realizado por Colomer (2006) sobre las propiedades de los residuos de distintos depósitos controlados donde indico que los valores de C' y ϕ' presentan gran dispersión entre depósitos en incluso entre estaciones temporales o entre varias zonas de la misma instalación; Definió rangos de C' entre 0 y 12.64 Tn/m3 y los ϕ' entre 0 y 53°. También recomienda utilizar los factores de seguridad al calcular la estabilidad de los taludes entre 1.3 y 1.5, valores que son superiores cuando se construyen los taludes con pendientes entre 1V: 3H y 1V: 5H.

En la tesis presentada por Eiman Andrés Sandoval- Vallejo et al. Aceptada en agosto del 2015 Llamada "Resistencia al esfuerzo cortante en rellenos sanitarios" Se realizó en dos celdas de trabajo del RELLENO SALITARIO PRESIDENTE, ubicado en el municipio de San Pedro, Departamento del Valle del Cauca, en el cual presentan resultados de un programa experimental con el fin de obtener los parámetros de resistencia al corte del relleno, en el cual obtuvieron densidades del relleno sanitario de edad joven, como también el ángulo de fricción interna y

la cohesión. La obtención de las muestras de los residuos fue mediante recuperación directa a cielo abierto y apiques para determinar la densidad natural en campo.

Los apiques consistieron en realizar perforaciones de 0.5 x 0.50 x 0.50 m en un relleno de 7m de altura y 32 m. El promedio de los pesos unitarios fue de 6 y 13 kN, con edades de 8 y 60 meses respectivamente.

A partir del ensayo de corte directo encontraron los siguientes resultados en el ensayo de corte directo de muestras recuperadas:

Tabla 10. Resumen de resultados, parámetros de resistencia al corte

Resumen de resultados, parámetros de resistencia al corte

| Ensayo | Edad (meses) | $\rho_n$ (kN/m³) | Prof. (m) | C' (kPa) | Φ'(°) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 8 | 3 | 24.9 | 31.6 |
| 2 | 8 | 14 | 3 | 24.7 | 29.6 |
| 3 | 8 | 8 | 5 | 31.4 | 29.1 |
| 4 | 8 | 14 | 5 | 27.2 | 30.8 |
| 5 | 60 | 8 | 3 | 9.1 | 34.7 |
| 6 | 60 | 14 | 3 | 19.5 | 29.2 |
| 7 | 60 | 8 | 5 | 17.6 | 33.0 |
| 8 | 60 | 14 | 5 | 21.9 | 29.5 |

Para las muestras de edad de 8 meses tienen una Cohesión C' de 27.05 kPa y un ángulo de fricción interna de 32.08 grados.

## 9.2 Prospección geotécnica

Las labores de prospección geotécnica fueron desarrolladas por el ingeniero

Javier Conde Gutiérrez de la empresa Suelos, Concretos y Asfaltos Limitada – SUCOAS LTDA", en el año 2021. Se informa que fueron realizadas 2 líneas de refracción sísmica (método MASW) hasta una profundidad promedio de 30 m y 9 sondeos acompañados de ensayos en campo SPT y de ensayos de laboratorio. Las especificaciones detalladas de la prospección se detallan en los informes técnicos presentados por Conde (2021), no obstante, se destaca la información más relevante.

Tabla 11. Especificaciones generales de las líneas de refracción sísmica

| LÍNEA. | PROFUNDIDAD. (m). | LOCALIZACIÓN DEL PREDIO. (RELLENO SANITARIO). | | |
|---|---|---|---|---|
| | | LATITUD. | LONGITUD. | A.S.N.M. (m). |
| No.1. | 30.00 | 1° 52´ 13.23¨ N. | 76° 07´ 30.19¨ O. | 1.350. |
| No.2. | 30.00 | | | |

Fuente: Conde (2021)

Figura 9. Localización de las líneas de refracción sísmica




Fuente: Conde (2021)

Tabla 12. Especificaciones generales de los sondeos exploratorios

| SONDEO. | ENSAYOS. | | LOCALIZACIÓN DEL PREDIO. (RELLENO SANITARIO). | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | LATITUD. | LONGITUD. | A.S.N.M. (m). |
| No.1. | SPT. | CONTENIDO DE HUMEDAD. | 1° 52´ 13.23¨ N. | 76° 07´ 30.19¨ O. | 1.350 |
| No.2. | | | | | |
| No.3. | | | | | |
| No.4. | | | | | |
| No.5. | | | | | |
| No.6. | | | | | |
| No.7. | | | | | |
| No.8. | | | | | |
| No.9. | | | | | |

Fuente: Conde (2021)

Figura 10. Localización de los sondeos




Fuente: Conde (2021)

Teniendo en cuenta las condiciones del terreno, la localización, la distancia al sitio de los estudios y la profundidad de los sondeos, la perforación se realizó manualmente utilizando el equipo requerido a percusión; tomando las muestras con cuchara partida a través del respectivo ensayo del SPT.

Como se mencionó anteriormente, se hicieron NUEVE (9) sondeos manualmente, donde, en todos existen inicialmente un relleno con un Conglomerado en matriz Areno Limo Arcilloso de color amarillo claro, con presencia de basura o relleno orgánico; en un espesor promedio que varía entre 0.15 metros y 0.30 metros. A partir de esa profundidad, 0.15 metros a 0.30 metros, se encuentra un relleno orgánico con presencia de basura, bolsas plásticas, bolsas de fibra, madera, textiles, botellas plásticas, restos de espumas, zapatos, etc; cuya consistencia (compactación) y contenido de humedad se incrementa de acuerdo a la profundidad del relleno orgánico.

En cada uno de los sondeos se realizó el ensayo del SPT a 0.00 metros, 0.50 metros y 1.00 metro; a partir de la superficie de la corona del Relleno orgánico. Además de lo anterior, también se determinó el valor de la humedad a diferentes profundidades y por correlaciones y pruebas de laboratorio se obtuvieron los parámetros de resistencia geomecánica. En ninguno de los sondeos se encontró nivel freático.

Adicionalmente se da claridad en que:

- El **32%** de las muestras obtenidas en campo trabajan en **CONDICIONES SECAS.**
- El **60%** de las muestras obtenidas en campo trabajan en **CONDICIONES PARCIALMENTE SATURADAS.**
- El **8%** de las muestras obtenidas en campo trabajan en **CONDICIONES SATURADAS.**

## 9.3 Caracterización geomecánica de los materiales

Los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio fueron presentados por Conde (2021). Se informa que fueron realizados ensayos de clasificación granulométrica (tamizado y límites líquido y plástico), humedad, peso unitario, prueba de penetración estándar SPT y ensayo de refracción sísmica (método MASW). La información más relevante se presenta a continuación:

Con base en el estudio de refracción sísmica, el espesor del relleno orgánico varía en los siguientes espesores.

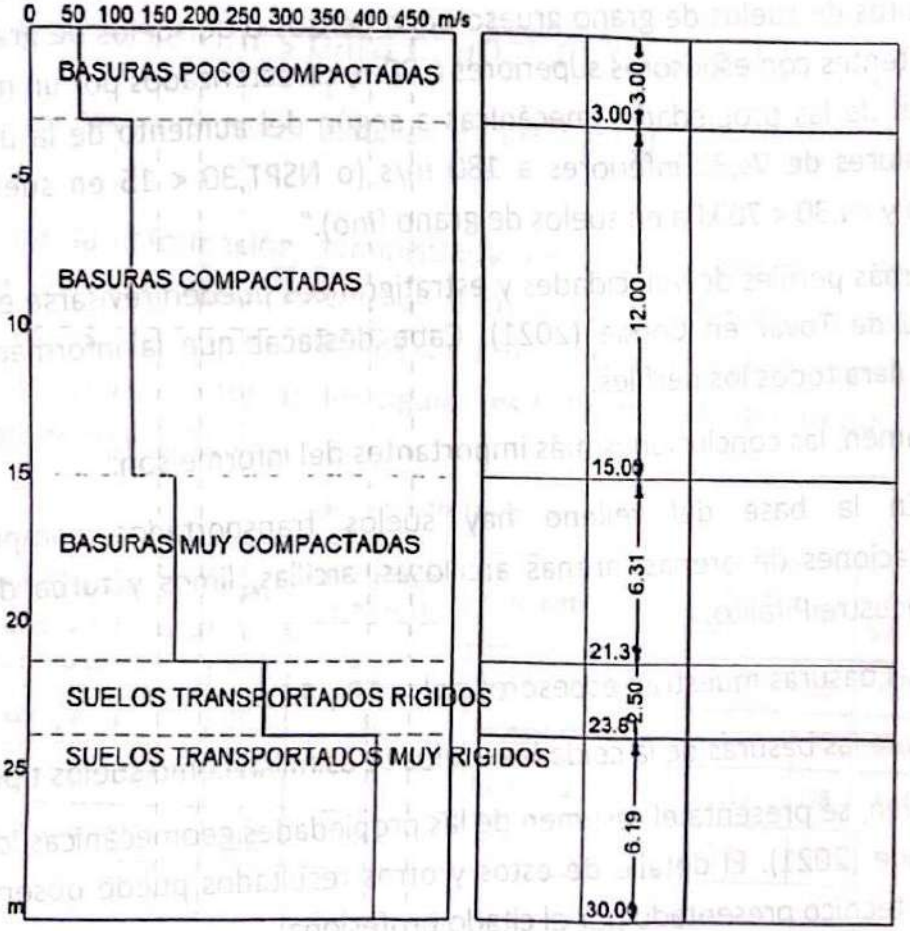
Tabla 13. Espesor del relleno orgánico

| LINEA. | GEÓFONO. | ESPESOR DEL RELLONO ORGÁNICO. (m). |
|---|---|---|
| No.1. | No.1. | 21.31 |
| No.1. | No.8. | 24.85 |
| No.1. | No.16. | 21.31 |
| No.2. | No.1. | 15.70 |
| No.2. | No.8. | 23.33 |
| No.2. | No.16. | 14.98 |

Fuente: Conde (2021)

Asimismo, se cuenta con los siguientes perfiles estratigráficos y de velocidades de onda.

Figura 13. Perfil de velocidades y estratigráfico en la línea 1




Fuente: Conde (2021)

Tovar en Conde (2021) indica que "Para el punto en el central de la línea. El modelo de velocidad calculado consta de 5 capas. En primer lugar, se encuentra un estrato de aproximadamente 3 m de espesor y velocidad baja de 52 m/s, esta capa se correlaciona con las basuras poco compactadas. Luego un estrato de 11.6 m y 116 m/s y que corresponde basuras compactadas. Infra yaciendo la anterior unidad se encuentra una capa con una velocidad de

116 m/s y de 10.5 m de espesor basuras compactadas. Luego un estrato de 5.0 m que corresponde a una capa de mayor velocidad de 235 m/s que corresponde a suelos transportados rígidos, compuesto por arenas y arcillas del depósito fluvio lacustre. Por último, una capa de velocidad intermedia de 351 m/s y sin determinar la base, que se asocia a suelos densos del depósito fluvio lacustre. El promedio de

velocidad Vs30 es de 112 m/s. Los suelos se clasifican como tipo E, Suelo de tipo: Depósitos de suelos de grano grueso poco densos o de suelos de grano fino poco consistentes con espesores superiores a 30m, caracterizados por un mejoramiento gradual de las propiedades mecánicas a según del aumento de la profundidad y por valores de Vs,30 inferiores a 180 m/s (o NSPT,30 < 15 en suelos de grano grueso y cu,30 < 70 kPa en suelos de grano fino)."

Los demás perfiles de velocidades y estratigráficos pueden revisarse en el informe técnico de Tovar en Conde (2021). Cabe destacar que la información es muy similar para todos los perfiles.

En resumen, las conclusiones más importantes del informe son:

- En la base del relleno hay suelos transportados compuestos por intercalaciones de arenas, arenas arcillosas, arcillas, limos y turba del depósito fluvio lacustre Pitalito.
- Las basuras muestran espesores entre 19 y 24 m.
- Para las basuras de la celda los suelos se asimilan como suelos tipo E.

Ahora bien, se presenta el resumen de las propiedades geomecánicas identificadas por Conde (2021). El detalle de estos y otros resultados puede observarse en el informe técnico presentado por el citado profesional.

En cuanto a los parámetros geomecánicos, se presenta un resumen tomando en cuenta el promedio de todos los datos obtenidos en cada geófono.

Tabla 14. Resumen de los resultados de los parámetros geomecánicos

| Descripción | Fricción (°) | Cohesión (kg/cm2) | Densidad (kg/m3) | N SPT |
|---|---|---|---|---|
| Basuras poco compactadas | 28 | 0,2561 | 950 | 2,5 |
| Basuras compactadas | 28 | 0,2561 | 1000 | 6,2 |
| Basuras muy compactadas | 28 | 0,2561 | 1050 | 9,3 |
| Suelos transportados rígidos | 28 | 0,2561 | 1816,7 | 24,3 |
| Suelos transportados muy rígidos | 28 | 0,2561 | 1908,3 | 40,7 |

Fuente: Conde (2021)

## 9.3. Consideraciones para el análisis de estabilidad

Para analizar las condiciones actuales de estabilidad se requieren los siguientes datos:

A partir de la información suministrada en ensayos previos a los rellenos existentes de los residuos sólidos de Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P., como del estado del arte de rellenos sanitarios internacionales, colombianos y de los estudios previos se toman los siguientes factores para la introducción de los datos al programa SLIDE V.6

Tabla 15. Datos de entrada al programa SLIDE V.6

| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface | Ru |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Basuras poco comp | | 9.92 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |
| Basuras compactadas | | 10 | Mohr-Coulomb | 1 | 35 | None | 0 |
| Basuras muy compactadas | | 9.81 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |
| Suelos Transportados | | 17.81 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |

Topografía: Los datos topográficos utilizados para el análisis fueron suministrados por el topógrafo Sergio Muñoz Urbano.

Condiciones sísmicas: El perfil de suelo varía según la actividad sísmica de la zona y las características del material. De acuerdo a la NSR-10, se debe conocer el coeficiente de aceleración pico horizontal o el coeficiente de velocidad pico horizontal, cualquiera sea el mayor será el elegido. Para conocer estos valores se usan las tablas A.2.4.1 y A.2.3.2 de la NSR-10.

### Definición de la zona de amenaza

Tabla 16. Valores de Aa y Av para los municipios del Huila NSR-10. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

| Municipio | Código Municipio | $A_a$ | $A_v$ | Zona de Amenaza Sísmica | $A_e$ | $A_d$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Neiva** | 41001 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Acevedo | 41006 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.17 | 0.06 |
| Agrado | 41013 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.26 | 0.08 |
| Aipe | 41016 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.14 | 0.05 |
| Algeciras | 41020 | 0.30 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Altamira | 41026 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Baraya | 41078 | 0.30 | 0.25 | Alta | 0.19 | 0.08 |
| Campoalegre | 41132 | 0.30 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Colombia | 41206 | 0.30 | 0.25 | Alta | 0.19 | 0.08 |
| Elías | 41244 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.06 |
| Garzón | 41298 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.07 |
| Gigante | 41306 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Guadalupe | 41319 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.16 | 0.06 |
| Hobo | 41349 | 0.30 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Iquira | 41357 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.16 | 0.06 |
| Isnos | 41359 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| La Argentina | 41378 | 0.25 | 0.15 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| La Plata | 41396 | 0.25 | 0.15 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| Nátaga | 41483 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| Oporapa | 41503 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Paicol | 41518 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Palermo | 41524 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.18 | 0.07 |
| Palestina | 41530 | 0.30 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Pital | 41548 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Pitalito | 41551 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Rivera | 41615 | 0.30 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Saladoblanco | 41660 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.20 | 0.07 |
| San Agustín | 41668 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.19 | 0.08 |
| Santa María | 41676 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.14 | 0.05 |
| Suazá | 41770 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.16 | 0.06 |
| Tarqui | 41791 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Tello | 41799 | 0.30 | 0.25 | Alta | 0.19 | 0.08 |
| Teruel | 41801 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| Tesalia | 41797 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| Timaná | 41807 | 0.30 | 0.15 | Alta | 0.20 | 0.08 |
| Villavieja | 41872 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.19 | 0.07 |
| Yaguará | 41885 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.19 | 0.08 |

Para Pitalito y sus sectores aledaños, se tiene una zona de amenaza sísmica alta con Aa=0,30. Av=0,15.

## Definición del tipo perfil del suelo

Tabla 17. Clasificación del perfil de suelo. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|---|---|---|
| A | Perfil de roca competente | $\bar{v}_s \geq 1500$ m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 760 m/s> $\bar{v}_s \geq 360$ m/s |
| | perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios | $\bar{N} \geq 50$, o<br>$\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²) |
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 360 m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s |
| | perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones | 50 > $\bar{N} \geq 15$, o<br>100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²) |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 180 m/s > $\bar{v}_s$ |
| | perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas | IP > 20<br>w ≥ 40%<br>50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\bar{s}_u$ |
| F | Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:<br>$F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.<br>$F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).<br>$F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)<br>$F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m) | |

Los suelos deben estar agrupados en tipos C, D o E pues A y B corresponde a rocas; los suelos tipo C no suelen aparecer en regiones de actividad sísmica alta y suelen tener resistencia a la compresión alta pero no se descarta la posibilidad de encontrarlos. Con base en el número de golpes del SPT (N), se puede establecer el tipo de perfil de suelo.

De acuerdo a los resultados de la refracción sísmica, las basuras que conforman el relleno se consideran perfil tipo E.

Una vez conocidos el tipo de perfil de suelo y el coeficiente de aceleración pico horizontal y el de velocidad pico horizontal, se pueden determinar los coeficientes Fa y Fv correspondientes a los valores de los períodos cortos e intermedios del espectro sísmico, respectivamente

Tabla 18. Valores de Fa para la zona de períodos cortos en el espectro. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

| Tipo de Perfil | Intensidad de los movimientos sísmicos | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $A_a \leq 0.1$ | $A_a = 0.2$ | $A_a = 0.3$ | $A_a = 0.4$ | $A_a \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| F | véase nota | véase nota | véase nota | Véase nota | véase nota |

Tabla 19. Valores de Fv para la zona de períodos intermedios en el espectro. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

| Tipo de Perfil | Intensidad de los movimientos sísmicos | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $A_v \leq 0.1$ | $A_v = 0.2$ | $A_v = 0.3$ | $A_v = 0.4$ | $A_v \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| D | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| E | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| F | véase nota | véase nota | véase nota | Véase nota | véase nota |

Los coeficientes Fa y Fv serán 1,2 y 3,25; respectivamente.

Para este caso se selecciona un coeficiente de importancia del grupo I, ya que está dentro de las estructuras de ocupación normal.

Tabla 20. Coeficientes de importancia. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

| Grupo de Uso | Coeficiente de Importancia, I |
|---|---|
| IV | 1.50 |
| III | 1.25 |
| II | 1.10 |
| I | 1.00 |

Con estos datos se procede a calcular la aceleración máxima horizontal.

$$amax = Fa * I * Aa$$

$$amax = 1.2 * 1 * 0.25$$

$$\boldsymbol{amax = 0,36}$$

El coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudo estáticos de taludes KST tiene valor inferior o igual al amax y se admite los siguientes valores mínimos de KST amax, dependiendo del tipo de material y del tipo de análisis.

Tabla 21. Valores de Kst/amax mínimos para análisis pseudoestático de taludes. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

| Material | $K_{ST}/a_{max}$ Mínimo | Análisis de Amplificación Mínimo |
|---|---|---|
| Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%) | 0.80 | Ninguno |
| Macizos rocosos (RQD > 50%) | 1.00 | Ninguno |
| Todos los materiales térreos | 0.67 | Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar |
| Todos los materiales térreos | 0.50 | Amplificación de onda bidimensional |

Por lo anterior considerando un valor de Kst/amax de 0.8 (suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados), se tiene que:

$0.36 * 0.80 = 0.288 = 0{,}29$

Para el cálculo del coeficiente de aceleración vertical, de acuerdo a Suarez, (Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998), para el análisis de estabilidad, asumiendo como valor de Kv la mitad de Kh, =0.29/2= 0.145 aproximando así a 0.15.

Geología: Por medio de la prospección geotécnica se pudo realizar una correlación para así obtener una columna estratigráfica lo más acertada posible.

Propiedades geomecánicas de los materiales:

Se usan las condiciones presentadas anteriormente emitidas en informe presentado por Conde (2021), en donde se asignan parámetros geomecánicos actualizados a diciembre de 2021.

Para todos los casos se usa el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

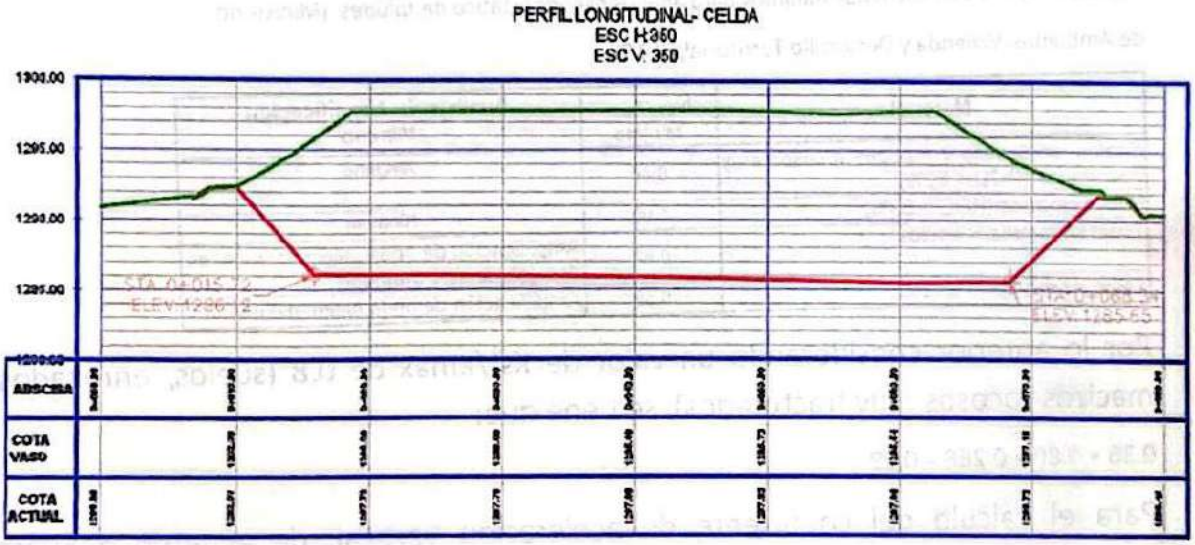
Niveles de aguas freáticas: Conde (2021) menciona que no se detectaron niveles de agua en ninguna de las perforaciones.

Métodos de análisis: Se usan los métodos de Bishop simplificado y Janbu corregido.

## 9.4. Perfiles de análisis

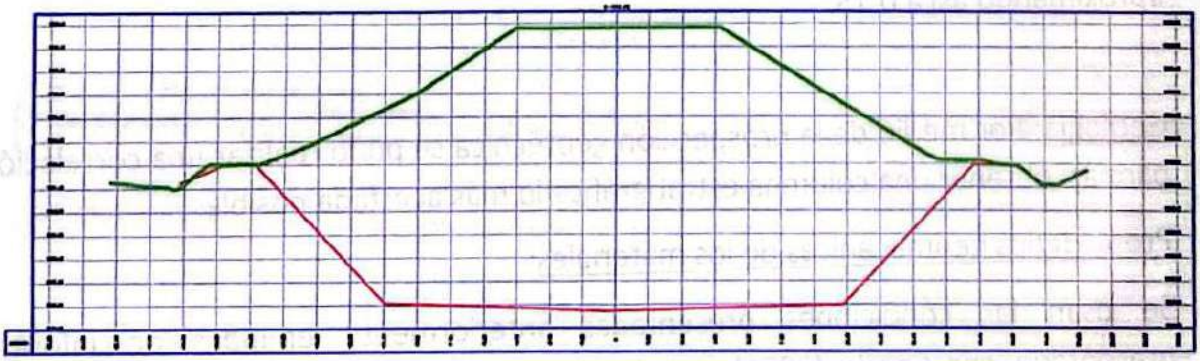
Los perfiles del relleno sanitario fueron tomados del estudio topográfico realizado por el profesional en topografía Sergio Muñoz Urbano.

Figura 11. Perfil longitudinal




Fuente: Muñoz (2024)

Figura 12. Perfil transversal 0+050m



Fuente: Muñoz (2023)

Para efectos de modelamiento, se ha divido cada perfil presentado en las figuras 11 y 12 en un costado izquierdo y un costado derecho, tomando como punto de partida para cada caso su punto más extremo y adentrándose 10 metros en el resto del perfil.

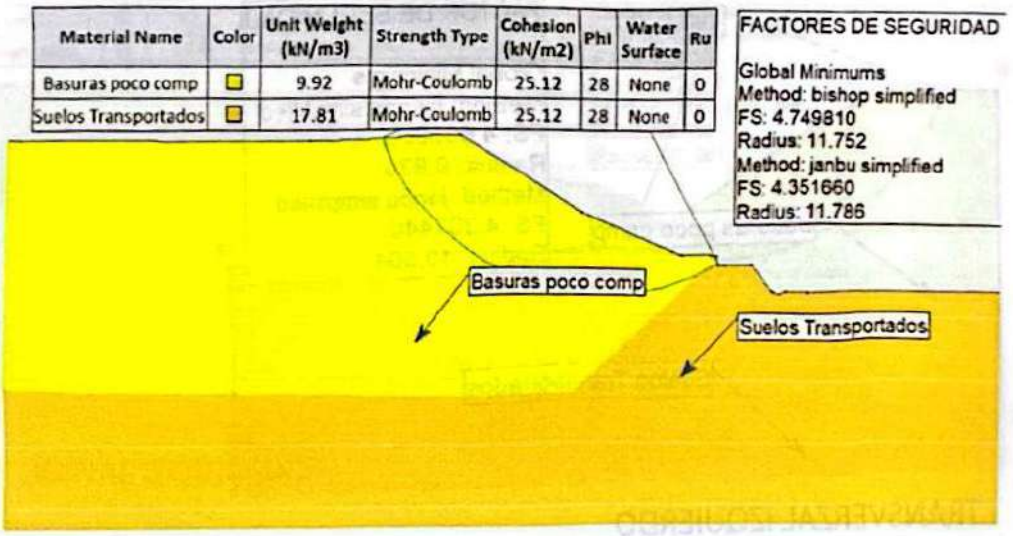
# 9.5. 6. Resultados de los análisis de estabilidad

## CONDICIÓN SECA Y SIN SISMO

### LONGITUDINAL DERECHO

Figura 13.

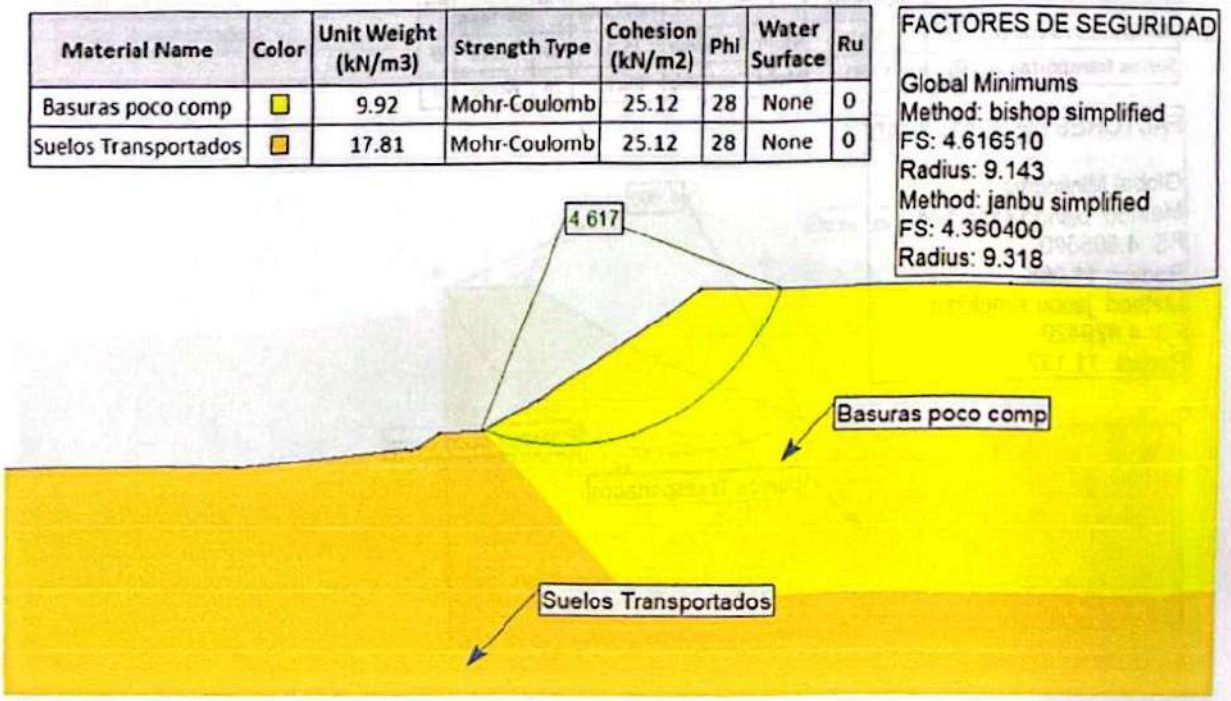
| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface | Ru |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Basuras poco comp | | 9.92 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |
| Suelos Transportados | | 17.81 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |




### LONGITUDINAL IZQUIERDO

Figura 14.

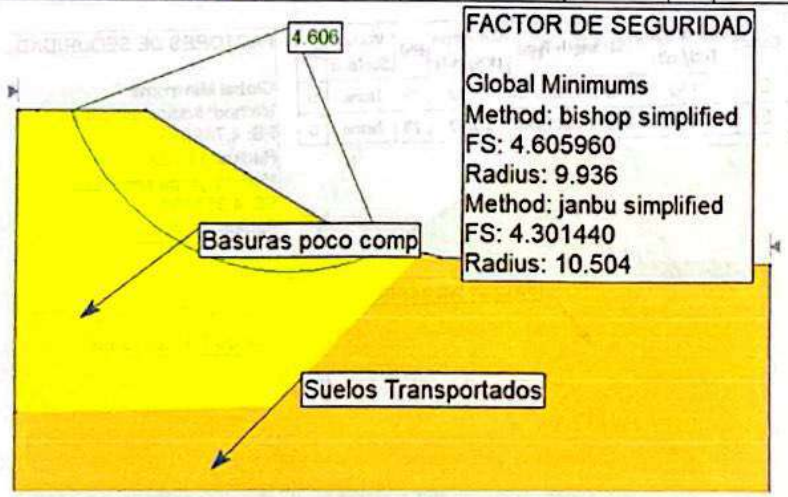
| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface | Ru |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Basuras poco comp | | 9.92 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |
| Suelos Transportados | | 17.81 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |



## TRANSVERZAL DERECHO

Figura 15

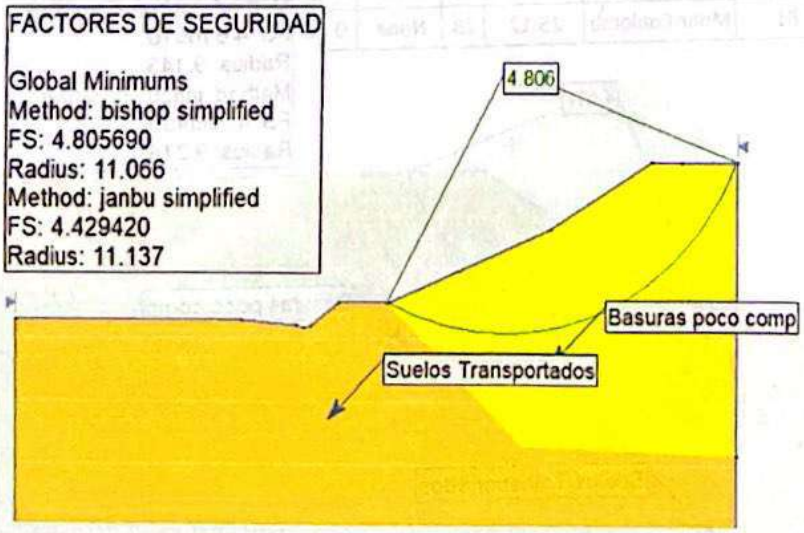
| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface | Ru |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Basuras poco comp | | 9.92 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |
| Suelos Transportados | | 17.81 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |




## TRANSVERZAL IZQUIERDO

Figura 16.

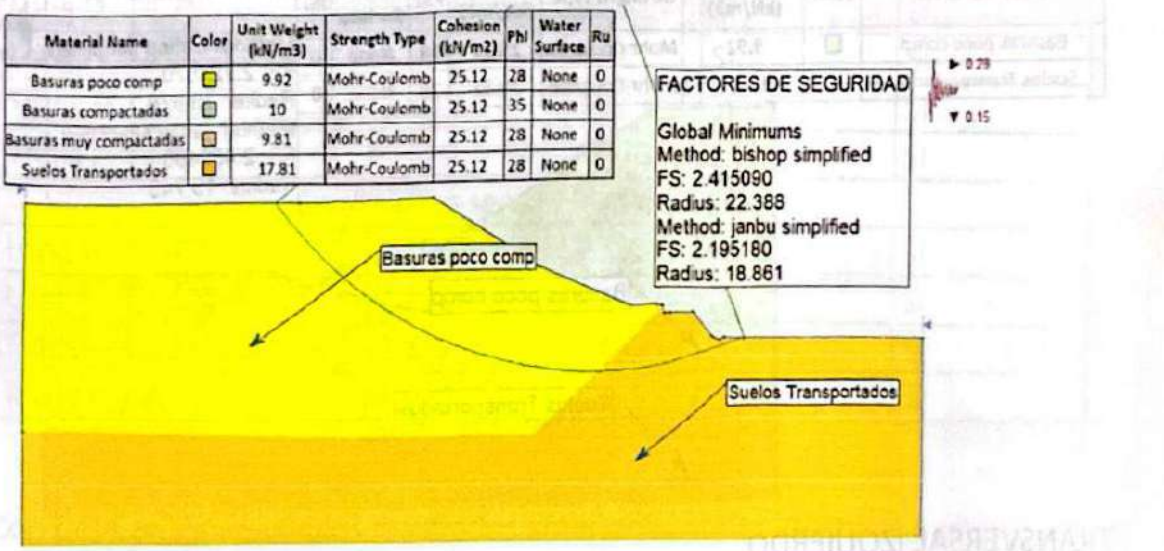
| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface | Ru |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Basuras poco comp | | 9.92 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |
| Suelos Transportados | | 17.81 | Mohr-Coulomb | 25.12 | 28 | None | 0 |



# CONDICIÓN SECA Y CON SISMO

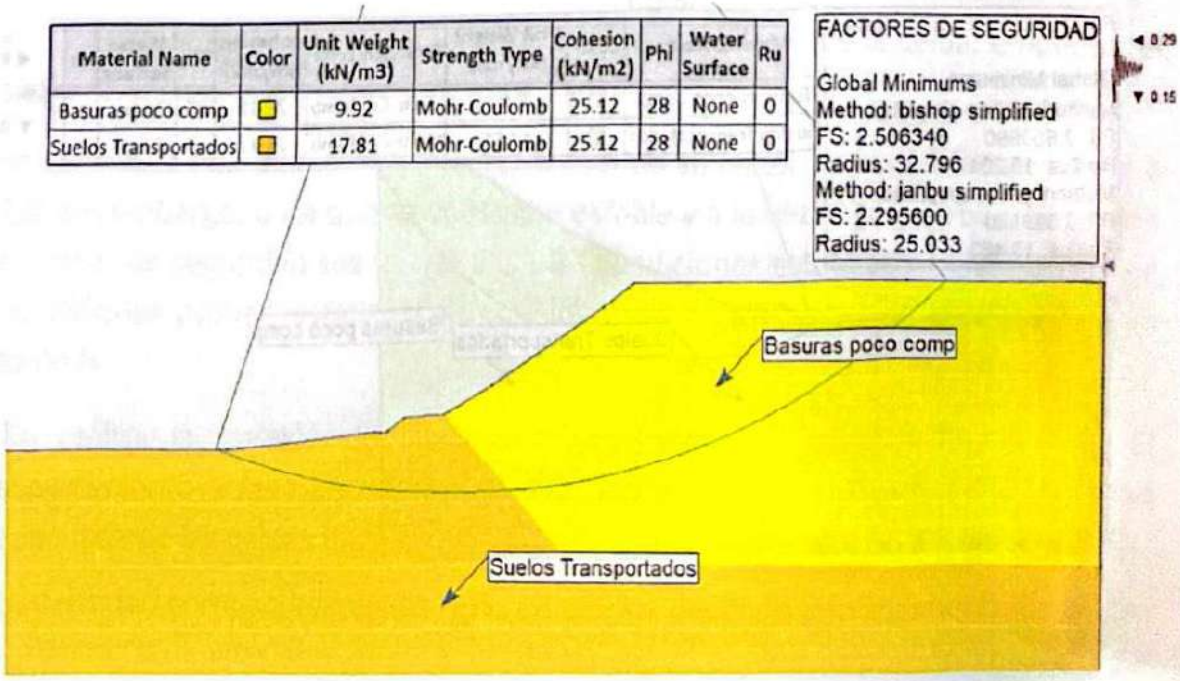
## LONGITUDINAL DERECHO

Figura 17.



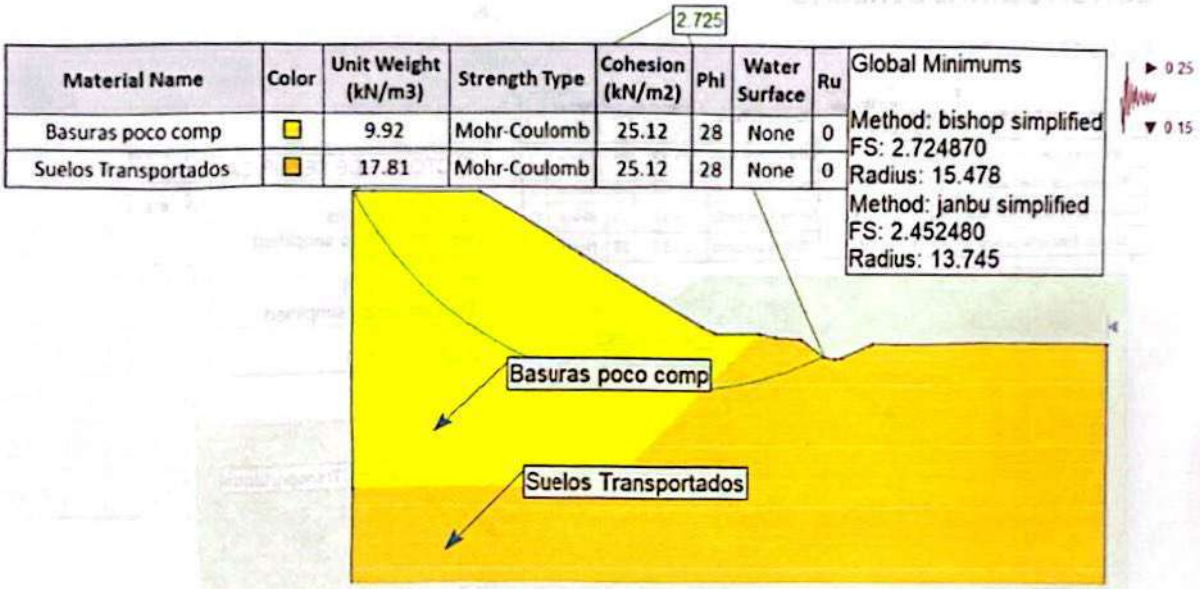

## LONGITUDINAL IZQUIERDO

Figura 18.



## TRANSVERSAL DERECHO

Figura 19




## TRANSVERSAL IZQUIERDO

Figura 20.

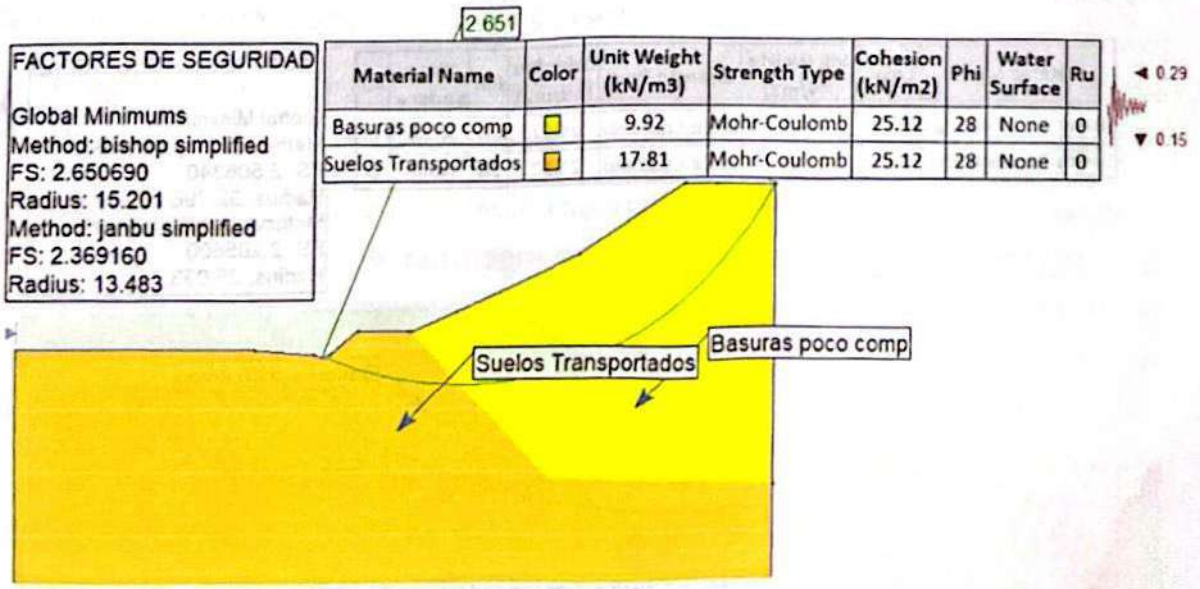


Tabla 22. Resumen de los factores de seguridad.

| Perfil | Bishop simplificado | Janbu corregido | Final | ESTABLE? | SEGURO? |
|---|---|---|---|---|---|
| Condiciones secas y estáticas | | | | | |
| Long D | 4.75 | 4.351 | 4.351 | SI | SI |
| Long I | 4.617 | 4.36 | 4.36 | SI | SI |
| Trans D | 4.606 | 4.301 | 4.301 | SI | SI |
| Trans I | 4.806 | 4.429 | 4.429 | SI | SI |
| Condiciones secas y pseudoestáticas | | | | | |
| Long D | 2.415 | 2.195 | 2.195 | SI | SI |
| Long I | 2.506 | 2.295 | 2.295 | SI | SI |
| Trans D | 2.725 | 2.452 | 2.452 | SI | SI |
| Trans I | 2.651 | 2.369 | 2.369 | SI | SI |

Con base en los resultados mostrados anteriormente se identifica que:

- Para todas las condicione, así como para estáticas (sin sismo) y pseudo estáticas (con sismo) todos los perfiles son estables y seguros.

- El agua no tiene mayor influencia en la estabilidad de la celda, empeoro, el sismo sí, sin embargo, no es suficiente para generar colapso.

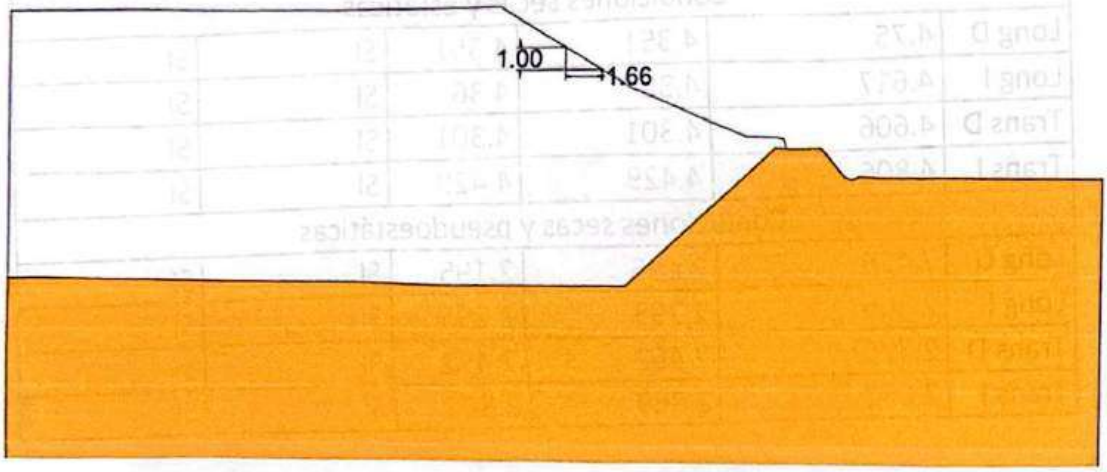
Se considera que una ladera es estable cuando su factor de seguridad es mayor a 1,0. Sin embargo, para que se considere estable y a la vez segura debe ocurrir que el factor de seguridad sea mayor a 1,5 en condiciones estáticas y mayor a 1,05 en condiciones pseudo estáticas, de acuerdo a las disposiciones de la NSR-10 en su título H.

Se realiza la revisión de las geometrías correspondientes a los perfiles. El esparcimiento y las operaciones de compactación deben mantener la densidad adecuada de las celdas (900 kg/m3), su altura, pendiente y ancho a lo lardo del día.

La densidad compactada de los residuos sólidos depende principalmente de cuatro variables, las cuales son: el aspersor de las capas, el peso (o presión aplicada) del equipo, la pendiente del frente de trabajo y el número de pasadas del equipo. La pendiente del frente de trabajo no debe exceder de 1:4; en la práctica se usa 1:5.

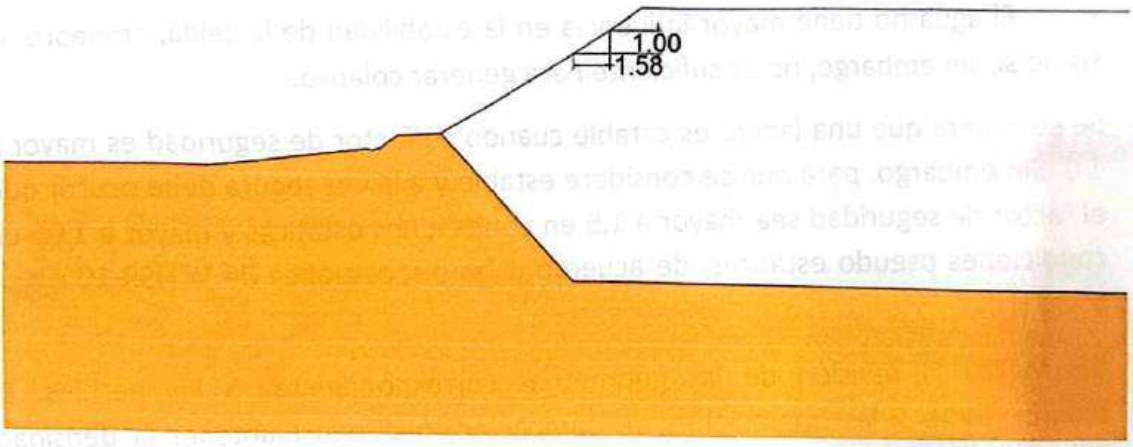
Perfil longitudinal derecho 1V: 1.66 H

Figura 21.



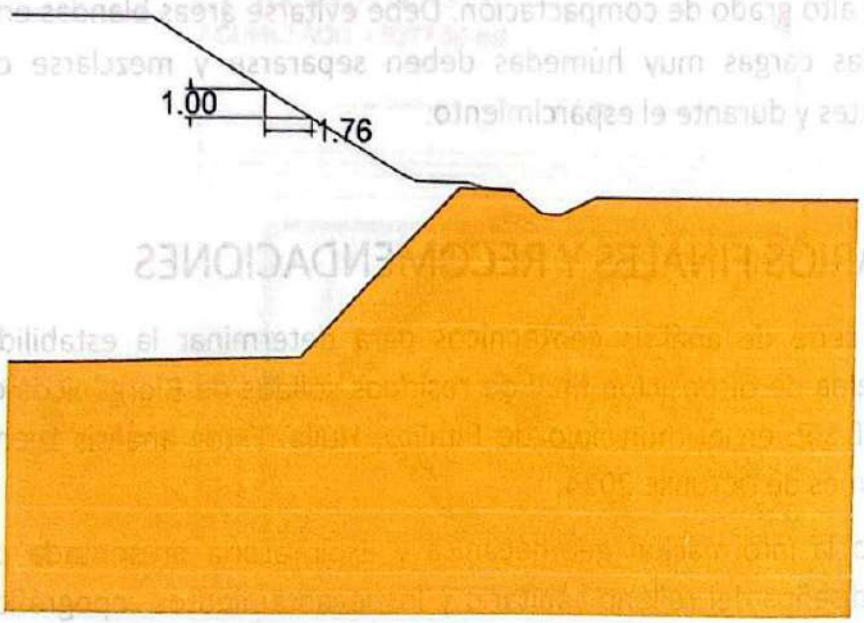

Perfil longitudinal izquierdo 1V: 1.58 H

Figura 22.



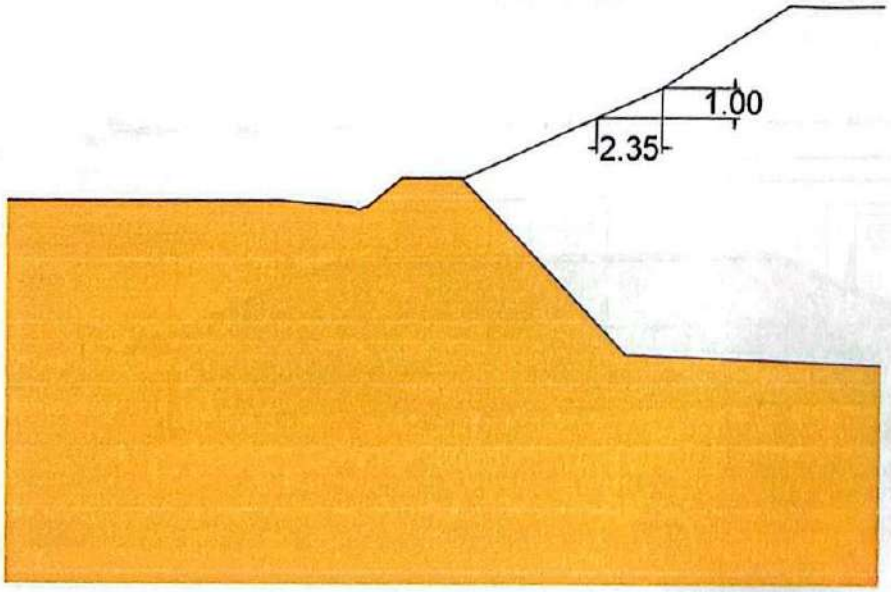
Perfil transversal derecho 1V: 1.76 H

Figura 23.




Perfil transversal izquierdo 1V: 2.35 H

Figura 24.




Se recomienda tener en cuenta las prácticas de colocación de los residuos sólidos urbanos para que se cumpla lo establecido en el diseño del RSU. La pendiente de

trabajo no debe exceder de 1:4; en la práctica se usa 1:5 generalmente cuatro a seis pasadas con equipo pesado (más de 20.000 kg) sobre ruedas u orugas proporcionando un alto grado de compactación. Debe evitarse áreas blandas en el relleno sanitario, las cargas muy húmedas deben separarse y mezclarse con materiales secos antes y durante el esparcimiento.

# 10. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

Se realizaron una serie de análisis geotécnicos para determinar la estabilidad geotécnica de la celda de disposición final de residuos sólidos de Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P. en el municipio de Pitalito, Huila. Estos análisis fueron efectuados para el mes de **OCTUBRE** 2024.

Se ha aprovechado la información geomecánica y exploratoria presentada por Conde (2021), los diseños del relleno sanitario y los levantamientos topográficos de finales del mes de **OCTUBRE** 2024.

Se ha analizado la celda desde un punto de vista transversal y uno longitudinal tomando en cuenta sus medios y zonas más altas que son los lugares potencialmente inestables dentro del sistema de depósito.

Figura 25.

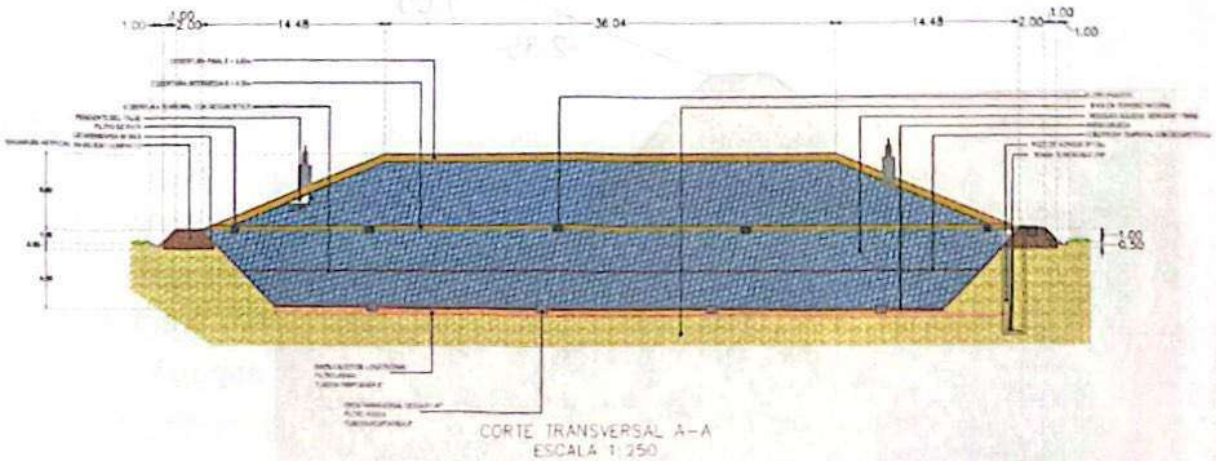


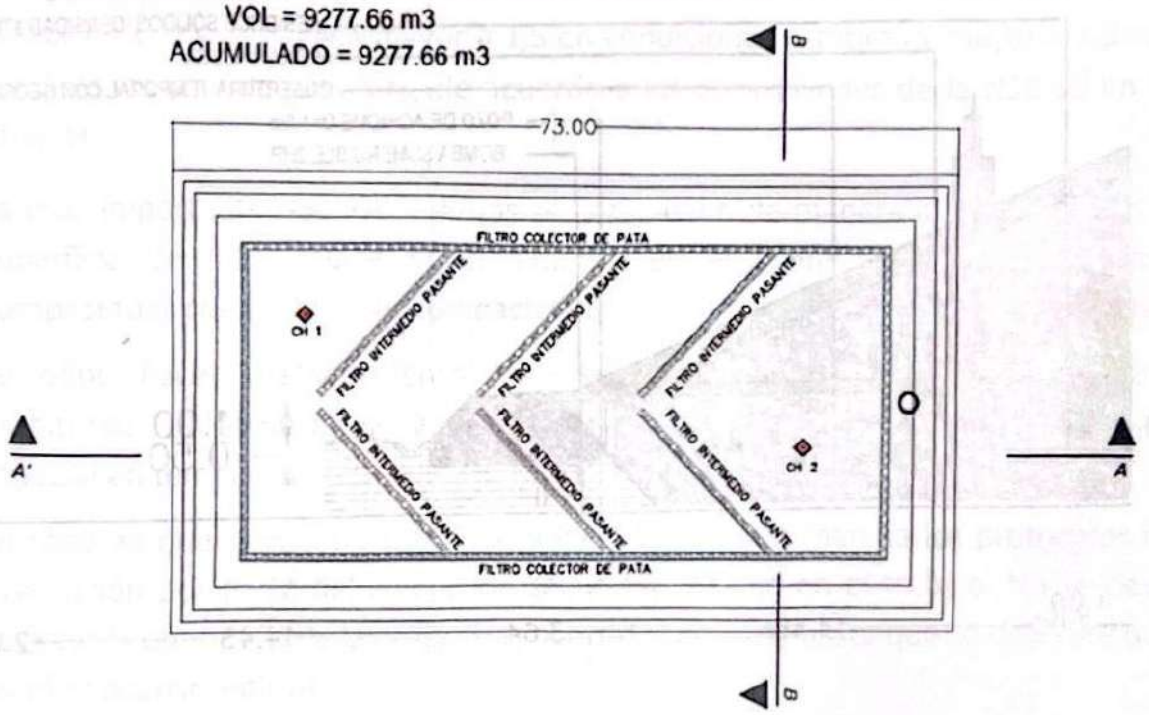

Figura 26.

CAPACIDAD R.S.:

TERRAZA 1

VOL = 9277.66 m3

ACUMULADO = 9277.66 m3



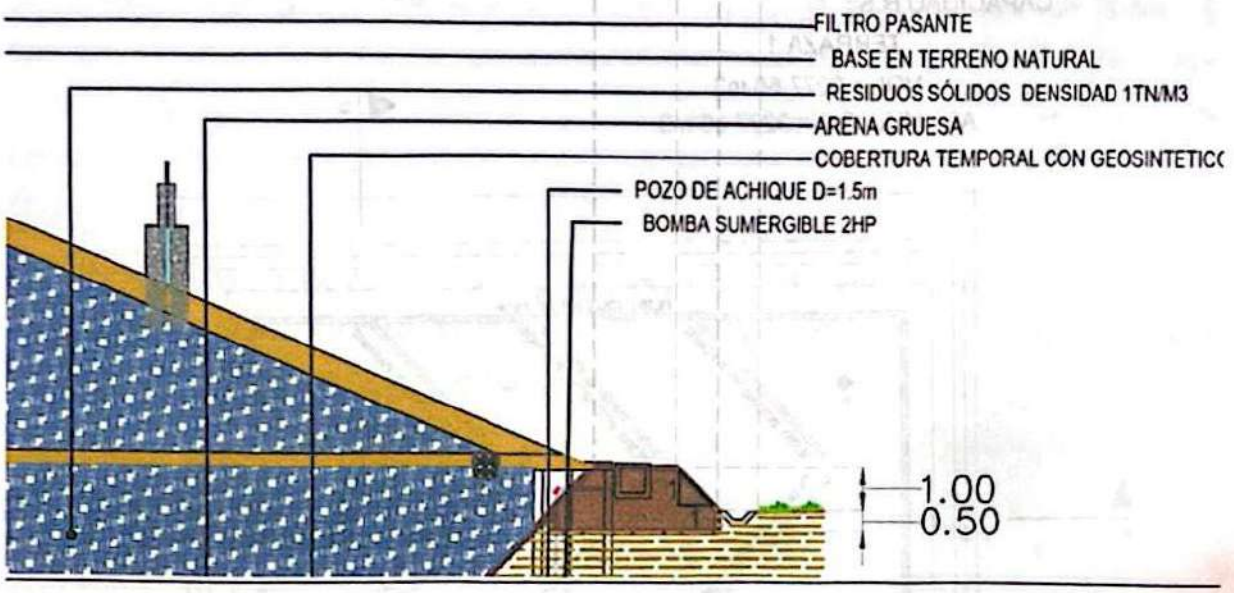

***CELDA DE CONTINGENCIA - TERAZA 1 -***

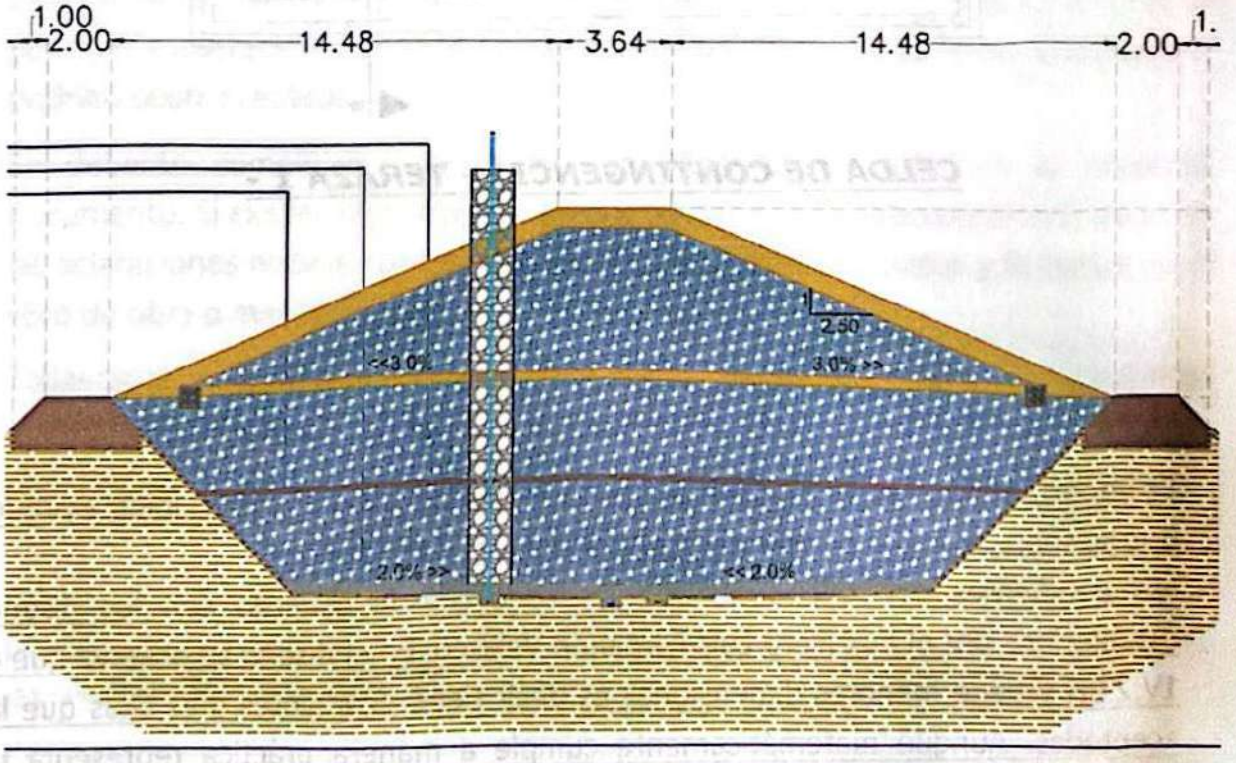
***PLANTA***

*ESC: 1:500*

Es importante que se vele por unas prácticas de deposición responsables, evitando que se sobrepasen las pendientes y alturas máximas del diseño.

Las pendientes del relleno no son las adecuadasde acuerdo con los diseños establecidos por el Ingeniero Luis Fernando Velasco. En el diseño se observa que es 1V:2.5H y tiene menores dimensiones es decir tiene pendientes mas altas que las aceptadas. Aunque matemáticamente cumple a manera práctica representa un riesgo de movimiento




Con base en los resultados mostrados anteriormente se identifica que:

- Para todas las condiciones, así como para estáticas (sin sismo) y pseudo estáticas (con sismo) todos los perfiles son estables y seguros.

Se considera que una ladera es estable cuando su factor de seguridad es mayor a 1,0. Sin embargo, para que se considere estable y a la vez segura debe ocurrir que el factor de seguridad sea mayor a 1,5 en condiciones estáticas y mayor a 1,05 en condiciones pseudo estáticas, de acuerdo a las disposiciones de la NSR-10 en su título H.

Es muy importante que los residuos se compacten de manera adecuada, pues la superficie de falla ocurre principalmente en el límite de las basuras poco compactadas con las basuras compactadas.

Se debe hacer mantenimiento periódico con labores de limpieza y hacer monitoreo constante de la cantidad de agua que hay dentro de las terrazas en especial en temporadas lluviosas.

En caso de que ocurra un sismo, se deberán poner en marcha los protocolos de evacuación por parte del equipo de seguridad y salud en el trabajo. No se debe permitir la operación de la celda sí ha ocurrido un sismo hasta que se descarte que podrían ocurrir réplicas.

Se deberán cumplir con todos los requisitos referenciados en el presente documento. Si existen controversias se deberá dar aviso a esta consultoría para dar las aclaraciones necesarias, las cuales deberán quedar plasmadas y firmadas en el libro de obra o mediante memorandos técnicos.

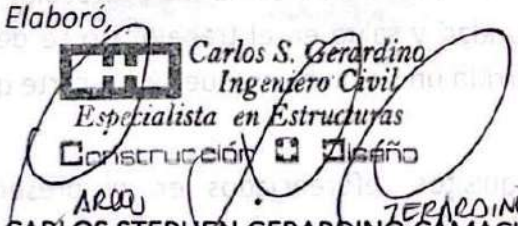
Todas las labores deberán contemplar todos los requisitos de seguridad y salud en el trabajo, además de cumplir a cabalidad la normativa ambiental.

Las investigaciones y conclusiones consignadas en este informe se ciñen estrictamente a las características morfológicas del sitio en el momento del estudio y a la información suministrada, cualquier variación de las mismas o el posible colapso de algún frente de trabajo se deberán informar, para así poder dar las recomendaciones necesarias.

Los consultores, conforme a lo establecido por la Ley 400 de 1997, (Título III, Capítulo I, Artículo 5: Responsabilidad de los Diseños; y Título IV - Capítulo II: Profesionales Diseñadores), asumen la responsabilidad del presente estudio, conforme a lo establecido por la NSR – 10. El grupo consultor no se hace responsable por cualquier tipo de daño y/o sanción derivados de modificaciones

efectuadas al proyecto sin la respectiva consulta, o bien por no tener en cuenta las recomendaciones hechas en la presente consultoría.

*Elaboró,*




CARLOS STEPHEN GERARDINO CAMACHO

Ingeniero Civil MP 19202225422CAU

Especialista en Estructuras

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

1320222422CAU

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 19/04/2012

CARLOS STEPHEN GERARDINO CAMACHO

C.C. 1083879127

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

PRESIDENTE DEL CONSEJO

Este es un documento público expedido en virtud de la Ley 842 de 2003, que autoriza a su titular para ejercer como Ingeniero en todo el Territorio Nacional.

En caso de extravío debe ser remitida al COPNIA

**Calle 78 No. 9 - 57 Oficina 1301 Tel. 3220102 Bogotá D.C.**

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2024-3110944

**CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA**
**COPNIA**

**EL DIRECTOR GENERAL**

**CERTIFICA:**

1. Que CARLOS STEPHEN GERARDINO CAMACHO, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1083879127, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 19202-225422 desde el 19 de Abril de 2012, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 585.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintiocho (28) días del mes de Octubre del año dos mil veinticuatro (2024).

**Rubén Darío Ochoa Arbeláez**

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.