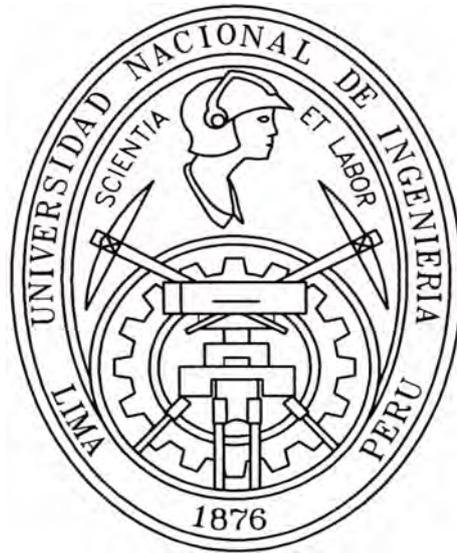


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**CONTROL DE EROSIÓN EN TALUDES CON GEOSINTÉTICOS
DISEÑO DEL SISTEMA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ENRIQUE ARMANDO ARI CONDORI

**LIMA – PERÚ
2007**

Dedicado a:

*A mis padres: Juliana y Severino,
por todo su amor, y los valores
que me inculcaron.*

Agradecimientos:

*A mis amigos del grupo en la universidad,
a quienes me brindaron su apoyo y, a mis seres queridos
por su apoyo eterno.*

© 2007, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”

ÍNDICE

CARATULA

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 8 |
| LISTA DE TABLAS | 9 |
| LISTA DE GRÁFICOS | 10 |
| INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| I. GENERALIDADES | 12 |
| 1.1. ANTECEDENTES | 13 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN..... | 14 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 14 |
| 1.4. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS | 15 |
| 1.4.1. Objetivos generales..... | 15 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 15 |
| 1.5. BIOTECNOLOGÍA | 15 |
| II. ESTUDIOS BÁSICOS | 16 |
| 2.1. TOPOGRAFÍA..... | 17 |
| 2.2. GEOLOGÍA | 18 |
| 2.2.1. Estratigrafía | 18 |
| 2.3. GEOTECNIA | 23 |
| 2.4. HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA..... | 29 |
| 2.4.1 Cálculo de la demanda hídrica del cultivo..... | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5. BIOINGENIERÍA | 34 |
| 2.5.1. Caracterización agrológica del suelo | 34 |
| 2.5.2. Especie vegetal a emplear como solución biológica | 38 |
| | |
| 2.6. SEDIMENTOLOGÍA..... | 44 |
| 2.6.1. Erosividad (R)..... | 44 |
| 2.6.2. Erodabilidad (K) | 51 |
| 2.6.3. Factor topográfico (L.S) | 51 |
| 2.6.4. Manejo del suelo (C) | 53 |
| 2.6.5. Prácticas de conservación del suelo (P) | 54 |
| 2.6.6. Estimación de la pérdida de suelo en el área en estudio | 55 |
| | |
| III. DISEÑO DEL SISTEMA..... | 57 |
| | |
| 3.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | 58 |
| 3.1.1. Sistema de riego | 64 |
| 3.1.2. Sistema de impulsión..... | 75 |
| 3.1.3. Sistema de retorno | 80 |
| 3.1.4. Diseño de cuneta | 82 |
| | |
| 3.2 DISEÑO DE ALTERNATIVA ELEGIDA..... | 83 |
| 3.2.1. Análisis de deslizamiento de suelo de cobertura | 83 |
| 3.2.2. Determinación del esfuerzo a la rotura | 84 |
| 3.2.3. Análisis de la zanja de anclaje..... | 85 |
| 3.2.4. Geomanta MACMAT | 88 |
| 3.2.5. Geomanta NAG SC 150..... | 92 |
| 3.2.6. Ecomatrix | 94 |
| | |
| 3.3 PROGRAMACIÓN Y COSTOS | 96 |
| 3.3.1. Programación | 96 |
| 3.3.2. Costos | 98 |

| | |
|--|-----|
| CONCLUSIONES | 101 |
| RECOMENDACIONES | 104 |
| BIBLIOGRAFÍA | 107 |
| ANEXOS | 108 |
| ANEXO A: Convergencia del sistema de riego | 109 |
| ANEXO B: Evaluación de la resistencia de las mantas..... | 111 |
| ANEXO C: Fotografías..... | 117 |
| ANEXO D: Calculo de Cuneta..... | 121 |
| ANEXO E: Planos | 128 |

RESUMEN

El presente informe, es una introducción al diseño de sistemas de control de erosión.

Para el desarrollo de este trabajo, fue necesario estudiar investigaciones de distintos autores, las mismas que se han dado cita a lo largo del manual y que se encontrarán con detalle en el ítem de Referencias Bibliográficas.

Al inicio de este capítulo se citará la importancia del presente informe, también se citarán las causas que motivaron a la redacción de este trabajo.

En el segundo capítulo "Estudios Básicos" se realiza la recopilación y evaluación de datos de campo y de laboratorio, en esta etapa se establecen las condiciones a tener en cuenta en la fase de diseño, así como se evalúa la estabilidad del talud, paso previo e importante para plantear soluciones al control de erosión.

En el capítulo tercero "Diseño del sistema" se realiza los cálculos hidráulicos y mecánicos del sistema de control de erosión, además se hace un breve resumen de tres geomantas.

En la última parte "Conclusiones" y "Recomendaciones", se expresa las conclusiones y recomendaciones más importantes de este informe.

Y para finalizar con la bibliografía empleada para el presente informe y los anexos que servirán de complemento para una mejor comprensión del presente informe.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 2.3.1. Ensayos de mecánica de suelos realizados
- Tabla 2.3.2. Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D422)
- Tabla 2.3.3. Límites de Consistencia (ASTM D4318)
- Tabla 2.3.4. Densidad Natural (ASTM D1556)
- Tabla 2.3.5. Ensayo de Corte Directo (ASTM D3080)
- Tabla 2.4.1.1. Radiación extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes.
- Tabla 2.4.1.2. Temperaturas promedio en los valles costeros del Perú
- Tabla 2.4.1.3. Temperaturas estimadas en la zona en estudio
- Tabla 2.5.1. Resultados del análisis de suelo – fertilidad del suelo natural
- Tabla 2.5.2. Clasificación de los suelos según los niveles de salinidad
- Tabla 2.5.3. Clasificación de los suelos según el nivel de pH
- Tabla 2.5.4. Clasificación de los suelos según el contenido de materia orgánica y macronutrientes.
- Tabla 2.5.5. Clasificación del suelo del área de estudio
- Tabla 2.5.6. Resultados del análisis de suelo – fertilidad del suelo vegetal de préstamo
- Tabla 2.5.7. Clasificación del suelo vegetal de préstamo
- Tabla 2.5.8. Relación de pastos más usados en Perú para el control de erosión en taludes
- Tabla 2.5.9. Características de la gramínea *Brachiaria Brizantha*
- Tabla 2.5.10. Recomendaciones para siembra y manejo de la gramínea *Brachiaria Brizantha*
- Tabla 3.1.2.1 Evaluación de la altura dinámica de bombeo
- Tabla 3.2.5. Especificaciones técnicas de la geomanta NAG SC 150.
- Tabla 3.2.6.1. Especificaciones técnicas de la geomanta ECOMATRIX.
- Tabla 3.2.6.1. Características del rollo de la geomanta ECOMATRIX
- Tabla 3.3.2.1. Costo por metro cuadrado de geomanta.

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 2.2.1. Leyenda de la Carta Geográfica Nacional, Hoja 25-i
- Gráfico 2.2.2. Columna Estratigráfica generalizada de Chancay-Chosica-Lima-Lurín (zona costera)
- Gráfico 2.3.1. Curva Granulométrica
- Gráfico 2.3.2. Deformación tangencial vs Esfuerzo de corte
- Gráfico 2.3.3. Esfuerzo normal vs. Esfuerzo de corte
- Gráfico 2.4.1.1. Variación mensual de R_a para una latitud de 12° Sur
- Gráfico 2.5.1. Foto de *Brachiaria Brizantha*
- Gráfico 2.5.2. *Hymenocallis amancaes* (Flor de Amancaes)
- Gráfico 3.1.1. Componentes del sistema hidráulico integral
- Gráfico 3.1.1.1. Esquema del sistema de riego por aspersión.
- Gráfico 3.1.1.2. Esquema del sistema.
- Gráfico 3.1.2.1. Esquema del sistema de bombeo
- Gráfico 3.2.1.1: Esquema de fuerzas actuantes con suelo de cobertura.
- Gráfico 3.2.1.2: Esquema de fuerzas actuantes en la zanja de anclaje.
- Gráfico 3.2.4.1. Detalle del MacMat L.
- Gráfico 3.2.4.2. Determinación de la longitud de manta.
- Gráfico 3.2.5.1. Manta SC150 para el control de la erosión
- Gráfico 3.2.6.1. Manto para control de erosión Ecomatrix

INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos es uno de los procesos que mayor daño ha causado al medio ambiente, producto de un inadecuado manejo del suelo con la consecuente desaparición acelerada de los suelos que sustentan la vida orgánica. La erosión es un proceso muy difícil de evitar, pero lo que sí podemos hacer es reducirlo a un valor aceptable de pérdida máxima tolerable de suelo.

En nuestro país y el resto de América Latina este problema es muy grave en lugares donde se ejecutan obras civiles y no se da al control del daño la importancia que se merece. Es muy probable que la pérdida de suelo en lugares de ejecución de obras de construcción sea mucho mayor que aquella producida por el manejo inadecuado de tierras agrícolas, y también que, tal vez es el factor más importante de contaminación del agua en cuanto a volúmenes de contaminantes se refiere.

I. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente la pérdida de suelos en los taludes constituye un problema que no solo es enfocado por la carencia de suelos fértiles, sino que es analizado desde el punto de vista de la Ingeniería Civil como el incremento descontrolado de sedimentos en obras hidráulicas lo que a su vez se traduce en incremento de costos por operación y mantenimiento.

Debido a la influencia de los países desarrollados, existe una tendencia muy marcada a emular la tecnología extranjera; lo cual tiene ventaja debido a la existencia de materiales específicos para el control de erosión, publicaciones, sistemas de diseño y programas de Software. Como resultado de estas técnicas se pueden mencionar entre otras, el uso de geoceldas, el empleo de mantas fabricadas con componentes biodegradables o sintéticas, el empleo de mallas hechas de fibras sintéticas, etc.

Tabla 1.1.1. Materiales utilizados para el control de erosión

| | |
|--------------------------------|--|
| Los geosintéticos: | Geomembranas, geotextiles tejidos y no tejidos, geomallas, geogrillas y geocompuestos. |
| Los mantos sintéticos: | Mantos de fibra de vidrio, Esterillas tridimensionales (TRMs y ECRMs). |
| Matrices de fibras sintéticas: | Hilos continuos o fibras independientes. |
| Los tejidos orgánicos: | De yute, fique, fibra de coco, fibra de madera, Excelsior. |
| Las fajinas: | De paja, fibra de coco. |
| Las barreras para sedimentos: | Bolsas de arena, barreras de geotextil, barreras prefabricadas. |
| Los geomoldes: | Colchonetas para rellenar con concreto, tubos de geotextil, bolsacreto, colchones celulares. |
| Los enrocados: | Rip-rap, grandes bloques de roca |
| El Mulching: | Fibra de madera, paja, Mulching hidráulico. |
| Los pegantes: | Emulsiones asfálticas, resinas sintéticas, yeso. |
| Los gaviones: | Muros y revestimientos. |
| La vegetación: | Pastos, hierbas y árboles. |
| Los suelos: | Orgánicos, abonos naturales y sintéticos |

Fuente: Control de erosión en zonas tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente Informe de Suficiencia plantea una solución alternativa al problema de la erosión con el uso de los materiales geosintéticos en obras hidráulicas, y específicamente en el diseño y cálculo.

De las conclusiones obtenidas se proponen recomendaciones que ayuden a la mejor comprensión en el manejo y uso de estos materiales, así como ayuden a las condiciones de trabajo, problemas y desventajas en los procesos constructivos, ventajas y desventajas en los tiempos de ejecución de proyectos, costos y mantenimiento de las estructuras construidas usando estos materiales.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere controlar la generación de sedimentos por erosión de un talud en una zona árida con el mínimo impacto ambiental negativo en el ecosistema local y un balance positivo en la mejora paisajista de la zona.

1.4. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos generales:

- Generar la confianza y la aceptación de las Geomantas en el Perú por medio de la divulgación y estudio de las características técnicas, métodos de diseño, bondades, desventajas y problemas a tener en cuenta para su utilización en el control de erosión de taludes, teniendo en cuenta que estos materiales son ampliamente usados en los países desarrollados, los cuales fueron los iniciadores en su uso, obteniéndose de su utilización buenos resultados.
- Evaluar los beneficios y desventajas derivadas del uso de Geomantas en comparación con otras soluciones, para el revestimiento de taludes expuestos a erosión hídrica en el Perú.

1.4.2. Objetivos específicos:

- El objetivo principal es de aportar mayor documentación en cuanto al cálculo y diseño en la instalación de la Geosintéticos en taludes expuestos a erosión hídrica.
- Establecer conclusiones y recomendaciones acerca de la aplicación de estos materiales en el control de erosión.

1.5. BIOTECNOLOGÍA

La ingeniería biotécnica o biotecnología se refiere a las técnicas donde la vegetación es combinada con estructuras inertes de ingeniería como mantos, los gaviones, muros criba, etc., en los cuales se combinan los efectos benéficos de la vegetación y las otras obras de ingeniería. Ambos elementos biológicos y mecánicos deben funcionar juntos en una forma integrada y complementaria.

Para el análisis de los elementos estructurales se utilizan los principios de la estática y la mecánica y para la parte de la vegetación se deben tener en cuenta la hidrología, los principios de la ciencia de las plantas y la horticultura.

II. ESTUDIOS BÁSICOS

2.1. TOPOGRAFÍA

Para la obtención de la topografía base de la zona de estudio, no se efectuaron levantamientos de información de campo, dado que se cuenta con los planos digitales de las curvas de nivel de la zona, a cada metro, a partir de un trabajo efectuado por el Departamento de Topografía y Vías de Transporte de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Sin embargo, para la referenciación y replanteo topográfico en el terreno de los límites del área de estudio, se empleó un GPS navegador.

El plano con la topografía base de la zona de estudio se muestra en el anexo D, plano EBS-TOP-01.

2.2. GEOLOGÍA

Para el estudio geológico de la zona, se tomó como base, la Carta Geológica Nacional y el boletín N°43 sobre la geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica, editado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en el año de 1992.

La hoja 25-i de la carta geológica nacional, correspondiente a la zona denominada Lima, y donde se aprecia la litoestratigrafía del área de estudio materia del presente proyecto se muestra en el plano EBS-GEO-01, en el anexo D. Asimismo, el gráfico 2.2.1., muestra la leyenda de la carta geológica con la finalidad de correlacionar la litoestratigrafía mostrada con la cronoestratigrafía.

Para dar una visión global sobre la litoestratigrafía de la zona costera de Lima, se muestra el gráfico 2.2.3., donde se aprecia la columna estratigráfica generalizada de Chancay-Chosica-Lima-Lurín.

Observando la Carta Nacional, se establece que el área en estudio, ubicada en la zona posterior de la Universidad Nacional de Ingeniería, se encuentra dentro de la unidad estratigráfica codificada como "Ki-m", y corresponde a la Formación Marcavilca.

Según ello, a continuación se describe la litoestratigrafía del área en estudio, la cual corresponde a la formación Marcavilca.

2.2.1. Estratigrafía

Formación Marcavilca

Esta formación descansa en contacto normal sobre la Formación Herradura y subyace a la formación Pamplona. Sus afloramientos se extienden desde el Morro Solar en Chorrillos donde tiene su localidad típica, hasta el Norte de Lima (espalda de la Universidad Nacional de Ingeniería) prolongándose hasta el valle del Chillón. Al sur se le encuentra en el valle de Lurín, encontrándose adyacente al pueblo de Pachacamac, así como en los sectores de los cerros Flor de Nieve, El Sauce y Rinconada de Lurín. Como una prolongación del Morro Solar en Chorrillos se le encuentra en la isla San Lorenzo donde ROSENZWEIG A. (1953) reconoce todo el grupo Morro Solar con similares características, FERNÁNDEZ CONCHA J. (1958) la divide en su localidad típica en tres miembros cuyas características son las siguientes:

- **Miembro Morro Solar**

Esta secuencia constituye el miembro inferior de la Formación Marcavilca, descrito en el lugar donde está el monumento al "Soldado Desconocido".

En la base de este miembro se tiene un cambio gradual de la facies arcillosa (Formación Herradura) a una facies areniscosa (Fm. Marcavilca) siguiendo luego intercalaciones de arenisca en bancos delgados con niveles lutáceos pasando un color oscuro en la parte inferior a rojizos en la parte superior, areniscas abigarradas con tubos de anélidos y hacia el techo areniscas cuarzosas que luego pasan a cuarcitas interestratificadas con niveles limolíticos gris verdosos. Su grosor se estima en 65 m.

- **Miembro Marcavilca**

Esta secuencia constituye el miembro medio, caracterizado por las rocas más competentes, duras y compactas de todo el grupo. Su litología corresponde a una facies litoral de aguas agitadas por corrientes que han dado lugar a una buena clasificación del grano y a una estratificación cruzada conspicua.

La roca predominante es la cuarcita gris blanquecina, con cemento silíceo variando en algunos niveles a rosado violáceo, de grano medio a grueso y hasta microconglomerádico. Se observan en menor proporción lutitas con un color ocre por las oxidaciones ferruginosas (limonita). Su grosor varía entre 100 a 120 m.

- **Miembro la Chira**

Esta secuencia constituye el miembro superior, formando el techo del grupo en el Morro Solar, su nombre proviene de la playa La Chira donde presenta una buena exposición constituida por areniscas cuarcíticas blancas sacaroideas con estratificación cruzada muy conspicua y areniscas cuarzosas de color chocolate por su contenido de motitas de limonita

Este miembro parece que se trataría de una deposición lenticular, pues tanto al Norte como al Sur de Lima (valles de Chillón y Lurín) no aparece. Su grosor en la playa La Chira alcanza de 50 a 60 m.

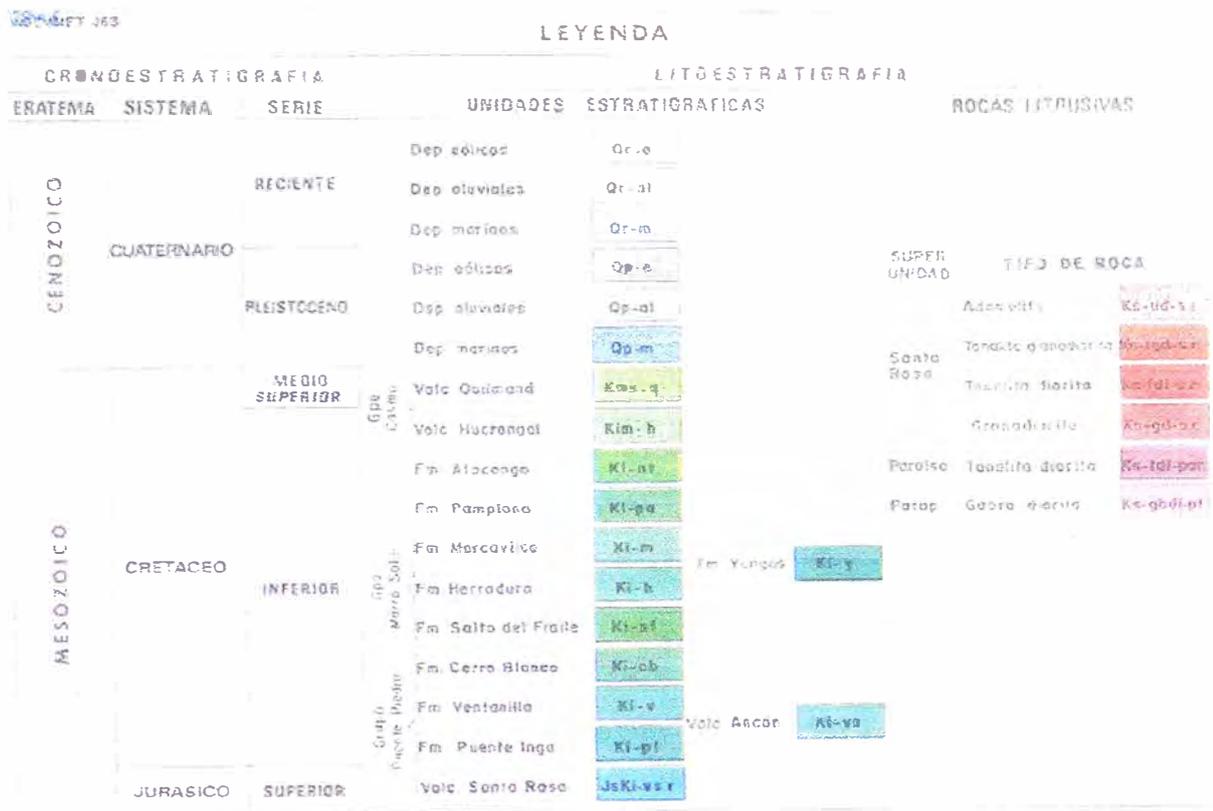
Los miembros que mantienen una mayor uniformidad litológica lateral son los miembros Morro Solar y Marcavilca, cuyas rocas evidencian una secuencia, primero nerítica (areniscas y lutitas) para hacerse posteriormente más litoral (cuarcitas y areniscas) indicando un proceso regresivo.

A continuación se da una relación de la principal fauna y flora perteneciente a la formación Marcavilca:

- Amonites
 - *Lissonia riveroi* (LISSON)
 - *Raimondiceras raimondi* (LISSON)
 - *Raimondiceras pfluckeri* (LISSON)

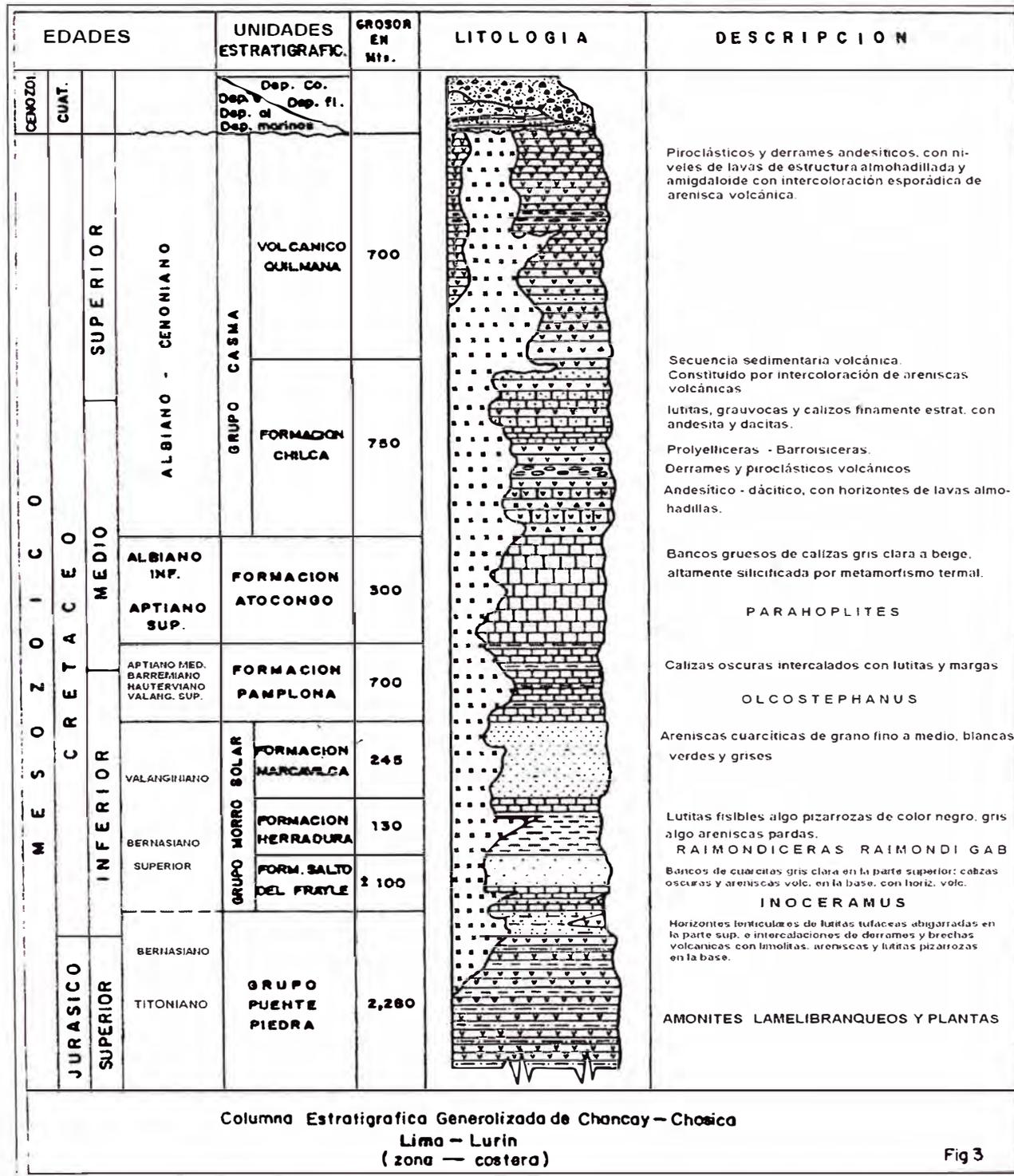
- Bivalvos
 - *Pholadomya marcavilensis*
 - *Panopea carteroni*
 - *Cucullaea* cf. *C. gabrielis*
 - *Eriphyla* cf. *E. ovobata*
 - *Trigonia* sp.

Gráfico 2.2.1. Leyenda de la Carta Geográfica Nacional, Hoja 25-i



Fuente: Carta Geológica Nacional. Hoja 25-i.

Gráfico 2.2.2. Columna Estratigráfica generalizada de Chancay-Chosica-Lima-Lurín (zona costera)



Columna Estratigrafica Generalizada de Chancay - Chosica
Lima - Lurín
(zona costera)

Fig 3

Fuente: Boletín N°43. Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Septiembre 1992. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

2.3. GEOTECNIA

El estudio geotécnico tiene por objetivo obtener los datos del suelo que conforma el talud en estudio, necesarios para clasificar el suelo, analizar la estabilidad del talud, y proceder con la etapa de diseño del sistema de control de erosión con geomantas.

Las pruebas de laboratorio se realizaron con el apoyo del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las pruebas realizadas en el laboratorio se efectuaron según lo mostrado en la tabla 2.3.1.

Tabla 2.3.1. Ensayos de mecánica de suelos realizados

| Prueba o Ensayo | Norma de referencia |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D422 |
| Límites de consistencia | ASTM D4318 |
| Ensayo de corte directo | ASTM D3080 |
| Densidad natural | ASTM D1556 |

A continuación se muestran los resultados ensayos:

Tabla 2.3.2. Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D422)

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial | (%) Acumulado | |
|---------|------------------|----------------|----------------|-------|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 ½" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| ¾" | 19.050 | 7.6 | 7.6 | 92.4 |
| ½" | 12.700 | 3.7 | 11.3 | 88.7 |
| 3/8" | 9.525 | 3.2 | 14.5 | 85.5 |
| ¼" | 6.350 | 4.0 | 18.5 | 81.5 |
| Nº4 | 4.760 | 3.4 | 22.0 | 78.0 |
| Nº10 | 2.000 | 11.3 | 33.2 | 66.8 |
| Nº20 | 0.840 | 7.6 | 40.9 | 59.1 |
| Nº30 | 0.590 | 1.5 | 42.3 | 57.7 |
| Nº40 | 0.426 | 3.2 | 45.5 | 54.5 |
| Nº50 | 0.250 | 6.7 | 52.3 | 47.7 |
| Nº100 | 0.149 | 6.6 | 58.9 | 41.1 |
| Nº200 | 0.074 | 11.1 | 70 | 30.0 |
| - Nº200 | | 30.0 | | |

| | |
|---------|------|
| % grava | 22.0 |
| % arena | 48.0 |
| % finos | 30.0 |

Tabla 2.3.3. Límites de Consistencia (ASTM D4318)

| | |
|---------------------|----|
| Límite Líquido | NP |
| Límite Plástico (%) | NP |
| Índice Plástico (%) | NP |

| | |
|----------------------------|-----------|
| Clasificación SUCS: | SM |
|----------------------------|-----------|

Gráfico 2.3.1. Curva Granulométrica

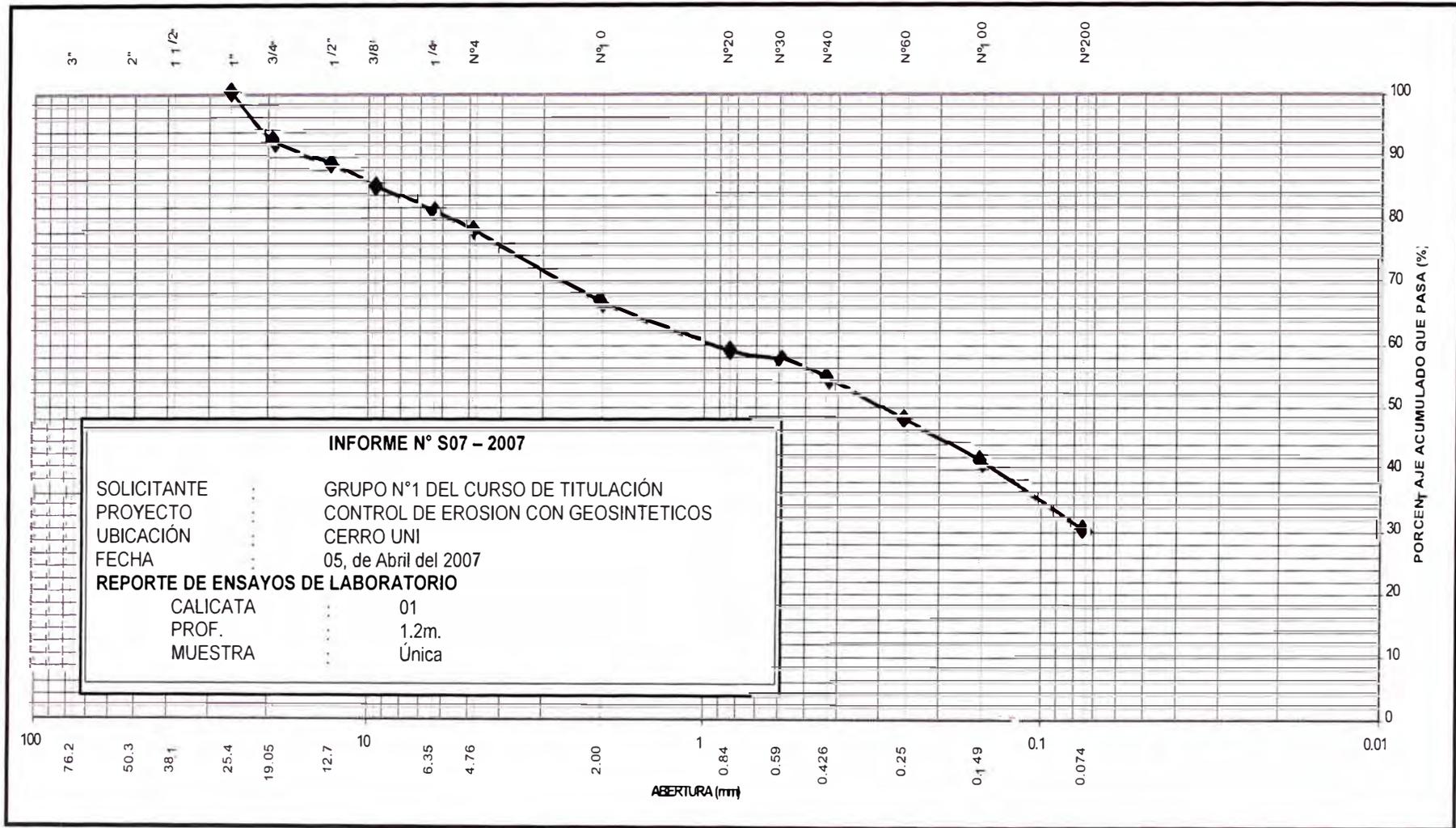


Tabla 2.3.4. Densidad Natural (ASTM D1556)

| | |
|-------------------------------|------|
| Densidad (g/cm ³) | 1.61 |
| Humedad (%) | 2.78 |

Tabla 2.3.5. Ensayo de Corte Directo (ASTM D3080)

| Especimen N° | I | II | III |
|---|--------|--------|--------|
| Diámetro del anillo (cm) | 6.36 | 6.36 | 6.36 |
| Altura inicial de muestra (cm) | 2.16 | 2.16 | 2.16 |
| Densidad húmeda inicial (g/cm ³) | 1.481 | 1.481 | 1.481 |
| Densidad seca inicial (g/cm ³) | 1.390 | 1.390 | 1.390 |
| Contenido de humedad inicial (%) | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm) | 1.9466 | 1.8704 | 1.8552 |
| Altura final de muestra (cm) | 1.8806 | 1.8146 | 1.7587 |
| Densidad húmeda final (g/cm ³) | 1.958 | 2.021 | 2.080 |
| Densidad seca final (g/cm ³) | 1.597 | 1.655 | 1.707 |
| Contenido de humedad final (%) | 22.6 | 22.1 | 21.8 |
| Esfuerzo normal (kg/cm ²) | 0.5 | 1.0 | 1.5 |
| Esfuerzo de corte máximo (kg/cm ²) | 0.3238 | 0.6300 | 0.9319 |

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Ángulo de fricción interna: | 31.3 |
| Cohesión (kg/cm ²): | 0.02 |

| INFORME N° S07 – 2007 | |
|---|--------------------------------------|
| SOLICITANTE | GRUPO N°1 DEL CURSO DE TITULACIÓN |
| PROYECTO | CONTROL DE EROSION CON GEOSINTETICOS |
| UBICACIÓN | CERRO UNI |
| FECHA | 05. de Abril del 2007 |
| REPORTE DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 | |
| ESTADO | Remoldeado (material < Tamiz N°4) |
| CALICATA | 01 |
| PROF. | 1.2m. |
| MUESTRA | Única |

Gráfico 2.3.2. Deformación tangencial vs Esfuerzo de corte

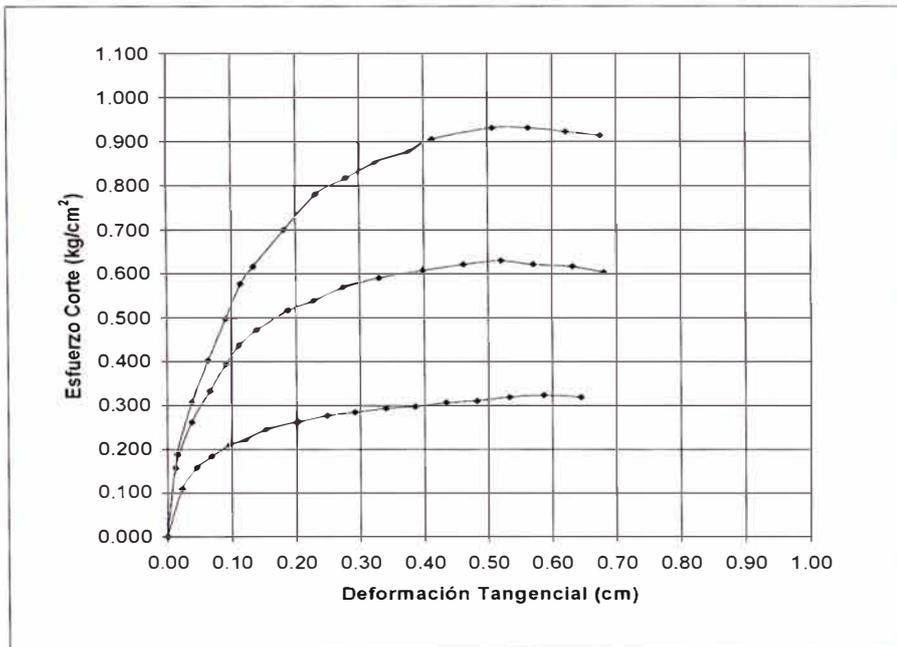
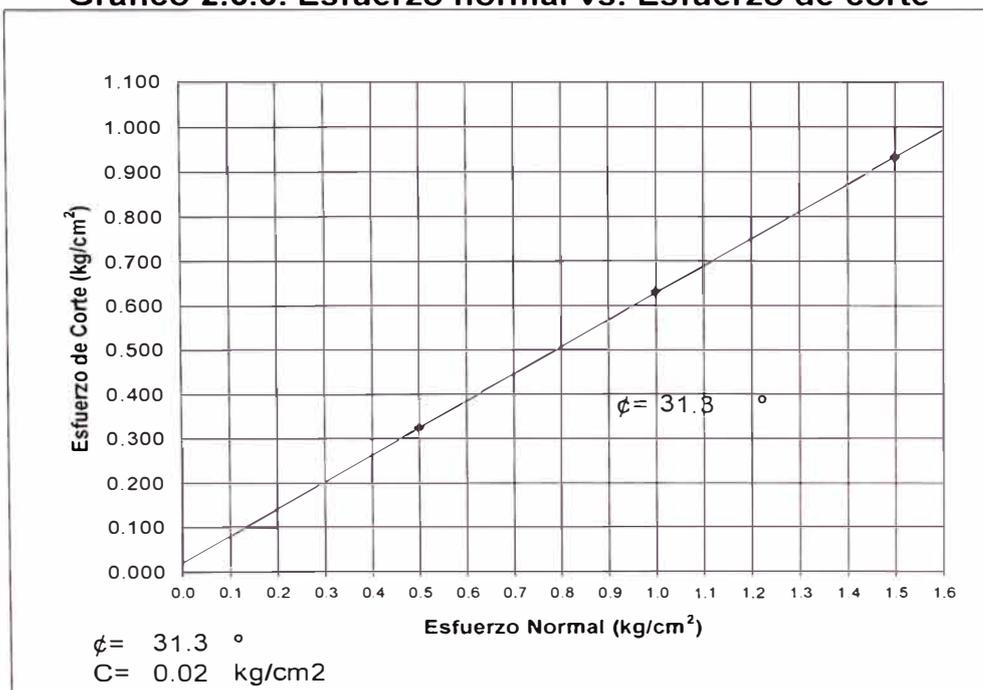


Gráfico 2.3.3. Esfuerzo normal vs. Esfuerzo de corte



2.4. HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

2.4.1 Cálculo de la demanda hídrica del cultivo

La demanda hídrica o uso consuntivo del cultivo se expresa mediante la tasa de evapotranspiración Et_c en mm/día ó mm/mes, la cual depende de los factores del clima que influyen en la evaporación (temperatura, viento, humedad del aire e intensidad de la radiación solar), de las características fisiológicas de la cobertura vegetal y de la disponibilidad hídrica del suelo para satisfacer la necesidad hídrica de la planta (transpiración y nutrición).

Debido a que la cantidad de agua que utiliza la planta para nutrirse representa sólo el 1% de la que transpira, los términos de uso consuntivo, y evapotranspiración se pueden tomar como sinónimos. Según esto, el presente acápite del informe, se centrará en calcular la demanda hídrica del cultivo que se empleará como solución bioingenieril, a través del cálculo de la evapotranspiración.

Considerando la información disponible, para el cálculo de la evapotranspiración se empleará el método de Hargreaves (1991). Este método establece que la evapotranspiración de un cultivo viene dada por la siguiente expresión:

$$Et_c = Et_0 \cdot K_c \quad \dots (2.4.1.1)$$

Donde:

Et_0 = Evapotranspiración potencial (mm/día)

K_c = Coeficiente de cultivo de Hargreaves (adimensional)

El valor de K_c , proviene de tablas propuestas por Hargreaves y depende del tipo de cultivo y la edad del mismo.

A su vez, Hargreaves (1991), establece que la evapotranspiración potencial Et_0 , se calcula de la siguiente manera:

$$Et_0 = 0.0023 * Ra * (Tm + 17.8) * \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \quad \dots (2.4.1.2)$$

Donde:

- R_a = Radiación extraterrestre (mm/día)
- T_m = Temperatura media diaria en el periodo considerado (°C)
- T_{max} = Temperatura máxima media en el periodo considerado (°C)
- T_{min} = Temperatura mínima media en el periodo considerado (°C)

El valor de R_a , es un valor tabulado, dependiente de la latitud de la zona en estudio. En la tabla 2.4.1.1. se muestran los valores de la radiación extraterrestre R_a , publicados por la FAO, para diferentes latitudes y según el mes en estudio. Debe tomarse en cuenta que los valores publicados por la FAO deben ser convertidos a mm/día para poder ser empleados con la expresión (2.4.1.2). Para ello, se divide el valor mostrado en la tabla 2.4.1.1, entre el valor $\lambda = 2.45$.

Del plano topográfico se tiene que la zona en estudio está ubicada según las siguientes coordenadas:

$$\text{Latitud} = 12^\circ 01' 06.75'' \text{ Sur}$$

Con el dato de la latitud se ingresa a la tabla 2.4.1.1, y se obtiene que los valores de radiación extraterrestre R_a , varían según lo siguiente:

Gráfico 2.4.1.1. Variación mensual de R_a para una latitud de 12° Sur

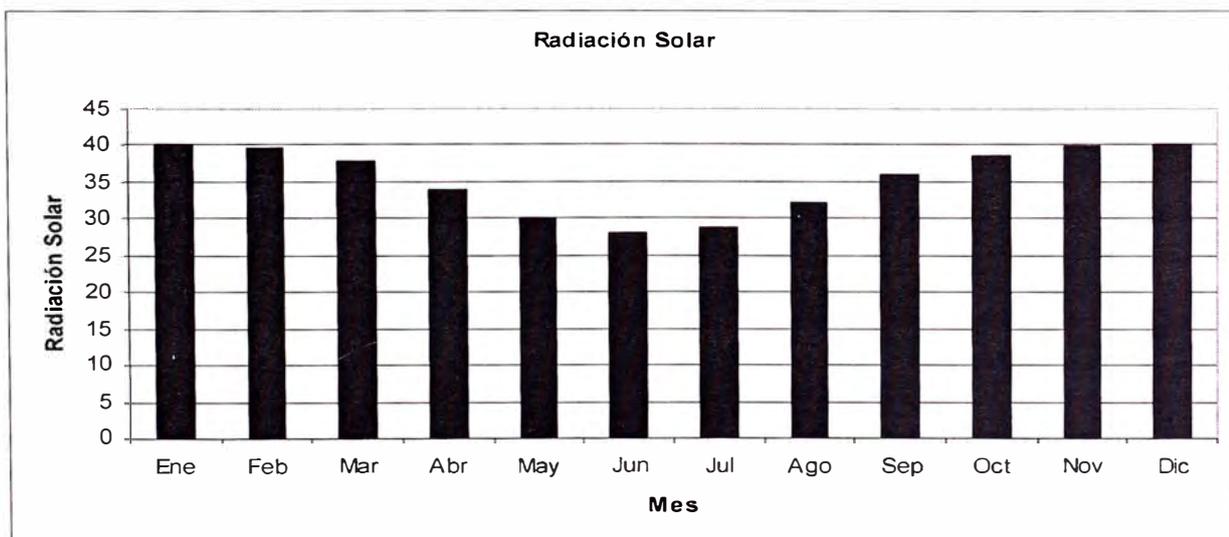


Tabla 2.4.1.1. Radiación extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes. Valores en MJ m⁻²/día

| Northern Hemisphere | | | | | | | | | | | | Lat. | Southern Hemisphere | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | deg. | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| 0.0 | 2.6 | 10.4 | 23.0 | 35.2 | 42.5 | 39.4 | 28.0 | 14.9 | 4.9 | 0.1 | 0.0 | 70 | 41.4 | 28.6 | 15.8 | 4.9 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 10.7 | 23.5 | 37.3 | 45.3 |
| 0.1 | 3.7 | 11.7 | 23.9 | 35.3 | 42.0 | 38.9 | 28.6 | 16.1 | 6.0 | 0.7 | 0.0 | 68 | 41.0 | 29.3 | 16.9 | 6.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 11.9 | 24.4 | 37.4 | 44.7 |
| 0.6 | 4.8 | 12.9 | 24.8 | 35.6 | 41.4 | 38.8 | 29.3 | 17.3 | 7.2 | 1.5 | 0.1 | 66 | 40.9 | 30.0 | 18.1 | 7.2 | 1.5 | 0.1 | 0.5 | 4.2 | 13.1 | 25.4 | 37.6 | 44.1 |
| 1.4 | 5.9 | 14.1 | 25.8 | 35.9 | 41.2 | 38.8 | 30.0 | 18.4 | 8.5 | 2.4 | 0.6 | 64 | 41.0 | 30.8 | 19.3 | 8.4 | 2.4 | 0.6 | 1.2 | 5.3 | 14.4 | 26.3 | 38.0 | 43.9 |
| 2.3 | 7.1 | 15.4 | 26.6 | 36.3 | 41.2 | 39.0 | 30.6 | 19.5 | 9.7 | 3.4 | 1.3 | 62 | 41.2 | 31.5 | 20.4 | 9.6 | 3.4 | 1.2 | 2.0 | 6.4 | 15.5 | 27.2 | 38.3 | 43.9 |
| 3.3 | 8.3 | 16.6 | 27.5 | 36.6 | 41.2 | 39.2 | 31.3 | 20.6 | 10.9 | 4.4 | 2.2 | 60 | 41.5 | 32.3 | 21.5 | 10.8 | 4.4 | 2.0 | 2.9 | 7.6 | 16.7 | 28.1 | 38.7 | 43.9 |
| 4.3 | 9.6 | 17.7 | 28.4 | 37.0 | 41.3 | 39.4 | 32.0 | 21.7 | 12.1 | 5.5 | 3.1 | 58 | 41.7 | 33.0 | 22.6 | 12.0 | 5.5 | 2.9 | 3.9 | 8.7 | 17.9 | 28.9 | 39.1 | 44.0 |
| 5.4 | 10.8 | 18.9 | 29.2 | 37.4 | 41.4 | 39.6 | 32.6 | 22.7 | 13.3 | 6.7 | 4.2 | 56 | 42.0 | 33.7 | 23.6 | 13.2 | 6.6 | 3.9 | 4.9 | 9.9 | 19.0 | 29.8 | 39.5 | 44.1 |
| 6.5 | 12.0 | 20.0 | 30.0 | 37.8 | 41.5 | 39.8 | 33.2 | 23.7 | 14.5 | 7.8 | 5.2 | 54 | 42.2 | 34.3 | 24.6 | 14.4 | 7.7 | 4.9 | 6.0 | 11.1 | 20.1 | 30.6 | 39.9 | 44.3 |
| 7.7 | 13.2 | 21.1 | 30.8 | 38.2 | 41.6 | 40.1 | 33.8 | 24.7 | 15.7 | 9.0 | 6.4 | 52 | 42.5 | 35.0 | 25.6 | 15.6 | 8.8 | 6.0 | 7.1 | 12.2 | 21.2 | 31.4 | 40.2 | 44.4 |
| 8.9 | 14.4 | 22.2 | 31.5 | 38.5 | 41.7 | 40.2 | 34.4 | 25.7 | 16.9 | 10.2 | 7.5 | 50 | 42.7 | 35.6 | 26.6 | 16.7 | 10.0 | 7.1 | 8.2 | 13.4 | 22.2 | 32.1 | 40.6 | 44.5 |
| 10.1 | 15.7 | 23.3 | 32.2 | 38.8 | 41.8 | 40.4 | 34.9 | 26.6 | 18.1 | 11.4 | 8.7 | 48 | 42.9 | 36.2 | 27.5 | 17.9 | 11.1 | 8.2 | 9.3 | 14.6 | 23.3 | 32.8 | 40.9 | 44.5 |
| 11.3 | 16.9 | 24.3 | 32.9 | 39.1 | 41.9 | 40.6 | 35.4 | 27.5 | 19.2 | 12.6 | 9.9 | 46 | 43.0 | 36.7 | 28.4 | 19.0 | 12.3 | 9.3 | 10.4 | 15.7 | 24.3 | 33.5 | 41.1 | 44.6 |
| 12.5 | 18.0 | 25.3 | 33.5 | 39.3 | 41.9 | 40.7 | 35.9 | 28.4 | 20.3 | 13.9 | 11.1 | 44 | 43.2 | 37.2 | 29.3 | 20.1 | 13.5 | 10.5 | 11.6 | 16.8 | 25.2 | 34.1 | 41.4 | 44.6 |
| 13.8 | 19.2 | 26.3 | 34.1 | 39.5 | 41.9 | 40.8 | 36.3 | 29.2 | 21.4 | 15.1 | 12.4 | 42 | 43.3 | 37.7 | 30.1 | 21.2 | 14.6 | 11.6 | 12.8 | 18.0 | 26.2 | 34.7 | 41.6 | 44.6 |
| 15.0 | 20.4 | 27.2 | 34.7 | 39.7 | 41.9 | 40.8 | 36.7 | 30.0 | 22.5 | 16.3 | 13.6 | 40 | 43.4 | 38.1 | 30.9 | 22.3 | 15.8 | 12.8 | 13.9 | 19.1 | 27.1 | 35.3 | 41.8 | 44.6 |
| 16.2 | 21.5 | 28.1 | 35.2 | 39.9 | 41.8 | 40.8 | 37.0 | 30.7 | 23.6 | 17.5 | 14.8 | 38 | 43.4 | 38.5 | 31.7 | 23.3 | 16.9 | 13.9 | 15.1 | 20.2 | 28.0 | 35.8 | 41.9 | 44.5 |
| 17.5 | 22.6 | 29.0 | 35.7 | 40.0 | 41.7 | 40.8 | 37.4 | 31.5 | 24.6 | 18.7 | 16.1 | 36 | 43.4 | 38.9 | 32.4 | 24.3 | 18.1 | 15.1 | 16.2 | 21.2 | 28.8 | 36.3 | 42.0 | 44.4 |
| 18.7 | 23.7 | 29.9 | 36.1 | 40.0 | 41.6 | 40.8 | 37.6 | 32.1 | 25.6 | 19.9 | 17.3 | 34 | 43.4 | 39.2 | 33.0 | 25.3 | 19.2 | 16.2 | 17.4 | 22.3 | 29.6 | 36.7 | 42.0 | 44.3 |
| 19.9 | 24.8 | 30.7 | 36.5 | 40.0 | 41.4 | 40.7 | 37.9 | 32.8 | 26.6 | 21.1 | 18.5 | 32 | 43.3 | 39.4 | 33.7 | 26.3 | 20.3 | 17.4 | 18.5 | 23.3 | 30.4 | 37.1 | 42.0 | 44.1 |
| 21.1 | 25.8 | 31.4 | 36.8 | 40.0 | 41.2 | 40.6 | 38.0 | 33.4 | 27.6 | 22.2 | 19.8 | 30 | 43.1 | 39.6 | 34.3 | 27.2 | 21.4 | 18.5 | 19.6 | 24.3 | 31.1 | 37.5 | 42.0 | 43.9 |
| 22.3 | 26.8 | 32.2 | 37.1 | 40.0 | 40.9 | 40.4 | 38.2 | 33.9 | 28.5 | 23.3 | 21.0 | 28 | 43.0 | 39.8 | 34.8 | 28.1 | 22.5 | 19.7 | 20.7 | 25.3 | 31.8 | 37.8 | 41.9 | 43.6 |
| 23.4 | 27.8 | 32.8 | 37.4 | 39.9 | 40.6 | 40.2 | 38.3 | 34.5 | 29.3 | 24.5 | 22.2 | 26 | 42.8 | 39.9 | 35.3 | 29.0 | 23.5 | 20.8 | 21.8 | 26.3 | 32.5 | 38.0 | 41.8 | 43.3 |
| 24.6 | 28.8 | 33.5 | 37.6 | 39.7 | 40.3 | 39.9 | 38.3 | 34.9 | 30.2 | 25.5 | 23.3 | 24 | 42.5 | 40.0 | 35.8 | 29.8 | 24.6 | 21.9 | 22.9 | 27.2 | 33.1 | 38.3 | 41.7 | 43.0 |
| 25.7 | 29.7 | 34.1 | 37.8 | 39.5 | 40.0 | 39.6 | 38.4 | 35.4 | 31.0 | 26.6 | 24.5 | 22 | 42.2 | 40.1 | 36.2 | 30.6 | 25.6 | 23.0 | 24.0 | 28.1 | 33.7 | 38.4 | 41.4 | 42.6 |
| 26.8 | 30.6 | 34.7 | 37.9 | 39.3 | 39.5 | 39.3 | 38.3 | 35.8 | 31.8 | 27.7 | 25.6 | 20 | 41.9 | 40.0 | 36.6 | 31.3 | 26.6 | 24.1 | 25.0 | 28.9 | 34.2 | 38.6 | 41.2 | 42.1 |
| 27.9 | 31.5 | 35.2 | 38.0 | 39.0 | 39.1 | 38.9 | 38.2 | 36.1 | 32.5 | 28.7 | 26.8 | 18 | 41.5 | 40.0 | 37.0 | 32.1 | 27.5 | 25.1 | 26.0 | 29.8 | 34.7 | 38.7 | 40.9 | 41.7 |
| 28.9 | 32.3 | 35.7 | 38.1 | 38.7 | 38.6 | 38.5 | 38.1 | 36.4 | 33.2 | 29.6 | 27.9 | 16 | 41.1 | 39.9 | 37.2 | 32.8 | 28.5 | 26.2 | 27.0 | 30.6 | 35.2 | 38.7 | 40.6 | 41.2 |
| 29.9 | 33.1 | 36.1 | 38.1 | 38.4 | 38.1 | 38.1 | 38.0 | 36.7 | 33.9 | 30.6 | 28.9 | 14 | 40.6 | 39.7 | 37.5 | 33.4 | 29.4 | 27.2 | 27.9 | 31.3 | 35.6 | 38.7 | 40.2 | 40.6 |
| 30.9 | 33.8 | 36.5 | 38.0 | 38.0 | 37.6 | 37.6 | 37.8 | 36.9 | 34.5 | 31.5 | 30.0 | 12 | 40.1 | 39.6 | 37.7 | 34.0 | 30.2 | 28.1 | 28.9 | 32.1 | 36.0 | 38.6 | 39.8 | 40.0 |
| 31.9 | 34.5 | 36.9 | 37.9 | 37.6 | 37.0 | 37.1 | 37.5 | 37.1 | 35.1 | 32.4 | 31.0 | 10 | 39.5 | 39.3 | 37.8 | 34.6 | 31.1 | 29.1 | 29.8 | 32.8 | 36.3 | 38.5 | 39.3 | 39.4 |
| 32.8 | 35.2 | 37.2 | 37.8 | 37.1 | 36.3 | 36.5 | 37.2 | 37.2 | 35.6 | 33.3 | 32.0 | 8 | 38.9 | 39.0 | 37.9 | 35.1 | 31.9 | 30.0 | 30.7 | 33.4 | 36.6 | 38.4 | 38.8 | 38.7 |
| 33.7 | 35.8 | 37.4 | 37.6 | 36.6 | 35.7 | 35.9 | 36.9 | 37.3 | 36.1 | 34.1 | 32.9 | 6 | 38.3 | 38.7 | 38.0 | 35.6 | 32.7 | 30.9 | 31.5 | 34.0 | 36.8 | 38.2 | 38.2 | 38.0 |
| 34.6 | 36.4 | 37.6 | 37.4 | 36.0 | 35.0 | 35.3 | 36.5 | 37.3 | 36.6 | 34.9 | 33.9 | 4 | 37.6 | 38.3 | 38.0 | 36.0 | 33.4 | 31.8 | 32.3 | 34.6 | 37.0 | 38.0 | 37.6 | 37.2 |
| 35.4 | 37.0 | 37.8 | 37.1 | 35.4 | 34.2 | 34.6 | 36.1 | 37.3 | 37.0 | 35.6 | 34.8 | 2 | 36.9 | 37.9 | 38.0 | 36.4 | 34.1 | 32.6 | 33.1 | 35.2 | 37.1 | 37.7 | 37.0 | 36.4 |
| 36.2 | 37.5 | 37.9 | 36.8 | 34.8 | 33.4 | 33.9 | 35.7 | 37.2 | 37.4 | 36.3 | 35.6 | 0 | 36.2 | 37.5 | 37.9 | 36.8 | 34.8 | 33.4 | 33.9 | 35.7 | 37.2 | 37.4 | 36.3 | 35.6 |

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex>

Para el presente estudio, el cálculo de la evapotranspiración se analizará desde una perspectiva conservadora y se tomará como valor de R_a , el máximo valor del registro anual, el cual corresponde al mes de enero. Según esto tenemos que:

$$R_a = 40 \text{ MJ m}^{-2}/\text{día} \quad \dots(2.4.1.3)$$

Dividiendo este valor entre $\lambda = 2.45$, se realiza la conversión de R_a en mm/día. Según esto se tiene:

$$R_a = 16.32 \text{ mm/día} \quad \dots (2.4.1.4)$$

El siguiente paso consiste en determinar las temperaturas promedio, máxima y mínima del área en estudio. La tabla 2.4.1.2, muestra las temperaturas promedio de los valles costeros del Perú.

Tabla 2.4.1.2. Temperaturas promedio en los valles costeros del Perú

| ZONA | TEMPERATURAS PROMEDIOS °C | | | |
|-----------|---------------------------|------|------|------|
| | MAX | MES | MIN | MES |
| * HUACHO | 30.6 | Mar. | 13.5 | Ago. |
| * HUARAL | 29.2 | Feb. | 13.8 | Jul. |
| * CAÑETE | 28.0 | Feb. | 13.2 | Jul. |
| * CHINCHA | 28.6 | Feb. | 13.9 | Jul. |
| * PISCO | 34.0 | Feb. | 13.1 | Ago. |
| * ICA | 32.0 | Feb. | 12.0 | Jul. |
| * NAZCA | 30.6 | Feb. | 12.6 | Jul. |

Fuente: Cropwart, FAO, 1995

Considerando la disponibilidad de información, se plantea emplear los datos de temperatura del valle de Huaral por ser el más cercano al área de estudio. Según esto, se tiene que el área de estudio está caracterizada por los siguientes datos:

Tabla 2.4.1.3. Temperaturas estimadas en la zona en estudio

| Temperatura (°C) | | |
|------------------|-------|--------|
| Máxima | Media | Mínima |
| 29.2 | 21.5 | 13.8 |

Con los datos mostrados en la tabla 2.4.1.3, y en la expresión 2.4.1.4, se procede a reemplazar en la expresión 2.4.1.2:

$$Et_0 = 0.0023 * (16.32) * (21.5 + 17.8) * \sqrt{29.2 - 13.8} \quad \dots (2.4.1.5)$$

Operando, se obtiene el valor de la evapotranspiración potencial Et_0 :

$$Et_0 = 5.79 \text{ mm/día} \quad \dots (2.4.1.6)$$

Para el cálculo final de la evapotranspiración del cultivo, se requiere del valor de K_c . Los especialistas en Ing. Agronómica, recomiendan para la gramínea *Brachiaria Brizantha* un valor de K_c igual a 0.60. Con este dato se calcula la evapotranspiración del cultivo o K_c según lo ya indicado en la expresión (2.4.1.1):

$$Et_c = (5.79) (0.60) \quad \dots (2.4.1.7)$$

Operando se obtiene el valor de la evapotranspiración del cultivo:

$$Et_c = 3.47 \text{ mm/día} \quad \dots (2.4.1.8)$$

Finalmente, dependiendo del sistema de riego a emplear, el valor mostrado en la expresión (2.4.1.8) debe ser dividido entre la eficiencia del sistema a emplear. Si se considera un sistema de riego por aspersión para el suministro de agua, la eficiencia del riego en el mismo es del orden del 85%. De acuerdo con esto, el valor de la lámina de agua a aplicar sería de:

$$L = (3.47) / (0.85) \quad \dots (2.4.1.9)$$

Operando se obtiene el valor de la lámina de agua requerida para el cultivo:

$$L = 4.00 \text{ mm/día} \quad \dots (2.4.1.10)$$

2.5. BIOINGENIERÍA

El estudio de bioingeniería se centra en la caracterización agrológica del suelo, a fin de determinar las condiciones mínimas para la sobrevivencia de la especie vegetal a emplear así como de un estudio de las potenciales especies vegetales a emplear en la zona en estudio.

2.5.1. Caracterización agrológica del suelo

Como parte de las labores previas al establecimiento de la vegetación, se realiza un análisis del suelo desde el punto de vista agronómico, con la finalidad de determinar si el suelo del talud, en su estado natural, es capaz de dar el sostén necesario para el desarrollo de la especie vegetal a emplear como la parte biológica de la solución de control de erosión.

Se tomó una muestra del suelo que conforma el talud, en su estado natural y se realizó un análisis de suelo – fertilidad, en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los resultados del análisis de suelo – fertilidad, se muestran en la tabla 2.5.1. El certificado en su versión original puede apreciarse en el Anexo b.

Tabla 2.5.1. Resultados del análisis de suelo – fertilidad del suelo natural

| Parámetro | Nomenclatura | Unidad | Valor |
|---------------------|--------------|-----------|-------|
| Potencial hidrógeno | pH | 1:1 | 7.30 |
| Salinidad | CE | dS/m (**) | 31.00 |
| Materia orgánica | M.O. | % | 1.6 |
| Fósforo disponible | P | ppm (*) | 33.3 |
| Potasio disponible | K | ppm (*) | 450 |

(*) ppm : partes por millón

(**)dS/m : deciSiemens por metro

Para la interpretación de los resultados mostrados, el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, a su vez, publica las respectivas tablas de interpretación, las cuales se muestran a continuación:

Tablas de interpretación de los resultados del análisis de suelo – fertilidad

Tabla 2.5.2. Clasificación de los suelos según los niveles de salinidad

| Salinidad | |
|-------------------------|-----------------------|
| Clasificación del suelo | CE(es) (Salinidad) |
| *muy ligeramente salino | <2 |
| *ligeramente salino | 2 – 4 |
| *moderadamente salino | 4 – 8 |
| *fuertemente salino | >8 |

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrónoma. Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes

Tabla 2.5.3. Clasificación de los suelos según el nivel de pH

| Reacción o pH | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Clasificación del suelo | pH (Potencial hidrógeno) |
| *Fuertemente ácido | <5.5 |
| *Moderadamente ácido | 5.6 – 6.0 |
| *Ligeramente ácido | 6.1 – 6.5 |
| *Neutro | 7.0 |
| *Ligeramente alcalino | 7.1 – 7.8 |
| *Moderadamente alcalino | 7.9 – 8.4 |
| *Fuertemente alcalino | >8.5 |

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrónoma. Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes

Tabla 2.5.4. Clasificación de los suelos según el contenido de materia orgánica y macronutrientes.

| | Materia orgánica | Fósforo disponible P | Potasio disponible K |
|---------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Clasificación | % | ppm | ppm |
| *bajo | <2.0 | <7.0 | <100 |
| *medio | 2 – 4 | 7.0 – 14.0 | 100 – 240 |
| *alto | >4.0 | >14.0 | >240 |

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrónoma. Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes

Según los resultados obtenidos en el análisis de suelo – fertilidad, y comparándolos con los valores mostrados en las tablas de interpretación, el suelo encontrado en el área de estudio se clasifica según lo siguiente:

Tabla 2.5.5. Clasificación del suelo del área de estudio

| Parámetro | Nomenclatura | Clasificación del suelo |
|---------------------|--------------|-------------------------|
| Potencial hidrógeno | pH | Ligeramente alcalino |
| Salinidad | CE | Fuertemente salino |
| Materia orgánica | M.O. | Bajo contenido |
| Fósforo disponible | P | Alto contenido |
| Potasio disponible | K | Alto contenido |

Como puede apreciarse en la tabla 2.5.5., la fertilidad del suelo del área en estudio no se ve limitada por el contenido de los macronutrientes, sin embargo, la restricción en su fertilidad se da por el lado de su alto contenido de salinidad, lo cual se traduce en un impedimento para plantear la incorporación de la especie vegetal directamente sobre el suelo en su estado actual.

Esta limitación, sin embargo, constituye, para un problema netamente agrológico, superable, por cuanto existen soluciones para la reducción del contenido de sales disueltas, tal es el caso de optar por procesos de lixiviación de sales en el suelo, es decir, supliendo el déficit de agua de las lluvias naturales.

Sin embargo, el problema agrológico no es sino sólo una parte del problema integral a resolver, el cual parte de una solución de Ingeniería Biotécnica a fin de controlar la erosión del suelo. Partiendo de ello, considerar la aplicación de un volumen adicional de agua para inducir un proceso de lixiviación de sales sin tomar en cuenta las condiciones físicas, tal es el caso de la pendiente del terreno, induciría también un proceso erosión de tipo laminar, efecto que se desea evitar.

Según lo expuesto anteriormente, se plantea emplear suelo vegetal de préstamo en reemplazo del suelo natural, a fin de dotar de las condiciones mínimas necesarias para el sostén de la especie vegetal como solución biológica al problema de control de erosión. Para ello, al igual que en las condiciones naturales, debe verificarse la calidad del suelo vegetal de préstamo mediante un análisis de suelo – fertilidad.

Se tomó una muestra del suelo vegetal de préstamo, y se realizó un análisis de suelo – fertilidad, en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los resultados del análisis de suelo – fertilidad, se muestran en la tabla 2.5.6. El certificado en su versión original puede apreciarse en el Anexo b.

Tabla 2.5.6. Resultados del análisis de suelo – fertilidad del suelo vegetal de préstamo

| Parámetro | Nomenclatura | Unidad | Valor |
|---------------------|--------------|----------------------|-------|
| Potencial hidrógeno | pH | 1:1 | 7.04 |
| Salinidad | CE | dS/m ^(**) | 1.51 |
| Materia orgánica | M.O. | % | 0.8 |
| Fósforo disponible | P | ppm ^(*) | 5.8 |
| Potasio disponible | K | ppm ^(*) | 111 |

(*) ppm : partes por millón

(**)dS/m : deciSiemens por metro

Según los resultados obtenidos en el análisis de suelo – fertilidad, y comparándolos con los valores mostrados en las tablas de interpretación, el suelo vegetal de préstamo se clasifica según lo siguiente:

Tabla 2.5.7. Clasificación del suelo vegetal de préstamo

| Parámetro | Nomenclatura | Clasificación del suelo |
|---------------------|--------------|-------------------------|
| Potencial hidrógeno | pH | Neutro |
| Salinidad | CE | Muy ligeramente salino |
| Materia orgánica | M.O. | Bajo contenido |
| Fósforo disponible | P | Bajo contenido |
| Potasio disponible | K | Medio contenido |

Como puede apreciarse en la tabla 2.5.7., y según las consultas con los especialistas en Ingeniería Agrónoma, el suelo vegetal de préstamo que se plantea usar en reemplazo del suelo natural del talud posee las condiciones óptimas para el desarrollo de la especie vegetal del tipo gramínea que es la que se piensa emplear como la parte biológica.

2.5.2. Especie vegetal a emplear como solución biológica

En el presente informe, el estudio sobre las potenciales especies vegetales a emplear en el control de erosión, consiste en una exposición de las principales condiciones ecológicas de cada especie y a su vez se divide en 2 grandes grupos: especies vegetales más usadas en el Perú para el control de erosión, y especies vegetales nativas del ecosistema del área en estudio.

Especies vegetales más usadas en el Perú para el control de erosión

Considerando que la solución al problema de control de erosión en el área de estudio parte de una solución de Ingeniería Biotécnica, de la bibliografía revisada, se establece que la solución más difundida en nuestro medio es la de tipo pasto reforzado donde el medio de reforzamiento mecánico lo constituye una matriz o entramado que puede ser de naturaleza geosintética (geomanto) o biodegradable (a base de fibra de coco o yute) y la solución biológica lo constituye la especie vegetal de tipo gramínea o comúnmente llamado pasto.

En verificación de lo arriba expuesto, De la Cruz (2005) señala que según la revisión de experiencias en materia de control de erosión con pasto reforzado, la relación de pastos más usados en el Perú con tal objetivo, se muestra en la tabla 2.5.8.

A partir de consultas con especialistas en Ingeniería Agrónoma, se estableció que, la especie que mejor se adapta a las condiciones tanto ecológicas como de uso y mantenimiento, para el área en estudio, es la especie denominada *Brachiaria Brizantha*. A continuación se expone una descripción de sus principales características.

Pasto Braquiaria (Brachiaria Brizantha)

Es una gramínea, promisoría para el trópico, crece desde el nivel del mar hasta 1800 m.s.n.m. A partir de la revisión de información disponible, se puede constatar que la *Brachiaria Brizantha* es una gramínea de fácil adaptación a los ecosistemas que existen en el Perú (dentro de los límites altitudinales arriba señalados).

Tabla 2.5.8. Relación de pastos más usados en Perú para el control de erosión en taludes

| Nombre común | Nombre científico |
|-------------------|-------------------------|
| Chojlla | Bromus Catharticus |
| Buffel Grass | Cenchrus Ciliaris |
| Pasto Rhodes | Chloris Gayana |
| Cortaderia | Cortaderia Jubata |
| Bermuda Grass | Cynodon Dactylon |
| Estrella Africana | Cynodon Plectostachyus |
| Tall Fescue | Festuca Arundinacea |
| Chilhua ichu | Festuca dolichophylla |
| Chocho | Lupinus Balliannus |
| Quicuyo | Pennisetum Clandestinum |
| Ichu | Stipa Ichu |
| Chuor | Stipa Mucronata |
| Vetiver | Vetiveria Zizanoides |
| Grass Japonés | Zoysia Japonica |
| Braquiaria | Brachiaria Brizantha |
| Tanzania | Panicum Maximum |
| Elefante | Penniceteum purpureum |

De la Cruz (2005)

Asimismo debe señalarse que, las experiencias más aleccionadoras sobre su adaptabilidad a nuestros singulares ecosistemas, son el resultado de investigaciones agronómicas con fines de su uso para forraje y para el tratamiento de suelos en proceso de rotación de cultivo.

Sin embargo, al margen de los objetivos de las mencionadas investigaciones sobre la *Brachiaria Brizantha*, estas investigaciones han permitido demostrar su adaptabilidad tanto en regiones costeras (tal es el caso de su inserción para forraje en los valles costeros de Piura) como su recomendación para uso en el control de erosión del Proyecto Camisea en la selva peruana.

En la tabla 2.5.9., se detalla las principales características sobre el habitat de desarrollo de la *Brachiaria Brizantha* así como recomendaciones para su sembrío.

Gráfico 2.5.1. Foto de Brachiaria Brizantha



Fuente: www.agro21.com.ar/images/fotos

Tabla 2.5.9. Características de la gramínea *Brachiaria Brizantha*

| Característica | Descripción |
|--------------------------------|---|
| Nombre común | Gramalote, brizantha gigante, braquiarión, marandú |
| Origen | Rodesia - África |
| Tiempo de vida | Pastura permanente |
| Hábito de crecimiento / altura | Mata o macollos ligeros |
| Relación tallo / hojas | Predominio de hojas |
| Producción de materia verde | Hasta 180 t/Ha/año |
| Producción de Heno | Hasta 54 t/Ha/año |
| Proteína cruda | De 10% a 16% |
| Condición ideal del suelo | De mediana a alta fertilidad, bien drenados |
| Tolerancia / resistencia | Acidez, pisoteo, quema, sombra, sequía, hormigas |
| Palatabilidad (sabor) | Excelente en vacunos y rumiantes menores. Baja para equinos |
| Digestibilidad | Elevada (de 56% a 75%) |
| Tamaño de semilla | Mediano (125 semillas/gramo) |
| Densidad de siembra | 1.5 a 3.5 Kg / Ha |

Fuente: 1er Encuentro Interregional de Ganaderos en el ámbito del Alto Huallaga – Huánuco – Meseta del Bombón (2005). 5ª Exposición: “Instalación de Pastos Tropicales y Pasturas Alto Andinas”. Expositor: Ing. Rogelio Sobero Ballardo

Tabla 2.5.10. Recomendaciones para siembra y manejo de la gramínea *Brachiaria Brizantha*

| Parámetro | Recomendación |
|--------------------------|---|
| Conservación de semillas | Guardar en sombra, sobre listones, lugar fresco, ventilado y baja humedad |
| Cantidad de semilla / Ha | Manual: 1.5 Kg Máquina: 3.0 Kg |
| Profundidad | De 1 a 2 cm (Tapar y apisonar) |
| Distanciamiento | Manual: Entre hileras a 80 cm Máquina: Hileras cada 30 cm |

Fuente: 1er Encuentro Interregional de Ganaderos en el ámbito del Alto Huallaga – Huánuco – Meseta del Bombón (2005). 5ª Exposición: "Instalación de Pastos Tropicales y Pasturas Alto Andinas". Expositor: Ing. Rogelio Sobero Ballardo

Especies nativas del ecosistema del área en estudio

Flor de amancaes (*Hymenocallis amancaes*)

La especie bulbífera *Hymenocallis amancaes*, o comúnmente llamada "Flor de Amancaes" es una especie vegetal endémica del Perú, principalmente de las lomas de la costa central y emblema de la ciudad capital. Rebrotar (florece) durante el ciclo de humedad de las lomas, lo cual ocurre en junio bajo condiciones climatológicas normales.

La flor de amancaes se desarrolla en un ecosistema denominado "vegetación de lomas". Este ecosistema, único en el mundo, se forma a partir de las lomas costeras de Lima, las cuales captan la intensa humedad de la atmósfera durante los meses fríos y de grandes neblinas del invierno limeño y que son consecuencia del sistema de corrientes marinas que influyen al mar peruano. Como consecuencia de ello, Los cerros se humedecen y nace un manto verde de variada vegetación y donde aparece, por ejemplo, la flor símbolo de la ciudad de Lima que es la Flor de Amancaes que se encuentra en un proceso de extinción.

En la Región Lima, existen sólo tres lugares donde todavía se produce este fenómeno natural: las lomas de Lachay, las lomas de Ancón y, finalmente, las lomas de Carabayllo. Las lomas de Lachay, que se encuentra a 105 Km. al norte de la ciudad de Lima, es la más conocida y se ha convertido en una reserva natural porque allí existe una rica diversidad biológica y se desarrollan procesos ecológicos que son muy estudiados por científicos.

Gráfico 2.5.2. *Hymenocallis amancaes* (Flor de Amancaes)



Fuente: Memoria Anual 2003. Cementos Lima

Este tipo de vegetación, que es un fenómeno único e irrepetible en el mundo, se caracteriza por un manto de vegetación compuesto por una variada presencia de plantas, musgo y arbustos que se esparce por las lomas y donde se nota también la presencia de vida animal. Este fenómeno natural se da solo en la costa peruana y es conocido como “las lomas”. Ello sustenta la necesidad de considerar a la flor de amancaes y sus ecosistema asociado como una solución viable para el problema de control de erosión en el área de estudio, no sólo por conformar un manto de cubierta vegetal, sino porque también que constituye el empleo de una especie vegetal endémica de la zona y cuyo uso difundido en este campo de la Ingeniería contribuiría a evitar su extinción.

Buganvilla (*Bougainvillea*)

El nombre de esta planta trepadora se deriva de Louis Antoine de Bougainville, un militar francés que descubrió la planta en Brasil en el año 1768. Según ello, y de acuerdo con la información electrónica revisada, esta planta es originaria de sudamérica (en general) y se desarrolla en los climas cálidos y/o costeros.

Sin embargo, Antonio Brack (2006) en su artículo “Biodiversidad y TLC”, señala que dentro de las plantas o variedades de indudable origen peruano y de las que el Perú tiene la mayor diversidad genética, se encuentra la especie *Bougainvillea peruviana* (conocida comúnmente como *papelillo*).

Como evidencia tangible de la adaptabilidad de la especie *Bougainvillea* al ecosistema presente en la zona del proyecto, se puede verificar que a escasos

metros al sur del área en estudio, existe una amplia zona de los cerros de la Universidad Nacional de Ingeniería (específicamente al este de la Facultad de Ingeniería Mecánica) cubierta por esta especie trepadora. Esta experiencia exitosa de adaptabilidad de la especie *Bugainvillea*, se debe a la iniciativa de los jardineros de la Universidad. Debido a esta razón, se incluye a esta planta trepadora en el presente ítem de especies nativas de la zona.

Esta planta es capaz de resistir todos los climas, especialmente los cálidos y secos. Produce toda gama de colores en sus "flores", que en realidad no lo son, sino hojas modificadas. La flor verdadera es blanca y diminuta, rodeada de esas hojas modificadas que se llaman "brácteas". El tronco y las ramas tienen espinas. La planta no precisa de demasiados cuidados, aunque sensible al frío los primeros años, al crecer se torna más resistente. Si se la tiene plantada en el suelo, debe regarse una vez al mes. Hay quienes no la riegan nunca cuando está plantada en el suelo.

Las especies de flores amarillas, blancas, y rosadas son más delicadas, y prefieren lugares protegidos del viento y climas costeros donde el invierno es suave. Las de colores fucsia y rojo se aclimatan de mejor forma, siempre que se ubiquen con sol, protegidas del viento y el frío.

2.6. SEDIMENTOLOGÍA

Para el presente informe, el estudio sedimentológico tiene por objetivo estimar la tasa de pérdida de suelo por erosión de origen pluvial, que se produce en los 3 taludes en estudio, en su condición natural, mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, o USLE por sus siglas en inglés.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos viene dada por la siguiente expresión:

$$A = R . K . L . S . C . P \quad \dots (2.6.1)$$

Donde:

A = Pérdida de suelo [toneladas/(acre*año)]

R = Erosividad: Capacidad erosiva de las lluvias
[(pies*toneladas*pulgada)/(acre*hora*año)]

K = Erodabilidad: Propensión del suelo a ser erosionado
[hora/(pies*pulgada)]

L = Longitud de la pendiente respecto a una longitud estándar
(Adimensional)

S = Inclinación de la pendiente respecto a una longitud estándar
(Adimensional)

C = Cubierta y manejo del suelo respecto a un suelo con labranza
continua (Adimensional)

P = Prácticas de conservación del suelo, respecto a un suelo con
labranza común (Adimensional)

A continuación se describirá el análisis y cálculo para la obtención de cada uno de los parámetros arriba mencionados.

2.6.1. Erosividad (R)

Es también conocido como índice de erosión o EI (por sus siglas en inglés: Erosion Index). De manera conceptual, se puede decir que la erosividad es el factor que incorpora el efecto de las lluvias en la erosión del suelo.

Analíticamente, se define que la erosividad representa la sumatoria anual

de la energía de la lluvia en cada tormenta, multiplicado por su intensidad máxima en 30 minutos, a partir de un histograma de precipitaciones.

Considerando que, la energía cinética de una lluvia, viene dada por la siguiente expresión:

$$E = 916 + 331 \log_{10} I \quad (\text{pies-tons/acre/pulg}) \quad \dots (2.6.1.1)$$

El factor R viene dado por la siguiente expresión

$$R = \sum_{j=1}^n (916 + 331 \log_{10} I_j) I_{30} \quad (\text{pies*toneladas*pulgada})/(\text{acre*hora*año}) \quad \dots (2.6.1.2)$$

Donde

- E = Energía cinética (pies-tons/acre/pulg)
- I = Intensidad de lluvia (pulg/hora)
 (cuando es mayor a 3 pulg/h, se considera E = 1074 pies-tons/acre/pulg)
- I₃₀ = Intensidad máxima en 30 minutos.

La representación espacial sobre una región geográfica, de los puntos con igual magnitud de erosividad, viene dada por las denominadas curvas isoerodentes. En algunos países, tal es el caso de los Estados Unidos de América, se poseen cartas a nivel nacional con las curvas isoerodentes, de la misma forma en que se poseen curvas topográficas.

Para el caso en estudio, el cálculo de la erosividad, no sería factible si se aplica la expresión (2.6.1.2), por cuanto, en el Perú, en general, se carecen de datos lo suficientemente confiables para monitorear la intensidad de lluvias y considerando lo enunciado en el párrafo anterior no se cuenta con planos con las curvas isoerodentes a nivel nacional.

Sin embargo, considerando la experiencia expuesta en publicaciones de especialistas en la materia, en el presente informe se propone calcular la erosividad mediante el método de similitud o analogía.

Este método se basa en vincular la zona que carece de data de isoerodentes con otra que sí posea dicha información, empleado como vínculo el nivel de precipitación acumulada anual. Es decir, la relación de analogía se basa

en tomar el valor de erosividad de aquella zona que posee el mismo nivel de precipitación de la zona que no posee data de erosividad.

Para el caso en estudio, se tiene que, partiendo del estudio hidrológico, la estación pluviométrica más cercana a la zona, corresponde a la estación ubicada en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, en el Callao, y el nivel de precipitación típica viene caracterizado según lo mostrado en la tabla 2.6.1.1. y el gráfico 2.6.1.1.

Debe contarse con información básica y conocida sobre los niveles de precipitación y erosividad en alguna región o país para establecer la relación de analogía. En el presente estudio, se emplearán mapas de distribución espacial de precipitaciones y de erosividad de los Estados Unidos, presentados en los gráficos 2.6.1.2, y 2.6.1.3.

De la tabla 2.6.1.1., se tiene que el nivel acumulado de precipitación anual es igual a 13 mm, equivalente a 0.51 pulgadas. Con este dato de precipitación anual, se debe observar el gráfico 2.6.1.2.

En el gráfico 2.6.1.2., se observa que, según la leyenda mostrada, el área encerrada con un círculo segmentado, posee un nivel promedio anual de precipitación menor a 5 pulgadas. Según esto, se puede establecer una relación de analogía entre la zona identificada en el mapa y nuestra área de estudio por medio del nivel de precipitación.

El siguiente paso consiste en ubicar la zona identificada, en el plano de isoerodentes (figura 2.6.1.3.) y evaluar el valor del factor R en dicha zona. De la figura 2.6.1.3., se aprecia que, para la zona encerrada en un círculo segmentado, el valor de R varía según lo siguiente:

Tabla 2.6.1.1.- Valores de erosividad de las lluvias

| Mínimo | Medio | Máximo |
|---|-------|--------|
| R | | |
| [(pies*toneladas*pulgada)/(acre*hora*año)] | | |
| 20 | 35 | 50 |

Para el presente proyecto, deberá analizarse cuidadosamente el valor de R a considerar, dependiendo de las condiciones del problema a solucionar y/o a la solución que se plantea.

Tabla 2.6.1.2.- Precipitaciones mensuales en la estación más cercana al área de estudio

| ESTACION | PRECIPITACION MENSUAL (mm) | | | | | | | | | | | | TOTAL |
|----------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | |
| CALLAO * | 0.9 | 0.3 | 4.9 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 5.4 | 0.2 | 0.0 | 0.3 | 13.0 |

* Fuente: SENAMHI. Información publicada en su website. Estación ubicada en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Gráfico 2.6.1.1.- Histograma de precipitaciones en la estación más cercana al área de estudio

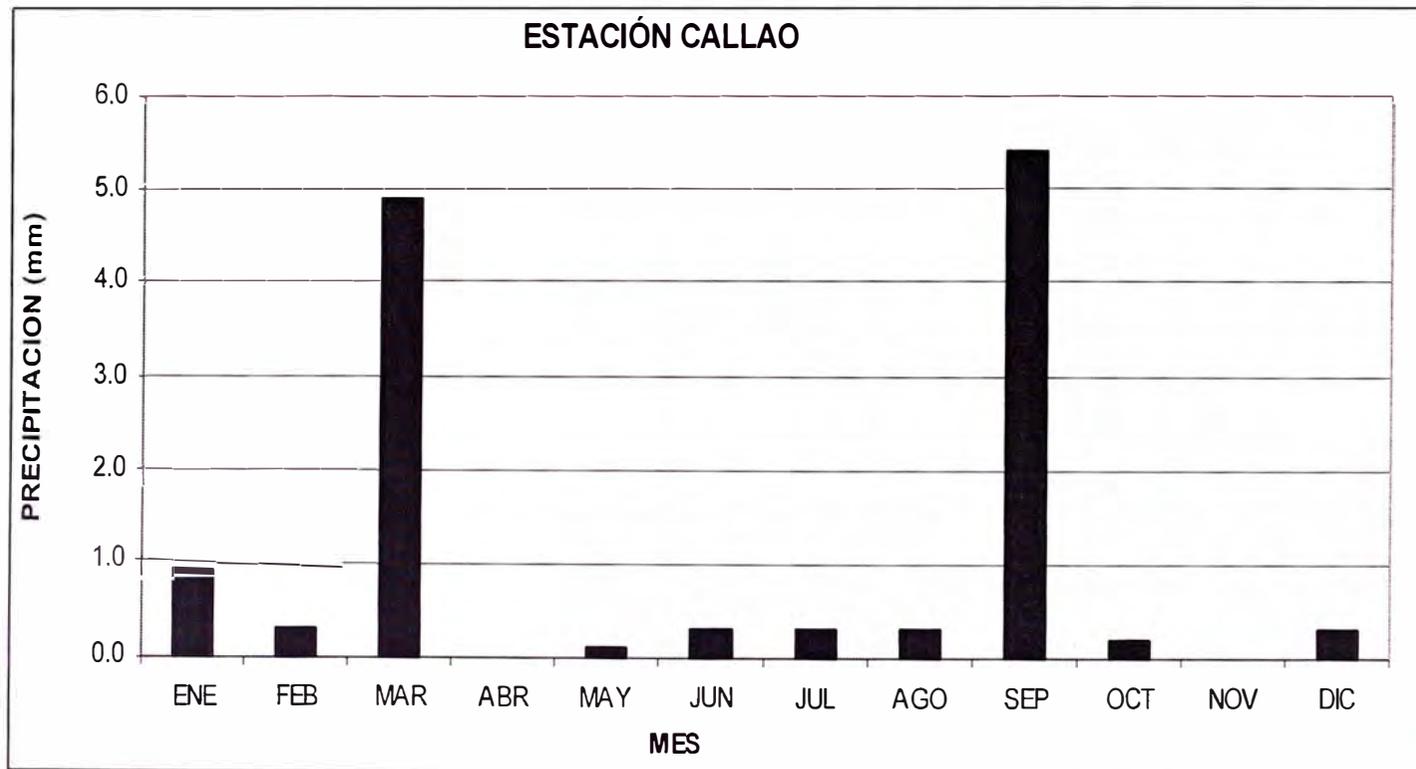


Gráfico 2.6.1.2.- Variación espacial del nivel de precipitación promedio anual en los Estados Unidos

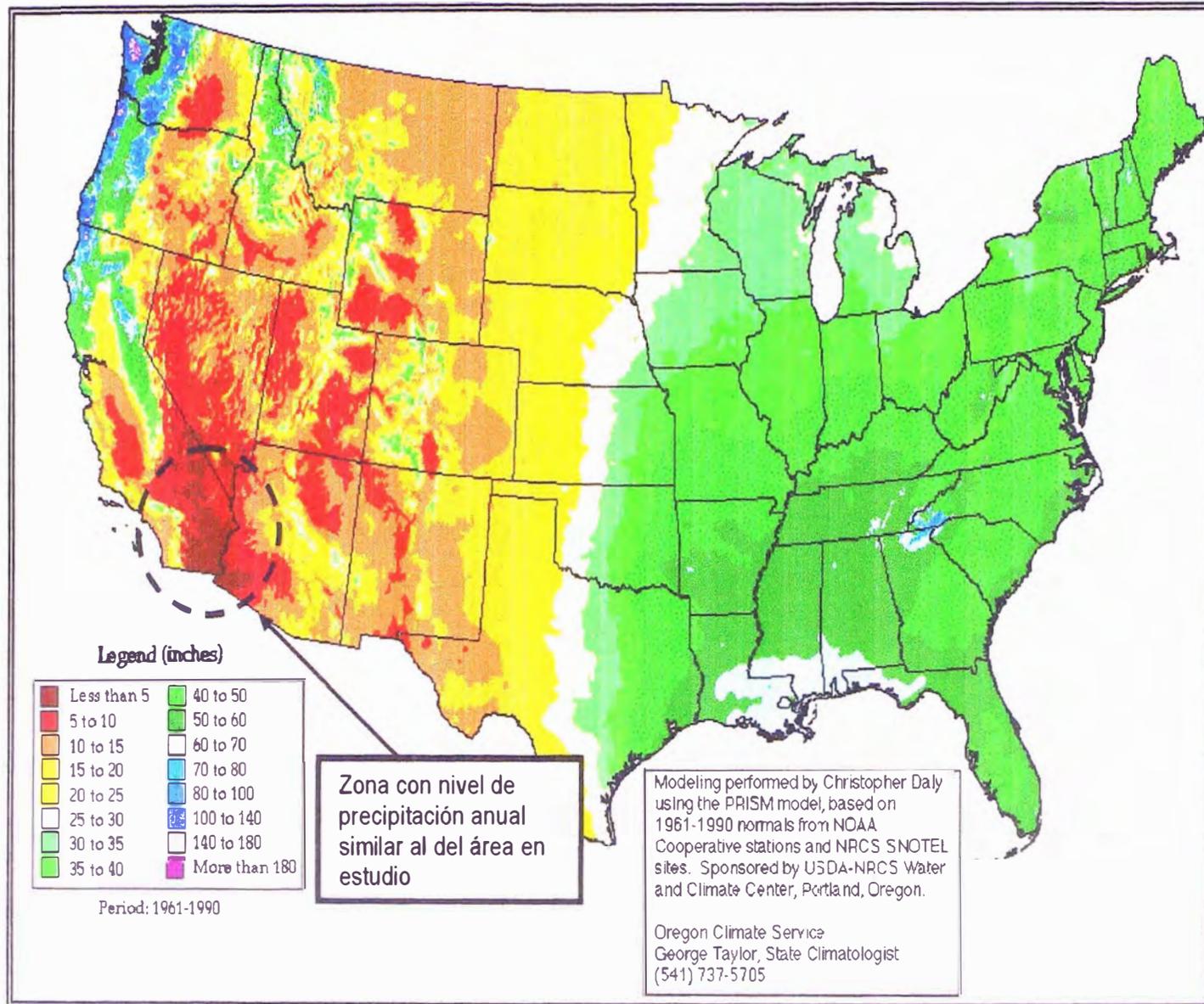
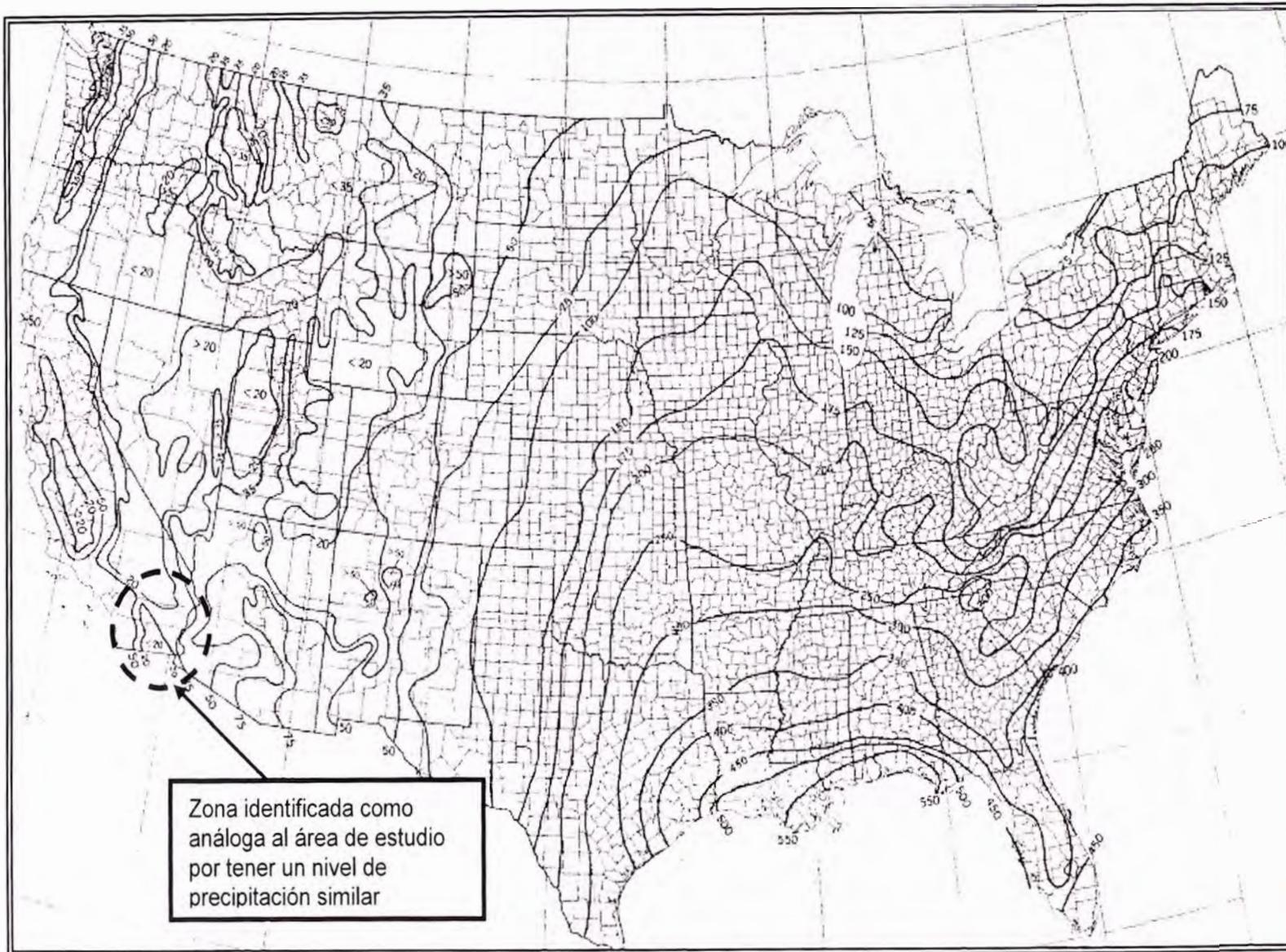


Gráfico 2.6.1.3.- Variación espacial del nivel de erosividad (curvas isoerodentes) en los Estados Unidos



2.6.2. Erodabilidad (K)

Del estudio de mecánica de suelos, se tiene:

- Clasificación SUCS : SM, Arena limosa
- % limo + arena muy fina (<0.1mm) = 41.1 %
- % arena (0.1 mm – 0.2 mm) = 6.6 %
- Estructura del suelo = 2
- Permeabilidad = 4

Del estudio de fertilidad del suelo, se tiene:

- Contenido de materia orgánica = 1.6 %

Con estos datos, ingresamos al nomograma propuesto por Wischmeier & Smith (1978), mostrado en la figura 2.6.2.1. y obtenemos lo siguiente:

$$K = 0.15 \quad \text{hora}/(\text{pies} \cdot \text{pulgada}) \quad \dots (2.6.2.1)$$

2.6.3. Factor topográfico (L.S)

El factor topográfico L.S. viene dado por la siguiente expresión:

$$L.S = \left(\frac{\lambda}{72.6} \right)^m (65.41 \text{ sen}^2 \theta + 4.56 \text{ sen} \theta + 0.065) \quad \dots (2.6.3.1)$$

Donde:

λ = Longitud horizontal de la pendiente (pies)

θ = Ángulo de la pendiente

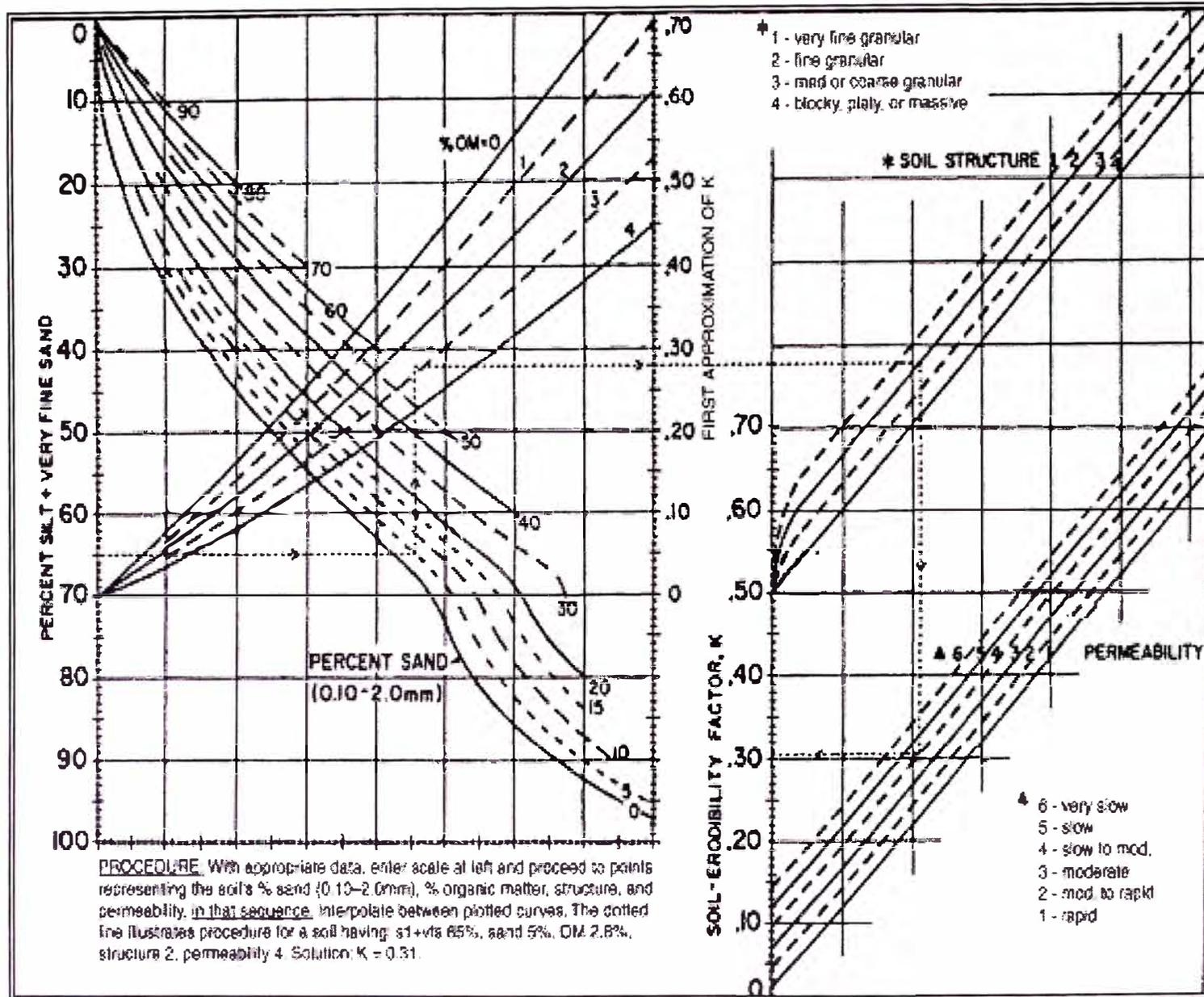
m = Factor dependiente de la gradiente, donde:

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \dots (2.6.3.2)$$

Donde:

$$\beta = \left[\frac{\left(\frac{\text{sen} \theta}{0.0896} \right)}{3 (\text{sen} \theta)^{0.8} + 0.56} \right] \quad \dots (2.6.3.3)$$

Tabla 2.6.2.1. Nomograma propuesto por Wischmeier & Smith (1978), para el cálculo del coeficiente de erodabilidad K



Para el caso en estudio, a partir del levantamiento topográfico, se tienen los siguientes datos:

Tabla 2.6.3.1.- Datos tomados de campo

| Lote | Longitud de la pendiente | Longitud horizontal de la pendiente λ (m) | Ángulo de la pendiente θ (°) |
|------|--------------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | 10.87 | 8.11 | 34.00 |

Con los datos mostrados en la tabla 2.6.3.1, se calcula secuencialmente los parámetros β y m , aplicando las expresiones (2.6.3.3) y (2.6.3.2), respectivamente, con lo cual se obtiene:

Tabla 2.6.3.2.- Cálculo de factores β y m

| Lote | β | m |
|------|---------|------|
| 1 | 2.55 | 0.72 |

Finalmente, aplicando con los datos mostrados en la tabla 2.6.3.2, y aplicando la expresión (2.6.3.1), se obtiene el parámetro topográfico L.S, requerido para la ecuación universal de pérdida de suelos.

Tabla 2.6.3.3.- Cálculo de factor topográfico L.S

| Lote | L.S |
|------|-------|
| 1 | 12.07 |

2.6.4. Manejo del suelo (C)

Es el factor de uso y manejo del suelo. Es la relación entre la erosión de un suelo con un determinado sistema de uso y manejo y la que ocurre en el mismo suelo puesto en las condiciones estándar en las que se definió el factor K, a igualdad de los demás factores.

Los valores de este factor se obtienen de tablas elaboradas con distintos tipos de coberturas y cultivos.

En la tabla 2.6.4.1. se muestra una tabla con los valores recomendados para el factor C, publicada por Wischmeier & Smith (1978):

Tabla 2.6.4.1. Tabla de valores para el factor C: uso y manejo del suelo

| Cultivo y practica | Media anual del factor C |
|---|--------------------------|
| Suelo desnudo | 1.0 |
| Bosque o matorral denso (alto mulch) | 0.001 |
| Pradera herbacea en buenas condiciones | 0.01 |
| Pradera sobrepastoreada | 0.1 |
| Maiz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional | 0.20 – 0.55 |
| Maiz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional | 0.50 – 0.90 |
| Maiz, sorgo, bajo rendto., laboreo minimo | 0.02 – 0.10 |
| Maiz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel | 0.12 – 0.20 |
| Maiz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel | 0.30 – 0.45 |
| Algodón | 0.40 – 0.70 |
| Pradera herbacea | 0.01 – 0.025 |
| Soya | 0.20 – 0.50 |
| Trigo | 0.10 – 0.40 |
| Arroz | 0.10 – 0.20 |
| Cacahuate | 0.30 – 0.80 |
| Frutales con cobertura vegetal | 0.01 – 0.8 |
| Caña de azucar | 0.56 |
| Arbolado denso | 0,001-0,003 |
| Arbolado forestal clareado | 0,003-0,009 |
| Arbolado muy clareado (25-60%) | 0,041 |
| Matorral con buena cobertura | 0,003-0,013 |
| Matorral ralo y eriales | 0,20-0,013 |
| Cultivos anuales y herbáceos | 0,25 |
| Pasturas | 0,15 |
| Plantas herbáceas y matorjos (100%) | 0,003 |
| Plantas herbáceas y matorjos (60%) | 0,035 |
| Cubierta escasa (60%) | 0,15-0,09 |
| Cubierta inapreciable | 0,45 |

Para el presente informe se analizará la situación actual del área en estudio, esto implica catalogar al área en estudio como un suelo desnudo, sin tratamiento.

Según esto, tenemos que el valor del factor C es:

$$C = 1.0 \quad \dots (2.6.4.1)$$

2.6.5. Prácticas de conservación del suelo (P)

Es el factor mecánica de apoyo o factor que introduce el efecto de las prácticas de conservación de suelos, tales como cultivos en fajas, terrazas, etc. Es la relación entre la erosión que ocurre con una determinada práctica de conservación y la que ocurre con la condición estándar de laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores.

Los valores son obtenidos a partir de tablas, las cuales han sido elaboradas con los diferentes tipos de prácticas de conservación.

En la tabla 2.6.5.1, se muestran valores del factor P, propuestos por Wischmeier & Smith (1978):

Tabla 2.6.5.1. Valores para el factor P

| Pendiente (%) | Cultivo a nivel | Cultivo en fajas | Terrazas |
|-----------------------------|-----------------|------------------|----------|
| Valores del factor P | | | |
| 1-2 | 0.60 | 0.30 | 0.12 |
| 3-8 | 0.50 | 0.25 | 0.10 |
| 9-12 | 0.60 | 0.30 | 0.12 |
| 13-16 | 0.70 | 0.35 | 0.14 |
| 17-20 | 0.80 | 0.40 | 0.16 |
| 21-25 | 0.90 | 0.45 | 0.18 |

Considerando que para el presente informe, se analiza el área de estudio en su estado natural (sin prácticas de conservación de suelo), se establece lo siguiente:

$$P = 1.0 \quad \dots (2.6.5.1)$$

2.6.6. Estimación de la pérdida de suelo en el área en estudio

Para la estimación de la pérdida de suelo en el área en estudio, se empleará la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), mostrada en la expresión (2.6.1). Para ello, la tabla 2.6.6.1, muestra los valores de los parámetros obtenidos en los diferentes acápites del estudio sedimentos y que se emplearán en la USLE:

Tabla 2.6.6.1. Valores de los parámetros obtenidos para la zona en estudio

| Item | | Valor | Unidad |
|-------|---|-------|---|
| 2.6.1 | Erosividad (R) | 50.00 | $\frac{\text{pies} * t * \text{pulgada}}{\text{acre} * \text{hora} * \text{año}}$ |
| 2.6.2 | Erodabilidad (K) | 0.15 | $\frac{\text{hora}}{\text{pies} * \text{pulgada}}$ |
| 2.6.3 | Factor topográfico (LS) | 12.07 | Adimensional |
| 2.6.4 | Manejo del suelo (C) | 1.00 | Adimensional |
| 2.6.5 | Prácticas de conservación del suelo (P) | 1.00 | Adimensional |

Según esto, se aplica la expresión 2.6.1, para estimar el valor de A o tasa de pérdida de suelo:

$$A = (50.00) (0.15) (12.07) (1.00) (1.00) \dots (2.6.6.1)$$

Operando, se obtiene:

$$A = 90.53 \text{ t}(\text{acre} * \text{año}) \dots (2.6.6.2)$$

Haciendo la conversión al sistema internacional de unidades:

$$A = 40.38 \text{ t}(\text{Ha} * \text{año}) \dots (2.6.6.3)$$

III. DISEÑO DEL SISTEMA

DISEÑO DEL SISTEMA

La principal causa de los problemas en los taludes es la presencia del agua de la lluvia, la escorrentía y el agua subterránea, por lo tanto el manejo de las aguas es muy importante desde este punto de vista. La protección de la superficie del terreno generalmente se obtiene utilizando la vegetación como obra principal de estabilización y se debe tener especial cuidado en la selección del sistema de establecimiento de la cobertura vegetal y de las especies vegetales a establecer; Sin embargo, en ocasiones se requieren obras con materiales no orgánicos para complementar la protección con vegetación.

El planteamiento, diseño e implementación de las obras de control de erosión, requiere de un trabajo conjunto donde deben intervenir, geólogos y ambientalistas, forestales y expertos en vegetación nativa, además de los ingenieros civiles, hidrólogos, hidráulicos, y geotécnicos.

3.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El proyecto “Control de erosión en taludes con geosintéticos”, se encuentra ubicado en el campo de aplicación de Hidráulica. Como alternativas de solución se tiene el uso de vegetación, de geoweb, tejidos orgánicos (fibra de coco, fibra de yute, etc), de mantos sintéticos (TRM=manto para reforzamiento de césped, ECRM=manto revegetativo para el control de erosión), etc. Se plantea, como propuesta de solución el uso de mantos sintéticos para el control erosión, materia del presente informe.

Dado que el sistema de control de erosión posee como parte de la Ingeniería, la incorporación de una especie vegetal como solución biológica, la relación con los otros dos sistemas se basa en una relación de dependencia por el abastecimiento de agua, a fin de suplir la demanda hídrica del cultivo que se plantea como la parte biológica de la solución.

Según lo expuesto, los componentes físicos necesarios que se plantean como solución para el funcionamiento del sistema control de erosión, están mostrados en el gráfico 3.1.1.

Gráfico 3.1.1. Componentes del sistema hidráulico integral

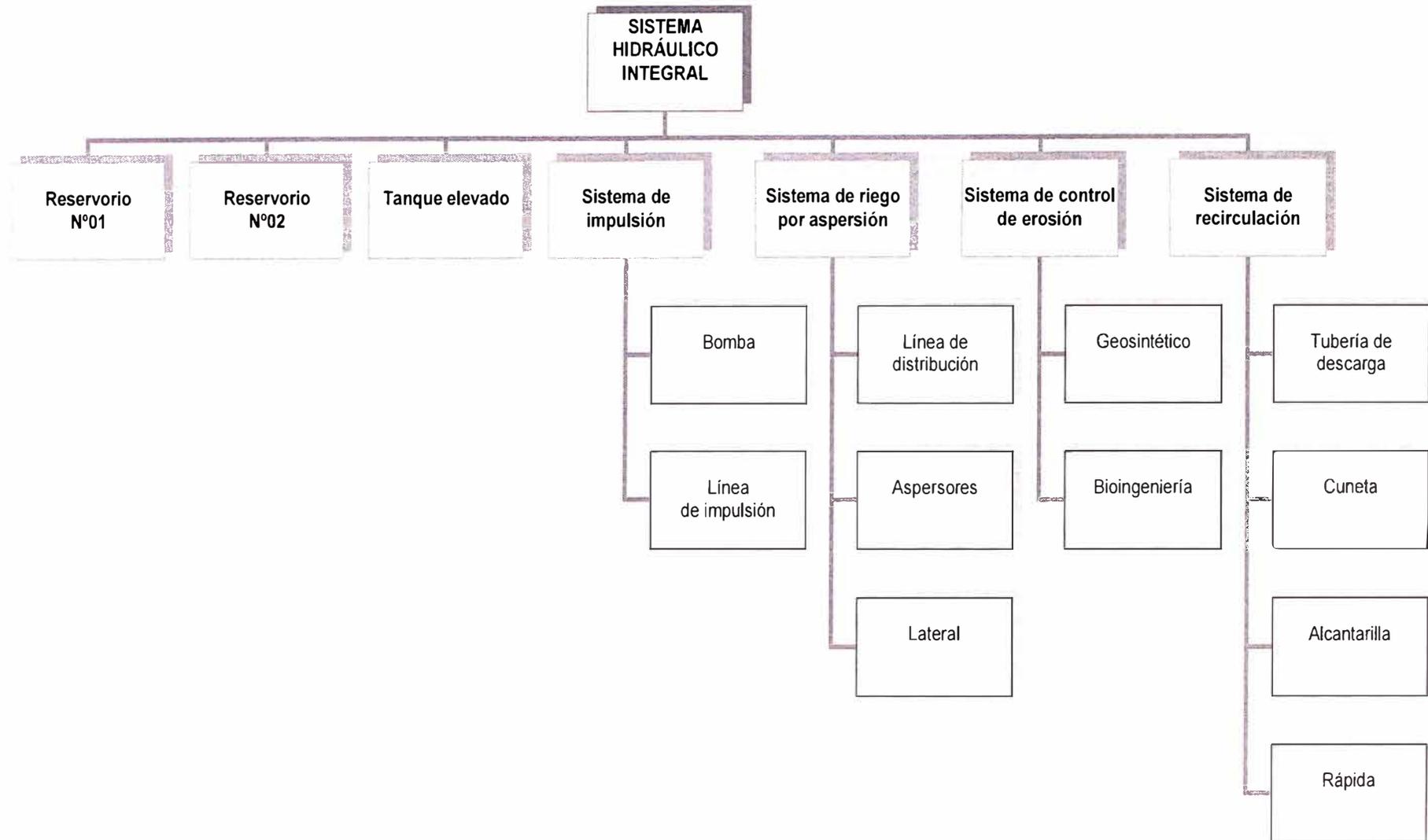
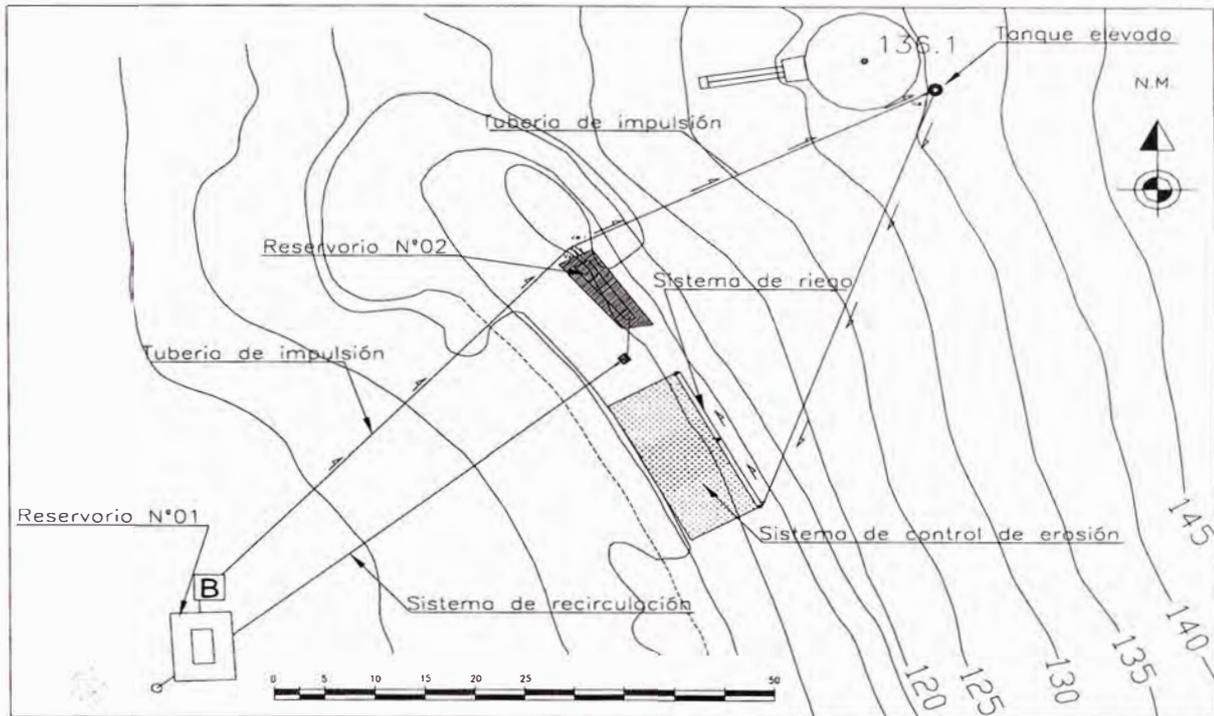


Gráfico 3.1.2. Componentes del sistema integral



A continuación se describe la Ingeniería conceptual de cada componente en base a el gráfico 3.1.1. y el gráfico 3.1.2:

Reservorio N°01

Ubicado en la cota 98 msnm. aproximadamente. De dimensiones medidas en su base de 5.00m x 8.00m, con un talud de H:V = 2:1 y de medidas en la parte superior de 9.00m x 12.00m. Excavada en tierra e impermeabilizada con una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE). Posee dos funciones:

- a) Ser el punto inicial de almacenamiento de agua para todo el sistema hidráulico, incluyendo el riego del cultivo que forma parte del sistema de control de erosión.
- b) Captar el agua de retorno proveniente de la descarga de la poza N°02 y de la escorrentía del sistema de control de erosión.

Reservorio N°02

Ubicado en la cota 114 msnm. aproximadamente. De dimensiones medidas en su base de 1.90m, 9.10m, 9.20m, 0.63m, con un talud de H:V = 1:1 y de medidas en la parte superior de 4.20m, 11.10m, 2.50m, y 11.20m. Excavada

en tierra e impermeabilizada con una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE). Posee dos funciones:

- a) Almacenar el agua proveniente de la poza N°01 y emplearla para el riego del cultivo en la parte baja del sistema de control de erosión.
- b) Almacenar agua para el futuro proyecto de ensayar el geoweb como revestimiento de canales contra la erosión.

Tanque elevado

Tanque de polietileno, con capacidad de 1,100 litros, ubicado en la cota 136 msnm. aproximadamente, junto al reservorio de concreto. Posee las siguientes funciones:

- a) Almacenar el agua proveniente del reservorio N°01 y emplearla para el riego del cultivo en la parte alta del sistema de control de erosión.
- b) Dotar de la carga hidráulica necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de riego por aspersion que se plantea usar para el riego del cultivo en la parte alta del sistema de control de erosión.

Sistema de riego

Está formado por los siguientes componentes:

- a) *Línea de distribución*: tubería flexible de polietileno. Su función es la de conducir el agua desde el tanque elevado hasta el punto de cota más alta del sistema de control de erosión, punto donde entrega el agua al lateral.
- b) *Lateral*: tubería flexible de polietileno. Su función es la de abastecer de agua a los aspersores, conduciendo el agua desde el punto de entrega de la línea de distribución hasta el punto más bajo de la parte superior del sistema de control de erosión. La dirección del flujo de agua debe estar a favor de la pendiente.
- c) *Aspersores*: en número de 3, son aspersores de baja de presión. Van ubicados en el trayecto del lateral. Deben poseer un sistema

que permita regular el área de riego. Asimismo debe colocarse una válvula entre el lateral y el aspersor a fin de poder establecer reglas de operación y mantenimiento de manera independiente por cada aspersor.

Sistema de impulsión

Está formado por los siguientes componentes:

- a) *Bomba eléctrica*: ubicada junto al reservorio N°01. Su función es la de entregar la potencia necesaria para impulsar el agua desde el reservorio N°01 hasta el tanque elevado. El diseño de la bomba debe considerar la carga estática entre los puntos mencionados así como la carga dinámica por pérdidas de energía por fricción y singularidades.
- b) *Línea de impulsión*: tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) de diámetros Ø 3" y Ø 2". Su función es la de conducir el agua desde el reservorio N°01 hacia el reservorio N°02 (HDPE Ø 3") y hacia el tanque elevado (HDPE Ø 2"). Para ello, debe instalarse, a la altura del reservorio N°02, una bifurcación con una válvula hacia el reservorio N°02 y con otra válvula en dirección hacia el tanque elevado a fin de poder establecer reglas de operación y mantenimiento de manera independiente.

Sistema de recirculación

Está formado por los siguientes componentes:

- a) *Tubería de descarga*: tubería de polietileno de alta densidad (HDPE). Su función es la conducir el agua de la poza N°02 y entregarla a la alcantarilla a chorro libre. Debe colocarse una válvula a la salida de la poza N°02.
- b) *Cuneta*: excavada en tierra, revestida con una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE), su eje corre por el lado interior

de la trocha carrozable, dentro de los límites del sistema de control de erosión. Sus funciones son:

- Captar y transportar el agua y sedimentos provenientes de la escorrentía del sistema de control de erosión hacia el cabezal ubicado aguas arriba de la alcantarilla.
- Permitir la de mediciones para la cuantificación de sedimentos generados en el sistema de control de erosión, para futuras investigaciones.

c) *Alcantarilla*: tubería de metal corrugado, enterrada por debajo de la trocha carrozable. Tiene por función conducir el agua entregada por la tubería 01 y la colectada por la cuneta, hacia el talud, entregándola aguas abajo, a chorro libre, sobre el canal de bajada o rápida, ubicada sobre el talud inferior.

d) *Rápida*: Canal de bajada, revestido con geoweb y material de relleno por definir en futuras investigaciones. Su función es la de conducir el agua desde la entrega a chorro libre a la salida de la alcantarilla, hasta la poza N°01.

Sistema de control de erosión

Está formado por los siguientes componentes:

- a) *Geosintético*: geomantas para el control de erosión. Se emplean 3 tipos de geomantas, cada una de un proveedor diferente. Se propone trabajar con un área típica por geomanta de 7.00 m x 10.00 m a lo largo del talud. Los productos que se plantea usar son: Macmat® (Macafferri), NAG SC-150 (North American Green) y Ecomatrix® (Amanco).
- b) *Bioingeniería*: el cultivo o especie vegetal a emplear para el control de erosión, conjuntamente con recursos necesarios para su normal desarrollo. Se plantea emplear la gramínea tropical Braquiaria Brizantha conjuntamente con tierra vegetal para dar el soporte al medio biológico.

3.1.1. SISTEMA DE RIEGO

Parte del diseño de sistema de riego se establece la necesidad saber la necesidad de la especie vegetal esto es de elaborar un diseño agronómico. Teniendo en consideración la necesidad hídrica se elabora el diseño hidráulico del sistema.

DISEÑO AGRONÓMICO

- **Evapotranspiración**

En esta etapa se establece las necesidades de riego, para lo cual se hace el cálculo de la evapotranspiración, en nuestro diseño su valor es de:

$$ET_{0(\text{evapotranspiración})} = 4 \text{ mm / día}$$

- **Frecuencia de riego.**

La frecuencia de riego se determina de acuerdo a la necesidad de riego de la vegetación, de la estación del año, las condiciones de la zona, etc. La especie de cultivo *Brachiaria Brizantha* empleada en este estudio, según recomendaciones de un especialista agrónomo, esa frecuencia es diaria y en periodos de 25 minutos por día. Durante el periodo de seis meses para el establecimiento de la especie de cultivo.

- **Marco de los aspersores**

Un aspersor es un dispositivo mecánico que en la mayoría de los casos transforma un flujo líquido presurizado y lo transforma en rocío, asperjándolo para fines de riego. Los aspersores se calculan en la mayoría de los casos para minutos de trabajo, en los cuales, deberá haber trabajado con los dos siguientes factores:

- El gasto hidráulico medido en litros por segundo (l/s)
- El área a afectar con humedad medida en m².

Estos dos factores arrojarán la unidad de "lamina de riego" que se mide en milímetros inundados.

El área a humedecer:

$$\text{Área} = 14.27 \times 11 = 157 \text{ m}^2$$

La lámina de agua necesaria es:

$$ET_0 \text{ (evapotranspiración)} = 4 \text{ mm / día}$$

El volumen de almacenamiento requerida por día:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= 157 \text{ m}^2 \times 0.004 \text{ m / día} \\ &= 0.630 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

El volumen de almacenamiento requerida es de 630 litros al día.

La frecuencia de riego que se plantea para facilidad de monitoreo y control es de 25 minutos por día. Luego el caudal que va descargarse desde el tanque elevado es de:

$$\text{Caudal (Q)} = \frac{630 \text{ l}}{25 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.42 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{Q = 0.42 \text{ l/s}}$$

A su vez, si el terreno tiene pendiente, el agua de escorrentía puede provocar la erosión y pérdida tanto de suelo como de los nutrientes que se encuentran en las capas más superficiales. Esto se logra evitar con el uso de mantas que evitan que la lluvia inducida realice este efecto.

DISEÑO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA RIEGO

El sistema de riego se compone de una línea de riego, el cual alimentará a tres aspersores. Como condición del problema en la demanda hídrica, se plantea un caudal de abastecimiento determinado en el acápite anterior. En este capítulo se debe determinar la carga hidráulica del tanque elevado, así como asegurar la presión de funcionamiento de los aspersores.

El sistema es el de un tanque elevado que alimenta a tres aspersores, según el siguiente esquema:

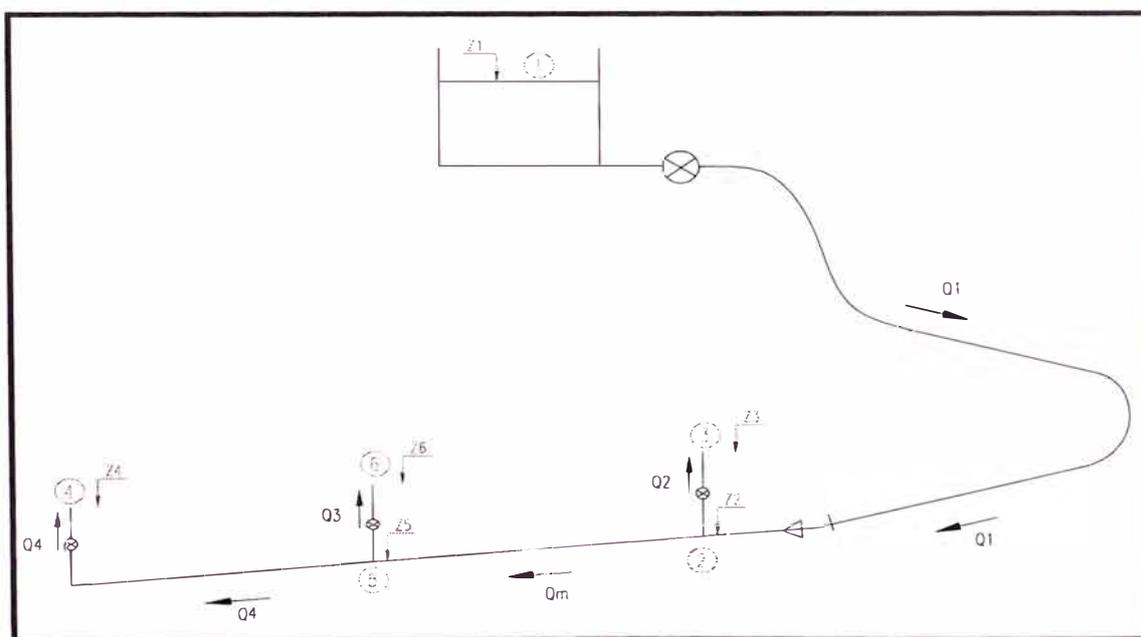


Figura 3.1.1.1. Esquema del sistema de riego por aspersión.

Para facilidad en el cálculo establecemos nuestro sistema de coordenadas en la cota más baja del terreno, con lo cual tenemos:

Cotas de los puntos en el sistema:

| | | | |
|------------------|-------|---|---------|
| Cota del punto 1 | Z_1 | = | 19.80 m |
| Cota del punto 2 | Z_2 | = | 1.00m |
| Cota del punto 3 | Z_3 | = | 1.70m |
| Cota del punto 4 | Z_4 | = | 0.70m |
| Cota del punto 5 | Z_5 | = | 0.80m |
| Cota del punto 6 | Z_6 | = | 1.50m |

Diámetros de los conductos:

| | | | |
|---|-------|---|-------|
| Diámetro entre el punto 1 y la reducción de 1" a 3/4" | D_1 | = | 1" |
| Diámetro entre la reducción y el punto 2 | D_2 | = | 3/4" |
| Diámetro de la boquilla del aspersor | d | = | 3 mm. |
| Diámetro en el resto del sistema | D_2 | = | 3/4" |

Longitud de los conductos:

| | | | |
|--|-------|---|--------|
| Longitud entre el punto 1 y la reducción | L_1 | = | 50.00m |
| Longitud entre la reducción y el punto 2 | L_2 | = | 6.00m |
| Longitud entre el punto 2 y 5 | L_3 | = | 9.00m |
| Longitud entre el punto 2 y 3 | L_4 | = | 0.70m |
| Longitud entre el punto 5 y 4 | L_5 | = | 9.70m |
| Longitud entre el punto 5 y 6 | L_6 | = | 0.70m |

Coefficientes de pérdida de carga local (Tuberías y canales, A. Rocha):

| | |
|----------------------------------|-------|
| K_1 (entrada borde agudo) | =0.50 |
| k_2 (válvula de compuerta) | =0.19 |
| k_3 (codo de 90°) | =1.80 |
| k_4 (contracción de 1" a 3/4") | =0.25 |
| k_5 (válvula de compuerta) | =0.19 |
| k_6 (salida borde agudo) | =0.50 |

Coefficientes de Darcy:

| | |
|-------|--------|
| f_1 | =0.026 |
| f_2 | =0.024 |

Peso específico del agua:

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

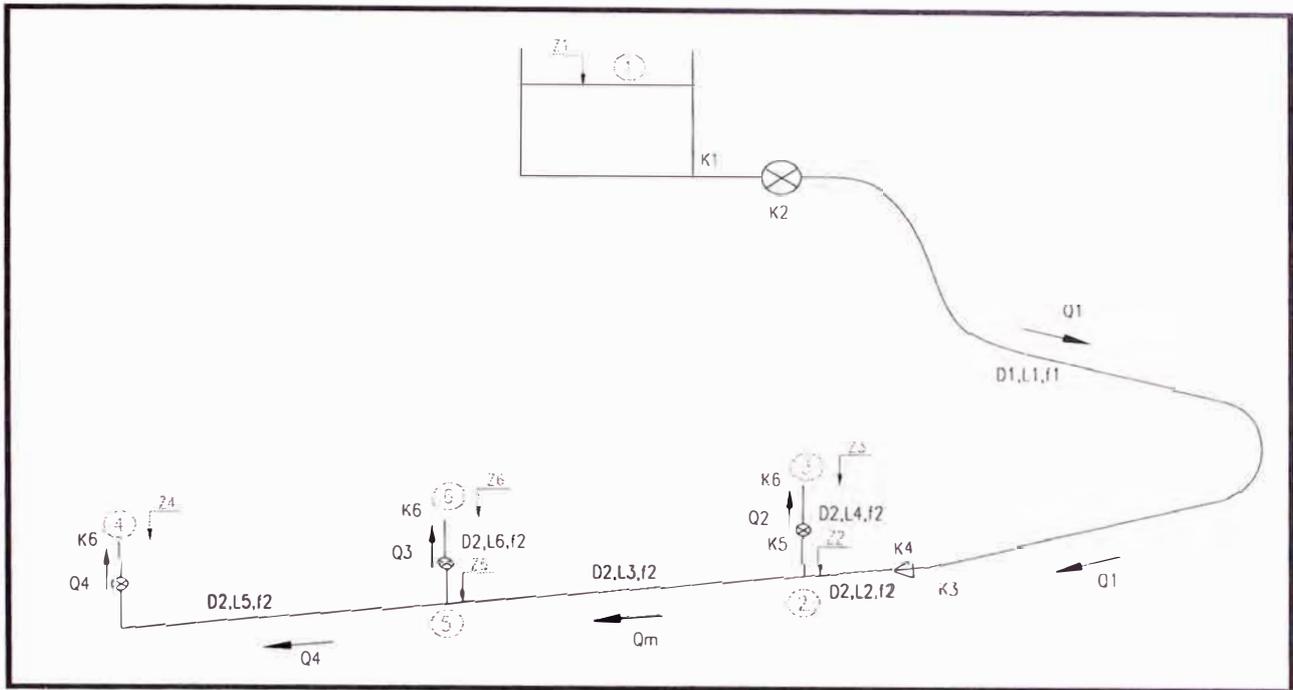


Figura 3.1.1.2. Esquema del sistema.

a) Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2 de la red se tiene:

$$E_1 = E_2 + \Delta E_{1-2} \quad \dots \text{ (Ec. 3.1)}$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + 0.0827 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5} \cdot Q_1^2 +$$

$$+ 0.0827 \cdot \frac{K_1}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_4}{D_2^4} \cdot Q_1^2$$

Se tiene que la presión y la velocidad en el punto 1 es cero:

$$Z_1 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + 0.0827 \cdot \frac{1}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5} \cdot Q_1^2 +$$

$$+ 0.0827 \cdot \frac{K_1}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_1^4} \cdot Q_1^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_4}{D_2^4} \cdot Q_1^2$$

Asignado terminos y agrupando se tiene:

$$Z_1 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + (A + A' + B + C + D + E + F) \cdot Q_1^2$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{Z_1 - Z_2 - \frac{P_2}{\gamma}}{A + A' + B + C + D + E + F}} \quad \dots \text{ (Ec. 3.2)}$$

Esta ecuación establece el caudal que circula entre los puntos 1 y 2, donde el término desconocido es el de la presión P_2

Donde las constantes se expresan en los términos siguientes:

$$A = 0.0827 \cdot \frac{1}{D_1^4}$$

$$A' = 0.0827 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5}$$

$$B = 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5}$$

$$C = 0.0827 \cdot \frac{K_1}{D_1^4}$$

$$D = 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_1^4}$$

$$E = 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_1^4}$$

$$F = 0.0827 \cdot \frac{K_4}{D_2^4}$$

b) **Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 2 y 3 de la red se tiene:**

$$E_2 = E_3 + \Delta E_{2-3} \quad \dots \text{ (Ec. 3.3)}$$

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_4}{D_2^5} \cdot Q_2^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_5}{D_2^4} \cdot Q_2^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} \cdot Q_2^2$$

Se tiene que la presión a la salida en la boquilla del aspersor ó punto 3 es cero:

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4} \cdot Q_2^2 = Z_3 + 0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} \cdot Q_2^2 + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_4}{D_2^5} \cdot Q_2^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_5}{D_2^4} \cdot Q_2^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} \cdot Q_2^2$$

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} - Z_3 = (0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_4}{D_2^5} + 0.0827 \cdot \frac{K_5}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} - 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}) \cdot Q_2^2$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} - Z_3}{0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_4}{D_2^5} + 0.0827 \cdot \frac{K_5}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} - 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}}}$$

Asignado términos y agrupando se tiene:

$$Q_2 = \sqrt{\frac{Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} - Z_3}{A + B + C + D - E}} \quad \dots \text{ (Ec. 3.4)}$$

Esta ecuación establece el caudal que circula entre los puntos 2 y 3, donde el término desconocido es el de la presión P_2

Donde las constantes se expresan en los términos siguientes:

$$A = 0.0827 \cdot \frac{1}{d^4}$$

$$B = 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_4}{D_2^5}$$

$$C = 0.0827 \cdot \frac{K_5}{D_2^4}$$

$$D = 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4}$$

$$E = 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}$$

c) **Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 2 y 5 de la red se tiene:**

$$E_2 = E_5 + \Delta E_{2-5} \quad \dots \text{ (Ec. 3.5)}$$

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2 \cdot g} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_3}{D_2^5} \cdot Q_m^2$$

Se tiene que la las velocidades en un mismo diámetro son iguales:

$$\frac{P_5}{\gamma} = Z_2 - Z_5 + \frac{P_2}{\gamma} - 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_3}{D_2^5} \cdot Q_m^2 \quad \dots \text{ (Ec. 3.6)}$$

Esta ecuación establece el caudal que circula entre los puntos 5 y 6, donde el término desconocido es el de la presión P_2 .

d) **Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 5 y 4 de la red se tiene:**

$$E_5 = E_4 + \Delta E_{5-4} \quad \dots \text{ (Ec. 3.7)}$$

$$Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2 \cdot g} = Z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2 \cdot g} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_5}{D_2^5} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_2^4} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} \cdot Q_4^2$$

Se tiene que la presión a la salida en la boquilla del aspersor ó punto 4 es cero:

$$Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4} \cdot Q_4^2 = Z_4 + 0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_5}{D_2^5} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_2^4} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} \cdot Q_4^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} \cdot Q_4^2$$

$$Z_5 - Z_4 + \frac{P_5}{\gamma} = (0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_5}{D_2^5} + 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} - 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}) \cdot Q_4^2$$

$$Q_4 = \sqrt{\frac{Z_5 - Z_4 + \frac{P_5}{\gamma}}{0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_5}{D_2^5} + 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} - 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}}}$$

Asignado términos y agrupando se tiene:

$$Q_4 = \sqrt{\frac{Z_5 - Z_4 + \frac{P_5}{\gamma}}{A + B + C + D + E - F}} \quad \dots \text{ (Ec. 3.8)}$$

Esta ecuación establece el caudal que circula entre los puntos 5 y 4, donde el término desconocido es el de la presión P_5

Donde las constantes se expresan en los términos siguientes:

$$A = 0.0827 \cdot \frac{1}{d^4}$$

$$B = 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_5}{D_2^5}$$

$$C = 0.0827 \cdot \frac{K_3}{D_2^4}$$

$$D = 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4}$$

$$E = 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4}$$

$$F = 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}$$

e) **Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 5 y 6 de la red se tiene:**

$$E_5 = E_6 + \Delta E_{5-6} \quad \dots \text{ (Ec. 3.9)}$$

$$Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2 \cdot g} = Z_6 + \frac{P_6}{\gamma} + \frac{V_6^2}{2 \cdot g} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_6}{D_2^5} \cdot Q_3^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} \cdot Q_3^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} \cdot Q_3^2$$

Se tiene que la presión a la salida en la boquilla del aspersor ó punto 6 es cero:

$$Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4} \cdot Q_3^2 = Z_6 + 0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} \cdot Q_3^2 + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_6}{D_2^5} \cdot Q_3^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} \cdot Q_3^2 + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} \cdot Q_3^2$$

$$Z_5 - Z_6 + \frac{P_5}{\gamma} = (0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_6}{D_2^5} + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} - 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}) \cdot Q_3^2$$

$$Q_3 = \sqrt{\frac{Z_5 - Z_6 + \frac{P_5}{\gamma}}{0.0827 \cdot \frac{1}{d^4} + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_6}{D_2^5} + 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4} + 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4} - 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}}}$$

Asignado términos y agrupando se tiene:

$$Q_3 = \sqrt{\frac{Z_5 - Z_6 + \frac{P_5}{\gamma}}{A + B + C + D - E}} \quad \dots \text{ (Ec. 3.10)}$$

Esta ecuación establece el caudal que circula entre los puntos 5 y 6, donde el término desconocido es el de la presión P_5

Donde las constantes se expresan en los términos siguientes:

$$A = 0.0827 \cdot \frac{1}{d^4}$$

$$B = 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_6}{D_2^5}$$

$$C = 0.0827 \cdot \frac{K_2}{D_2^4}$$

$$D = 0.0827 \cdot \frac{K_6}{d^4}$$

$$E = 0.0827 \cdot \frac{1}{D_2^4}$$

Procedimiento:

- I. Para poder evaluar las ecuaciones 3.2, 3.4, y 3.6, se estima un valor de la presión P_2 , y se obtiene el término de la presión P_5 , Q_1 , y Q_2 .
- II. Una vez conocido el valor de P_5 se evalúan las ecuaciones 3.8, 3.10, y se obtiene el caudal Q_3 y Q_4 .
- III. Para hacer converger la estimación del paso (I) se debe comprobar que el caudal que ingresa al tramo 2-5, es decir la diferencia entre $Q_1 - Q_2$, debe ser igual al que sale $Q_3 + Q_4$.

IV. El proceso es iterativo con lo cual se tabulan y se grafica la presión P_2/γ y para encontrar una convergencia de la condición del paso (III).

CAUDAL Q1 (m³/s)

| CAUDAL | A (s ² m ⁻⁵) | A' (s ² m ⁻⁵) | B (s ² m ⁻⁵) | C (s ² m ⁻⁵) | D (s ² m ⁻⁵) | E (s ² m ⁻⁵) | F (s ² m ⁻⁵) |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Q1 | 10,169,047.57 | 4,746,714.40 | 99,343.77 | 37,750.63 | 357,637.58 | 156,987.69 | 198,687.54 |

CAUDAL Q2 (m³/s)

| CAUDAL | A (s ² m ⁻⁵) | B (s ² m ⁻⁵) | C (s ² m ⁻⁵) | D (s ² m ⁻⁵) | E (s ² m ⁻⁵) |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Q2 | 551,103,706.79 | 553,783.35 | 119,310.64 | 275,551,853.39 | 198,687.54 |

CAUDAL Q3 (m³/s)

| CAUDAL | A (s ² m ⁻⁵) | B (s ² m ⁻⁵) | C (s ² m ⁻⁵) | D (s ² m ⁻⁵) | E (s ² m ⁻⁵) |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Q3 | 551,103,706.79 | 553,783.35 | 119,310.64 | 275,551,853.39 | 627,950.76 |

CAUDAL Q4 (m³/s)

| CAUDAL | A (s ² m ⁻⁵) | B (s ² m ⁻⁵) | C (s ² m ⁻⁵) | D (s ² m ⁻⁵) | E (s ² m ⁻⁵) | F (s ² m ⁻⁵) |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Q4 | 551,103,706.79 | 7,673,854.94 | 1,130,311.37 | 119,310.64 | 275,551,853.39 | 627,950.76 |

ITERANDO

| P ₂ /γ (m) | Q1-Q2 | | | P ₂ /γ (m) | Q3+Q4 | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|----------|
| | Q1 (l/s) | Q2 (l/s) | Qm (l/s) | | Q3 (l/s) | Q4 (l/s) | Qm (l/s) |
| 16.03 | 0.42 | 0.14 | 0.280 | 16.47 | 0.14 | 0.14 | 0.280 |

Durante el proceso se verifica que el caudal en el tramo 2-5 converge a 0.28 l/s, para una presión P_2/γ de 16.03 m. Esto se verifica con el diagrama en el anexo B.

El caudal de ingreso se controla con la altura del tanque elevado, el cual proporciona la carga hidráulica al sistema. Siendo su valor de 0.42 l/s.

El caudal en cada uno de los tres aspersores se comprueba que es el mismo e igual a la tercera parte del caudal que ingresa, siendo su valor de 0.14 l/s.

El diseño hidráulico de aspersión se concluye que es un sistema de conducto filtrable (Hidráulica de tuberías y canales, Arturo Rocha, Lima 1981).

Se dice que un conducto es filtrable a lo largo de su recorrido pierde parte del gasto que transporta. Es el caso de una tubería que da servicio y que cada cierta distancia tiene una toma (salida de agua). En nuestro caso es una tubería de agua potable que a lo largo de una línea da servicio a cada aspersor.

3.1.2 SISTEMA DE IMPULSIÓN

El sistema de impulsión se concibe como un sistema conformado por una bomba eléctrica de 1.5HP, y una tubería flexible de material de polietileno de alta densidad. Según las condiciones de la topografía y configuración del sistema se resuelve el cálculo de la altura dinámica según el procedimiento siguiente:

Cotas de niveles de agua:

| | | |
|----------------------------------|---|--------------|
| Cota de reservorio N°1 (Z_1) | : | 98 m.s.n.m. |
| Cota de reservorio N°2 (Z_2) | : | 114 m.s.n.m. |
| Cota de tanque elevado (Z_3) | : | 136 m.s.n.m. |

Longitud de tuberías:

| | | |
|----------------------------|---|-------|
| Longitud tubería (L_1) | : | 60 m. |
| (Tramo punto 1 → punto 2) | | |
| Longitud tubería (L_2) | : | 47 m. |
| (Tramo punto 2 → punto 3) | | |

Diametro de tuberías:

| | | |
|---------------------------|---|---------|
| Tubería (D_1) | : | 3 pulg. |
| (Tramo punto 1 → punto 2) | | |
| Tubería (D_2) | : | 2 pulg. |
| (tramo punto 2 → punto 3) | | |

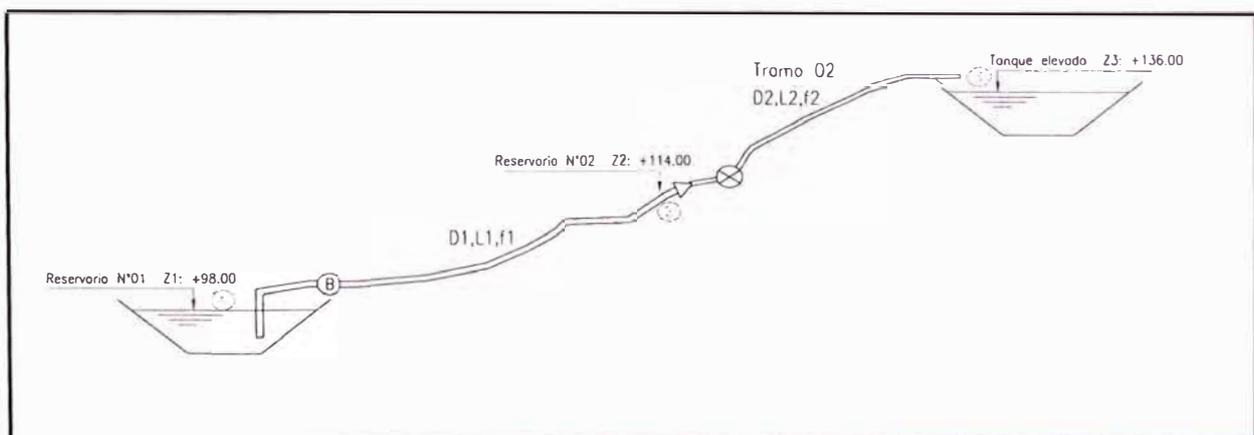


Figura 3.1.2.1.: esquema del sistema de bombeo

I) La potencia real de la bomba en HP se expresa:

$$\text{Potencia} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot \Delta E}{76 \cdot \eta} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.11)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|------------|
| Peso específico del agua (kg/m ³) | : | γ |
| Caudal de impulsión (m ³ /s) | : | Q |
| Altura dinámica total (m) | : | ΔE |
| Eficiencia de la bomba | : | η |

II) Según el esquema del sistema de bombeo, calculamos la carga hidráulica necesaria para el primer tramo de la tubería de bombeo:

Altura geométrica:

$$\begin{aligned} Z_2 - Z_1 &= 114 - 98 = 16 \text{ m} \\ Z_2 - Z_1 &= 16 \text{ m} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.12)} \end{aligned}$$

Perdida de carga por fricción:

$$0.0827 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} \cdot Q^2 \quad \dots \text{ (Ec.: 3.13)}$$

Perdidas de carga locales:

$$0.0827 \cdot \sum k_{1-2} \cdot \frac{Q^2}{D_1^4} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.14)}$$

La Carga hidráulica para el primer tramo se obtiene de la suma de las tres ecuaciones anteriores:

$$Z_2 - Z_1 + 0.0827 \cdot f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} \cdot Q^2 + 0.0827 \cdot \sum k_{1-2} \cdot \frac{Q^2}{D_1^4} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.15)}$$

- III) Según el esquema del sistema de bombeo, calculamos la carga hidráulica necesaria para el segundo tramo del sistema de bombeo:

Altura geométrica:

$$\begin{aligned} Z_3 - Z_2 &= 136 - 114 = 22 \text{ m} \\ Z_3 - Z_2 &= 22 \text{ m} \end{aligned} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.16)}$$

Perdida de carga por fricción:

$$0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5} \cdot Q^2 \quad \dots \text{ (Ec.: 3.17)}$$

Perdidas de carga locales:

$$0.0827 \cdot \sum k_{2-3} \cdot \frac{Q^2}{D_2^4} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.18)}$$

La Carga hidráulica se obtiene de la suma de las tres ecuaciones anteriores:

$$Z_3 - Z_2 + 0.0827 \cdot f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5} \cdot Q^2 + 0.0827 \cdot \sum k_{2-3} \cdot \frac{Q^2}{D_2^4} \quad \dots \text{ (Ec.: 3.19)}$$

- IV) La carga de impulsión de la bomba es la suma de lo necesario en cada tramo de la tubería de impulsión. Se obtiene sumando las ecuaciones 3.15 y 3.19.

$$\Delta E = Z_3 - Z_1 + 0.0827 \cdot \left[f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} + f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5} \right] \cdot Q^2 + 0.0827 \cdot \left[\frac{\sum k_{1-2}}{D_1^4} + \frac{\sum k_{2-3}}{D_2^4} \right] \cdot Q^2$$

... (Ec.: 3.20)

- V) Empleando las ecuaciones 3.11 y 3.20, obtenemos la potencia real de la bomba:

$$\text{Pot} = \frac{\gamma \cdot Q}{76 \cdot \eta} \cdot \left[Z_3 - Z_1 + 0.0827 \cdot \left(f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} + f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2^5} + \frac{\sum k_{1-2}}{D_1^4} + \frac{\sum k_{2-3}}{D_2^4} \right) \cdot Q^2 \right]$$

... (Ec.: 3.21)

VI) Determinación de la carga dinámica total de la bomba:

Características de la bomba a emplear:

| | | |
|--------------------------|-----------|------------------------|
| Potencia de la Bomba | Potencia: | 1.5 HP |
| peso específico del agua | γ | 1000 Kg/m ³ |
| Eficiencia de la bomba | η_b | 0.85 % |

Datos del primer tramo de la tubería de impulsión:

| | | |
|------------------------------------|------|----------|
| Cota del punto de inicio de bombeo | Z1 | 98 msnm |
| Longitud | L1 | 60 m |
| Diametro de la tubería | D1 | 0.0762 m |
| Coefficiente de pérdida local | | |
| $k_{1(\text{codo de } 90^\circ)}$ | 1.80 | |

$$\sum k_{1-2}$$

1.80

Datos del segundo tramo de la tubería de impulsión:

| | | |
|--------------------------------------|------|----------|
| Cota del punto de final de bombeo | Z3 | 136 msnm |
| Longitud | L2 | 47 m |
| Diametro de la tubería | D2 | 0.0508 m |
| Coefficiente de pérdida local | | |
| $k_{2(\text{contracción})}$ | 0.25 | |
| $k_{3(\text{valvula de compuerta})}$ | 0.19 | |
| $k_{4(\text{codo de } 90^\circ)}$ | 1.80 | |
| $k_{5(\text{salida borde agudo})}$ | 0.50 | |

$$\sum k_{2-3}$$

2.74

Evaluando valores del caudal según la ecuación 3.21, para hacer converger ésta ecuación hasta obtener el valor de la potencia a emplear, en nuestro caso es de 1.5 HP.

| | | | | | | | $\Delta E = \frac{\text{Potencia} \cdot 76 \cdot \eta}{\gamma \cdot Q}$ | |
|----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|---|--------------------------------------|
| Primer tramo | | | | Segundo tramo | | | Potencia (HP) | Altura dinámica total ΔE (m) |
| Caudal Q (l/s) | Velocidad (m/s) | Re | f1 | Velocidad (m/s) | Re | f2 | | |
| 2.40 | 0.53 | 40102.07 | 0.0226 | 1.18 | 60153.10 | 0.0204 | 1.48 | 39.82 |
| 2.41 | 0.53 | 40269.16 | 0.0226 | 1.19 | 60403.74 | 0.0204 | 1.49 | 39.84 |
| 2.42 | 0.53 | 40436.25 | 0.0226 | 1.19 | 60654.38 | 0.0204 | 1.49 | 39.85 |
| 2.43 | 0.53 | 40603.34 | 0.0225 | 1.20 | 60905.01 | 0.0204 | 1.50 | 39.87 |
| 2.44 | 0.54 | 40770.43 | 0.0225 | 1.20 | 61155.65 | 0.0203 | 1.51 | 39.88 |
| 2.45 | 0.54 | 40937.53 | 0.0225 | 1.21 | 61406.29 | 0.0203 | 1.51 | 39.89 |
| 2.46 | 0.54 | 41104.62 | 0.0225 | 1.21 | 61656.93 | 0.0203 | 1.52 | 39.91 |
| 2.47 | 0.54 | 41271.71 | 0.0225 | 1.22 | 61907.57 | 0.0203 | 1.53 | 39.92 |

Tabla 3.1.2.1 Evaluación de la altura dinámica de bombeo

De la tabla se concluye que la altura dinámica de impulsión de la bomba es de 39.87 m. El caudal de bombeo es de 2.43 l/s.

3.1.3 SISTEMA DE RETORNO

Determinaremos la ubería de retorno desde el reservorio N°2 hacia el reservorio N°1, para lo cual consideraremos el uso de una tubería de HDPE. Consideraremos el siguiente esquema:

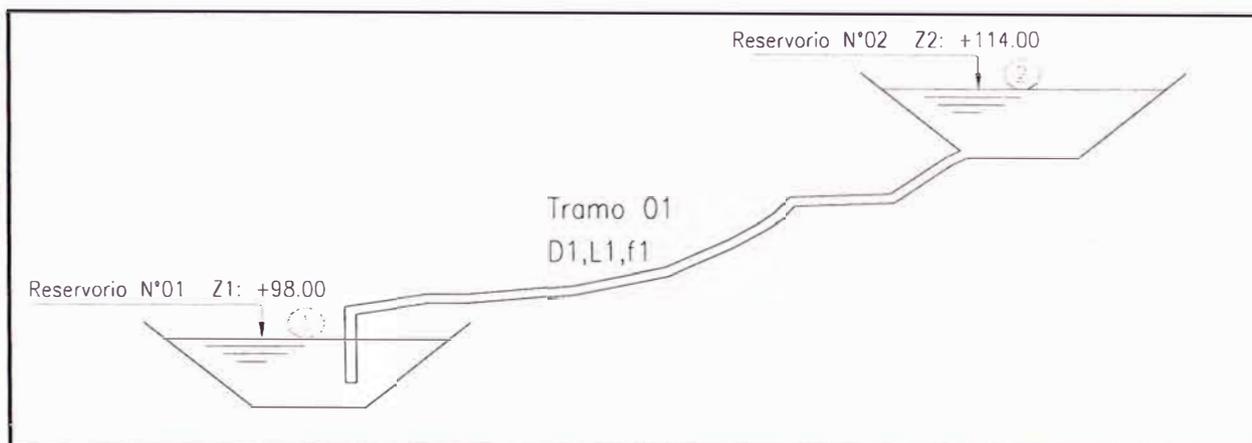


Figura 3.1.3.1.: esquema del sistema de retorno

Características de los reservorios a conectar:

Cotas de niveles de agua:

| | | |
|----------------------------------|---|--------------|
| Cota de reservorio N°1 (Z_1) | : | 98 m.s.n.m. |
| Cota de reservorio N°2 (Z_2) | : | 114 m.s.n.m. |

Longitud de tuberías:

| | | |
|----------------------------|---|-------|
| Longitud tubería (L_1) | : | 60 m. |
| (Tramo punto 1 → punto 2) | | |

Diámetro de tuberías:

| | | |
|---------------------------|---|---------|
| Tubería (D_1) | : | 3 pulg. |
| (Tramo punto 1 → punto 2) | | |

- a) Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2 de la red se tiene:
(considerando despreciables las pérdidas de carga locales)

$$E_1 = E_2 + \Delta E_{1-2} \quad \dots \text{(Ec. 3.22)}$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g} - 0.0827.f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} \cdot Q_1^2 \quad \dots \text{(Ec. 3.23)}$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{Z_2 - Z_1}{(0.0827 \frac{1}{D_1^4} + 0.0827.f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1^5} .)}} \quad \dots \text{(Ec. 3.24)}$$

Empleando la ecuación 3.24, evaluamos la tubería de retorno del sistema.

| Q1 (m ³ /s) | f1 (Estimado) | A (m ²) | V (m/s) | Re (Nro. reynolds) | f1 (Comprobado) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|
| 0.0083 | 0.0150 | 0.0020 | 4.0936 | 207954.5069 | 0.0150 |

Con el procedimiento antes descrito se determina el caudal de va circular por la tubería de retorno de diámetro de Ø 2", siendo su valor de 8.3 l/s

3.1.4 DISEÑO DE CUNETETA

En el presente informe se ha considerado el uso de una cuneta a pie de talud, su concepción surge de la necesidad para futuras investigaciones y que va a tener la funcionalidad de recolectar los sedimentos, para cuantificación efectiva del control de erosión. Se considera una sección tipo:

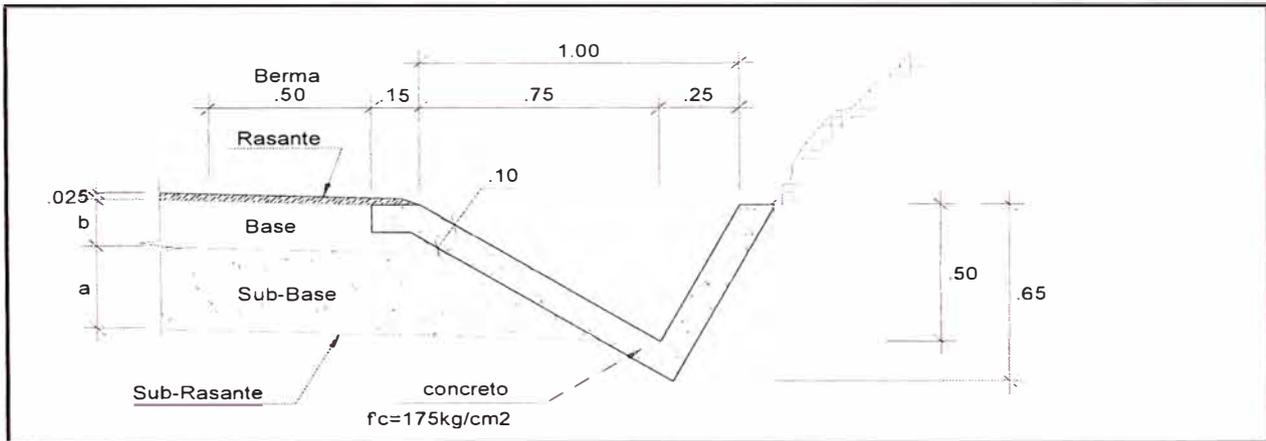


Figura 3.1.4.1.: sección de transversal de cuneta.

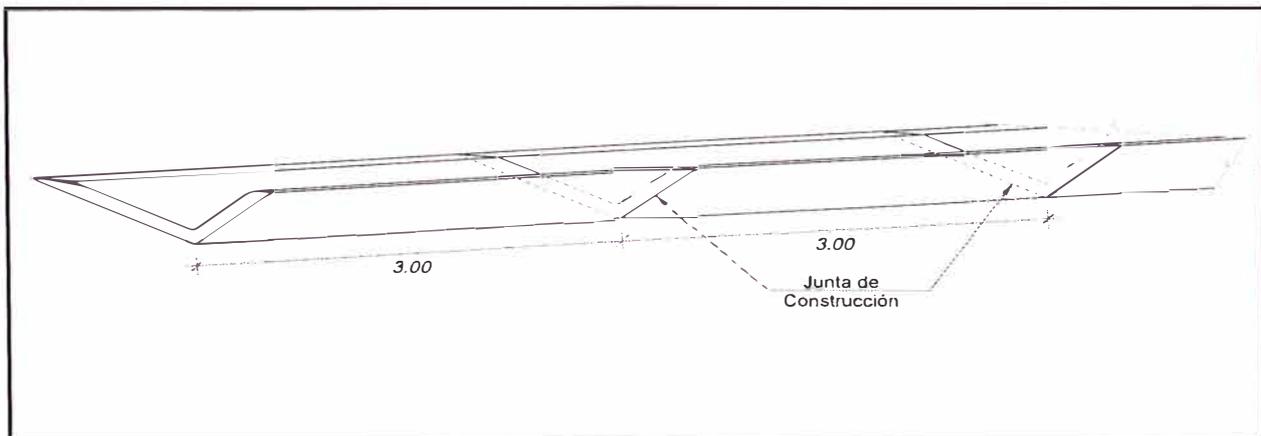


Figura 3.1.4.2.: Vista isométrica de cuneta.

El calculo y diseño de la cuneta ver en Anexo D.

3.2 DISEÑO DE ALTERNATIVA ELEGIDA

Para verificar la funcionalidad de la Geomanta se analizará su resistencia al deslizamiento, rotura, y funcionalidad de la zanja de anclaje.

3.2.1. ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTO DE SUELO DE COBERTURA

En algunos casos, será necesario colocar una capa de suelo sobre el talud, en estas aplicaciones será necesario analizar la estabilidad de la capa superficial de suelo al deslizamiento, para esta condición se analizará el deslizamiento del suelo.

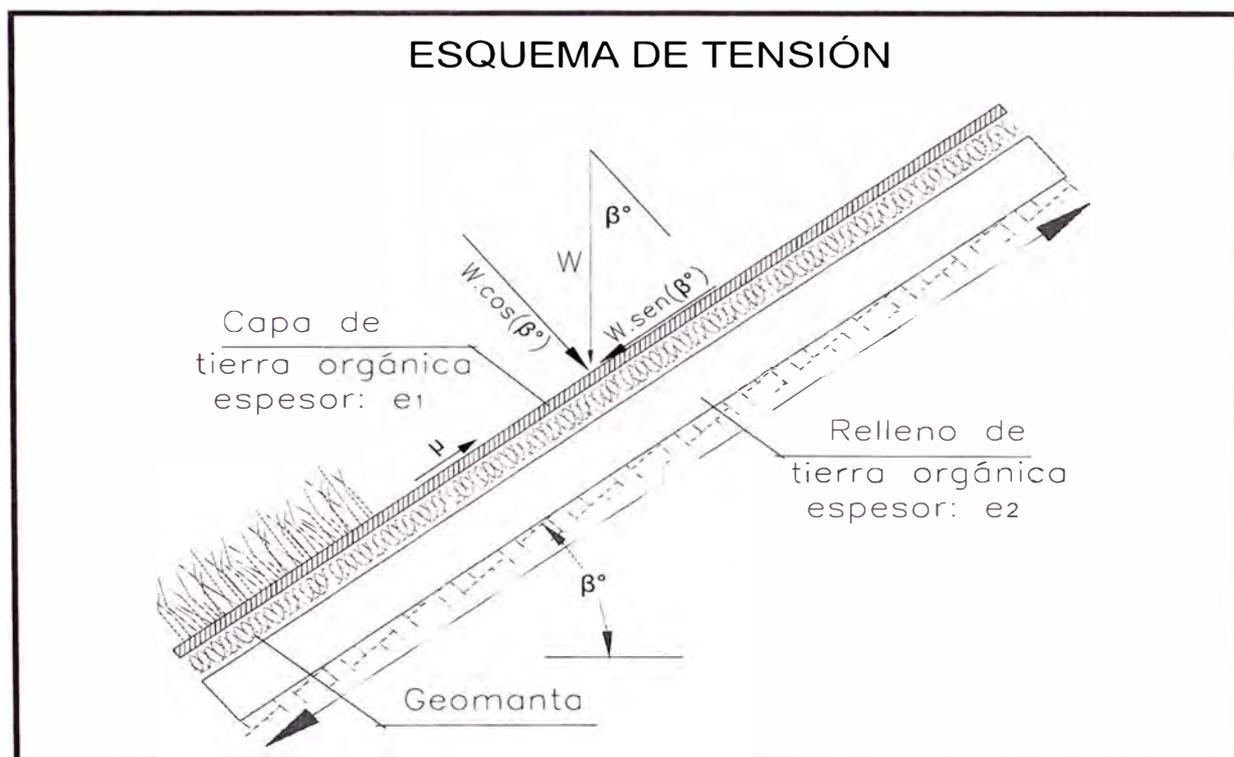


Figura 3.2.1.1: Esquema de fuerzas actuantes con suelo de cobertura.

Donde:

| | | |
|--|---|--|
| Espesor de la capa superior (m) | : | e_1 |
| Peso específico de la tierra orgánica (Kg/m ³) | : | γ_o |
| Longitud del talud (m) | : | L_o |
| Peso de la capa de tierra orgánica (Kg) | : | $W_1 = \gamma_o \times e_1 \times L_o$ |
| Angulo del talud (grados) | : | β |

De la figura 3.2.1.1 se obtiene:

Componente tangencial del peso de tierra orgánica sobre la geomanta o fuerza actuante sobre la geomanta:

$$F_A = W_1 \times \text{sen}(\beta)$$

$$F_A = (\gamma_O \times e_1 \times L_O) \times \text{sen}(\beta) \quad \dots \text{ (Ec.: 3.25)}$$

Fuerza de fricción entre la geomanta y la tierra orgánica o fuerza resistente de la geomanta:

$$F_R = \mu \times W_1 \times \text{cos}(\beta)$$

$$F_R = \mu \times (\gamma_O \times e_1 \times L_O) \times \text{cos}(\beta) \quad \dots \text{ (Ec.: 3.26)}$$

Se debe cumplir que factor de seguridad al deslizamiento en la zona de contacto entre la manta y la cobertura de tierra debajo de ésta, en este caso sea mayor a la unidad:

$$FS_{\text{Deslizamiento}} = \frac{F_R}{F_A} > 1 \quad \dots \text{ (Ec.: 3.27)}$$

3.2.2. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA ROTURA

La manta en su parte mas alta estará sujeta al mayor esfuerzo a la tensión actuante por el peso del material encima de la manta y/o el peso propio del manto.

Resistencia a la tracción longitudinal (kg/m) : R_T
 (Según especificaciones del fabricante)

Fuerza actuante sobre la geomanta (kg/m) : F_A

Se debe cumplir que factor de seguridad a la rotura en la parte alta del talud sea mayor a la unidad:

$$FS_{\text{Rotura}} = \frac{R_T}{F_A} > 1 \quad \dots \text{ (Ec.: 3.28)}$$

3.2.3. ANÁLISIS DE LA ZANJA DE ANCLAJE

La verificación de la zanja de anclaje es para una configuración típica mostrado en la figura 3.2.1.2., del cual tiene como función el de fijar en la parte superior el manto para asegurar el procedimiento de en la instalación y además el de dar el soporte a la cobertura de refuerzo.

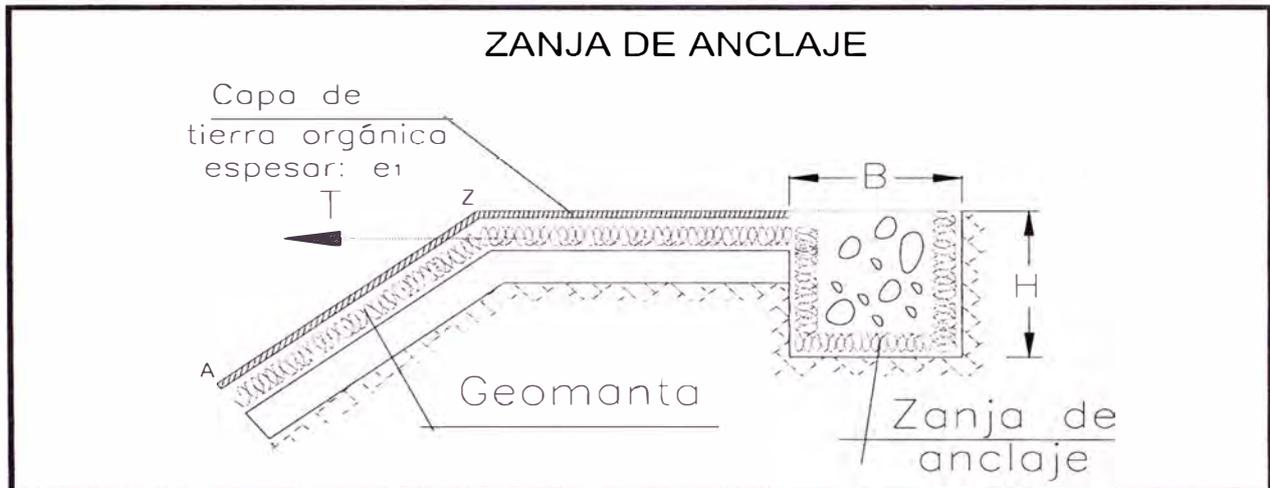


Figura 3.2.1.2: Esquema de fuerzas actuantes en la zanja de anclaje.

La tensión que soporta la zanja de anclaje es la suma de la componente de la fricción que genera y de la componente de cohesión del suelo de relleno. El material de relleno de la zanja de anclaje es del mismo material del suelo del talud.

De la figura 3.2.1.2 se obtiene:

Tensión que soporta la zanja de anclaje:

$$T = (\gamma_s \times H \times \tan[\varphi_s]) \times B + c_s \times (B + 2 \times H) \quad \dots(\text{Ec.: 3.29})$$

Donde:

| | | |
|--|---|-------------|
| Peso específico del suelo de la zanja (Kg/m ³) | : | γ_s |
| Base de la zanja de anclaje (m) | : | B |
| Altura de la zanja de anclaje (m) | : | H |
| Angulo de fricción del suelo de la zanja (°) | : | φ_s |
| Cohesión del suelo de la zanja | : | c_s |

La fuerza actuante que soporta la zanja de anclaje está dada por la Geomanta y la capa de tierra orgánica:

$$F_{A-Z} = (W_1 + W_2) \times \text{sen}(\beta) \quad \dots \text{ (Ec.: 3.30)}$$

Donde:

| | | |
|---|---|--|
| Peso de la capa de tierra orgánica (Kg) | : | $W_1 = \gamma_0 \times e_1 \times L_0$ |
| Peso de la manta (Kg) | : | $W_2 = G_G \times L_0$ |
| Gramaje de la geomanta (m) | : | G_G |
| Peso específico del suelo de relleno (Kg/m ³) | : | γ_0 |
| Longitud del talud (m) | : | L_0 |
| Angulo del talud (grados) | : | β |

Se debe cumplir que factor de seguridad de la resistencia de la zanja de anclaje al esfuerzo de de tensión creada por el peso en conjunto de materia encima de la manta y/o la manta sea mayor a la unidad:

$$FS_{\text{Zanja de anclaje}} = \frac{T}{F_{A-Z}} > 1 \quad \dots \text{ (Ec.: 3.31)}$$

Las propiedades físicas de cada manto según especificaciones:

| Características | GEOMANTA | | |
|---|----------|------------|-----------|
| | MACMAT L | NAG SC 150 | ECOMATRIX |
| peso específico (ton/m ³) | 905.00 | 34.50 | 57.87 |
| Gramaje (ton/m ³) | 520.00 | 424.00 | 69.44 |
| espesor nominal (m) | 0.0100 | 0.0086 | 0.0012 |
| Resistencia a la tracción longitudinal (kg/m) | 305.81 | 417.94 | 28.54 |

Para evaluar las características de servicio de las geomantas, y con el uso de una hoja de cálculo (ver Anexo C) se determinan los factores de seguridad de cada manto. Para cada caso en particular se consideran las recomendaciones de anclaje y de siembra para un mejor comportamiento del manto:

| Factor de seguridad | GEOMANTA | | |
|---------------------------|----------|------------|-----------|
| | MACMAT L | NAG SC 150 | ECOMATRIX |
| FS al deslizamiento | 1.04 | No aplica | No aplica |
| FS a la rotura | 1.46 | No aplica | No aplica |
| FS de la zanja de anclaje | 1.09 | 11.21 | 159.94 |

Al evaluar el factor de seguridad al deslizamiento se tiene que en el caso de la geomanta MacMat L, en comparación a los otros dos geomantas se obtiene un factor de seguridad, esto debido a que aplica una capa de tierra orgánica de espesor 2cm., el cual es el elemento que se desliza.

En los casos de la geomanta NAG SC 150, y del ECOMATRIX el factor de seguridad a la rotura no se aplica por cuanto no es necesario aplicar una capa superior de tierra orgánica, esto según especificaciones de fabrica.

3.2.4 GEOMANTA MACMAT

El diseño de coberturas de control de erosión del tipo TRMs (Turf Reinforcement Mats, "Redes de refuerzo de césped"), corresponden a las geomantas. Los TRMs, que en conjunto con la vegetación, plantean una solución al control de erosión.

El MacMat L, consisten en redes tridimensionales fabricadas con redes, monofilamentos o fibras de polipropileno que son fundidas aleatoriamente para crear un manto resistente y estable. Poseen un espesor y un porcentaje de vacíos que permite el relleno y retención de suelo, y el desarrollo de las raíces de las plantas en su matriz. Son típicamente instalados desenrollándolos en la superficie de suelo para luego ser anclado con estacas y finalmente son rellenados de suelo fino, el cual puede contener semillas.



Figura 3.2.4.1.: Detalle del MacMat L.

Su función principal es generar un elemento continuo entre el suelo y el pasto, evitando que la energía del flujo remueva el pasto a través del anclaje de las raíces con la geomanta.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

- En taludes el aspecto geotécnico es lo primero a evaluar. Es necesario realizar un diseño geotécnico antes de proyectar una solución al control de erosión.
- Varias técnicas de vegetación se pueden utilizar con este sistema, por ejemplo, estacas vivas, capas de ramas, transplante de arbustos, estolones y semillas. Además se pueden usar técnicas de esparcido de suelo y semillas, e hidrosiembra.
- Dependiendo de las técnicas de vegetación y de las especies a sembrar, la siembra se realiza antes, durante o después de la colocación de la geomanta.
- El éxito final de la instalación de la geomanta, radica en el buen establecimiento de la vegetación, por lo tanto una buena cobertura vegetal es un factor importante. Por esta razón se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:
 - El suelo que yace debajo y en la estructura del MacMat L debe tener óptimas condiciones para el establecimiento vegetal.
 - La elección de la especie vegetal depende de las condiciones de suelo, clima y uso del suelo. Es bastante recomendable utilizar especies nativas.
 - El uso de fertilizantes y bioestimulantes puede resultar bastante beneficioso.
 - Verificar el esfuerzo de tensión actuante en la geomanta.

DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA GEOMANTA

Para determinar la longitud de la geomanta se debe de considerar la longitud de retiro de la zanja de anclaje de la cumbre del talud, así como también el desarrollo de la manta en el interior de la zanja de anclaje.

En este caso según el anexo C, la zanja de anclaje necesaria para soportar el manto al momento de su instalación en el talud, y es de 0.45m. x 0.50m.

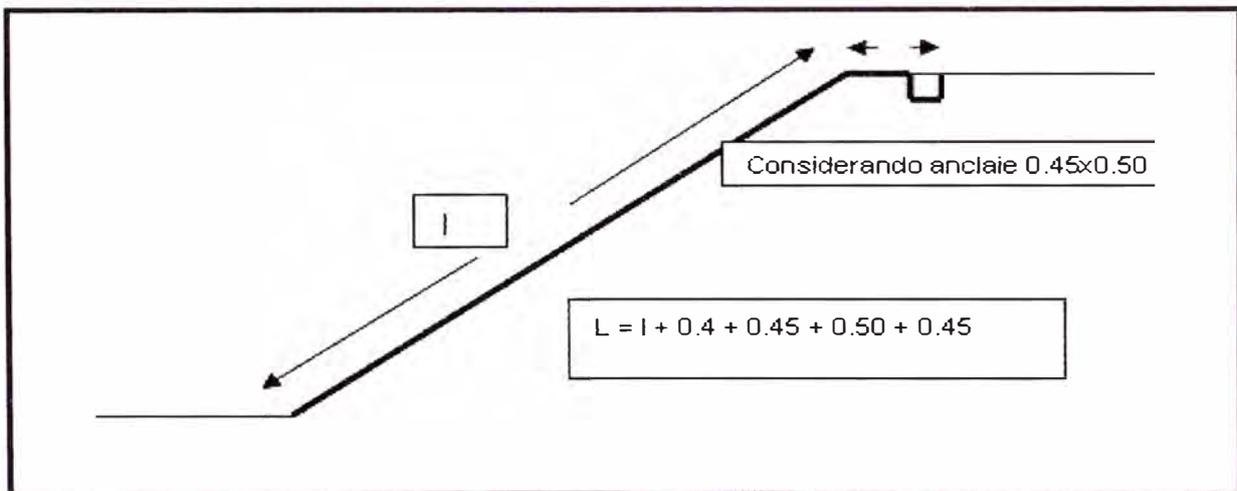


Figura 3.2.4.1.: Determinación de la longitud de manta.

Según la figura 3.2.4.1. se determina la longitud de la manta:

$$L_o = 11 + 0.50 + (0.45 \times 2 + 0.5) = 12.9 \text{ m.}$$

SELECCIONANDO EL TIPO DE MACMAT

Un factor a tener en cuenta para la selección del tipo de manta, se consideran dos factores, el factor de germinación el cual dependerá de las condiciones de precipitación locales, y el factor de inclinación considera la configuración topográfica del talud.

Según Enkamat Desing Guide, Colbond geosynthetics, 2004, Holanda:

| | | |
|--|---|-------|
| Factor de germinación de la vegetación | : | F_g |
| Factor de inclinación del talud | : | F_i |

Donde:

➤ **El factor de germinación de la especie vegetal F_g :**

$F_g = 1$ por expectativa de lluvia suficiente.

$F_g = 2$ si la expectativa es menor o la temperatura es menor de 10°C .

$F_g = 3$ si no se conoce si habrá agua suficiente.

➤ **El factor de pendiente del talud F_i :**

$F_i = 1$ por pendiente V: H \leq 1:3

$F_i = 2$ por pendiente V: H = 1:2.5

$F_i = 3$ por pendiente V: H = 1:2

$F_i = 4$ por pendiente V: H = 1:1.5

$F_i = 5$ por pendiente V: H \geq 1:1

En nuestro caso según estudio de hidrológico de la zona la precipitación anual media es de 9mm (ver capítulo 2.4) con lo cual la expectativa agua es escasa un factor conservador de germinación $F_g = 3$. Y según el estudio topográfico en el talud (ver capítulo 2.1), se tiene un talud de considera un factor de pendiente en el talud es de (V: H = 1:1.48 (aprox. 1:1.5), por lo que se considera un $F_i = 4$.

$$F_g + F_i = 3 + 4 = 7$$

DEFINIMOS EL TIPO DE MANTA:

Se define el tipo de manta, caracteriza el espesor de la manta MacMat:

$$F_g + F_i > 7 \rightarrow \text{Macmat S (espesor 20 mm)}$$

$$F_g + F_i \leq 7 \rightarrow \text{Macmat L (espesor 10 mm)}$$

→ usaremos el MacMat L

3.2.5 GEOMANTA NAG SC 150

La manta para el control de la erosión con una matriz de 70 % paja agrícola y 30% fibra de coco y una longevidad funcional de hasta 24 meses. Es una manta de espesor consistente con la paja y la fibra de coco distribuidas uniformemente sobre toda la superficie de la misma.

Esta manta esta cubierta por encima con un entrelazado de polipropileno fotodegradable, contiene aditivos contra la luz ultravioleta para retardar su rompimiento y con un tamaño de malla aproximado de 1.59cm x 1.59cm y por debajo con un entrelazado de polipropileno fotodegradable, liviano con un tamaño de malla aproximado de 1.27cm x 1.27cm. Es una manta cosida cada 3.81cm de puntada a puntada, con hilo degradable.

Contenido del Material

La manta SC150 para el control de la erosión tiene las propiedades siguientes:

Matriz:

- 70 % Fibra de Paja (0.19 kg/m²)
- 30 % Fibra de Coco (0.08 kg/m²)

Entrelazado:

- De arriba, pesado, fotodegradable con aditivos contra la luz UV (Peso aproximado 1.47 kg/100 m²)
- De abajo, liviano, fotodegradable (Peso aproximado mínimo del entrelazado 0.73 kg/100m²)

Hilo:

- Degradable



Figura 3.2.5.1. Manta SC150 para el control de la erosión

Tabla 3.2.5. Especificaciones técnicas de la geomanta NAG SC 150.

| Propiedad | Método de Prueba | Típico |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Espesor | ASTM D5199 | 8.64 mm |
| Elasticidad | Pautas de la ECTC | 75% |
| Masa/Unidad de Area | ASTM D6475 | 388 g/m ² |
| Absorción de Agua | ASTM D1117/ECTC | 200% |
| Hinchamiento | Pautas de la ECTC | 30% |
| Rigidez/Flexibilidad | ASTM D1388/ECTC | 12,397 mg-cm |
| Penetración de la Luz | Pautas de la ECTC | 11.70% |
| Res. al Fuego sin Llamas | Pautas de la ECTC | Sí** |
| Resistencia a la Tensión, MD | ASTM D5035 | 4.10 kN/m |
| Elongación, MD | ASTM D5035 | 28.00% |
| Resistencia a la Tensión, TD | ASTM D5035 | 2.22 kN/m |
| Elongación, TD | ASTM D5035 | 23.10% |

** El material es resistente al fuego sin llamas de acuerdo a la prueba que se especifica.

MD - En la dirección de la máquina

TD - En la dirección transversal

ECTC - Consejo de Tecnología de Control de Erosión (traducción)

3.2.6 ECOMATRIX

Es una malla de polipropileno de alta resistencia que protege la superficie del suelo de la erosión producida por eventos naturales como lluvias y vientos, ofreciendo a su vez sombrero parcial y almacenamiento de calor para así favorecer el desarrollo de la vegetación. Diseñada para mantener las semillas y el suelo orgánico en su lugar hasta que la vegetación crezca.

El Ecomatrix es una geomanta, integrada por cintas naturales o sintéticas, tejidas dentro de una matriz bidimensional.

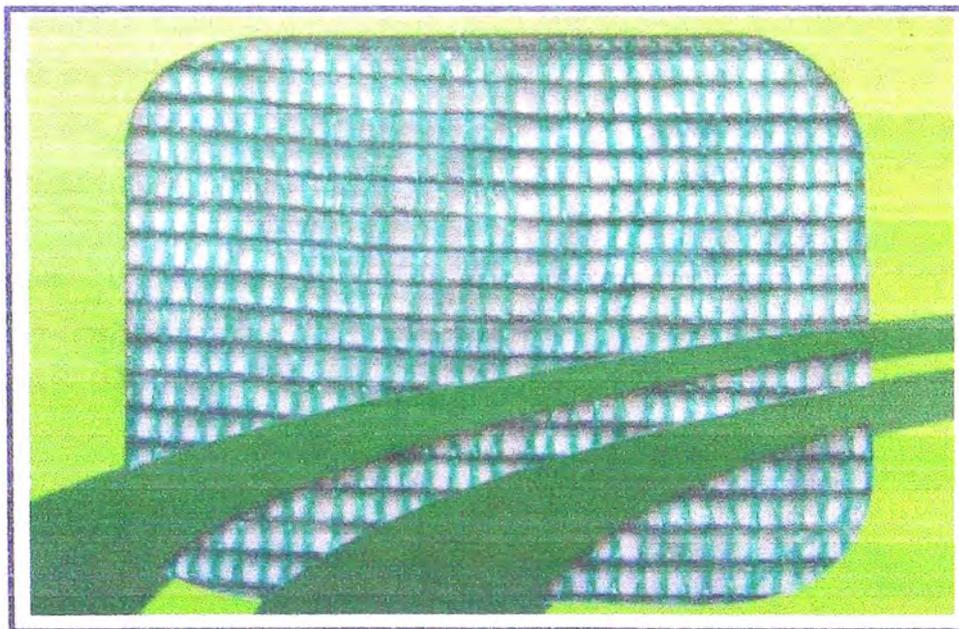


Figura 3.2.6.1. Manto para control de erosión Ecomatrix

Tiene una matriz dimensionalmente estable, tejiendo filas perpendiculares de cintas recubiertas de fibras multifilamento y cintas solas.

El proceso de fotodegradación diferencial, empieza por la descomposición de la cinta, seguido por los hilos multifilamentos: a medida que la fotodegradación progresa, las fibras se van descomponiendo en segmentos cada vez más pequeños, los cuales se incorporan al suelo volviéndose parte de éste.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El manto de tejido abierto Ecomatrix no absorbe agua y cuando trabaja en condiciones saturadas mantiene una alta resistencia y estabilidad dimensional.

Si se protegen de la degradación por radiación ultravioleta (UV), los rollos de Ecomatrix pueden almacenarse a la intemperie sin miedo de que absorban humedad y de una consecuente pérdida de resistencia debido a un posible proceso de putrefacción (como sí ocurre con los productos naturales).

Este tipo de malla tejida permite un crecimiento no inhibido de especies de plantas leñosas, gracias al desplazamiento relativo entre las fibras y las cintas. A medida que la fotodegradación progresa, comienza el surgimiento de plantas cada vez más grandes, que pueden pasar a través de la malla sin estar apretadas.

Este material brinda una alternativa efectiva por su costo en relación con los textiles para bioingeniería contruidos a partir de fibras naturales tales como madera, coco, o fique.

Tabla 3.2.6.1. Especificaciones técnicas de la geomanta ECOMATRIX

| Características | Método de Ensayo | Valor Típico |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Resistencia a la Tensión en (N) | ASTM D – 4632 | *280 / 120 |
| Elongación a la Rotura % | ASTM D – 4632 | *140 / 60 |
| Tamaño de la Apertura (mm) | Medido | 2 x 5 |
| Absorción de la Humedad % | ASTM D – 570 | 0.01 |

Valores para las direcciones de Urdimbre (Longitudinal) y Trama (Transversal) bajo condición seca o saturada.
 • L / T Longitudinal / Transversal

Tabla 3.2.6.1. Características del rollo de la geomanta ECOMATRIX

| Características del Rollo | |
|----------------------------------|---------------------|
| Tamaño del Rollo | 300 x 3.84 m |
| Area del Rollo | 1152 m ² |
| Peso del Rollo | 80 Kg + |

3.3 PROGRAMACIÓN Y COSTOS

En este capítulo se elabora la programación y costos que conlleva plantear un sistema de control de erosión.

3.3.1. PROGRAMACIÓN

Para un desempeño eficiente de la propuesta de control de erosión se debe de planificar la toma de datos de campo para establecer primeramente los estudios básicos que servirán de datos de entrada en el planteamiento de la solución en la etapa de diseño.

Así como también el tiempo en la elaboración del diseño y sus mejoras en el tiempo.

PROYECTO: CONTROL DE EROSIÓN EN TALUDES CON GEOSINTÉTICOS

PROPIETARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

CONTRATISTA: GRUPO N° 01 - CONTROL DE EROSIÓN

CRONOGRAMA REPROGRAMADO

| ACTIVIDADES | FEBRERO | | | MARZO | | | | ABRIL | | | | MAYO | | | | JUNIO | | TOTAL |
|-----------------------|---------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|----|-------|
| | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | |
| Ingeniería Básica | | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | | | | | | 1.0 |
| Diseño | | | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | | | | | 1.0 |
| Trazo y Replanteo | | | | | 0.33 | 0.33 | | | | | | | | 0.33 | | | | 1.0 |
| Movimiento de Tierras | | | | | 0.5 | | | | | | | | | 0.5 | | | | 1.0 |
| Ingeniería Biotécnica | | | | | | | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | | | 1.0 |
| Sistema de Riego | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1.0 |

3.3.2 COSTOS

Se ha presupuestado el costo del sistema de control de erosión. Para ello la geomanta será medida en metros cuadrados contabilizados de las secciones indicadas en los planos. Esto excluye los traslapes cosidos que se producen en la etapa de construcción.

En el presupuesto se ha incluido el costo de los materiales, equipo, mano de obra, herramientas e imprevistos necesarios para su culminación.

Se hace un ejemplo de evaluación del precio de tres materiales geosintéticos para compararlos y establecer un solución económica, el cual debe de cumplir con las exigencias mecánicas y de durabilidad que se determine en la fase diseño.

| Costo del material | GEOMANTA | | |
|--|----------|------------|-----------|
| | MACMAT L | NAG SC 150 | ECOMATRIX |
| costo por m2 (S/.) (no incluye IGV) | S/. 9.48 | S/. 2.78 | S/. 1.58 |

Tabla 3.3.2.1. Costo por metro cuadrado de geomanta.

De la tabla 3.3.2.1 se puede concluir que el costo del material mas económico es del Ecomatrix, y el más elevado es el MacMat L.

Esto es importante cuando se debe revegetar grandes áreas de talud, donde los costos a escala son muy importantes al momento de tomar una decisión, con esto se debe de entender que no solo se trata de plantear una solución técnica sino que debe de ser económicamente realizable si se desea plantear soluciones de grandes áreas en taludes.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PROYECTO: CONTROL DE EROSIÓN EN TALUDES CON GEOSINTÉTICOS
PROPIETARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
CONTRATISTA: GRUPO N° 01 - CONTROL DE EROSIÓN

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND. | METRADO | P.U. (S/.) | PARCIAL (S/.) | SUB-TOTAL (S/.) |
|--------------|--|------|---------|----------------|-------------------|---------------------|
| 1.0.0 | INGENIERÍA BÁSICA | | | | | 273.09 |
| 1.1.0 | Ensayos de Suelos | | | | | |
| 1.1.1 | Ensayo de Corte Directo y Densidad | glb | 1.00 | 110.92 | 110.92 | |
| 1.1.2 | Ensayo de Penetración Liviana (DPL) | glb | 1.00 | 25.36 | 25.36 | |
| 1.1.3 | Excavación de Calicatas | glb | 1.00 | 25.21 | 25.21 | |
| 1.1.4 | Análisis de Fertilidad de Suelo | glb | 1.00 | 26.89 | 26.89 | |
| 1.2.0 | Ensayos Agronómicos | | | | | |
| 1.2.1 | Ensayo de Estructuración | glb | 1.00 | 18.82 | 18.82 | |
| 1.2.2 | Ensayo de Fertilidad | glb | 1.00 | 18.82 | 18.82 | |
| 1.2.3 | Ensayo de Peso Específico de tierra de chacra | glb | 1.00 | 47.06 | 47.06 | |
| 2.0.0 | DISEÑO | | | | | 320.00 |
| 2.1.0 | Experimentación y gastos de asesoría | glb | 1.00 | 320.00 | 320.00 | |
| 3.0.0 | TRAZO Y REPLANTEO | | | | | 58.13 |
| 3.1.0 | Traza de parcelas y zanjas de anclaje | m2 | 217.00 | 0.21 | 45.95 | |
| 3.2.0 | Traza de líneas de distribución y retorno | ml | 230.00 | 0.05 | 12.18 | |
| 4.0.0 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | 58.44 |
| 4.1.0 | Excavación de zanjas de anclaje | m3 | 1.90 | 15.13 | 28.74 | |
| 4.2.0 | Perfilado de talud en parcelas | m2 | 235.60 | 0.13 | 29.70 | |
| 5.0.0 | INGENIERÍA BIOTÉCNICA | | | | | 2,376.88 |
| 5.1.0 | Tierra de chacra (puesta en obra) | m3 | 22.00 | 33.61 | 739.50 | |
| 5.2.0 | Compost | kg | 307.00 | 0.19 | 59.34 | |
| 5.3.0 | Semilla gramínea: Brachiaria Brizantha - Marandu | kg | 4.07 | 40.34 | 164.17 | |
| 5.4.0 | Geomanta MacMat L | m2 | 71.60 | 9.48 | 678.77 | |
| 5.5.0 | Biomanta NAG SC-150 | m2 | 68.50 | 2.78 | 190.48 | |
| 5.6.0 | Geomanta Ecomatrix | m2 | 95.50 | 1.58 | 150.89 | |
| 5.7.0 | Estacas | und | 780.00 | 0.29 | 229.41 | |
| 5.8.0 | Colocación de tierra de chacra (incluye compost) | m2 | 235.60 | 0.34 | 79.19 | |
| 5.9.0 | Colocación de semilla | m2 | 235.60 | 0.08 | 17.82 | |
| 5.10.0 | Colocación de manta geosintética | m2 | 235.60 | 0.29 | 67.31 | |
| 6.0.0 | SISTEMA DE RIEGO | | | | | 690.00 |
| 6.1.0 | Tanque de polietileno 1,100 lt. (inc. instalación) | und | 1.00 | 395.80 | 395.80 | |
| 6.2.0 | Distribución de agua y riego por aspersión (incluye instalación) | glb | 1.00 | 294.20 | 294.20 | |
| | COSTO DIRECTO TOTAL | | | | | S/ 3,776.54 |
| | GASTOS GENERALES | | 18% | | | S/ 687.33 |
| | SUB-TOTAL | | | | | S/ 4,463.87 |
| | IGV | | | | | S/ 848.14 |
| | TOTAL | | | | | S/ 5,312.00 |

El presupuesto presentado es el estimado del costo que se necesita para la ejecución del ensayo hecho en el cerro de la UNI. El área de intervención con material para el control de erosión es de 235.60 m², siendo el costo directo del presupuesto para la instalación completa del sistema es de S/. 3776.54.

Y mediante una división se estima el costo por metro cuadrado del talud revegetado con solución de geomanta:

$$\text{Costo unitario} \quad : \quad \frac{S/ 3776.54}{235.60 \text{ m}^2} = 16.03 \frac{\text{soles}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Costo unitario} \quad : \quad 16.03 \frac{\text{soles}}{\text{m}^2}$$

Debemos tener en cuenta que el presupuesto es estimando las tres soluciones de geomantas en el talud de 235m².

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Del presente informe se concluye lo siguiente:

1. Los suelos superficiales de los taludes se deben proteger de la erosión que provoca la acción del aire y de la lluvia, nuestro país tiene una diversidad de climas y condiciones topográficas, el buen criterio técnico y económico del diseñador será la solución al problema de erosión.
2. La especie vegetal que se plantea, el uso de la gramínea *Brachiaria Brizantha* como solución de cobertura vegetal, se escoge, por su adaptabilidad a las regiones de la costa peruana.
3. En la propuesta de control de erosión con geomantas en ninguna etapa se utiliza maquinaria pesada, ni concreto para la instalación, de la cobertura, lo cual es beneficioso para no afectar el medio ambiente existente.
4. Si bien se logra asegurar controlar la erosión con el empleo de geomantas, para tener éxito en el sembrado de la cobertura vegetal protectora, además de la calidad del suelo, es necesario considerar factores del clima tales como temperatura, lluviosidad o dificultad de instalación.
5. Los mantos para control de erosión del tipo NAG, no tejidos cosidos a una o dos mallas también de fibra natural o sintéticas a manera de sándwich, ofrecen un mejor desempeño para manejar al agua como agente erosivo, además captura mas humedad vital para el desarrollo de la vegetación, crea un microclima debajo favoreciendo la germinación y crecimiento de la vegetación y finalmente se incorpora al biodegradarse a la estructura del suelo orgánico.
6. El manto Ecomatrix, llamado muy comúnmente tela de costal, OWG (open wave geotextile) si bien este manto tiene normalmente buena resistencia a la tensión, por su construcción es poco fácil que la

vegetación lo traspase, mitiga el impacto de la gota de lluvia que explota contra él, ni retiene tan fácil las partículas de suelo que entran en movimiento, por demás captura humedad y finalmente se degrada incorporándose al suelo.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- En países como el nuestro es difícil conseguir un financiamiento para controlar la erosión de los suelos y el subsiguiente transporte de sedimentos. Debemos entonces buscar soluciones efectivas, que no afecten el medio ambiente y sean de bajo costo.
- Algo que no debemos olvidar al diseñar, proteger y construir taludes en todas las regiones del Perú es considerar la necesidad de colocar todos los sistemas de drenaje necesarios en todo tipo de obras de ingeniería.
- Una recomendación para futuras investigaciones es el de desarrollar ensayos de laboratorios para cuantificar las características de fricción de cada manto en particular con la tierra orgánica.
- Es recomendable no especificar marcas para facilitar la utilización de productos similares disponibles en el mercado, los cuales pueden tener algunas ventajas técnicas o económicas.
- La evaluación realizada a cada geomanta se realiza para la obtención de comparativos en su comportamiento instalado y la evaluación del costo que lleva cada propuesta.
- El diseñador debe visitar el sitio ocasionalmente para comprobar que el trabajo se esté realizando de acuerdo al diseño. Estas visitas ayudan a familiarizar al diseñador con las prácticas de construcción y a realizar mejoras al diseño.
- En el diseño deben tenerse en cuenta los siguientes elementos para el manejo de la construcción: acceso de equipos, manejo de productos o procedimientos patentados, preparación del sitio, y restauración del sitio después de construidas las obras.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Akso Nobel Geosynthetics
ENKAMAT® DESIGN GUIDE
Holanda, 1997
2. Castañón, Guillermo.
INGENIERÍA DEL RIEGO, UTILIZACIÓN RACIONAL DEL AGUA".
Paraninfo Thomson Learning.
Madrid – España, 2000.
3. De la Cruz Fallaque, Luís Alberto
USO DE LA BIOINGENIERÍA DE SUELOS PARA EL CONTROL DE
EROSIÓN HÍDRICA EN TALUDES.
Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería
Lima – Perú, 2005
4. Rocha Felices, Arturo
HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES
Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería
Lima – Perú, 2004
5. Suárez D., Jaime.
CONTROL DE EROSIÓN.
Edición N°1. Editorial Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga – Colombia, 2001.
6. Ven Te, Chow
HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS
Mc Graw Hill
Santa Fé de Bogotá, Colombia, 1994.

ANEXOS

TABULANDO Y GRAFICANDO ALGUNOS VALORES DE P_2/y

| $P_2/y(m)$ | Q1(l/s) | Q2(l/s) | Q1-Q2 | | $P_5/y(m)$ | Q3(l/s) | Q4(l/s) | Q3+Q4 |
|------------|---------|---------|---------|--|------------|---------|---------|---------|
| | | | Qm(l/s) | | | | | Qm(l/s) |
| 12.00 | 0.65 | 0.12 | 0.53 | | 10.40 | 0.11 | 0.11 | 0.22 |
| 12.50 | 0.63 | 0.12 | 0.51 | | 11.05 | 0.11 | 0.11 | 0.22 |
| 13.00 | 0.60 | 0.12 | 0.48 | | 11.76 | 0.12 | 0.12 | 0.24 |
| 13.50 | 0.58 | 0.12 | 0.46 | | 12.39 | 0.12 | 0.12 | 0.24 |
| 14.00 | 0.55 | 0.13 | 0.42 | | 13.14 | 0.12 | 0.12 | 0.24 |
| 14.50 | 0.52 | 0.13 | 0.39 | | 13.82 | 0.13 | 0.13 | 0.26 |
| 15.00 | 0.49 | 0.13 | 0.36 | | 14.48 | 0.13 | 0.13 | 0.26 |
| 15.50 | 0.45 | 0.13 | 0.32 | | 15.17 | 0.13 | 0.13 | 0.26 |
| 16.03 | 0.42 | 0.14 | 0.28 | | 15.87 | 0.14 | 0.14 | 0.28 |
| 16.50 | 0.38 | 0.14 | 0.24 | | 16.49 | 0.14 | 0.14 | 0.28 |
| 17.00 | 0.33 | 0.14 | 0.19 | | 17.14 | 0.14 | 0.14 | 0.28 |
| 17.50 | 0.28 | 0.14 | 0.14 | | 17.76 | 0.14 | 0.14 | 0.28 |
| 17.20 | 0.31 | 0.14 | 0.17 | | 17.39 | 0.14 | 0.14 | 0.28 |

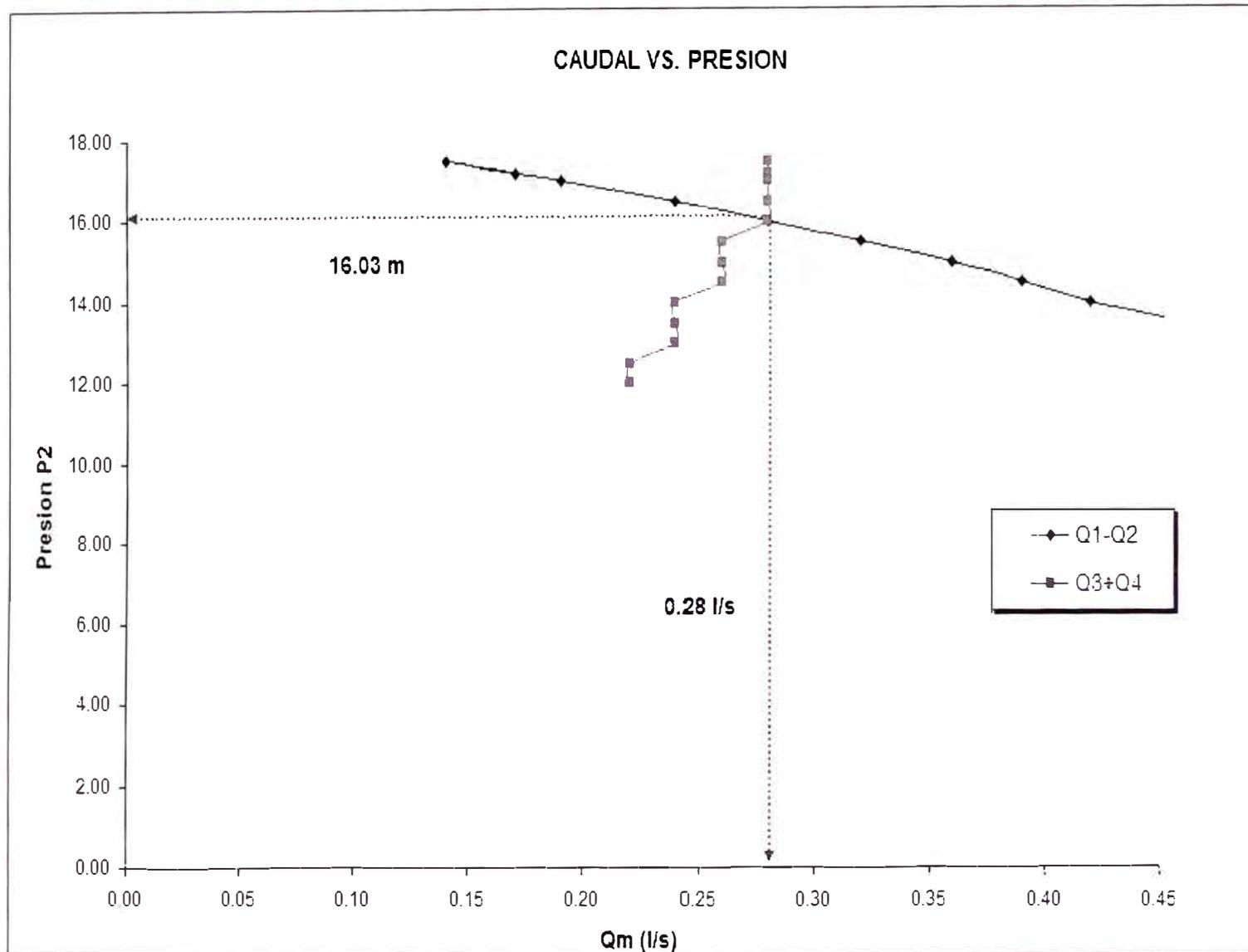


Grafico anexo B: Caudal Vs. Presión

CALCULO DEL ESFUERZO ACTUANTE SOBRE LA GEOMANTA MACMAT L

| Datos de la tierra organica | | |
|--|--|------------------------|
| peso especifico (γ_o) | | 1.7 ton/m ³ |
| coeficiente de fricción (entre tierra y manta) (μ_{o-g}) | | 0.7 |
| espesor (e_o) | | 0.02 m |

| Datos del terreno natural | | |
|--|--|-------------------------|
| peso especifico | | 1.48 ton/m ³ |
| ángulo de fricción | | 31.3 ° |
| cohesion | | 0.02 |
| ángulo de inclinación | | 34 ° |
| Longitud inclianda del talud (L_o) | | 11 m |

| Datos de la Geomanta | | |
|--|--|--------------------------|
| peso especifico | | 0.905 ton/m ³ |
| Gramaje | | 0.52 kg/m ² |
| espesor nominal | | 0.01 m |
| Resistencia a la tracción longitudinal | | 0.306 ton/m |

ESQUEMA DE TENSION

ANALISIS DE DESLIZAMIENTO (capa de tierra orgánica de 0.02m)

| | | |
|--|-------------|--|
| Componente tangencial del peso de tierra orgánica sobre la geomanta: | | $F_A = W \times \text{sen}(\beta)$ |
| $F_A:$ | 0.209 ton/m | $F_A = (\gamma_o \times e_o \times L_o) \times \text{sen}(\beta)$ |
| Fuerza de fricción entre la geomanta y la tierra orgánica | | $F_R = \mu \times W \times \text{cos}(\beta)$ |
| $F_R:$ | 0.217 ton/m | $F_R = \mu_{o-g} \times (\gamma_o \times e_o \times L_o) \times \text{cos}(\beta)$ |
| → | | $F_R > F_A \rightarrow \text{OK}$ |
| Es decir: | | $\mu > \tan(\beta)$ |
| | 0.70 | > 0.67 |
| FS | | 1.04 |

ANÁLISIS DE ROTURA DE GEOMANTA

MacMat L ® (R_T): 0.306 ton/m
(ASTM D 4595)

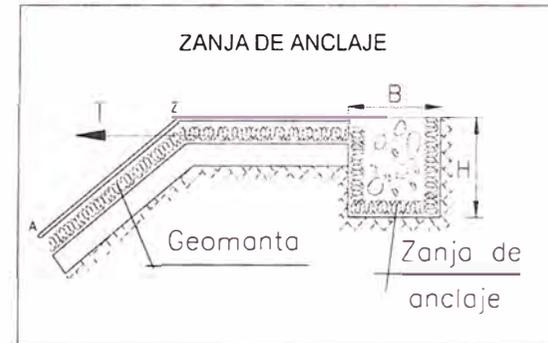
Fuerza actuante sobre la Geomanta induciendo a su rotura (F_A): 0.209 ton/m

→ $F_A < R_T \rightarrow OK$
(La Geomanta resiste la tracción sin romperse)
FS 1.46

ANÁLISIS DE ZANJA DE ANCLAJE

Tensión que soporta la zanja de anclaje: $T = (\gamma_s \times h \times \tan(\phi_s)) \times b + c_s \times (b + 2 \times h)$

Peso específico del suelo (γ_s): 1.48 ton/m³
longitud de la geomanta en contacto con las paredes de la zanja de anclaje (b+2 x h): 1.4 m
Cohesión (c_s): 0.02 ton/m²
ángulo de fricción del suelo (Φ_s): 31.3 °
b: 0.50 m
h: 0.45 m
T= 0.230 ton/m



La fuerza actuante que soporta la zanja de anclaje está dada por la Geomanta y la capa de tierra orgánica:

$$F_{A-z} = (W \times \text{sen}(\beta))$$

donde W es el peso en conjunto de la tierra y de la geomanta

$$W = (\gamma_o \times e_o \times L_o) + (G_G \times L_G)$$

W= 0.380 ton/m

Luego la tensión aplicada al anclaje F_{A-z}= 0.212 ton/m

FS 1.09

→ $T > F_{A-z} \rightarrow OK$
(La zanja de anclaje es suficiente)

CALCULO DEL ESFUERZO ACTUANTE SOBRE LA GEOMANTA NAG SC150

| Datos de la tierra organica | |
|--|---------------|
| peso especifico (γ_o) | 1.7 ton/m3 |
| coeficiente de fricción (entre tierra y manta) ($\mu_{o,G}$) | 0.7 |
| espesor (e1) | 0 m |
| Datos del terreno natural | |
| peso especifico | 1.48 ton/m3 |
| ángulo de fricción | 31.3 ° |
| cohesion | 0.02 |
| ángulo de inclinación | 34 ° |
| Longitud inclianda del talud (L_o) | 11 m |
| Datos de la Geomanta | |
| peso especifico | 0.0345 ton/m3 |
| Gramaje | 0.424 kg/m2 |
| espesor nominal | 0.00864 m |
| Resistencia a la tracción longitudinal | 0.418 ton/m |

ESQUEMA DE TENSION

| ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTO (capa de tierra orgánica de 0.00) | |
|--|---|
| Componente tangencial del peso de tierra orgánica sobre la geomanta: | $F_A:$ 0.00000 ton/m |
| Fuerza de fricción entre la geomanta y la tierra orgánica | $F_R:$ 0.00000 ton/m |
| → | $F_R > F_A \rightarrow OK$ |
| Es decir: | $\mu > \tan(\beta)$ |
| | 0.70 > 0.67 |
| FS | no aplica |

ANÁLISIS DE ROTURA DE GEOMANTA

MacMat L® (R_T): 0.418 ton/m
(ASTM D 4595)

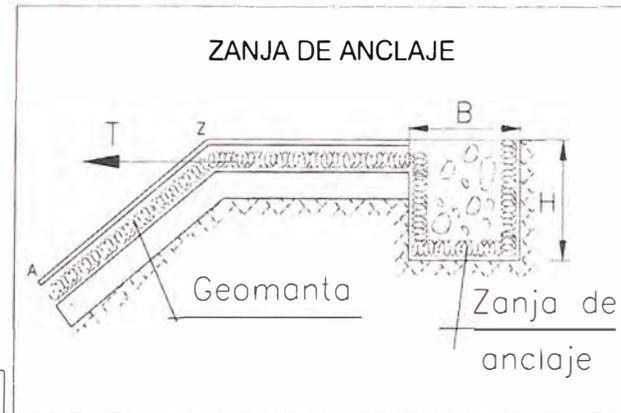
Fuerza actuante sobre la Geomanta induciendo a su rotura (F_A): 0.000 ton/m

→ $F_A < R_T \rightarrow OK$
(La Geomanta resiste la tracción sin romperse)
FS no aplica

ANÁLISIS DE ZANJA DE ANCLAJE

Tensión que soporta la zanja de anclaje: $T = (\gamma_s \times h \times \tan(\phi_s)) \times b + c_s \times (b + 2 \times h)$

Peso específico del suelo (γ_s): 1.48 ton/m³
longitud de la geomanta en contacto con las paredes de la zanja de anclaje (b+2 x h): 0.45 m
Cohesión (c_s): 0.02 ton/m²
ángulo de fricción del suelo (Φ_s): 31.3 °
b: 0.15 m
h: 0.15 m
T= 0.029 ton/m



La fuerza actuante que soporta la zanja de anclaje está dada por la Geomanta y la capa de tierra orgánica:

$$F_{A-z} = (W \times \text{sen}(\beta))$$

donde W es el peso en conjunto de la tierra y de la geomanta

$$W = (\gamma_o \times e_o \times L_o) + (G_G \times L_G)$$

W= 0.005 ton/m

Luego la tensión aplicada al anclaje F_{A-z}= 0.003 ton/m

FS 11.21

→ $T > F_{A-z} \rightarrow OK$
(La zanja de anclaje es suficiente)

CALCULO DEL ESFUERZO ACTUANTE SOBRE LA GEOMANTA ECOMATRIX

| Datos de la tierra organica | |
|--|----------------------------|
| peso específico (γ_o) | 1.7 ton/m ³ |
| coeficiente de fricción (entre tierra y manta) ($\mu_{o,G}$) | 0.7 |
| espesor (e_o) | 0 m |
| Datos del terreno natural | |
| peso específico | 1.48 ton/m ³ |
| ángulo de fricción | 31.3 ° |
| cohesion | 0.02 |
| ángulo de inclinación | 34 ° |
| Longitud inclianda del talud (L_o) | 11 m |
| Datos de la Geomanta | |
| peso específico | 0.05787 ton/m ³ |
| Gramaje | 0.069444 kg/m ² |
| espesor nominal | 0.0012 m |
| Resistencia a la tracción longitudinal | 0.029 ton/m |

ESQUEMA DE TENSION

ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTO (capa de tierra orgánica de 0.00m)

| | | |
|--|--|-------------|
| Componente tangencial del peso de tierra orgánica sobre la geomanta: | $F_A:$ | 0.000 ton/m |
| Fuerza de fricción entre la geomanta y la tierra orgánica | $F_R:$ | 0.000 ton/m |
| → | $F_R > F_A$ | → OK |
| Es decir: | $\mu > \tan(\beta)$ | |
| | 0.70 > 0.67 | |
| FS | no aplica | |

ANÁLISIS DE ROTURA DE GEOMANTA

MacMat L ® (R_T): 0.029 ton/m
(ASTM D 4595)

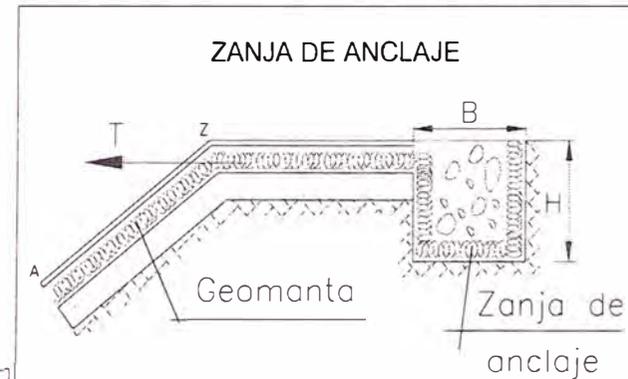
Fuerza actuante sobre la Geomanta induciendo a su rotura (F_A): 0.000 ton/m

→ $F_A < R_T \rightarrow OK$
(La Geomanta resiste la tracción sin romperse)
FS no aplica

ANÁLISIS DE ZANJA DE ANCLAJE

Tensión que soporta la zanja de anclaje:

Peso específico del suelo (γ_s): 1.48 ton/m³
longitud de la geomanta en contacto con las paredes de la zanja de anclaje ($b+2 \times h$): 0.8 m
Cohesión (c_s): 0.02 ton/m²
ángulo de fricción del suelo (Φ_s): 31.3 °
b: 0.20 m
h: 0.30 m
T= 0.070 ton/m



La fuerza actuante que soporta la zanja de anclaje está dada por la Geomanta y la capa de tierra orgánica:

$$F_{A-Z} = (W \times \text{sen}(\beta))$$

donde W es el peso en conjunto de la tierra y de la geomanta

$$W = (\gamma_0 \times e_1 \times L_0) + (G_G \times L_G)$$

W= 0.001 ton/m

Luego la tensión aplicada al anclaje F_{A-Z} = 0.000 ton/m

FS 163.85

→ $T > F_{A-Z} \rightarrow OK$
(La zanja de anclaje es suficiente)

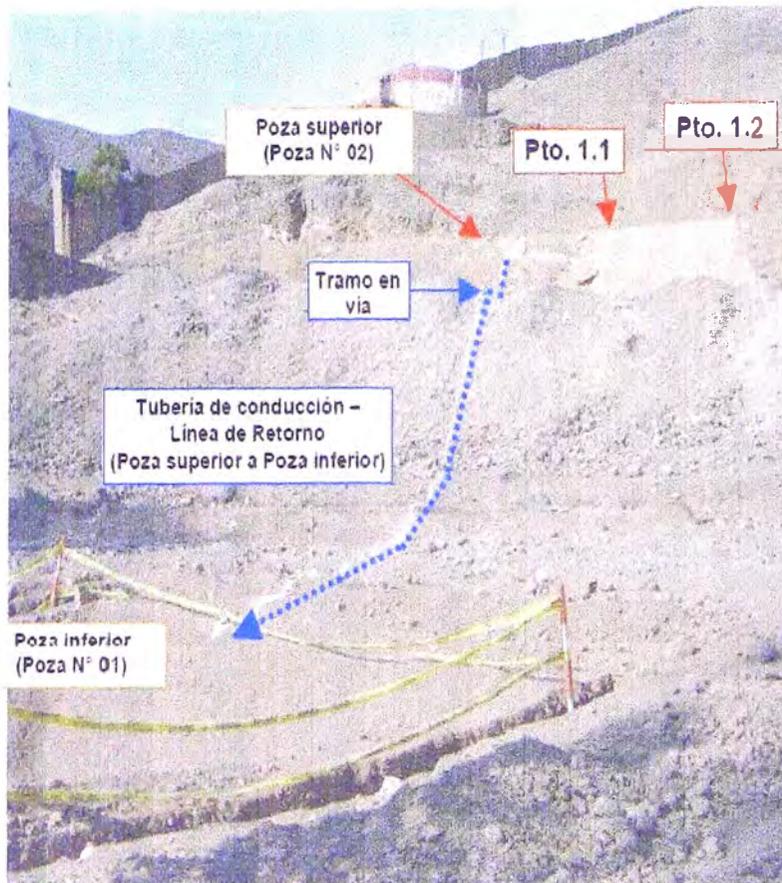


Foto 1: Vista panorámica de ubicación de la Parcela N° 01 del Sistema de Control de Erosión, Pozas N° 01 y 02, y línea de retorno.



Foto 2: Vista general de parcelas donde se instalarán las mantas geosintéticas.



Foto 3: Colocación de tierra de chacra sobre el talud.



Foto 4: Colocación de Compost y semilla sobre la capa de tierra de chacra. Nótese las marcas de la cuadrícula de 1.0m x 1.0m a la izquierda, así como la línea de vida sujeta al trabajador.



Foto 5: Colocación de Geomanta MacMat dentro de zanja de anclaje superior y posterior estacado.



Foto 6: Relleno de zanja de anclaje superior con material excavado previamente de la misma zanja.



Foto 7: Colocación de Geomanta sobre talud desenrollándola hacia abajo. Nótese las líneas de vida empleadas.



Foto 8: Relleno de zanja de anclaje superior con material excavado previamente de la misma zanja.



Foto 9: Vista general de la zona finalmente construida del Proyecto.

ANEXO D: Cálculo de Cuneta

CALCULO DE CUNETAS

RECOPIACION DE INFORMACIÓN

Se tomaran en cuenta los datos recogidos de campo, y pluviométricos, estos son: pendiente de la cuneta, longitud, área de influencia, etc. La información pluviométrica fue proporcionada por el SENHAMI el cual recoge información de estaciones cercanas al área de evaluación, esta información es procesada obteniéndose la respuesta hidrológica de la cuenca lo que nos lleva a la obtención del caudal de diseño.

1.0 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE SERVICIO

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN:

Determina el tiempo en que una partícula de agua demora en recorrer totalmente la longitud del cause mayor, existen diversos métodos para su obtención, usaremos la formula de Kirpich.

$$T_c = \frac{0.00325 \cdot L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad \dots (1.1)$$

Donde:

- L (m) : Longitud de la cuenca.
- S (m/m) : Pendiente promedio de la cuenca.
- T_c (minutos) : Tiempo de Concentración.

PRECIPITACION:

Es la cantidad de agua en sus diferentes formas que cae sobre la superficie de la cuenca, dato que es proporcionado por la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio.

INTENSIDAD:

Es la cuantificación de la cantidad del agua que cae, se expresa en mm/hora; se define con la lluvia, correspondiente al tiempo de concentración, se calcula como:

$$I = \frac{0.451733 \cdot P}{T_c^{0.4998}} \quad \dots (1.2)$$

Donde:

- I (mm/hora) : Intensidad de la lluvia
 P (mm) : Precipitación, según información proporcionada por SENAMHI (ver Tabla 1.3), su valor es 2.10mm/día, correspondiente a un periodo de retorno de 25 años.
 T_c (horas) : Tiempo de concentración

CAUDAL DE DISEÑO:

Es el volumen de agua que discurre a lo largo de la cuenca por unidad de tiempo, dato con el que verificaremos las dimensiones y diseño de la cuneta. Se obtendrá a partir de la ecuación del método racional:

$$Q = 0.278C.I.A \quad \dots (1.3)$$

Donde:

- Q (m³/s) : Caudal máximo de crecida
 C (adimensional) : Coeficiente de Escorrentía
 I (mm/hora) : Intensidad de la lluvia
 A (km²) : Área aportante

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE SERVICIO EN CUENCA

tramo de cuneta (m), desde 0 a 36

APORTE DE LA LADERA

| | | | |
|------------------------------|----------------|-----------------------|--------|
| características de la cuenca | L | (m) | 15 |
| | S | (m/m) | 0.68 |
| | A | (m ²) | 540 |
| calculo del caudal | T _c | (horas) | 0.001 |
| | P | (mm) | 2.100 |
| | i | (mm/hr) | 42.073 |
| | C | | 0.45 |
| | Q _L | (m ³ /seg) | 0.003 |

APORTE DE LA CARRETERA

| | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------------|--------|
| características de la pista | L | (m) | 3.05 |
| | S | (m/m) | 0.02 |
| | A | (m ²) | 109.8 |
| calculo del caudal | T _c | (horas) | 0.001 |
| | P | (mm) | 2.100 |
| | i | (mm/hr) | 39.453 |
| | C | | 0.6 |
| | Q _C | (m ³ /seg) | 0.001 |

caudal total de servicio:

$$Q_L + Q_C = 4 \text{ l/s}$$

2.0 DISEÑO DE CUNETA

Para el diseño de la cuneta se ha tenido las siguientes consideraciones:

Este tipo de estructura debe desarrollarse a lo largo de toda la longitud de la vía, debe tomarse como parámetros una precipitación diaria de 2.10mm. En la inspección de campo se pudo comprobar que la carretera presenta una pendiente a lo largo de todo su recorrido esto facilita las labores de drenaje.

Se ha considerado una cuneta revestida en concreto simple de 210 kg/cm², de 1.0 m de ancho, 0.5m de profundidad, con talud interno de 1:1.5 y talud externo de 1:0.50. Cuyos valores han sido verificados mediante el empleo de un programa de cómputo – HYDROCALC, el cual usa la ecuación de Manning:

$$q = \frac{1}{n} \cdot a \cdot r^{\frac{2}{3}} \cdot s^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2.1)$$

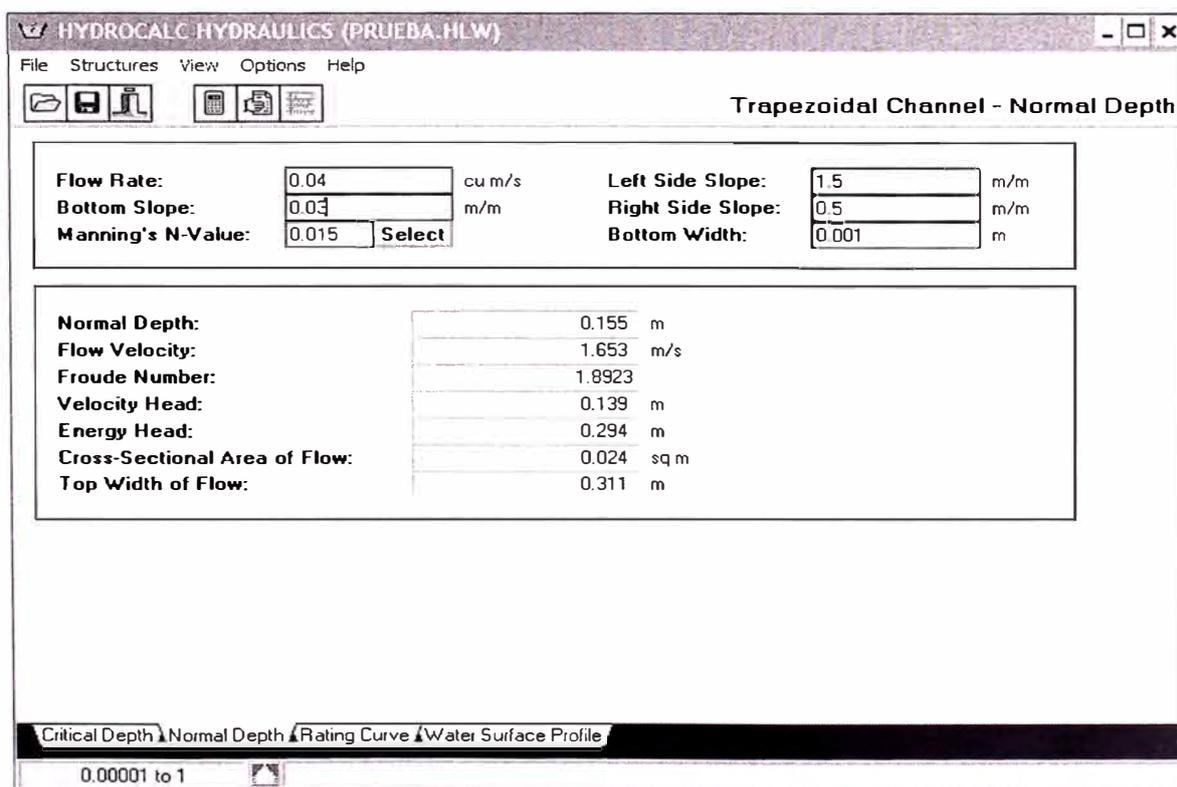


Figura 1.1: HYDROCALC Hydraulics for Windows, Version 1.2 Copyright (c) 1996

Mediante el uso del programa de computo HYDROCALC, verificamos las propiedades hidráulicas y geométricas de la sección, y verificamos que la cuneta es la adecuada para las condiciones de servicio.

TABLA. 1.1: Valores de coeficiente de escorrentía según el tipo de áreas de drenaje:

| Tipo de área de drenaje | Coefficiente de escorrentía © |
|---|-------------------------------|
| <i>Comerciales</i> | |
| NEGOCIOS | 0.70 – 0.95 |
| ZONAS DE VECINDARIO | 0.50 – 0.70 |
| <i>Residenciales</i> | |
| - Zonas unifamiliares | 0.30 – 0.50 |
| - Zonas multifamiliares separadas | 0.40 – 0.60 |
| - Zonas multifamiliares contiguas | 0.60 – 0.75 |
| <i>Residencial Sub-Urbana</i> | 0.25 – 0.40 |
| <i>Zonas residenciales de departamentos</i> | 0.50 – 0.70 |
| <i>Zonas Industriales</i> | |
| POCO DENSAS | 0.50 – 0.80 |
| DENSAS | 0.60 – 0.90 |
| <i>Césped. Suelo arenoso</i> | |
| LLANO, 2% | 0.05 – 0.10 |
| MEDIANO, 2-7% | 0.10 – 0.15 |
| ESCARPADO, 7% | 0.15 – 0.20 |
| <i>Césped. Suelo gravoso</i> | |
| LLANO, 2% | 0.13 – 0.17 |
| MEDIANO, 2-7% | 0.18 – 0.22 |
| ESCARPADO, 7% | 0.25 – 0.35 |
| <i>Zonas no urbanizadas</i> | 0.10 – 0.30 |

Fuente: SCS – EE.UU.

TABLA. 1.2: valores del coeficiente n de kutter que generalmente se usa en los diseños.

| SUPERFICIE | n |
|---|---------------|
| Superficie metálica, lisa, sin pintar | 0,012 |
| Superficie metálica, lisa, pintada | 0,013 |
| Superficie metálica, corrugada | 0,025 |
| Cemento liso | 0,011 |
| Mortero de cemento | 0,013 |
| Madera cepillada | 0,012 |
| Madera sin cepillar | 0,013 |
| Tablones sin cepillar | 0,014 |
| Concreto liso | 0,013 |
| Concreto bien acabado, usado | 0,014 |
| Concreto frotachado | 0,015 |
| Concreto sin terminar | 0,017 |
| Gunita (sección bien terminada) | 0,019 |
| Gunita (sección ondulada) | 0,022 |
| Superficie asfáltica lisa | 0,013 |
| Superficie asfáltica rugosa | 0,016 |
| Tierra, limpia, sección nueva | 0,018 |
| Tierra, limpia, sección antigua | 0,022 |
| Tierra gravosa | 0,025 |
| Tierra, con poca vegetación | 0,027 |
| Tierra, con vegetación | 0,035 |
| Tierra, con piedras | 0,035 |
| Tierra, con pedrones | 0,040 |
| Para secciones circulares (trabajando como canal) | |
| Metal, liso | 0,010 |
| Acero soldado | 0,012 |
| Acero riveteado | 0,016 |
| Fierro fundido | 0,013 – 0,014 |
| Cemento | 0,011 – 0,013 |
| Vidrio | 0,010 |

Fuente.: Rocha Felices, Arturo, Hidráulica de tuberías y canales.

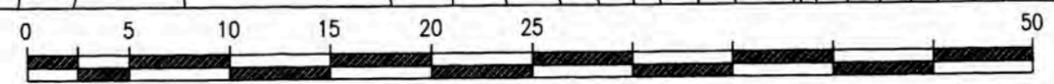
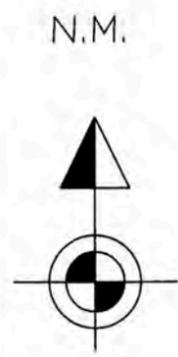
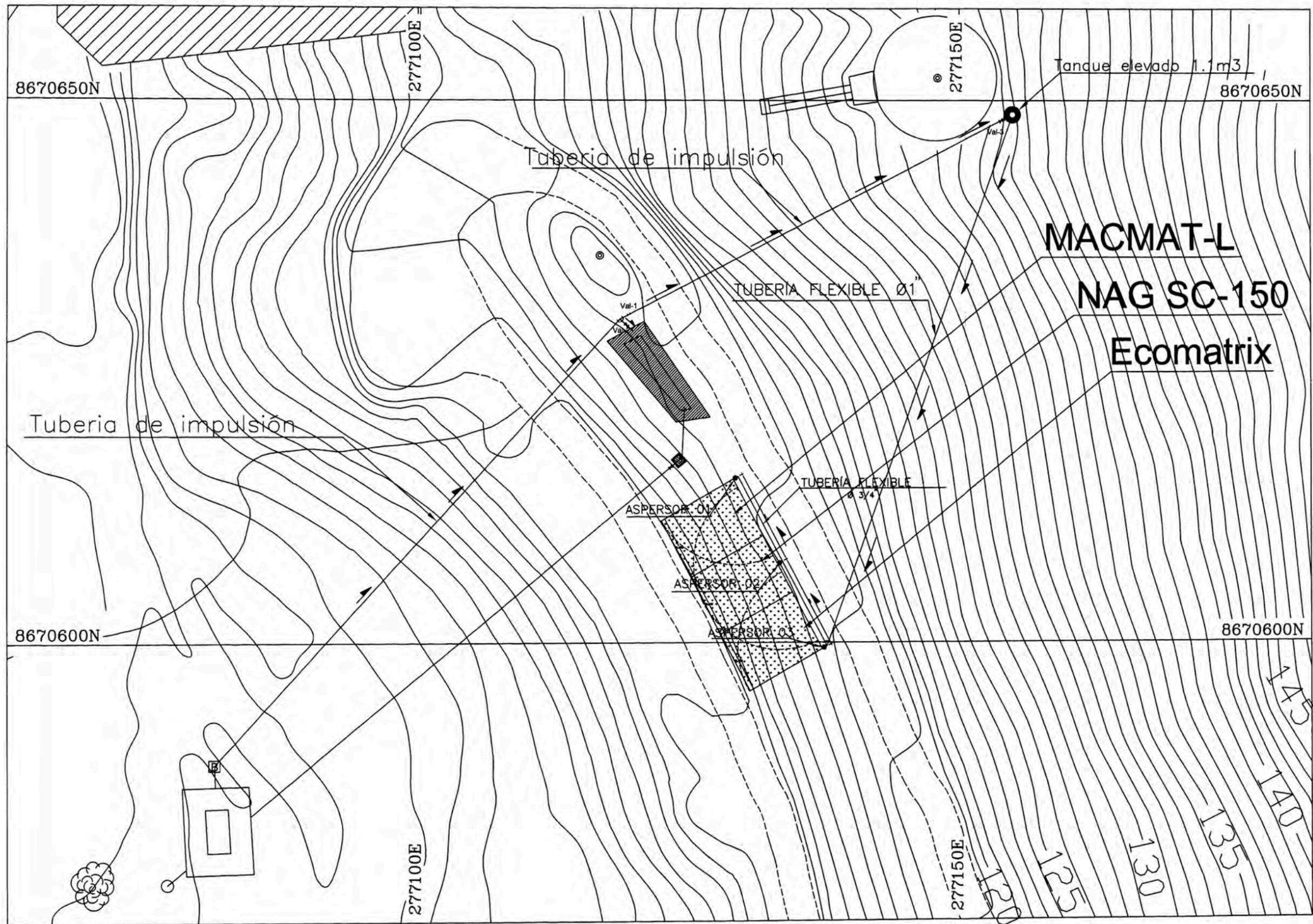
TABLA. 1.3: Precipitaciones máximas de la estación Modelo/006617/DRE-04.

| ANALISIS ESTADISTICO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN SENAMHI- LIMA | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|--------------------|-----|--------------|-----|---------------------|-----|--------------|-----|-----------------|-----|---------------------|------------|
| ESTACION : MODELO /006617/DRE-04 | | LAT. : 77° 02' "S" | | DPTO. : LIMA | | LONG. : 12° 04' "W" | | PROV. : LIMA | | ALT. : 120 msnm | | DIST. : JESUS MARIA | |
| PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | Pmax (mm) |
| 1995 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 |
| 1996 | S/D | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | S/D | 0.4 | 0.3 | 0.3 | S/D | 0.9 | 0.6 | 0.9 |
| 1997 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.1 | 0.1 | 0.7 | 0.8 | 2.1 |
| 1998 | 1.8 | 1.8 | 0.0 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.8 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 1.8 |
| 1999 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 |
| 2000 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 |
| 2001 | 0.3 | 1.2 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.6 | 1.7 | 0.7 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 1.7 |
| 2002 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 0.7 | 0.0 | 1.7 |
| 2003 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.7 |
| 2004 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | S/D | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.3 |
| 2005 | 0.4 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.8 |
| 2006 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.8 |

Fuente.: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú - SENAMHI.

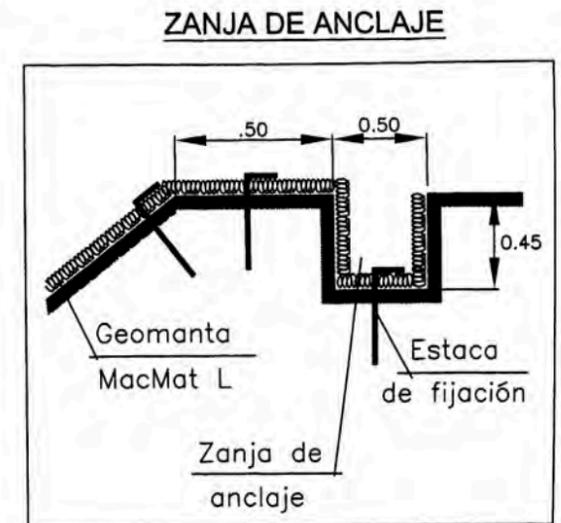
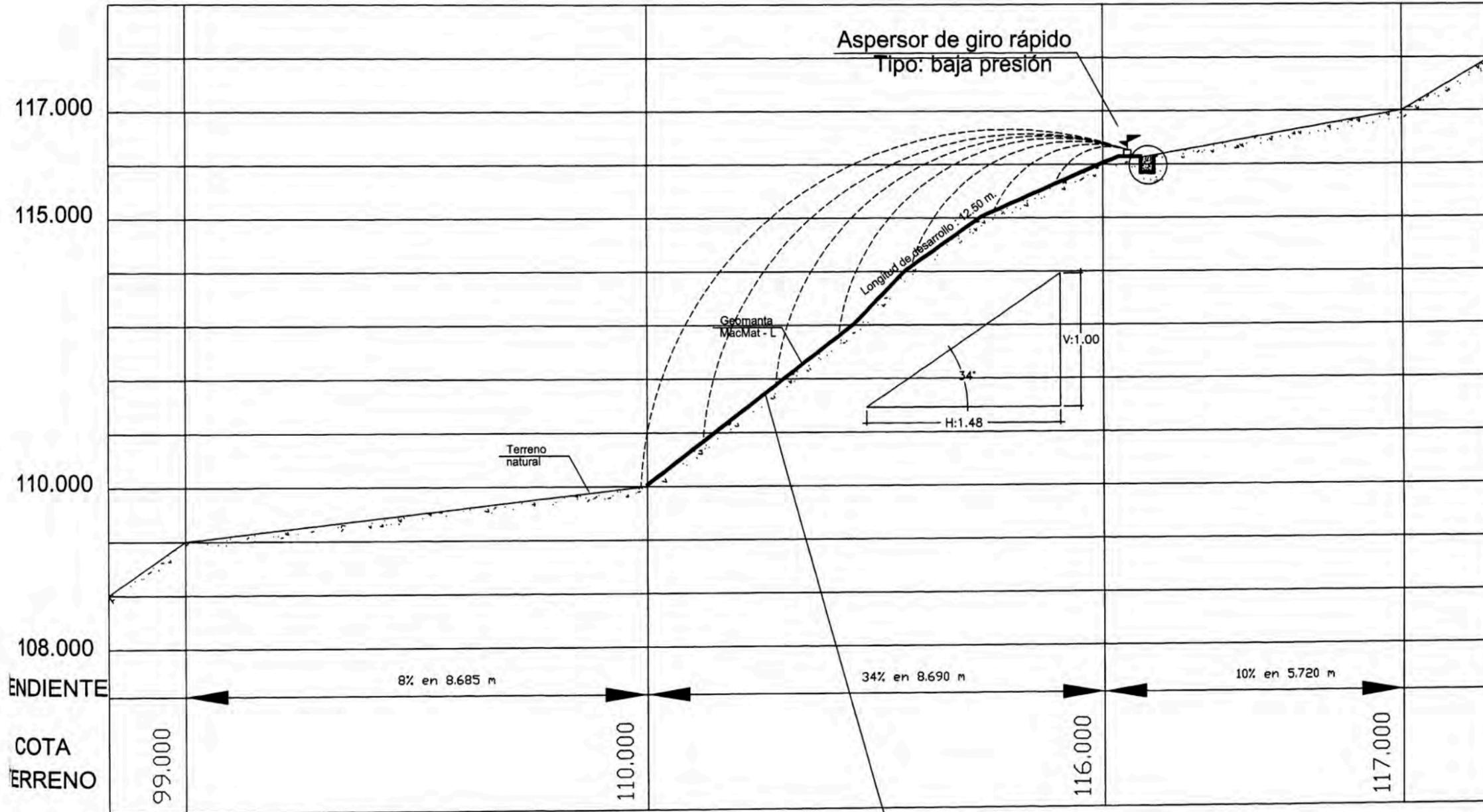
ANEXO E: Planos

| | |
|--|------------|
| Plano de Ubicación y esquema general | U 01 |
| Plano de Sección transversal MacMat L | CE 01 |
| Plano de detalles MacMat L | CE 02 |
| Plano de Sección transversal NAG SC 150 | CE 03 |
| Plano de detalles constructivos NAG SC 150 | CE 04 |
| Plano de Sección transversal Ecomatrix | CE 05 |
| Plano de detalles constructivos Ecomatrix | CE 06 |
| Plano topográfico | EBS-TOP-01 |
| Plano: Carta Geológica Nacional, Hoja 25-i | EBS-GEO-01 |



| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-------------|---------|----------|-------------------------------|------|------|------|-------------|--|--------|--|--|---|
| SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84 MALLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM NIVEL VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR NIVEL HORIZONTAL WGS 84 | | | | | | | | | | PROCESO: P&D INSTR.: MECANICA : CIVIL : R. CAMPARA 20/07/07 | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | |  N° DE PLANO U-01 |
| | | | | | | | | | | PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS PLANO: PLANO DE UBICACION ESQUEMA GENERAL | | ESCALA: 1:125 NOM.ARCHIVO: U-01 N° DE GRUPO.FIC 01 | | |
| NOTAS | PLANO N° | REFERENCIAS | N° REV. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APR. | DISCIPLINAS | FECHA | FIRMAS | | | |
| | | | 1 | 20/07/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ESTRUCT.: | | | | | |
| | | | 0 | 03/05/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ELECTR.: | | | | | |

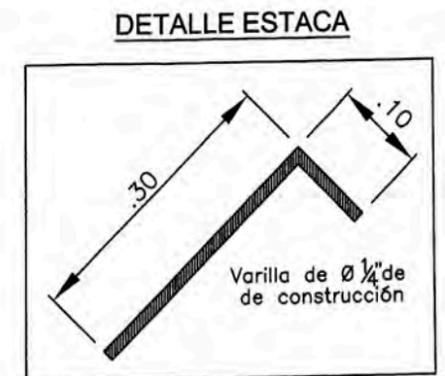
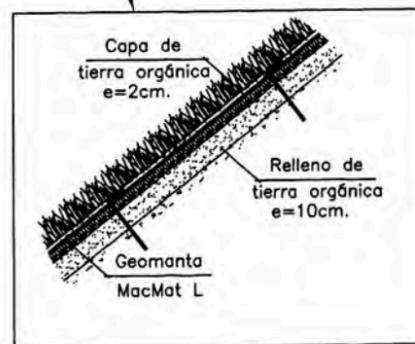
Perfil Geomanta MACMAT-L



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| POLIMERO | POLIPROPILENO |
|---|----------------------------|
| PESO ESPECIFICO DEL POLIMERO (Kg/m ³) | 905 (ASTM D 792) |
| PUNTO DE FUSION DEL POLIMERO | 150 (ASTM D 1505) |
| RESISTENCIA UV DEL POLIMERO | ESTABILIZADO (ASTM D 4355) |
| ESPOSOR DEL FILAMENTO (mm.) | 0.65 |
| INDICE DE VACIOS (%) | >90 |
| ESPOSOR NOMINAL (mm.) | 10 (ASTM D 5169) |
| GRAMAJE (g/m ²) | 520 (ASTM D 5261) |
| COLOR | NEGRO |
| RESISTENCIA A LA TRACCION LONG. (KN/m) | 3.44 (ASTM D 4595) |
| ELONGACION A LA ROTURA (%) | 105.00 (ASTM D 4595) |
| RESISTENCIA A LA TRACCION TRANS.(KN/m) | 0.80 (ASTM D 4595) |
| ELONGACION A LA ROTURA (%) | 65.00 (ASTM D 4595) |

MacMat L es una geomanta flexible tridimensional con más de 90% de vacíos, fabricada con filamentos gruesos de polipropileno fundidos en los puntos de contacto.

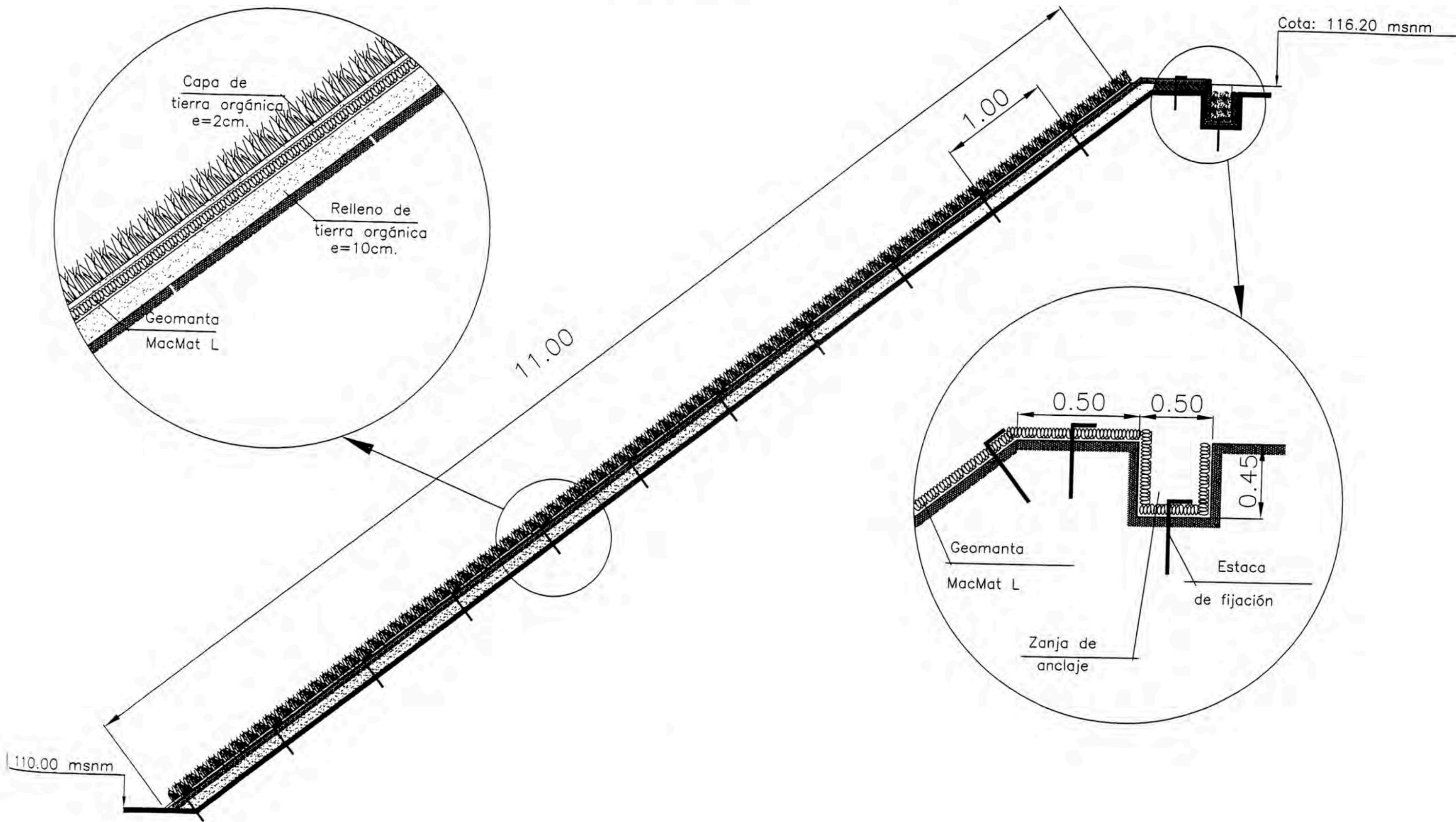


SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
 CUADRILLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM
 DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
 DATUM HORIZONTAL WGS 84

| NOTAS | PLANO N° | REFERENCIAS | N° REV. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APR. | DISCIPLINAS | FECHA | FIRMAS |
|-------|----------|-------------|---------|----------|-------------------------------|------|------|------|-------------|-------|--------|
| | | | 1 | 20/07/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ESTRUCT. | | |
| | | | 0 | 03/05/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ELECTR. | | |

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | |
| PROYECTO: | CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS | |
| PLANO: | SECCION TRANSVERSAL Material 01: MACMAT - L | N° DE PLANO CE-01 |
| ESCALA: 1:125 | NOM.ARCHIVO: CE-01 | N° DE GRUPO.FIC 01 AFE: REV.2 |

Detalle Geomanta

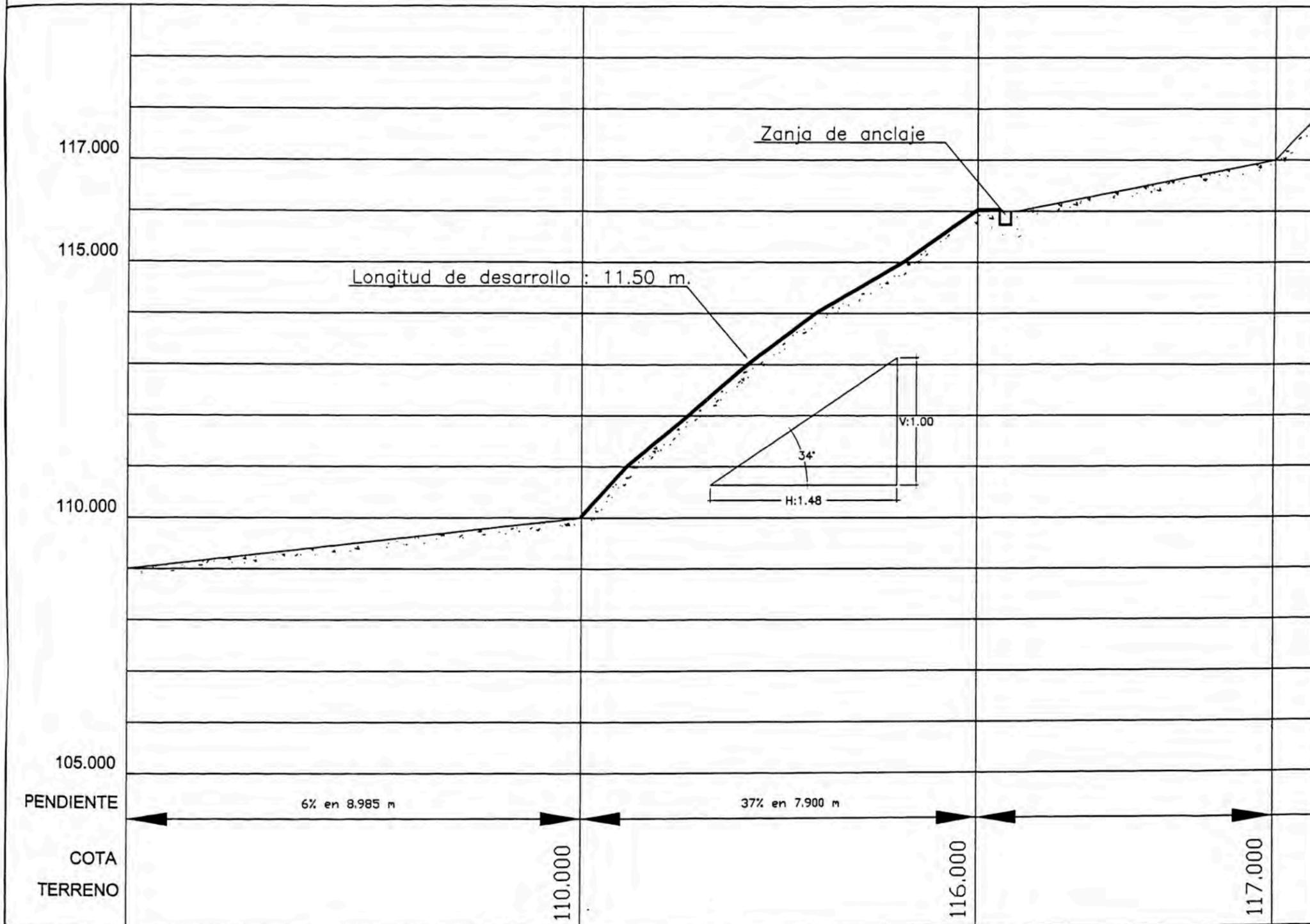


| | | | | | | | |
|-------|----------|-------------|----------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|---|
| NOTAS | PLANO N° | DESCRIPCIÓN | FECHA | ESTADO | AUTORIZADO | PROCESO: | UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA |
| | | | | | | | FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL |
| | | | | | | P&D INSTR.: | PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS |
| | | | | | | MECANICA: | PLANO: DETALLES CONSTRUCTIVOS |
| | | | | | | CIVIL : R. CAMPARA 20/07/07 | Material 01: MACMAT - L |
| | | 1 | 20/07/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. R.C. R.C. | ESTRUCT.: | |
| | | 0 | 03/05/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. R.C. R.C. | ELECTR.: | |



N° DE PLANO
CE-02

Perfil Manto NAG SC-150



| Composición del material |
|--|
| 1.Red de arriba y de abajo La red de arriba, pesada, fotodegradable, con aditivos contra los rayos UV, con peso aproximado de 1.47Kg/100cm ² y la red de abajo, liviana, fotodegradable, 0.73 Kg./100 m ² |
| 2.Matriz 70% Fibra de Paja, (0.19 Kg./m ²) 30 % Fibra de Coco, (0.08 Kg./m ²) |
| 3. Hilo Degradable. |

| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SC150 |
|---|
| Fabricada a máquina con una matriz de 70% de paja agrícola y 30% de fibra de coco. La longevidad funcional de la manta será de hasta 24 meses. |
| Esta manta deberá estar cubierta por encima con un entrelazado de polipropileno fotodegradable, pesado que contenga aditivos contra la luz ultravioleta para retardar su rompimiento y por debajo con un entrelazado de polipropileno fotodegradable, liviano. La manta deberá estar cosida cada 1.50 pulgadas (3.81 cm.) de puntada a puntada con hilo degradable. |

| NAG SC150 | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------------|
| Propiedad | Método de ensayo | Valores Típicos |
| Espesor | ASTM D5199 / ECTC | 8.64 mm |
| Elasticidad | ECTC | 75 % |
| Masa por unidad de área | ASTM D6475 | 424 gr./m ² |
| Absorción de agua | ASTM D1117/ ECTC | 200 % |
| Rigidez/Flexibilidad | ASTM D1388 / ECTC | 12,397 mg-cm. |
| Penetración de luz | ECTC | 11.70 % |
| Resistencia a la tensión MD | ASTM D5035 | 4.10 kN/m |
| Elongación MD | ASTM D5035 | 28.00% |
| Resistencia a la tensión TD | ASTM D5035 | 2.22 kN/m |
| Elongación TD | ASTM D5035 | 23.10 % |

| Especificaciones de rollo | |
|---------------------------|----------------------|
| Ancho | 2.03 metros |
| Largo | 32.92 metros |
| Peso | 19.95 Kg. + 10% |
| Área | 66.89 m ² |

PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS
PLANO: SECCION TRANSVERSAL Material 02: NAG SC-150

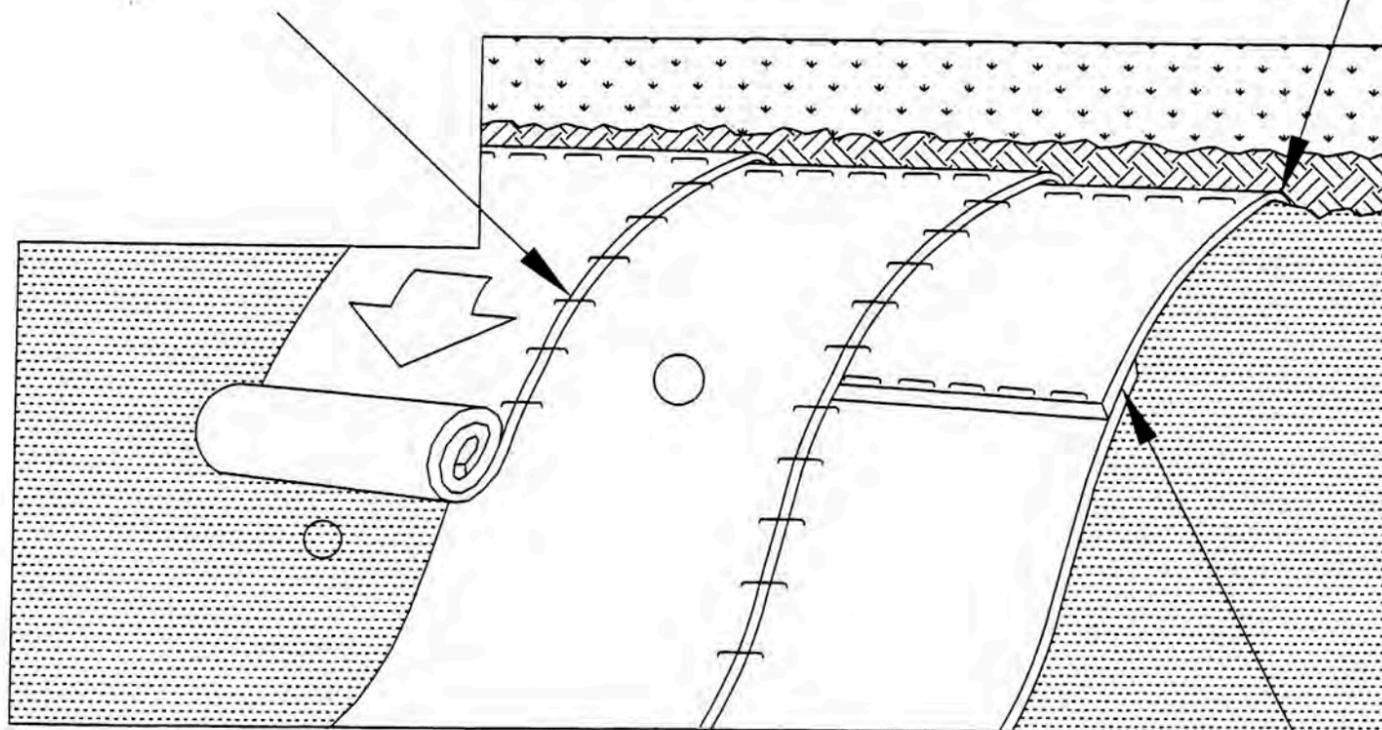
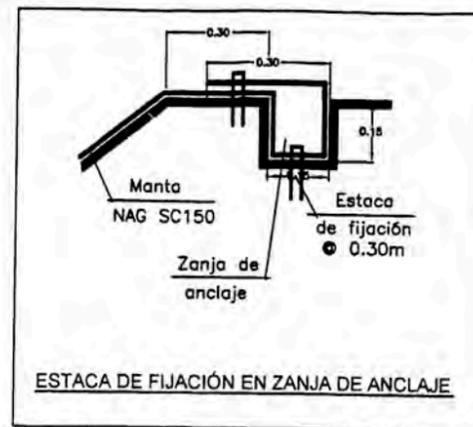
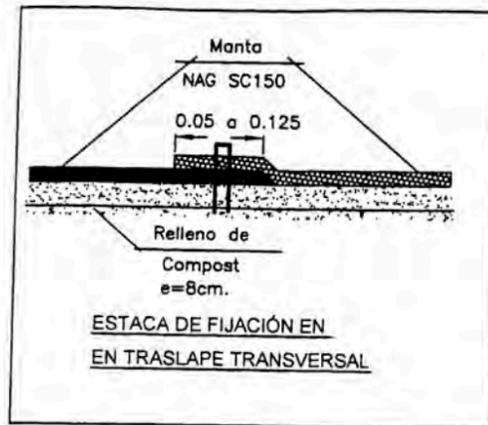
| NO. | FECHA | RELACIONES | ELABORADO POR | REVISADO POR | APROBADO POR | DISCIPLINAS | FECHA | FIRMAS |
|-----|----------|-------------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------|--------|
| 1 | 20/07/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ESTRUCT. | | |
| 0 | 05/05/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ELECTR. | | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | | |
|---|---|--------------|--------|
| PROYECTO: | CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS | | |
| PLANO: | SECCION TRANSVERSAL Material 02: NAG SC-150 | | |
| ESCALA: | 1:125 | NOM.ARCHIVO: | CE-03 |
| Nº DE GRUPO.FIC | 01 | AFE: | REV. 2 |



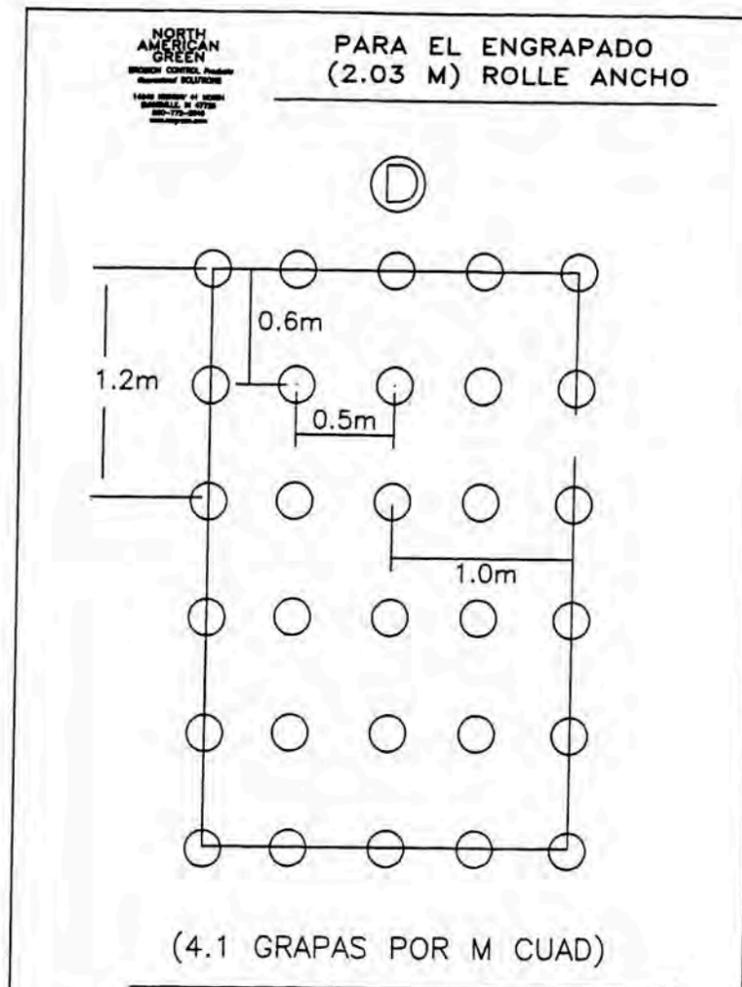
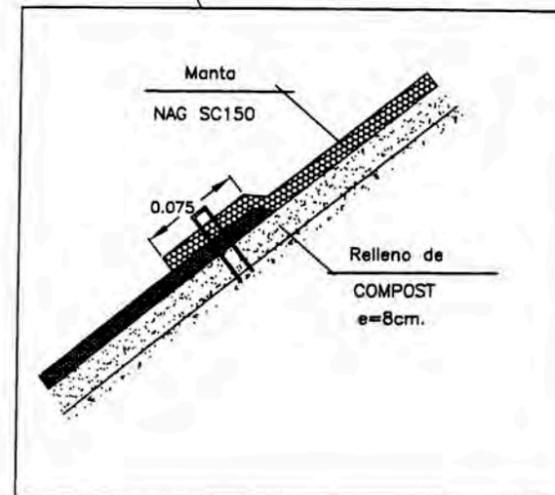
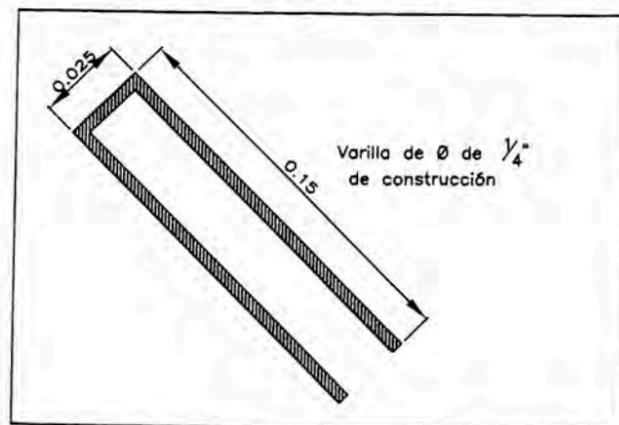
Nº DE PLANO
CE-03

Detalle Geomanta



ESTACA DE FIJACIÓN EN TRASLAPÉ LONGITUDINAL

DETALLE ESTACA "U"



Requerimientos de la Construcción

- Prepare el terreno antes de instalar las mantas, incluyendo la aplicación de cal, fertilizante y semilla.
- Comience en la cabecera del talud sujetando la manta en una zanja de 15 cm de profundidad por 15 cm de ancho con aproximadamente 30 cm de la manta extendida más allá de la pendiente alta de la zanja.
Sujete la manta al fondo de la zanja con una línea de grapas o estacas aproximadamente 30 cm una de la otra. Rellene y compacte la zanja después del engrape.
Riegue la semilla en el suelo compactado y doble las 30 cm remanentes de manta sobre la semilla y el suelo compactado. Asegure la manta sobre el suelo con una línea de grapas o estacas aproximadamente 30 cm una de la otra a través del ancho de la manta.
- Desenrolle las mantas hacia abajo a través del talud con el lado apropiado hacia la superficie del suelo. Todas las mantas deberán asegurarse a la superficie del suelo por medio de grapas o estacas en lugares apropiados
- Los bordes de las mantas paralelas tienen que engraparse con un traslape de aproximadamente de 5 cm - 12.5 cm.
- Mantas consecutivas unidas en la bajada de los taludes, deben colocarse orilla sobre orilla (tipo escalonado) con un traslape de aproximadamente 7.5 cm. Engrape el área traslapada con una separación de aproximadamente 30 cm a través de todo el ancho de la manta.

SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
REDELLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM
NIVEL VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
NIVEL HORIZONTAL WGS 84

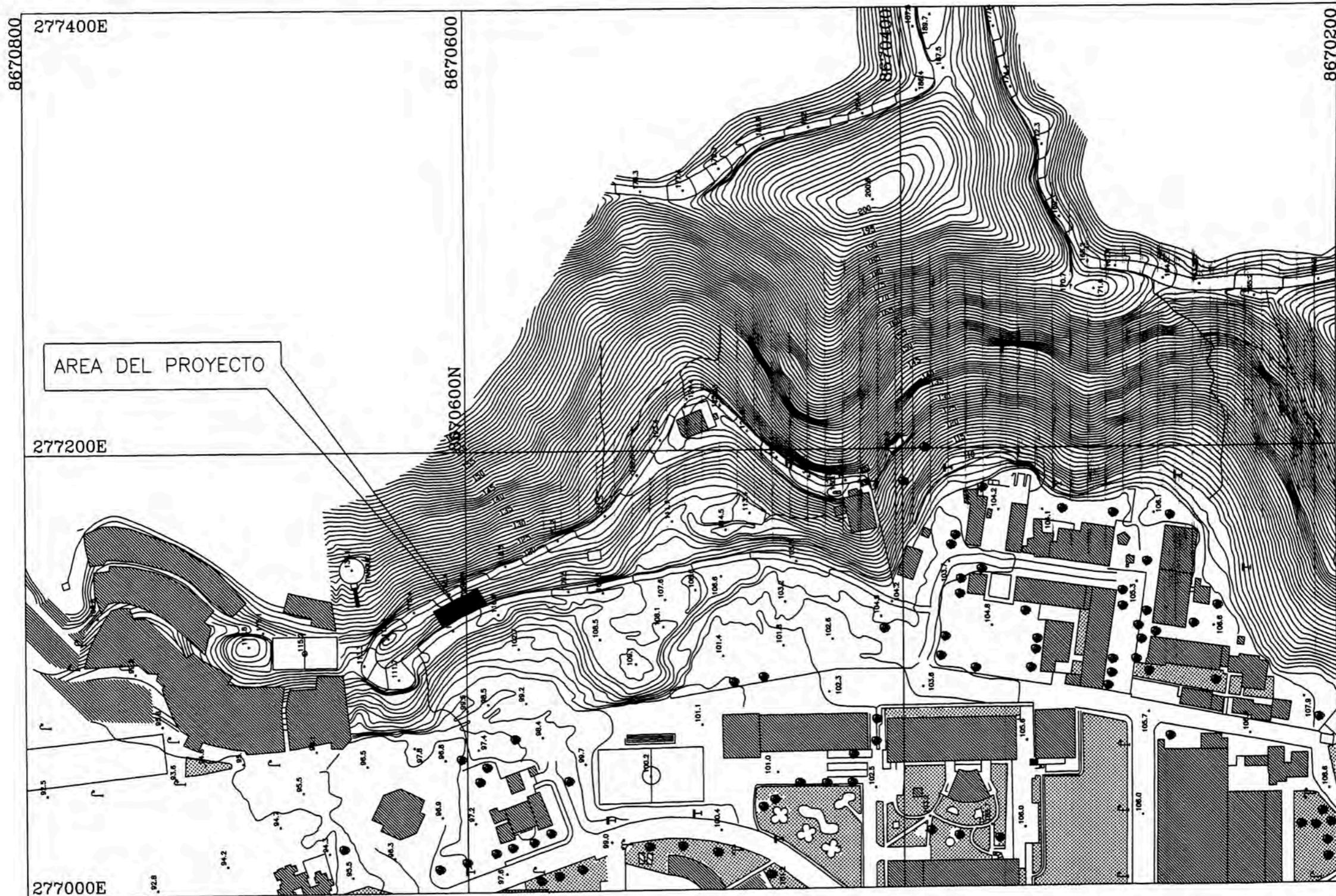
| | | | | | | |
|---|----------|-------------------------------|------|------|------|---|
| 1 | 20/07/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | PROCESO: P&D INSTR.: MECANICA : CIVIL : R. CAMPARA 20/07/07 |
| | | | | | | |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES
CON GEOSINTETICOS
PLANO: DETALLES CONSTRUCTIVOS

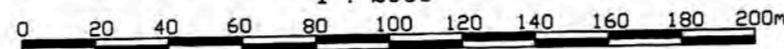


Nº DE PLANO
05 04

Figura 2.1.1. Plano topográfico de la zona de estudio



ESCALA GRAFICA
1 : 2000



1. SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
2. CUADRILLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM
3. DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
4. DATUM HORIZONTAL WGS 84

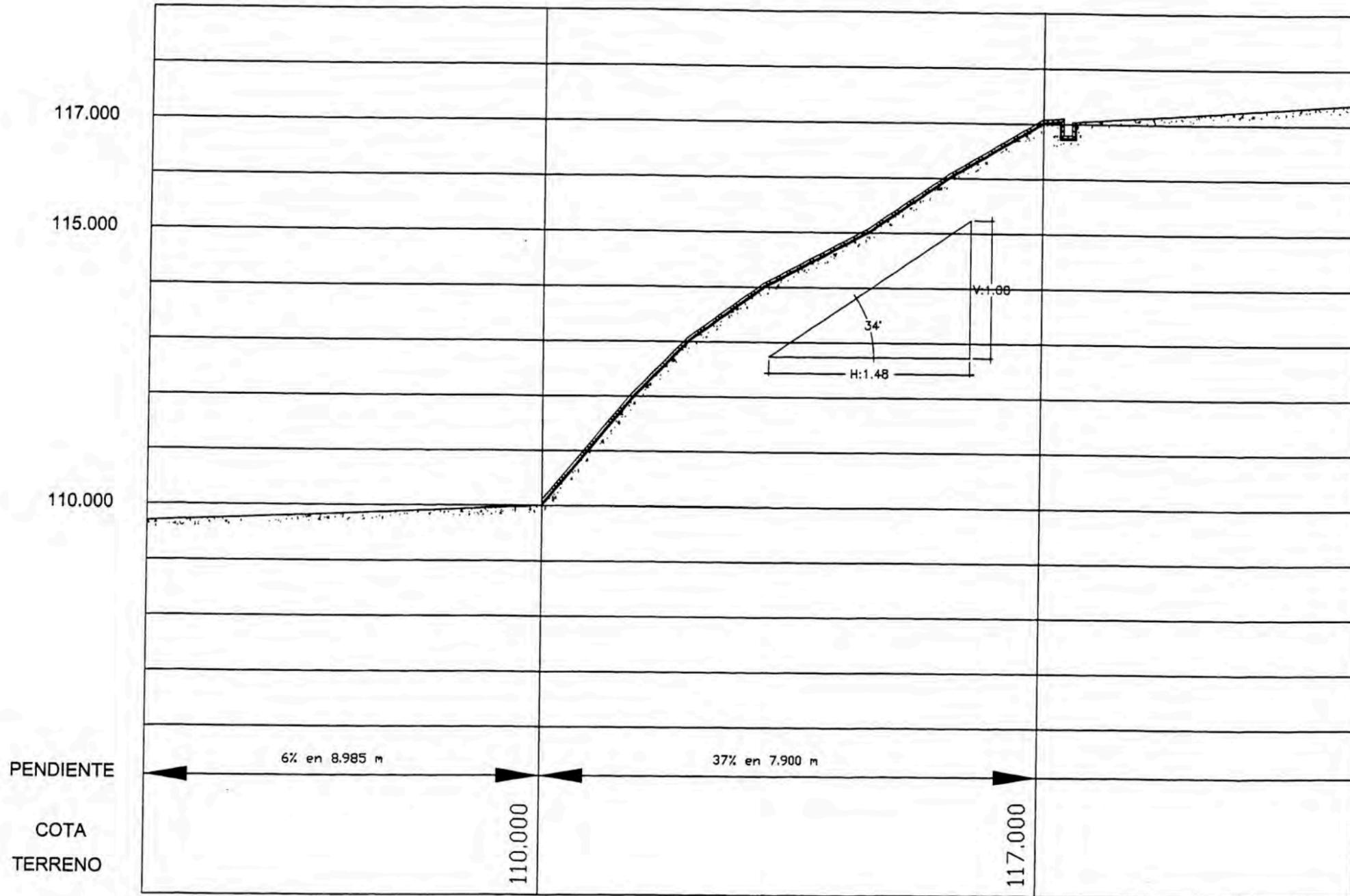
| NOTAS | PLANO N° | REFERENCIAS | N° REV. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APR. | DISCIPLINAS | FECHA | FIRMAS | UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | | |
|-------|----------|-------------|---------|-------|------------|-----|------|------|-------------|-------|--------|--|--|---|-----------------|
| | | | | | | | | | | | | PROYECTO: | PLANO: | ESCALA: | N° DE GRUPO.FIC |
| | | | | | | | | | | | | PROYECTO: | CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS |  N° DE PLANO EBS-TOP-01 | |
| | | | | | | | | | | | | PLANO: | ESTUDIOS BASICOS TOPOGRAFIA | | |
| | | | | | | | | | | | | ESCALA: 1:2000 | NOM.ARCHIVO: EBS-TOP-01-REV.0 | N° DE GRUPO.FIC 01 | AFE: REV.0 |

PROCESO:
P&D INSTR.:
MECANICA :
CIVIL : R. CAMPARA 03/05/07
ESTRUCT.:
ELECTR:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES
CON GEOSINTETICOS
PLANO: ESTUDIOS BASICOS
TOPOGRAFIA

N° DE PLANO
EBS-TOP-01

Perfil Manto Temporal Ecomatrix



| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ECOMATRIX | | |
|---|------------------|----------------|
| Propiedad | Método de Prueba | Típico |
| Tamaño de apertura | Medido | 2mm. x 5 mm. |
| Absorción de Humedad % | ASTM D - 570 | 0.01 |
| Resistencia a la Tensión(N) | ASTM D 4632 | *280/210 (N/m) |
| Elongación a la rotura % | ASTM D 4632 | *140/60 |
| Valores para las direcciones de Urdimbre (longitudinal) y trama (Transversal) bajo condición seca o saturada. | | |
| *L/T Longitudinal/Transversal | | |

| PAVCO CARACTERÍSTICAS DEL ROLLO | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Tamaño del rollo | 300 x 3.84 m. |
| Area del rollo | 1152 m ² . |
| Peso del rollo | 80Kg+ |

COORDENADA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
 REJALADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM
 VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
 HORIZONTAL WGS 84

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|-------------------|-------------------------------|------|--|--|--|-------|-----------------|----|------|--------|
| | | | | | PROCESO: | | | UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | |  N° DE PLANO CE-05 | | | | | |
| | | | | | P&D INSTR.: | | | PROYECTO: | CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS | | | | | | |
| | | | | | MECANICA: | | | PLANO: | SECCION TRANSVERSAL MATERIAL 03: ECOMATRIX | | | | | | |
| | | | | | CIVIL: R. CAMPARA | 20/07/07 | | ESCALA: | 1:125 | NOM ARCHIVO: | CE-05 | N° DE GRUPO.FIC | 01 | AFE: | REV. 2 |
| | | | | 1 | 20/07/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ESTRUCT.: | | | | | |
| | | | | 0 | 03/05/07 | EMITIDO PARA REVISION INTERNA | R.N. | R.C. | R.C. | ELECTR.: | | | | | |

