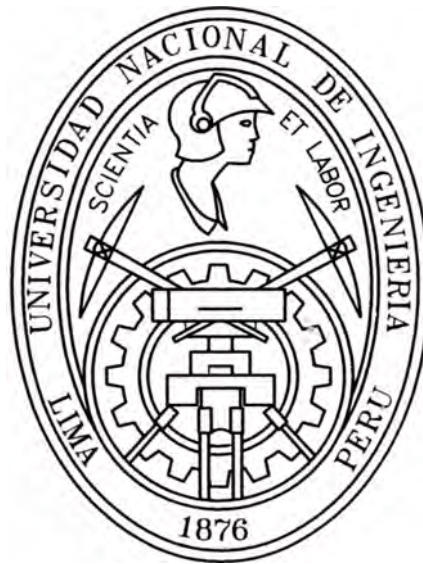


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS
ESTUDIOS BASICOS PARA EL DISEÑO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RONALD HENRY NEYRA RAMIREZ

Lima- Perú

2007

Dedicatoria

A mis padres, Egberto y Susana, por haber formado un inmejorable hogar que fomentó, fomenta y fomentará por siempre en mi, el deseo de ser siempre mejor, no solo en el campo académico y profesional, sino principalmente, en mi anhelo de ser una mejor persona, para la familia y para la sociedad. A ellos todo lo mejor de lo que fui, soy y seré.

Agradecimientos

En primer lugar a Dios por darme lo esencial: la vida y una estupenda familia. A mis padres y a mis hermanos Carlos y Víctor, por apoyarme siempre en mi deseo de ser mejor, y por supuesto por soportar mi mal humor en casa.

A mis compañeros de la universidad, en especial a los que formaron parte del grupo de control de erosión, por su contribución en el presente informe.

Y finalmente el más especial de mis agradecimientos a esa persona especial, aquella a quien todos buscamos y que tuve la suerte no sólo de conocer, sino de que llegara en el momento exacto, para darle a mi vida el impulso que estoy seguro me llevará siempre a ser mejor, porque complementa mi vida y porque, principalmente, cambió mi forma de ver las cosas, a ti Jannet, mi eterno agradecimiento.

ÍNDICE

RESUMEN	1
LISTA DE TABLAS	3
LISTA DE GRÁFICOS	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	7
1.1. ANTECEDENTES	8
1.2. JUSTIFICACIÓN	8
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.4. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS	9
1.4.1. Objetivos generales	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. MARCO TEORICO	10
1.5.1. Definiciones	10
1.5.2. Conceptos básicos en control de erosión	11
1.5.3. La vegetación en el control de erosión	14
CAPÍTULO II. INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL PROYECTO	23
2.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO	24
2.2. ESQUEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA INTEGRAL	26
2.2.1. Poza N°01	27
2.2.2. Poza N°02	27
2.2.3. Tanque elevado	30
2.2.4. Sistema de impulsión	30
2.2.5. Sistema de riego por aspersion	30
2.2.6. Sistema de control de erosión	31
2.2.7. Sistema de recirculación	32
CAPÍTULO III. ESTUDIOS BÁSICOS	33
3.1. TOPOGRAFÍA	34
3.2. GEOLOGÍA	36
3.2.1. Estratigrafía	36
3.3. GEOTECNIA	42
3.4. HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA	50
3.4.1. Caracterización hidrológica del área de estudio	50

3.4.2. Cálculo de la demanda hídrica del cultivo	51
3.5. BIOINGENIERIA	56
3.5.1. Caracterización agrológica del suelo	56
3.5.2. Especie vegetal a emplear como solución biológica	60
3.6. SEDIMENTOLOGÍA	66
3.6.1. Erosividad (R)	66
3.6.2. Erodabilidad (K)	72
3.6.3. Factor topográfico (L.S)	72
3.6.4. Manejo del suelo (C)	74
3.6.5. Prácticas de conservación del suelo (P)	75
3.6.6. Estimación de la pérdida de suelo en el área en estudio	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

RESUMEN

En el campo de la Ingeniería Civil es de conocimiento generalizado que la geometría de las secciones en los proyectos donde involucran movimientos de tierra depende de criterios técnicos y económicos, por cuanto taludes demasiado empinados tienden a ser geotécnicamente más propensos a fallas por deslizamiento (más inestables) y taludes muy agudos o tendidos elevan los costos por movimiento de tierra.

Sin embargo, y pese a que la Ingeniería apunta siempre a encontrar un equilibrio entre ambos criterios, el técnico y el económico, en nuestro medio es frecuente notar que la generación de sedimentos debido a la eliminación de la cobertura vegetal natural que sirve de protección a los taludes es un tema que no es considerado dentro de los criterios técnicos y mucho menos sus consecuentes efectos, como por ejemplo la colmatación de obras hidráulicas adyacentes o del entorno.

Lo contradictorio del tema es que muchas veces la omisión del criterio sedimentológico es sustentada por un, a priori, impacto negativo en el costo de los proyectos, por cuanto se sostiene que el costo de las medidas de control de erosión encarecen la obra principal. Este argumento es desde todo punto de vista insostenible por cuanto se puede verificar que el costo de las medidas de control de erosión es de mucha menor magnitud que los costos por mantenimiento obras afectadas por acumulación de sedimentos.

Frente a este problema, la Ingeniería ha desarrollado soluciones para controlar la erosión de suelos en taludes. Estas soluciones se pueden agrupar en dos grandes corrientes o especialidades: Bioingeniería de suelos y la Ingeniería Biotécnica. El presente proyecto de control de erosión con geosintéticos en taludes, está enmarcado dentro de la Ingeniería Biotécnica o también conocida como Estabilización Biotécnica.

Como parte del proyecto, se establece la necesidad de otorgar una base teórica y con datos técnicos al área de diseño, con el fin de elaborar una solución ad hoc al área de estudio. Con ese objetivo se elabora el presente Informe de Suficiencia, Estudios Básicos para el Diseño, cuyo alcance es la presentación de resultados de análisis de laboratorio y de ensayos de campo, así como resultados de cálculos, todos necesarios para la etapa de diseño del sistema de control de erosión.

Debe indicarse que durante la etapa de recopilación de información básica, la existencia de una componente biológica en la solución para el control de erosión, no sólo demandó la revisión de bibliografía y conceptos vinculados con las características geotécnicas del suelo, sino que se hizo imprescindible, un análisis del suelo desde el punto de vista agronómico, a fin de evaluar su capacidad de dar el sostén a la especie vegetal a usar. Para ello, se estudiaron conceptos vinculados a la edafología, conceptos que usualmente son distantes del alcance de la currícula de Ingeniería Civil y que devinieron en la realización de ensayos de suelo-fertilidad en el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria La Molina.

Los resultados del análisis de suelo-fertilidad mostraron que el suelo del área en estudio, posee condiciones favorables para el crecimiento de la especie vegetal a emplear con la única limitante de ser un suelo altamente salino. Este factor desequilibrante en la composición del suelo, demandó plantear el uso de suelo vegetal de préstamo, como componente en el diseño final del sistema control de erosión y que permite la conciliar las soluciones desde el punto de vista de la Ingeniería Civil y de la Ingeniería Agrónoma.

LISTA DE TABLAS

Tabla	Tema
1.1.	Formas de degradación en taludes
1.2.	Factores que influyen en la erosión pluvial
1.3.	Factores que influyen en la erosión eólica
2.1.	Coordenadas UTM del área de estudio
2.2.	Ubicación del área de estudio según la clasificación de Javier Pulgar Vidal
3.1.	Ensayos de mecánica de suelos realizados
3.2.	Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D422)
3.3.	Límites de Consistencia (ASTM D4318)
3.4.	Densidad Natural (ASTM D1556)
3.5.	Ensayo de Corte Directo (ASTM D3080)
3.6.	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
3.7.	Radiación extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes
3.8.	Temperaturas promedio en los valles costeros del Perú
3.9.	Temperaturas estimadas en la zona en estudio
3.10.	Resultados del análisis de suelo – fertilidad del suelo natural
3.11.	Clasificación de los suelos según los niveles de salinidad
3.12.	Clasificación de los suelos según el nivel de pH
3.13.	Clasificación de los suelos según el contenido de materia orgánica y macro nutrientes
3.14.	Clasificación del suelo del área de estudio
3.15.	Resultados del análisis de suelo – fertilidad del suelo vegetal de préstamo
3.16.	Clasificación del suelo vegetal de préstamo
3.17.	Relación de pastos más usados en Perú para el control de erosión en taludes
3.18.	Características de la gramínea Brachiaria Brizantha
3.19.	Recomendaciones para siembra y manejo de la gramínea Brachiaria Brizantha
3.20.	Valores de erosividad de las lluvias
3.21.	Precipitaciones mensuales en la estación más cercana al área de estudio
3.22.	Datos tomados de campo
3.23.	Cálculo de factores β y m
3.24.	Cálculo de factor topográfico L.S.
3.25.	Tabla de valores para el factor C: uso y manejo del suelo
3.26.	Valores para el factor P
3.27.	Valores de los parámetros obtenidos para la zona en estudio

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Tema
2.1.	Organización del Proyecto Global según los campos de aplicación de Ingeniería Civil
2.2.	Organización del Proyecto Global en el campo de aplicación de Hidráulica e Hidrología
2.3.	Componentes del Sistema Hidráulico Integral
3.1.	Carta Geológica Nacional, Hoja 25-i
3.2.	Leyenda de la Carta Geológica Nacional, Hoja 25-i
3.3.	Columna Estratigráfica generalizada de Chancay-Chosica-Lima-Lurín (zona costera)
3.4.	Curva granulométrica
3.5.	Deformación tangencial vs. Esfuerzo de corte
3.6.	Esfuerzo normal vs. Esfuerzo de corte
3.7.	Histograma de precipitación máxima en 24 horas (mm)
3.8.	Variación mensual de Ra para una latitud de 12° Sur
3.9.	Foto de Brachiaria Brizantha
3.10.	Foto de Hymenocallis Amancaes (Flor de Amancaes)
3.11.	Histograma de precipitaciones en la estación más cercana al área de estudio
3.12.	Variación espacial del nivel de precipitación promedio anual en los Estados Unidos
3.13.	Variación espacial del nivel de erosividad (curvas isoerodentes) en los Estados Unidos
3.14.	Nomograma propuesto por Wischmeier & Smith (1978), para el cálculo del coeficiente de erodabilidad K

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia, consta de 3 capítulos: I. Generalidades, II. Ingeniería Conceptual del Proyecto y III. Estudios Básicos.

En el Capítulo I. Generalidades, se revisan conceptos tales como Bioingeniería de suelos e Ingeniería Biotécnica, con la finalidad de ubicar la solución al problema planteado, dentro de estos dos campos. Así también se presentan conceptos básicos tales como los mecanismos de erosión, erosión laminar y su modelo de predicción más difundido, el cual se sintetiza en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, o USLE por sus siglas en inglés. Finalmente se revisa nociones sobre los efectos de la vegetación en el control de erosión así como recomendaciones para su uso.

En el Capítulo II. Ingeniería Conceptual del Proyecto, se muestra el marco organizacional donde se encuentra ubicado el proyecto de control de erosión con geosintéticos, en un primer nivel de acuerdo con el campo de aplicación de geosintéticos y en un segundo nivel, de acuerdo con su ubicación dentro del campo de la hidráulica. Asimismo se detallan los alcances preliminares del proyecto materia del presente informe de suficiencia, así como un alcance general de los proyectos adyacentes relacionados. Se presenta un plano con el esquema hidráulico del sistema integral, para entender el funcionamiento de manera global, donde se distingue que el alcance del proyecto integral consta de 7 componentes (2 pozas de almacenamiento, tanque elevado, sistema de impulsión, sistema de riego por aspersión, sistema de control de erosión y sistema de recirculación), y el sistema de control de erosión, constituye uno de estos 7 componentes interdependientes.

En el Capítulo III. Estudios Básicos, se detallan la información requerida para la etapa de diseño del sistema de control de erosión. Esta información está clasificada en 6 áreas: topografía, geología, geotecnia, hidráulica e hidrología, bioingeniería y sedimentología. En el área de topografía se muestra el plano de la topografía base de la zona así como el replanteo del área del proyecto. En el área de geología, se describe la estratigrafía de la zona en base a la carta geológica nacional e información publicada por el INGEMMET. En el área de geotecnia se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados (análisis granulométrico, límites de consistencia, ensayo de corte directo y densidad natural), pruebas de campo (DPL) y descripción visual de la litología en

base a la calicata ejecutada. En el campo de la hidráulica e hidrología se muestran los datos de precipitación máxima en 24 horas así como el cálculo de la demanda hídrica del cultivo a emplear en el sistema de control de erosión. En el área de bioingeniería se analiza el suelo desde el punto de vista edafológico, y se expone las características de las potenciales especies vegetales a usar. Finalmente, en el área de sedimentología, se presentan los cálculos para determinar la tasa de erosión de suelo en el talud, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, bajo condiciones iniciales, es decir, en condiciones naturales, sin aplicar ninguna técnica de conservación de suelos, a fin de contar con una línea base para el Estudio de Impacto Ambiental y también para cuantificar el beneficio de aplicar técnicas de conservación de suelos.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad las técnicas de bioingeniería para controlar la erosión de suelos en nuestro país, han alcanzado un importante desarrollo y difusión, gracias al creciente desarrollo y ejecución de proyectos de caminos pero sobre todo gracias al vertiginoso auge de los proyectos mineros.

Como consecuencia de ello, se ha incrementado el uso de materiales geosintéticos para mejorar las técnicas de bioingeniería, partiendo, en muchos casos, únicamente de datos técnicos que se encuentran en los catálogos y/o procedimiento de los proveedores, experiencias registradas en procesos constructivos anteriores, pero sin enfocar un diseño basado en datos técnicos acordes con la naturaleza propia del área y con el consecuente impacto ambiental que la ejecución de un proyecto de control de erosión podría implicar.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente informe de suficiencia se sustenta en la necesidad de otorgar la base conceptual y datos técnicos requeridos para fase de diseño de Ingeniería Conceptual, Ingeniería de detalle y posterior fase de Construcción del sistema de control de erosión, de manera tal, que el proyecto sea ejecutado dentro del tiempo estimado, sin exceder el costo estimado y cumpliendo con el alcance establecido, bajo los estándares de calidad especificados.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ejecución del camino de acceso hacia la refinería ubicada en el cerro de la UNI, ha dejado un tramo de la vía con un talud propenso a ser erosionado por acción de las precipitaciones y/o escorrentías. Dicho proceso genera la pérdida del suelo superficial, incrementando la inestabilidad del talud y consecuentemente de la plataforma de la vía.

1.4. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos generales

Corresponden los objetivos del proyecto en todo su contexto:

Evaluar los beneficios y desventajas derivadas del uso de Geomantas en el revestimiento de taludes expuestos a erosión hídrica en el Perú.

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.

1.4.2. Objetivos específicos

Corresponden los objetivos del presente informe de suficiencia:

Presentar los fundamentos teóricos sobre los diferentes estudios básicos requeridos para el control de erosión con aplicación de geosintéticos.

Mostrar el desarrollo de los estudios básicos aplicados en el área experimental de la investigación efectuada.

1.5. MARCO TEORICO

1.5.1. Definiciones

En este acápite es importante resaltar la diferencia entre dos conceptos que a menudo se usan indistintamente cuando se plantean soluciones para el control de erosión pero que sin embargo poseen diferencias sustanciales por la naturaleza de su funcionamiento. Estos conceptos son los referidos a Bioingeniería de Suelos e Ingeniería Biotécnica.

Bioingeniería de suelos

La bioingeniería de suelos es el uso de plantas o parte de éstas para aliviar los problemas ambientales tales como deslizamientos de masas de suelo, erosión en riberas de ríos, erosión en taludes, entre otros. En los sistemas de bioingeniería, las plantas representan el componente estructural más importante, no sólo un componente estético como suele pensarse.

Ingeniería Biotécnica

La estabilización biotécnica, término que refiere tanto a la materia viva (vegetación) como los materiales inertes, usados en conjunto para reforzar suelos y estabilizar taludes. El término "Protección biotécnica de taludes" describe la integración o combinación del uso de la vegetación y estructuras inertes o mecánicas. Los componentes inertes incluyen concreto, madera, acero y geocompuestos. El término geocompuestos refiere a los geotextiles tejidos y no tejidos, y las geogrillas hechas de materiales sintéticos (polímeros) o materiales naturales como yute o fibra de coco (Yamanouchi, 1986).

Como conclusión, se puede indicar que tanto la Bioingeniería de suelos así como la Ingeniería Biotécnica, emplean a la vegetación como la parte biológica de la solución para el control de erosión. Sin embargo, la diferencia entre ambas especialidades radica en que la Ingeniería Biotécnica emplea además, algunos elementos estructurales prefabricados que otorgan resistencia

mecánica y se acoplan entre sí para lograr la estabilización definitiva de un talud o cuerpo de tierra, tal es el caso por ejemplo de los geosintéticos.

1.5.2. Conceptos básicos en control de erosión

Erosión superficial y movimiento de masa

Los problemas asociados a la degradación de taludes pueden asociarse en dos grandes grupos, cuya diferenciación parte de la definición del proceso de degradación y por ende la solución a cada problema es diferente.

En la tabla 1.1., puede apreciarse estas 2 formas de degradación de taludes y sus respectivas características.

Tabla 1.1. Formas de degradación de taludes

	EROSION SUPERFICIAL	MOVIMIENTO DE MASA
PROCESO	Separación y transporte de partículas individuales	Movimiento de masa del suelo, superficie de falla
MODELO FÍSICO O DE PREDICCIÓN	USLE $A = R.K.L.S.C$	Talud infinito ó Falla circular $F.S. = A \tan\phi' / \tan\beta + Bc' / \gamma H$
PROPIEDAD MAS IMPORTANTE DEL SUELO	<u>Erodabilidad</u> $K = f (D_{50}, Cu, \%org, \%w, e)$	<u>Resistencia al corte</u> $s = c + \sigma \tan\phi$
ROL DE PROTECCIÓN DE LA VEGETACIÓN	Intercepción Represamiento Infiltración	Refuerzo Extracción de humedad Curvatura
VEGETACIÓN MÁS EFECTIVA	<u>Herbáceas</u> Grass y plantas densas, con raíces densas y próximas a la superficie	<u>Leñosos</u> Arbustos y árboles fuertes, raíces profundas y con alto radio de alcance

Fuente: Gray & Sotir (1996)

El objeto de estudio del proyecto y del presente informe se encuentra enmarcado dentro del proceso de erosión superficial.

Principales agentes de erosión

Erosión pluvial

De acuerdo con Gray & Sotir (1996), la erosión pluvial está predominantemente influenciada por los factores y sus respectivos parámetros de evaluación mostrados en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Factores que influyen en la erosión pluvial

FACTOR	PARÁMETRO
Clima	Intensidad y duración de precipitaciones
Suelo	Erodabilidad
Topografía	Longitud y pendiente
Vegetación	Tipo y extensión de cobertura

Fuente: Gray & Sotir (1996)

Erosión eólica

La erosión eólica está predominantemente influenciada por los factores y sus respectivos parámetros de evaluación mostrados en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Factores que influyen en la erosión eólica

FACTOR	PARÁMETRO
Clima	Temperatura, distribución de precipitación, velocidad del viento
Suelo	Textura, tamaño de partícula, contenido de humedad, rugosidad
Vegetación	Tipo, altura, densidad de cobertura, distribución por estaciones
Topografía	Longitud y pendiente

Fuente: De la Cruz (2005)

Principales modelos de predicción

Erosión Laminar

La erosión laminar está catalogada como el tipo de erosión más peligrosa y por ende la más perjudicial, debido a que durante su etapa inicial es imperceptible y como consecuencia de ello, no es tratada a tiempo y sólo es detectada cuando su intensidad se ha incrementado descontroladamente.

El proceso de erosión laminar parte con la precipitación. Según De la Cruz (2005), a medida que las gotas de lluvia golpean el suelo, se desprenden de éste partículas de tierra que luego el agua arrastra al escurrirse. Este escurrimiento continúa despojando a las zonas desprotegidas de su valiosa tierra vegetal y se convierte en el agua barrosa que luego desemboca en los desagües, arroyos y ríos. La erosión laminar da origen a otras formas más impresionantes de erosión: surcos y cárcavas, por ejemplo, que han sido objetos de la mayor parte de los esfuerzos de conservación realizados hasta la fecha.

Con la finalidad de cuantificar y predecir los efectos de la erosión laminar en la pérdida de suelos, se han llevado numerosos esfuerzos para modelar este fenómeno. Sin embargo, el modelo más difundido a nivel mundial es el que está representado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo o USLE (por sus siglas en inglés), desarrollada por Wischmeier & Smith (1965).

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

Esta ecuación, establecida por Smith y Wischmeier (1965), fue revisada por los mismos autores en 1978 y publicada como Agricultural Handbook 537. Esta ecuación fue desarrollada para la zona Este de "Rock Mountain" en USA, después fue adaptada para varias zonas de USA (USDA Soil Conservation Service, 1972). Este modelo evalúa las pérdidas de suelo por erosión laminar, mediante la expresión:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \dots (1.5.1)$$

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)

La definición de cada parámetro así como su aplicación al presente proyecto puede revisarse en el capítulo 3.6. correspondiente a sedimentología.

1.5.3. La vegetación en el control de erosión

Efectos de la vegetación en control de erosión

De acuerdo con De la Cruz (2005), Estos efectos pueden catalogarse según lo siguiente:

- **Intercepción pluvial**

El follaje denso intercepta parte de la lluvia. Esta fracción de lluvia interceptada es retenida y luego evaporada. La fracción que no es retenida alcanza finalmente, la tierra por goteo o por flujo sobre las hojas y troncos.

La intercepción pluvial disminuye el caudal de agua por escorrentía, disminuyendo su poder erosivo. La retención de agua en el follaje depende del tipo de vegetación, y la intensidad de la lluvia. En el caso de lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser significativa, dependiendo de las características de la vegetación.

- **Evapotranspiración**

El agua que intercepta el follaje es drenada en forma de vapor de agua debido a la evaporación y la transpiración de las plantas. La disminución de la humedad aumenta el contacto entre las partículas de suelo y disminuye la fuerza resultante del agua, y por lo tanto la estabilidad del margen aumenta. Esta propiedad depende del tipo de planta, y es nula cuando la precipitación es tan cargada que el agua retenida sobrepasa la capacidad de evapotranspiración de la planta.

- **Intercepción de la escorrentía superficial**

El follaje, los tallos, raíces y residuos orgánicos en superficie (hojarasca), disipan la energía cinética de la lluvia y las escorrentías. La transpiración de las plantas habilita la capacidad del suelo, de almacenamiento de agua. Absorción del agua por el humus y la hojarasca incrementa el tiempo de llegada del agua al suelo, retrasando el punto de encharcamiento. Se ve incrementada la rugosidad superficial. Esta acción permite la reducción de la velocidad de escorrentía, incrementa el tiempo de contacto del agua con el suelo. La infiltración es estimulada a través de los canales dejados por las raíces descompuestas. La incorporación de materia orgánica al suelo, lo protege del secado intenso.

- **Filtro de finos**

El follaje de las plantas retiene el fino que arrastra el flujo superficial, impidiendo que el suelo sea lavado.

- **Infiltración**

Las plantas y sus residuos ayudan a mantener la porosidad del suelo y su permeabilidad, disminuyendo la velocidad del flujo, pero aumentando la capacidad de infiltración del suelo, dependiendo de la profundidad de las raíces.

- **Refuerzo del suelo por raíces**

Los sistemas radicales de las plantas y árboles desarrollan bulbos donde interactúan el suelo y las raíces, lográndose el reforzamiento mecánico del suelo. El refuerzo depende de la densidad de las raíces, su resistencia a la tracción, la resistencia por fricción entre la raíz y el suelo, el índice de alineamiento de las raíces (rectitud-angulosidad) y la orientación respecto la dirección del esfuerzo principal. El sistema radical incrementa el parámetro de cohesión del suelo. Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente.

- **Control de erosión por viento**

La vegetación reduce la exposición del suelo al viento, evitando la movilización de partículas del suelo por la dinámica del viento. La propiedad determinante de la vegetación en este caso es su cobertura aérea, se prefieren pastos y arbustos densos.

Labores previas al establecimiento de la vegetación

Según la publicación electrónica “Las coberturas vegetales en el control de la erosión”, publicada por Carlos Enrique Escobar Potes, profesor de la Universidad Nacional de Colombia en Manizales, previo al establecimiento de la vegetación se debe contemplar actividades de carácter general y actividades de carácter específico.

Dentro de las actividades de carácter general se sugiere:

- Caracterización del material vegetal en las zonas con similitud biótica al área a tratar.
- Evaluación sobre el comportamiento de la vegetación arraigada en las zonas geomorfológicamente homogéneas, principalmente en taludes y la identificación de los procesos de recuperación de las áreas vecinas, haciendo énfasis en la respuesta de las coberturas. Se hace importante considerar variables como las pendientes de los taludes, la respuesta de

la vegetación frente a las sequías y la presencia de especies pioneras en los procesos de regeneración natural.

- Comparación de la respuesta que presentan las coberturas vegetales inducidas y la regeneración natural, en áreas con similitud biótica y geomorfológica.
- Identificación de los procesos de degradación presentes en las zonas protegidas con vegetación, describiendo sus causas y efectos.
- Identificación de los efectos de las coberturas sobre las obras de drenaje.

Dentro de las actividades de carácter específico se sugiere:

- La cartografía de la zona permite localizar las áreas biológicas y climáticas similares y los bancos genéticos para obtener el material vegetal de propagación. Además se identifican variables como la orientación y pendiente de los taludes, distribución de los drenajes y características de los suelos.
- Los recorridos por las zonas con similitud ecológica permiten identificar los problemas asociados a las coberturas vegetales, como propagación lateral, protección del suelo, estimulación de infiltración, entre otros.
- El inventario de las especies pioneras, útiles para la recuperación de las áreas degradadas y de los volúmenes de materia orgánica.
- Comparación sobre el comportamiento de los diferentes materiales vegetales útiles.
- Identificación de los procesos erosivos presentes en los taludes protegidos con especies vegetales.
- Identificación de los problemas de cubrimiento y estabilidad presentes en los taludes.
- Selección de las especies útiles para recuperar las áreas degradadas.
- Adaptación de los tratamientos más adecuados para el establecimiento de coberturas vegetales a utilizar en las soluciones.
- Análisis y caracterización agrológica y geomorfológica del suelo.
- Identificación de los posibles efectos negativos de las coberturas vegetales sobre las obras de drenaje.
- Revisión de literatura con experiencias similares.

- Entorno de los taludes, respecto a las variables socio económicas y socio ambientales.
- Integración de la cobertura a la dinámica del tratamiento.
- Mantenimiento de las obras y plan de manejo de coberturas.

Selección de especies vegetales

Según la publicación electrónica “Las coberturas vegetales en el control de la erosión”, publicada por Carlos Enrique Escobar Potes, profesor de la Universidad Nacional de Colombia en Manizales, para la selección de especies vegetales se deben considerar los siguientes criterios:

- **Sistema radical.**

Lo que se desea en las soluciones bioingenieriles para el control de erosión es que las raíces de la especie vegetal seleccionada sean densas, de manera que conjunto suelo-raíces, formen una barrera que limite el flujo subsuperficial.

Sin embargo debe tenerse en cuenta que la configuración del sistema radicular de una especie vegetal es una respuesta a la interrelación que existe entre el tipo de vegetación y las condiciones físicas del suelo o roca, la posición del nivel freático, las estructuras presentes o heredadas del macizo rocoso. Es por eso que su comportamiento no es homogéneo y puede alcanzar sitios que muchas veces no están dentro de las proyecciones de su establecimiento.

- **Aporte de materia orgánica**

Dentro de su proceso biológico, las plantas eliminan las hojas muertas. Estas hojas muertas constituyen lo que se denomina hojarasca. La hojarasca es el aporte orgánico al suelo. Sin embargo, si este proceso natural es interpretado como fuente generador de sedimentos para las obras hidráulicas adyacentes, y si no es tomado en cuenta en los respectivos diseños, la solución al problema de control de erosión puede tornarse también en un serio problema para las obras hidráulicas.

- **Porte (altura máxima).**

La altura máxima que alcanza la especie es de gran importancia respecto al alcance que pueda tener la diseminación de su parte orgánica, en relación a la transitabilidad del área, por la facilidad para su mantenimiento, el efecto de palanca sobre los taludes y la presión sobre las obras de drenaje.

- **Morfología.**

La morfología de las especies seleccionadas como cobertura vegetal tiene alta incidencia en el comportamiento del agua precipitada en el área. Especies con alta densidad en el sistema foliar o que se integren en coberturas multiestratas, tienen mayor capacidad de interceptación de la lluvia. Sistemas foliares espigados (ejemplo acículos de las coníferas) tienen menor área específica en el sistema, lo que reduce su capacidad interceptadora.

La densidad, forma, rugosidad, tamaño de las ramas, fustes y sistemas foliares son determinantes en la capacidad de la cobertura para aumentar el tiempo de concentración de las aguas en la ladera.

- **Exigencias climáticas.**

Con el fin de garantizar el arraigo de la vegetación se deben tener en cuenta las exigencias climáticas de las especies seleccionadas y estar en concordancia con las del sitio de las labores de control de erosión (altura sobre el nivel del mar, temperatura, precipitación y humedad relativa).

Las condiciones climáticas inciden directamente en la capacidad de respuesta de la vegetación.

- **Exigencias edáficas.**

La calidad de los suelos es factor determinante en el desarrollo de las especies vegetales, por tal razón, al seleccionar las coberturas para labores de control de erosión se deben tener en cuenta las exigencias de nutrientes de las especies de acuerdo a la calidad de los suelos del área a tratar.

Si existe deficiencia en la presencia de nutrientes, se debe adelantar un programa de fertilización acorde a las exigencias de la cobertura seleccionada. En casos en que el suelo presente una avanzada degradación es recomendable utilizar abonos orgánicos compensados que contribuyan a mejorar la estructura física y las propiedades químicas del suelo.

- **Exigencias hídricas.**

En la fisiología de las plantas el elemento hídrico es un factor de primer orden. Por tanto, al seleccionar la cobertura vegetal debe compararse las exigencias de agua de las especies con la existente en el área de tratamiento y considerar además los cambios que sufre el nivel freático y la humedad del terreno, por la presencia de las obras de control de erosión.

- **Sistemas de regeneración.**

La propagación de especies utilizadas para recuperar áreas degradadas debe ser simple y de alta viabilidad, las mejores características las presentan aquellas plantas que aportan gran número de semillas o las que tienen una reproducción vegetativa por tallos rastreros, estolones, rizomas o bulbos, con los cuales se logra el cubrimiento rápido de la zona.

- **Recuperación de suelos.**

En las prácticas se utilizan especies pioneras de rápido crecimiento y que aporten materia orgánica, mejorando las condiciones para el establecimiento de las especies definitivas.

La materia orgánica aportada por las especies herbáceas y pioneras se descompone rápidamente, favoreciendo al aumento de microorganismos en el suelo y restituyendo un eslabón básico en la cadena alimenticia. Esto conduce a una rápida activación de la dinámica sucesional de la cobertura y a un equilibrio ecológico en el área recuperada.

- **Influencia sobre obras de ingeniería.**

El éxito de un tratamiento de control de erosión está supeditado a la relación que existe entre las coberturas vegetales y a su evolución en ambientes con presencia de estructuras de drenaje. Su acción es complementaria y no debe existir presión entre ellas.

El establecimiento de la cobertura vegetal debe considerar los efectos negativos sobre las obras: la presión de los sistemas radicales leñosos sobre las estructuras hidráulicas, la acción de palanca que ejercen los árboles, sobre taludes de pendientes fuertes, el aporte de sedimentos orgánicos y la presencia de especies vegetales sobre las estructuras de drenaje, son entre otras, frecuentes.

- **Periodicidad del mantenimiento.**

El período de tiempo que requiere la cobertura vegetal para regenerarse, extenderse y desarrollarse hasta el punto de convertirse en un obstáculo para las obras de drenaje, es un factor de amplia repercusión económica y de eficiencia de las soluciones.

Las coberturas deben tener un período de desarrollo lo más amplio posible con el fin de que disminuya el número de rondas de mantenimiento en espacio de tiempo.

- **Agresividad y dominancia.**

Para la elección de las coberturas vegetales en obras de control de erosión debe tenerse en cuenta la agresividad de las especies, con el fin de poder estimar el tiempo el cubrimiento óptimo de la zona; la dominancia existente entre las especies permite el control de las no deseadas, con el fin de proteger las obras de drenaje, apoyando su funcionamiento y contribuyendo a la regulación de los caudales y sedimentos orgánicos.

- **Usos antrópicos (alimenticio - medicinal - artesanal - industrial).**

Al seleccionar la cobertura vegetal es determinante considerar el uso final que tendrá el área sometida a tratamiento. Las condiciones de estabilidad que se esperan obtener con la solución determinan, en muchos casos, el uso potencial del terreno.

En zonas donde se logra alta estabilidad podrán establecerse especies aprovechables como frutales, medicinales, leña o madera; por el contrario, si la estabilidad conseguida por el tratamiento es baja, la zona debe revegetarse con especies que desestimulen la presencia de personas en el área.

- **Palatabilidad a los ganados.**

De acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, la palatabilidad es la cualidad de ser grato al paladar un alimento.

Uno de los principales agentes de daño en áreas con tratamiento de coberturas vegetales es la presencia de ganados (equinos, vacunos, caprinos, otros). Con el fin de evitar la presencia de estos animales en la zona, debe considerarse como criterio de selección de la cobertura, la palatabilidad de las

especies a los ganados, de esta forma se evita que el área sea atractiva para el pastoreo.

Si las especies mas apropiadas para el establecimiento de vegetación en el área son forrajeras, se debe cercar el área para evitar el daño por animales.

CAPÍTULO II. INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL PROYECTO

2.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Políticamente, el proyecto se encuentra ubicado según lo siguiente:

- País : Perú
- Departamento : Lima
- Provincia : Lima
- Distrito : Rímac

Los límites del área en estudio se encuentran dentro de los terrenos de la Universidad Nacional de Ingeniería, límites que están demarcados según las siguientes coordenadas:

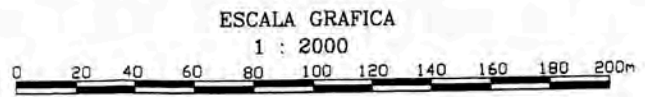
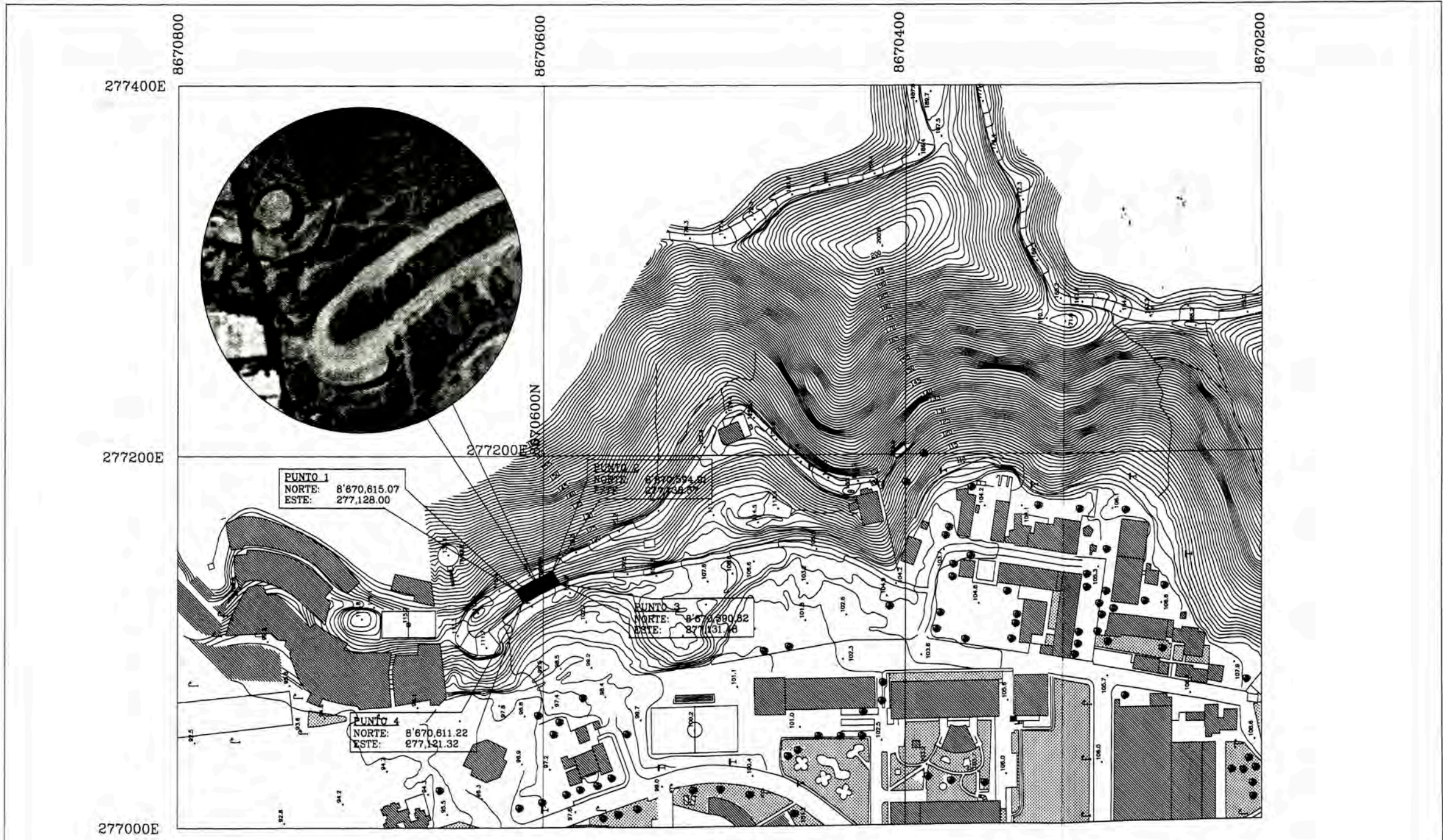
Tabla 2.1. Coordenadas UTM

Punto	Norte (m)	Este (m)
1	8'670,615.0786	277,128.0086
2	8'670,594.9102	277,138.5794
3	8'670,590.8206	277,131.4865
4	8'670,611.2228	277,121.3210

De acuerdo con la clasificación de las ocho regiones naturales, propuestas por Javier Pulgar Vidal, el área de estudio se encuentra ubicada en la región denominada Chala o Costa, con las siguientes características:

Tabla 2.2. Ubicación del área de estudio según Javier Pulgar Vidal

Nombre de la región	Descripción
Costa o chala	Territorio bajo los 500 m.s.n.m., al lado occidental de los Andes. Mayormente desértica.



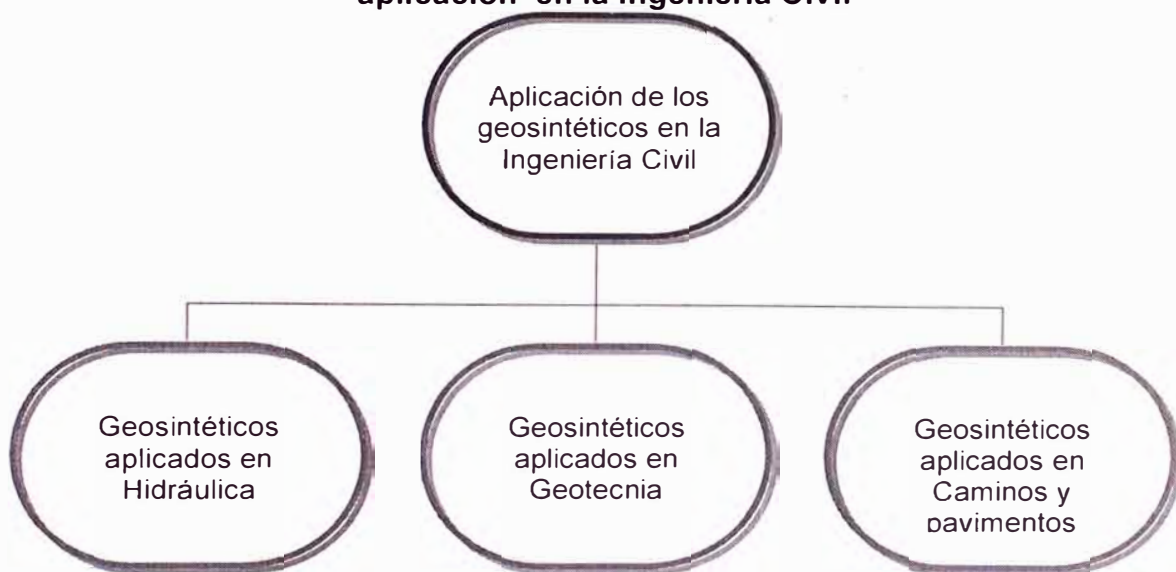
1. SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84 2. CUADRILLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM 3. DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR 4. DATUM HORIZONTAL WGS 84	PROCESO: P&D INSTR.: MECANICA : CIVIL : R. CAMPARA 03/05/07 ESTRUCT.:										UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		 N° DE PLANO CIV-CPT-01	
	0 03/05/07 EMITIDO PARA REVISION INTERNA R.N. R.C. R.C. ELECTR.										PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS PLANO: INGENIERIA CONCEPTUAL UBICACION DEL PROYECTO			ESCALA: 1:2000 NOM.ARCHIVO: CIV-CPT-01-REV.0 N° DE GRUPO.FIC 01 AFE: REV.0
NOTAS	PLANO N°	REFERENCIAS	N° REV.	FECHA	REVISIONES	POR	REV.	APR.	DISCIPLINAS	FECHA	FIRMAS			

2.2. ESQUEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA INTEGRAL

El proyecto "Control de erosión en taludes con geosintéticos" forma parte, en un primer nivel, de un proyecto global cuyo objetivo es el de investigar acerca de la aplicación de los geosintéticos en el campo de la Ingeniería Civil.

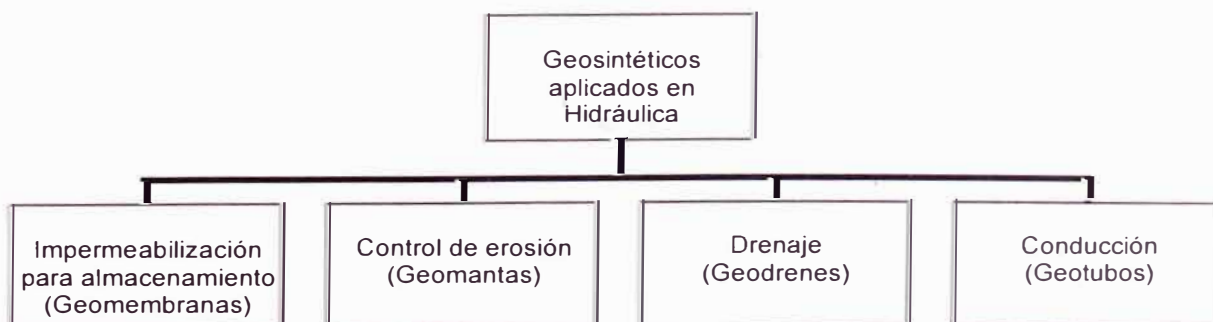
El gráfico 2.1., muestra la organización en un primer nivel del proyecto global según los campos de aplicación en la Ingeniería Civil.

Gráfico 2.1. Organización del Proyecto Global según los campos de aplicación en la Ingeniería Civil



En una clasificación de segundo nivel, el proyecto "Control de erosión en taludes con geosintéticos", se encuentra ubicado en el campo de aplicación de Hidráulica. El gráfico 2.2. muestra la organización del proyecto global a segundo nivel en el campo de Hidráulica e Hidrología.

Gráfico 2.2. Organización del Proyecto Global en el campo de aplicación de Hidráulica e Hidrología



Con ayuda del gráfico 2.2., se debe plantear inicialmente, que el sistema de control erosión, materia del presente informe, se encuentra en estrecho vínculo con los sistemas de impermeabilización para almacenamiento y con los sistemas de conducción.

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 en el párrafo anterior, los componentes físicos necesarios que se plantean como solución para el funcionamiento del sistema control de erosión, están mostrados en el gráfico 2.3.

A continuación se describe la Ingeniería conceptual de cada componente en base al gráfico 2.3.:

2.2.1. Poza N°01

Ubicada en la cota 98 m.s.n.m. aproximadamente. Excavada en tierra e impermeabilizada con una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE). Posee dos funciones:

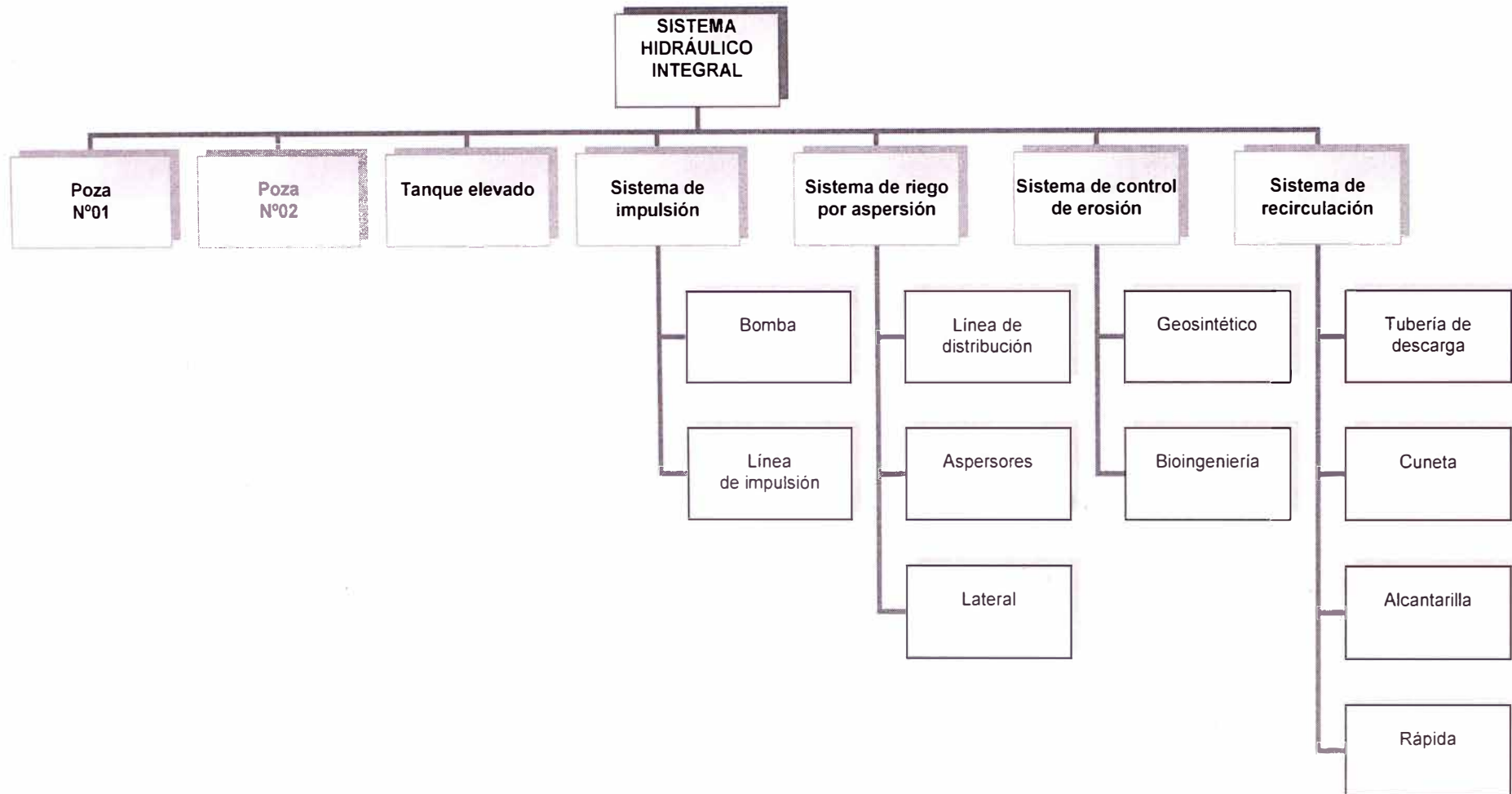
- a) Ser el punto inicial de almacenamiento de agua para todo el sistema hidráulico, incluyendo el riego del cultivo que forma parte del sistema de control de erosión.
- b) Captar el agua de retorno proveniente de la descarga de la poza N°02 y de la escorrentía del sistema de control de erosión.

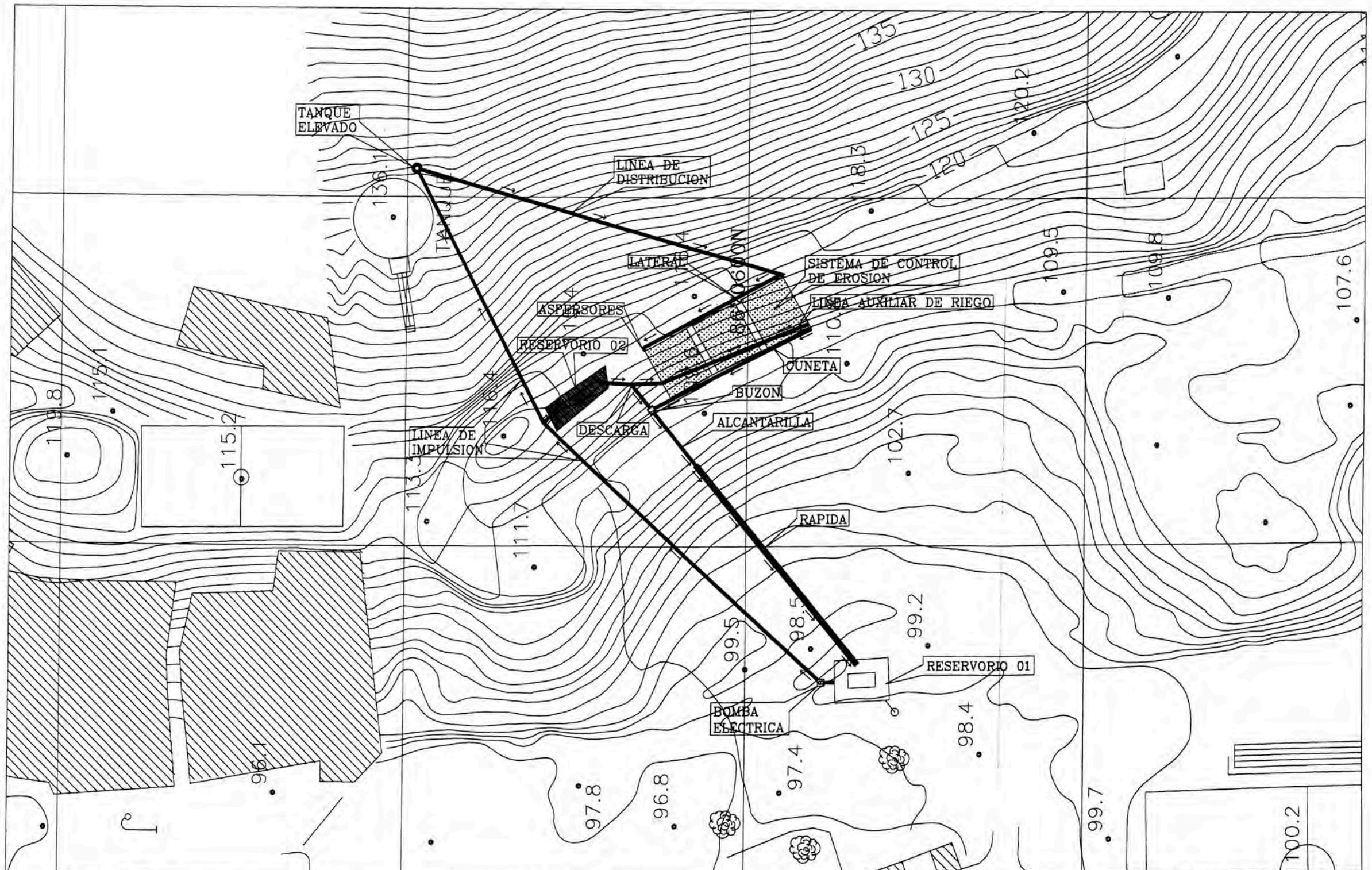
2.2.2. Poza N°02

Ubicada en la cota 114 m.s.n.m. aproximadamente. 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.

Gráfico 2.3. Componentes del sistema hidráulico integral





<p>1. SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84 2. CUADRILLADO CADA 50 mts. ZONA 18 UTM 3. DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR 4. DATUM HORIZONTAL WGS 84</p>											<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</p>		<p>Nº DE PLANO CIV-CPT-02</p>
											<p>PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS</p>		
											<p>PLANO: INGENIERIA CONCEPTUAL SISTEMA HIDRAULICO INTEGRAL</p>		
											<p>ESCALA: 1:500 NOM.ARCHIVO: CIV-CPT-02-REV.0 Nº DE GRUPO.FIC 01 AFE: REV.0</p>		
NOTAS	PLANO Nº	REFERENCIAS	Nº REV.	FECHA	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	R.N.	R.C.	R.C.	ELECTR.	PROCESO:	P&D INSTR.:	MECANICA:	
			0	03/05/07								CIVL : R. CAMPARA	03/05/07
										ESTRUCT.:			

2.2.3. Tanque elevado

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

- a) Almacenar el agua proveniente de la poza 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 aspersión que se plantea usar para el riego del cultivo en la parte alta del sistema de control de erosión.

2.2.4. Sistema de impulsión

Está formado por los siguientes componentes:

- a) *Bomba eléctrica*: ubicada junto a la poza N°01. Su función es la de entregar la potencia necesaria para impulsar el agua desde la poza 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). Su función es la de conducir el agua desde la poza N°01 hacia la poza N°02 y hacia el tanque elevado. Para ello, debe instalarse, a la altura de la poza N°02, una bifurcación con una válvula hacia la poza 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.

2.2.5. Sistema de riego por aspersión

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.

2.2.6. 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® (Macaferri), 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.

2.2.7. Sistema de recirculación

Está formado por los siguientes componentes:

- a) *Tubería de descarga*: tubería de polietileno de alta densidad (HDPE). Su función es 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.

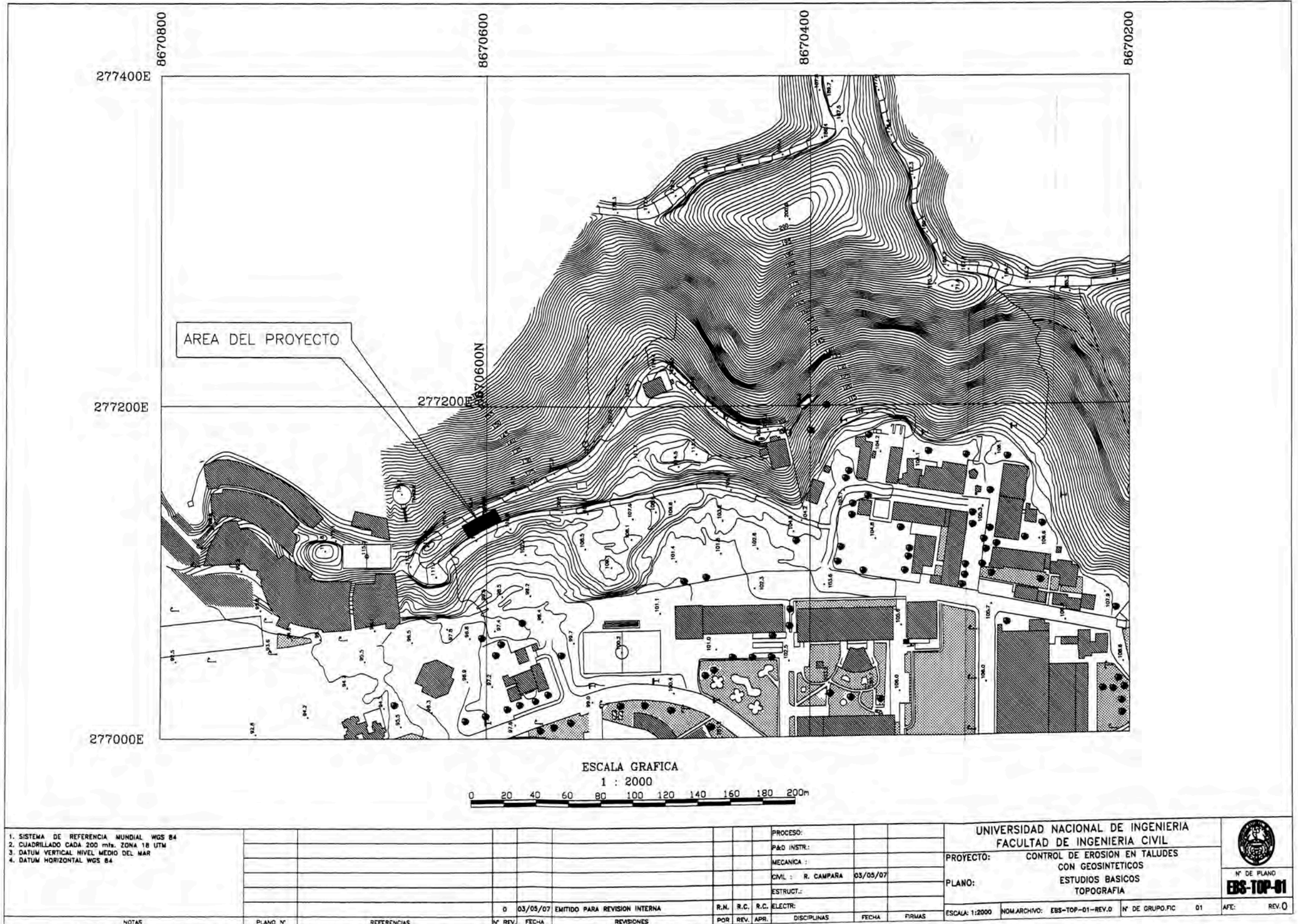
CAPÍTULO III. ESTUDIOS BÁSICOS

3.1. TOPOGRAFÍA

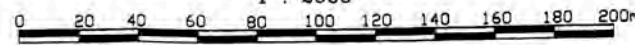
Para la obtención de la topografía base de la zona de estudio, no se efectuaron levantamientos de información de campo, dado que se cuenta con los planos digitales de las curvas de nivel de la zona, con intervalos a cada metro, a partir de un trabajo efectuado por el Departamento de Topografía y Vías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

A continuación se muestra el plano con la topografía base 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

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

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



NOTAS	PLANO N°	REFERENCIAS	N° REV.	FECHA	REVISIONES	R.N.	R.C.	R.C.	ELECTR.	DISCIPLINAS	FECHA	FIRMAS	ESCALA: 1:2000	NOM.ARCHIVO: EBS-TOP-01-REV.0	N° DE GRUPO.FIC 01	AFE: REV.0
			0	03/05/07	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	R.N.	R.C.	R.C.	ELECTR.							

3.2. GEOLOGÍA

Para la caracterización litológica del material donde descansa el sistema de control de erosión, se realizó la calicata C-1. La descripción de los resultados puede revisarse en el plano EBS-GET-03, en el Capítulo 3.3. correspondiente a Geotecnia.

Para el estudio geológico base de la zona, se tomó como referencia, 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.

El gráfico 3.1., muestra 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. Asimismo, el gráfico 3.2., 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 3.3., 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.

3.2.1. 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 Turín, 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.

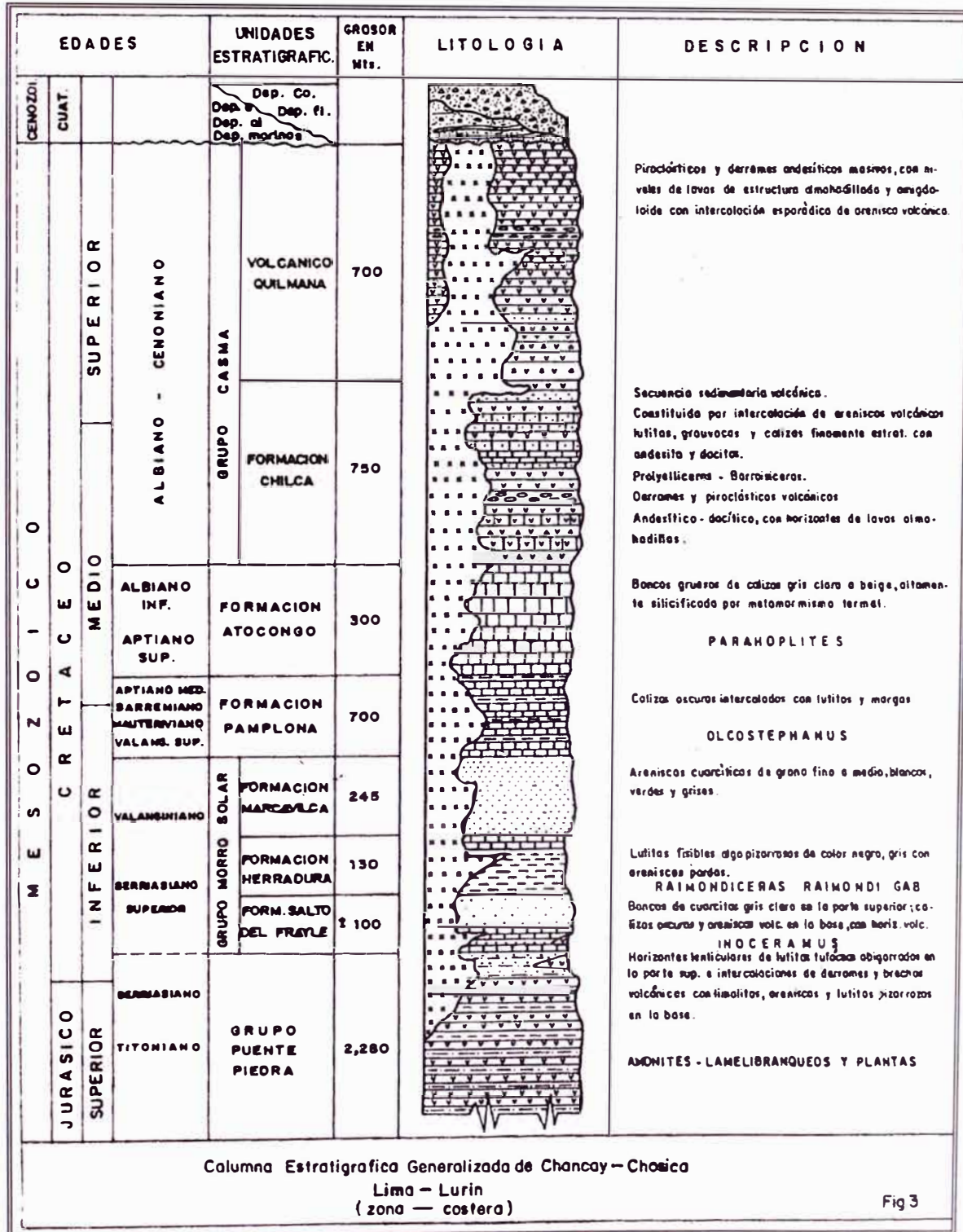
Gráfico 3.2. Leyenda de la Carta Geológica Nacional, Hoja 25-i

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOSTRATIGRAFIA				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. eólicos	Qr-e			
			Dep. aluviales	Qr-al			
			Dep. marinos	Qr-m			
		PLEISTOCENO	Dep. eólicos	Qp-e			
			Dep. aluviales	Qp-al			
			Dep. marinos	Qp-m			
MESOZOICO	CRETACEO	MEDIO SUPERIOR	Volc. Quilmaná	Kms-q			
			Volc. Huarangal	Kim-h			
			Fm. Atocongo	Kl-a			
			Fm. Pamplona	Kl-pa			
			Fm. Marcavilca	Kl-m			
			Fm. Herradura	Kl-h	Fm. Yangas	Kl-y	
		INFERIOR	Fm. Salto del Fralite	Kl-sf			
			Fm. Cerro Blanco	Kl-cb			
			Fm. Ventanilla	Kl-v	Volc. Ancón	Kl-va	
			Fm. Puente Inga	Kl-pi			
			Volc. Santa Rosa	JsKl-vs-r			
			JURASICO	SUPERIOR			

SUPER UNIDAD	TIPO DE ROCA	ROCA
	Adamelita	Ks-ad-af
Santa Rosa	Tonalita granodiorita	Ks-tad-ar
	Tonalita-fiorita	Ks-tal-ar
	Granodiorita	Ks-gd-ar
Paraiso	Tonalita-diorita	Ks-tal-par
Patap	Gabro-diorita	Ks-gbd-p

Fuente: Carta Geológica Nacional. Hoja 25-i.

Gráfico 3.3. Columna Estratigráfica generalizada de Chancay-Chosica-Lima-Lurín (zona costera)



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

3.3. GEOTECNIA

El estudio geotécnico tiene por objetivo obtener los datos del suelo que conforma el talud en estudio, necesarios para clasificar el suelo, y proceder con la etapa de diseño del sistema de control de erosión con geomantas. Asimismo, los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y pruebas de campo suministran la información para la estimación de la tasa de pérdida de suelo en su condición natural (sin prácticas de conservación) mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), cálculo que puede revisarse en el Capítulo 3.6 referente a Sedimentología.

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 con una muestra de suelo del talud, obtenida de la calicata C-1 (para ver ubicación de la mencionada calicata, ver plano EBS-GET-01 y EBS-GET-03) y se basaron en estándares según lo mostrado en la tabla 3.1.

Tabla 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

Asimismo, también se efectuaron 8 pruebas de campo para el ensayo de DPL (para ver ubicación de pruebas ver plano EBS-GET-01), a fin de disponer de una caracterización más específica del suelo del talud. Estas pruebas de campo se realizaron con el apoyo del Área de Geotecnia del Laboratorio Nacional de Hidráulica.

A continuación se muestran los resultados de los 4 ensayos mencionados en la tabla 3.1. así como la representación gráfica de los resultados obtenidos de los ensayos de campo.

Tabla 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 3.3. Límites de Consistencia (ASTM D4318)

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

Clasificación SUCS: SM

Gráfico 3.4. Curva Granulométrica
Muestra: Calicata C-1

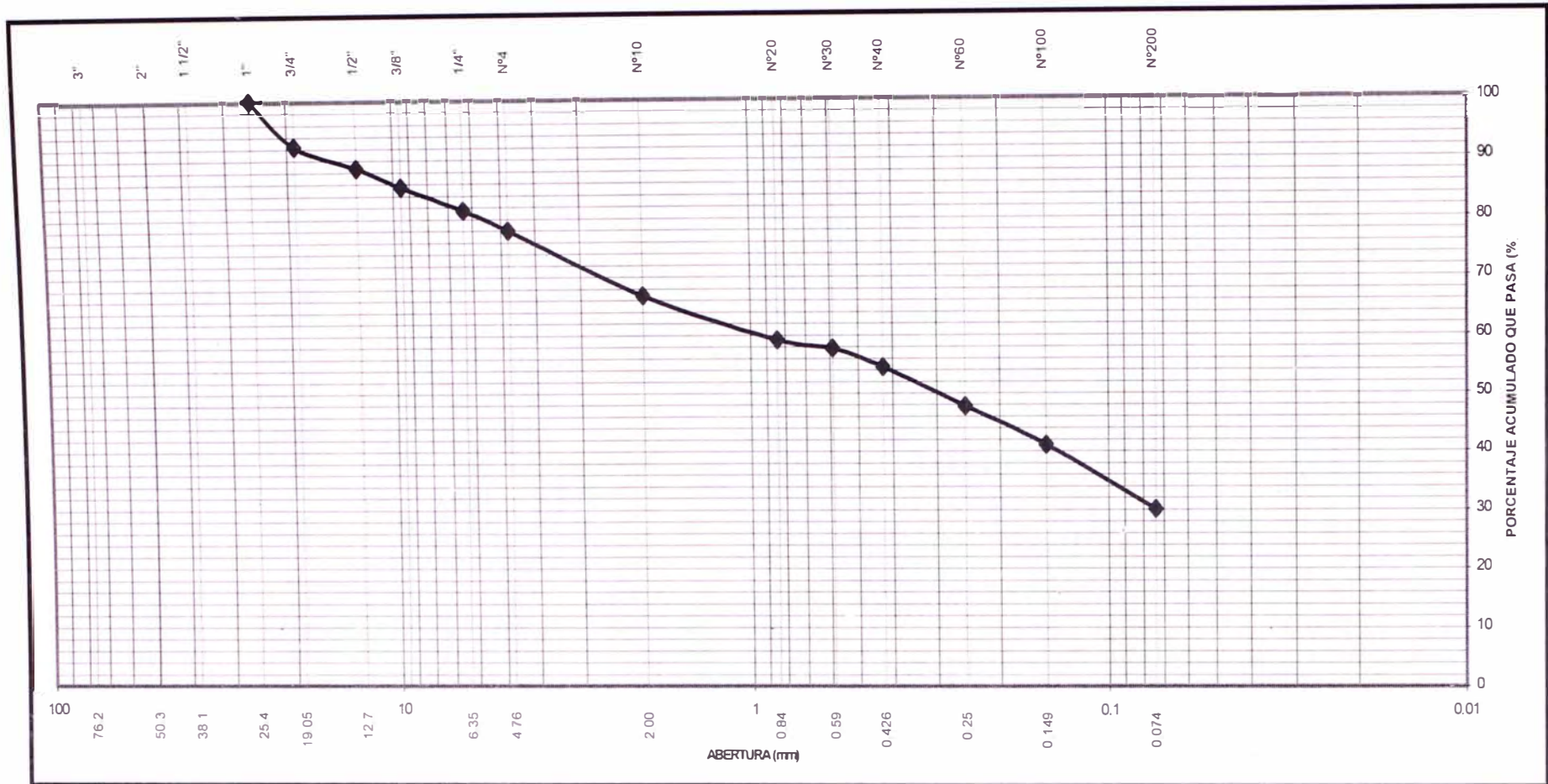


Tabla 3.4. Densidad Natural (ASTM D1556)

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

Tabla 3.5. Ensayo de Corte Directo (ASTM D3080)

Espécimen 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

Gráfico 3.5. Deformación tangencial vs. Esfuerzo de corte

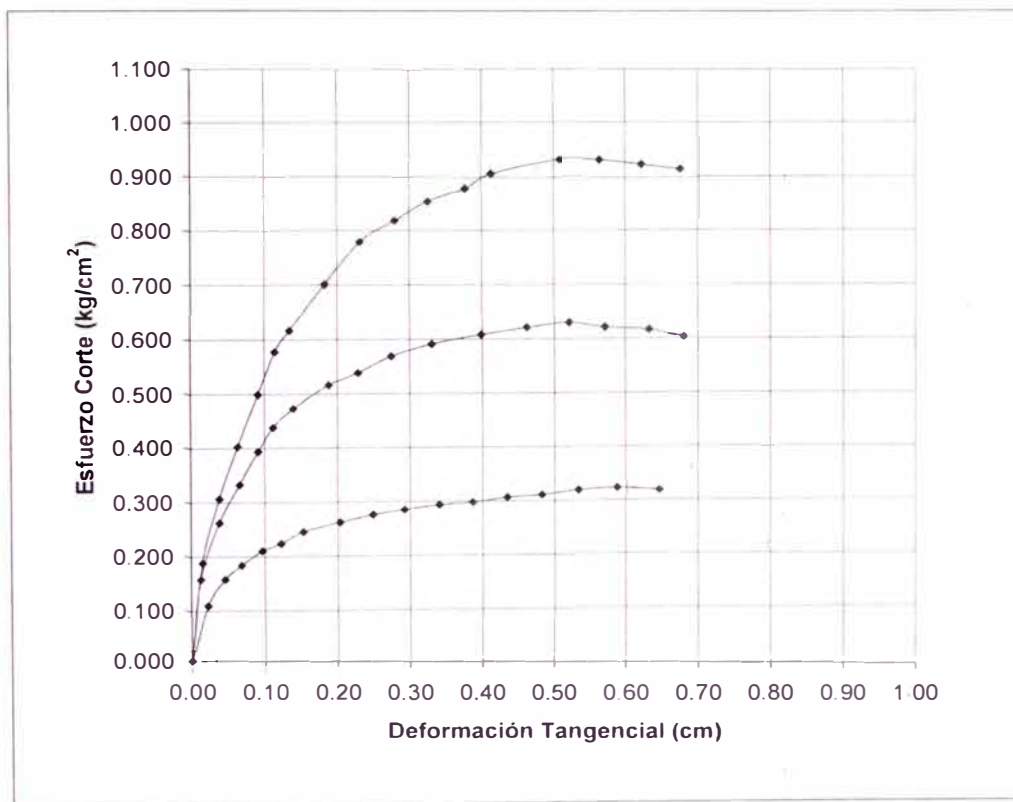


Gráfico 3.6. Esfuerzo normal vs. Esfuerzo de corte

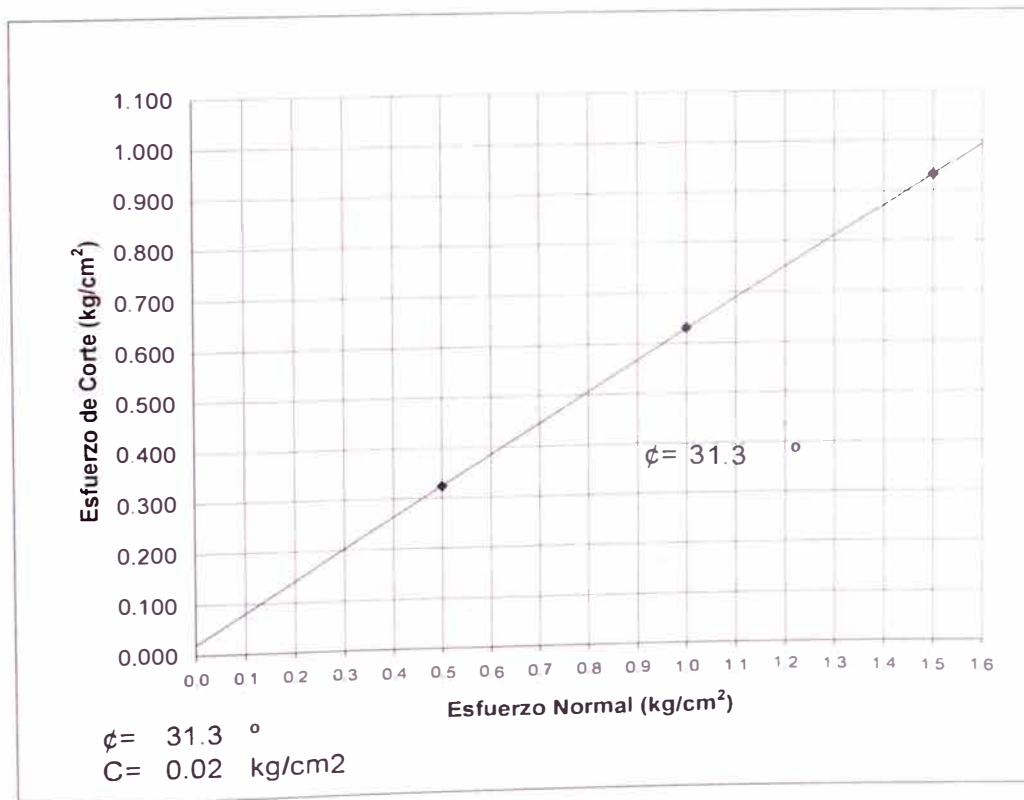
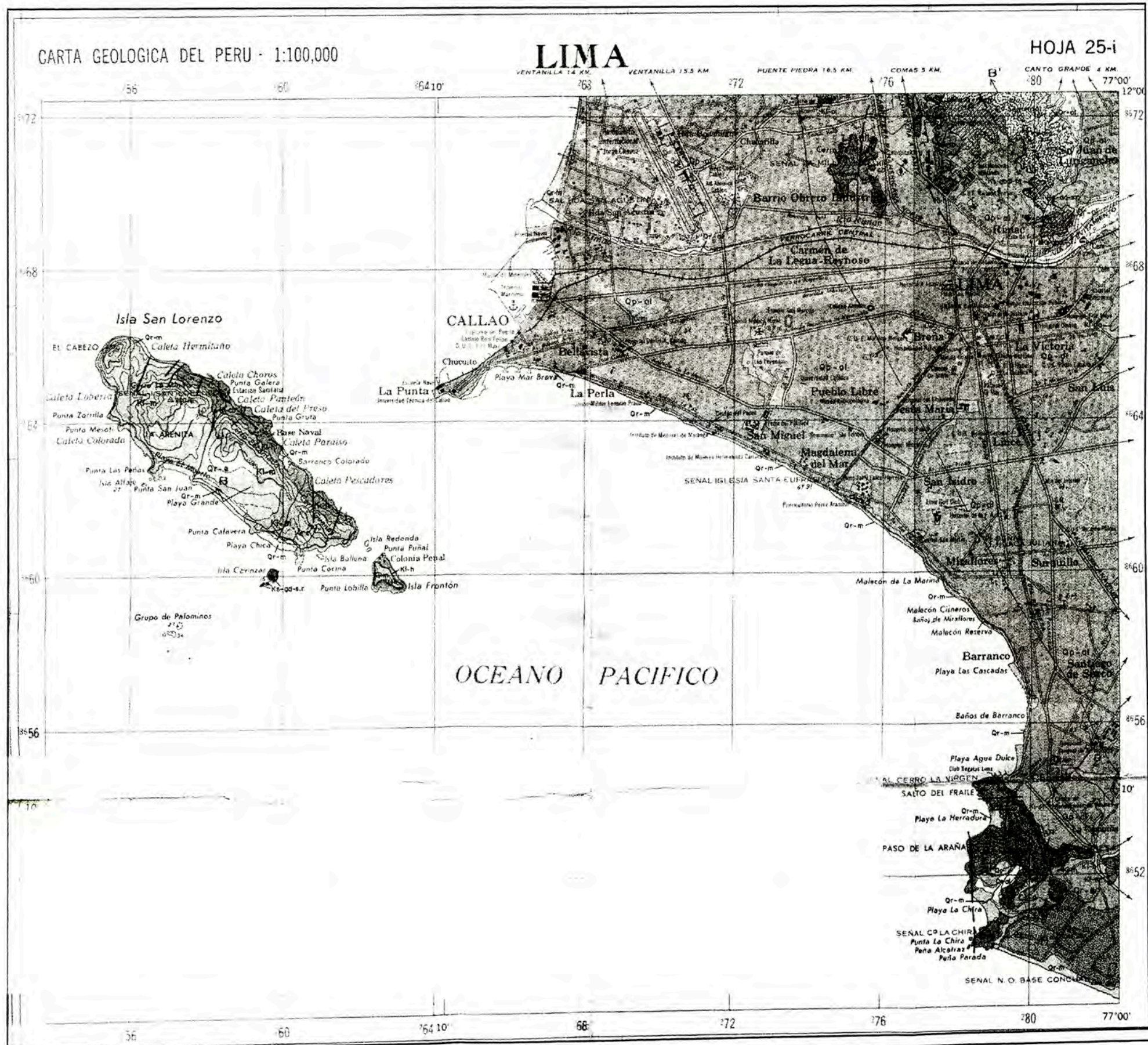
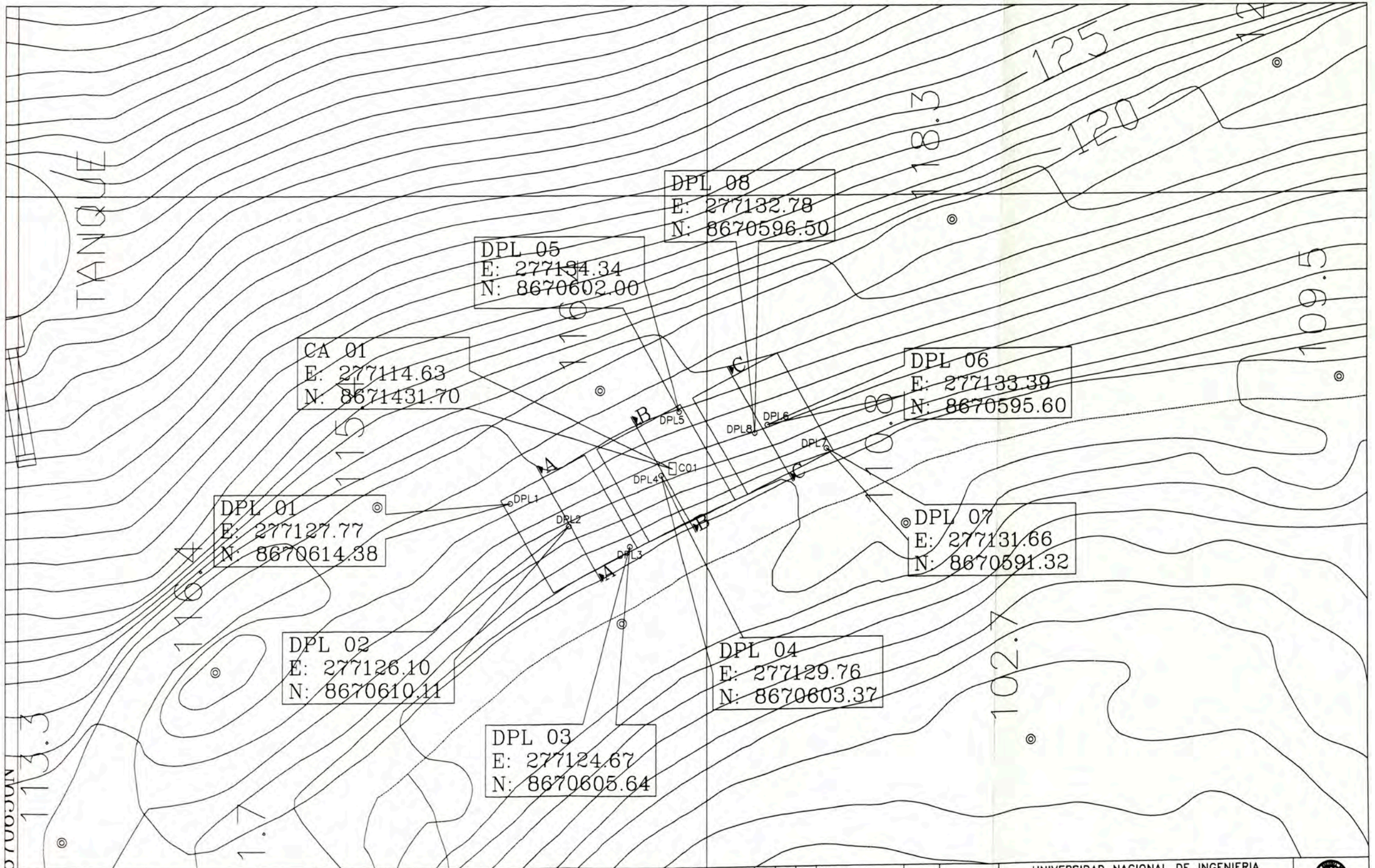

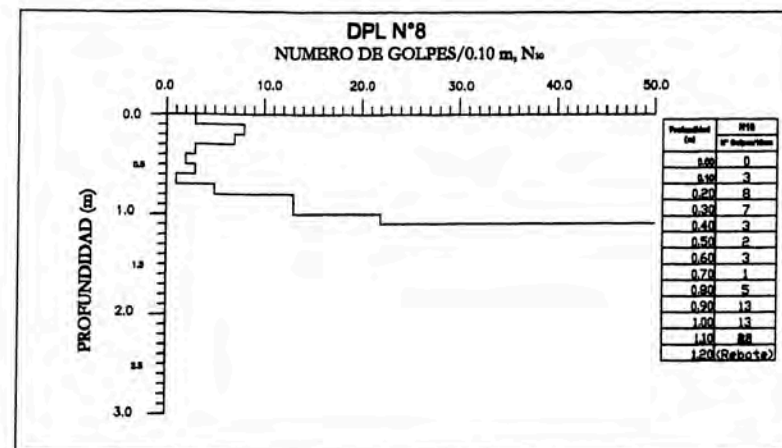
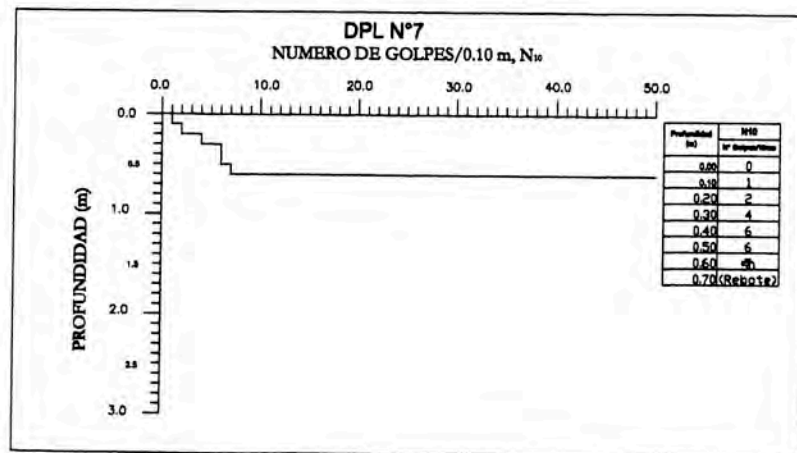
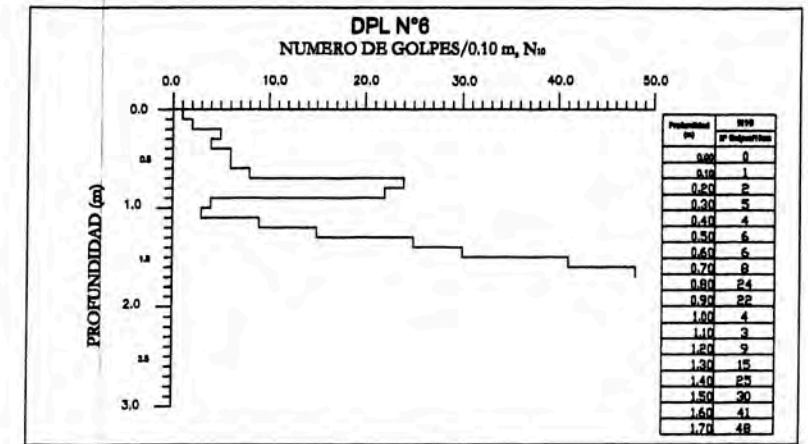
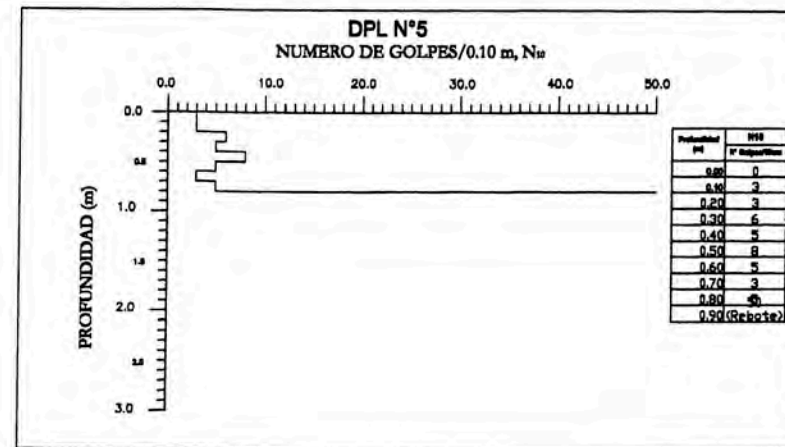
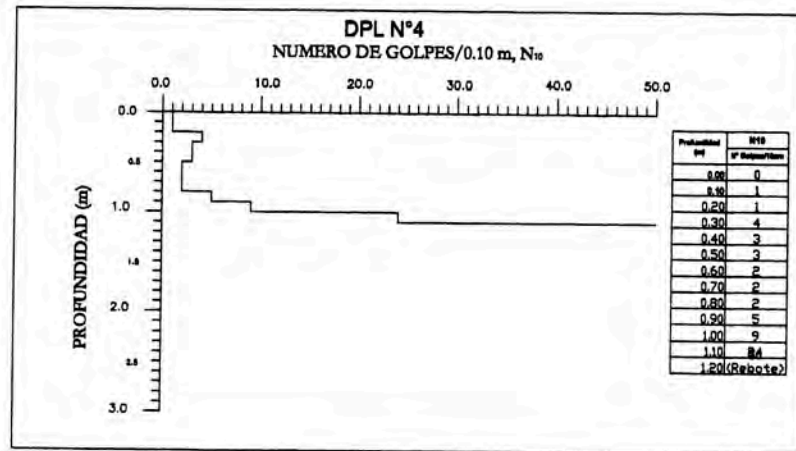
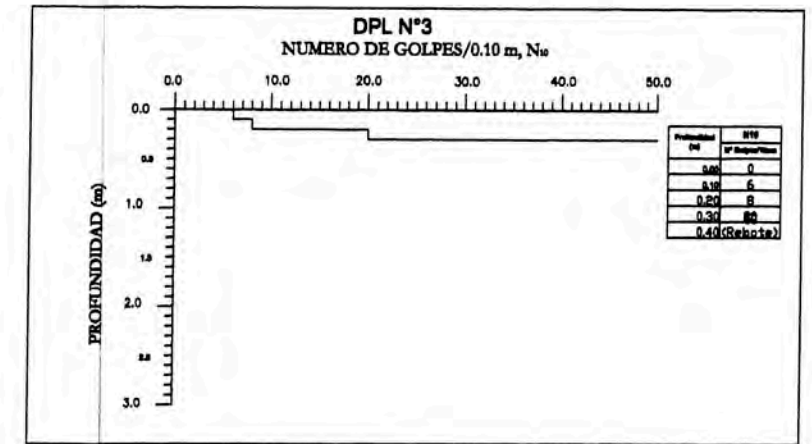
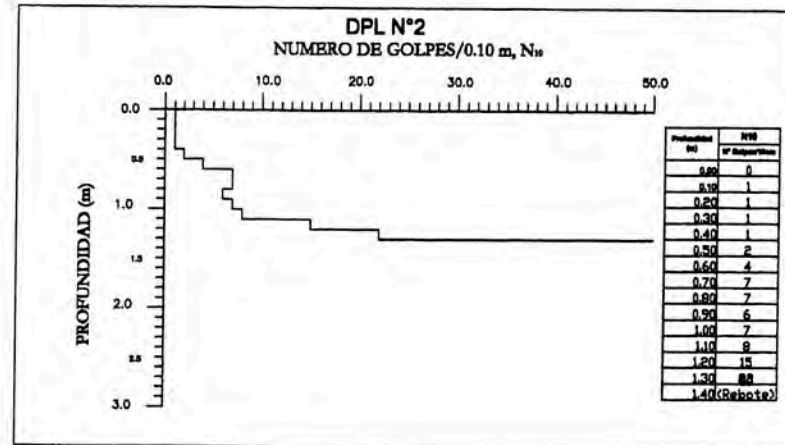
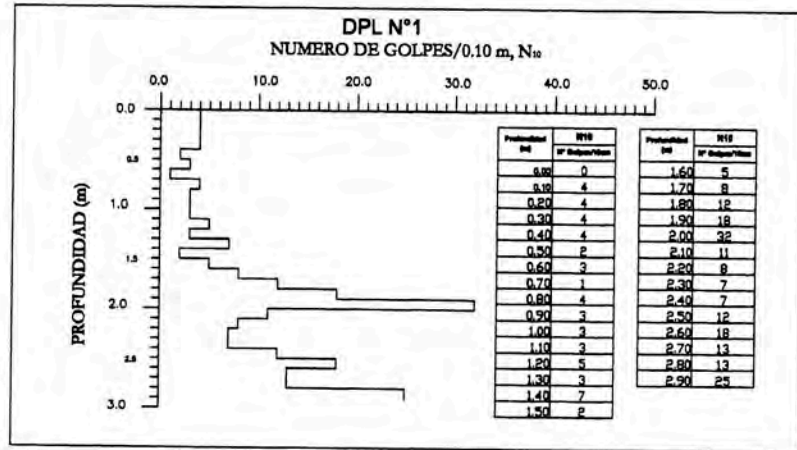


Gráfico 3.1. Carta Geológica Nacional, Hoja 25-i




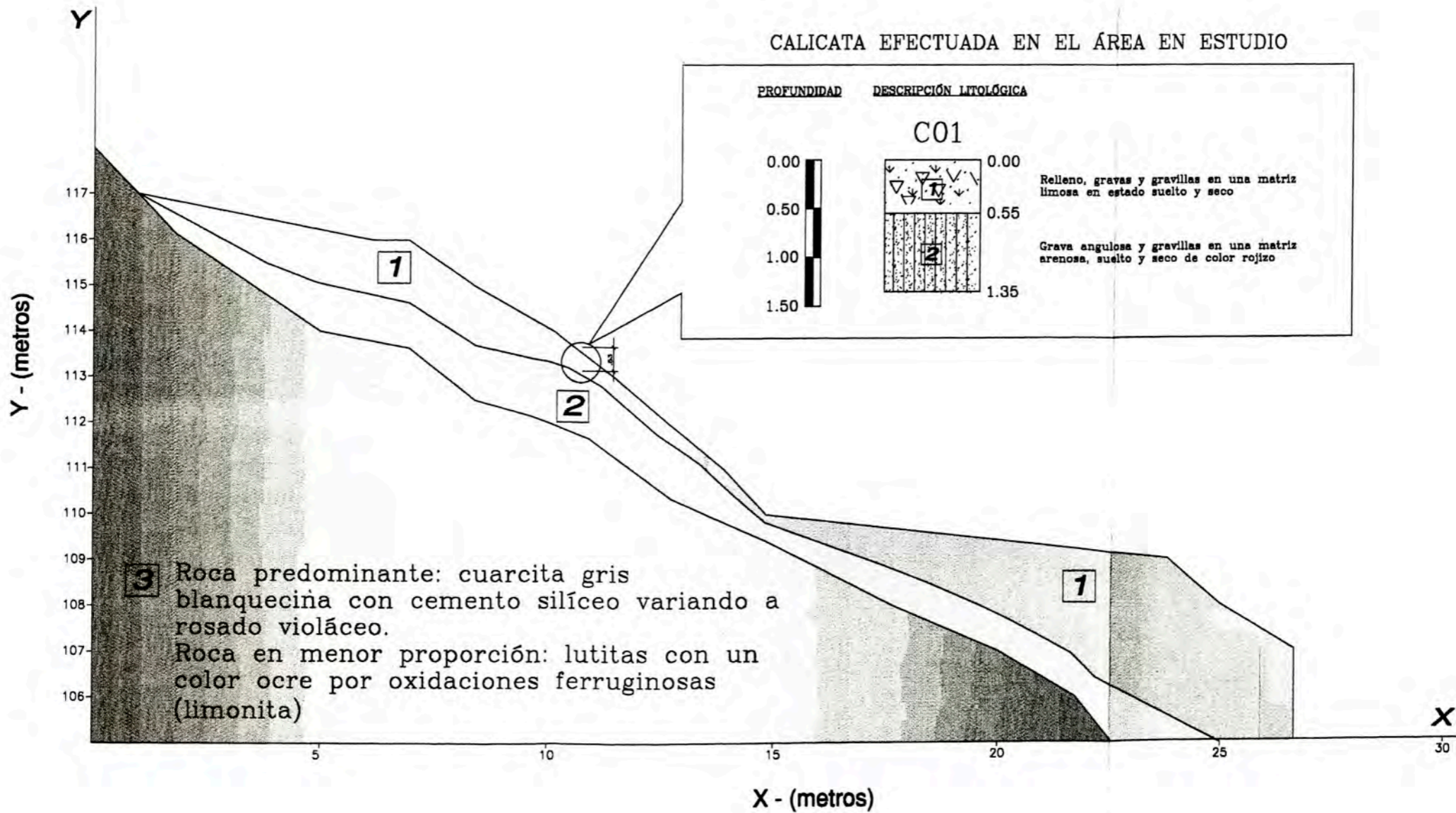


1. SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84 2. CUADRILLADO CADA 50 mts. ZONA 18 UTM 3. DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR 4. DATUM HORIZONTAL WGS 84											PROCESO: P&D INSTR.: MECANICA : CIVIL : J. MARTINEZ 03/05/07 ELECTR.:		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		 N° DE PLANO EBS-GET-01
											PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS		PLANO: ESTUDIOS BASICOS UBICACION DE CALICATAS		
											ESCALA: 1:500 NOM.ARCHIVO: EBS-GET-01-REV.0		N° DE GRUPO.FIC 01 AFE: REV.0		
	NOTAS	PLANO N°	REFERENCIAS	N° REV.	FECHA	REVISIONES	R.N.	J.M.	J.M.	ELECTR.	FECHA	FIRMAS			
			0	03/05/07	EMITIDO PARA REVISION INTERNA										



1. SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
2. CUADRILLADO CADA 50 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	 N° DE PLANO EB-GET-02		
												PROCESO: P&D INSTR.: MECANICA : CIVIL : J. MARTINEZ 03/05/07 ESTRUCT.: ELECTR.:		PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS PLANO: ESTUDIOS BASICOS ENSAYOS DE DPL	
			0	03/05/07	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	R.N.	J.M.	J.M.				ESCALA: 5/E	NOM.ARCHIVO: EBS-GET-02-REV.0	N° DE GRUPO.FIC 01	AFE: REV.0



1. SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
2. CUADRILLADO CADA 50 mts. ZONA 18 UTM
3. DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
4. DATUM HORIZONTAL WGS 84

PROCESO:
P&D INSTR.:
MECANICA :
CIVIL : J. MARTINEZ 03/05/07
ELECTR.:
ESTRUCT.:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: CONTROL DE EROSION EN TALUDES CON GEOSINTETICOS

PLANO: ESTUDIOS BASICOS LITOLOGIA TIPICA

ESCALA: 5/E NOM.ARCHIVO: EBS-GET-02-REV.0 N° DE GRUPO.FIC 01 AFE: REV.0

N° DE PLANO
EBS-GET-03

NOTAS	PLANO N°	REFERENCIAS	N° REV.	FECHA	REVISIONES	POR	REV.	APR.	DISCIPLINAS	FECHA	FIRMAS
			0	03/05/07	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	R.M.	J.M.	J.M.	ELECTR.		

3.4. HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

3.4.1. Caracterización hidrológica del área de estudio

Para la caracterización hidrológica del área de estudio, se emplean los datos hidrológicos de precipitación máxima en 24 horas, registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estos datos, que se presentan en la tabla 3.6 y gráfico 3.7, corresponden a la estación MODELO /006617/DRE-04, siendo ésta la estación más cercana al área de estudio y que cuenta con este tipo de información requerida. Los datos específicos de la estación son los siguientes:

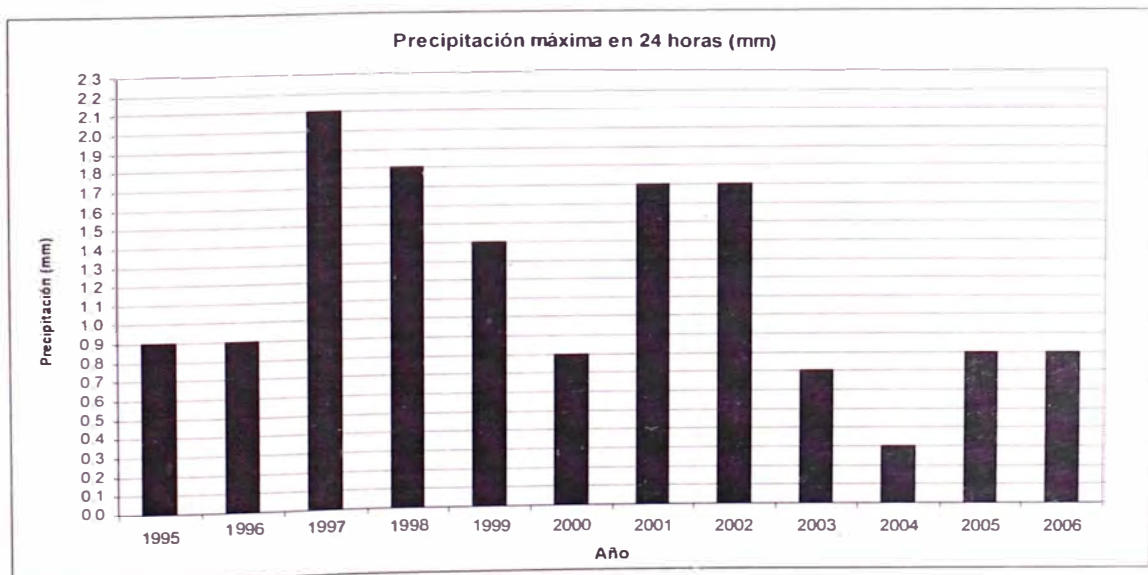
- Latitud: 77° 02' "S", Longitud: 12° 04' "W", Altitud: 120 msnm
- Departamento: Lima, Provincia: Lima, Distrito: Jesús María.

Tabla 3.6. Precipitación máxima 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: SENAMHI Estación: MODELO /006617/DRE-04

Gráfico 3.7. Histograma de precipitación máxima en 24 horas (mm)



3.4.2. 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:

$$Et_c = Et_0 \cdot K_c \quad \dots (3.4.1)$$

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:

$$Et_0 = 0.0023 * Ra * (Tm + 17.8) * \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \quad \dots (3.4.2)$$

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 3.7. 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 (3.4.1.2). Para ello, se divide el valor mostrado en la tabla 3.7., entre el valor $\lambda = 2.45$.

Del capítulo 3.1., se tiene que, la zona en estudio está ubicada según las siguientes coordenadas:

Latitud = 12° 01' 06.75" Sur

Con el dato de la latitud se ingresa a la tabla 3.7., y se obtiene que los valores de radiación extraterrestre R_a , varían según lo siguiente:

Gráfico 3.8. Variación mensual de R_a para una latitud de 12° Sur

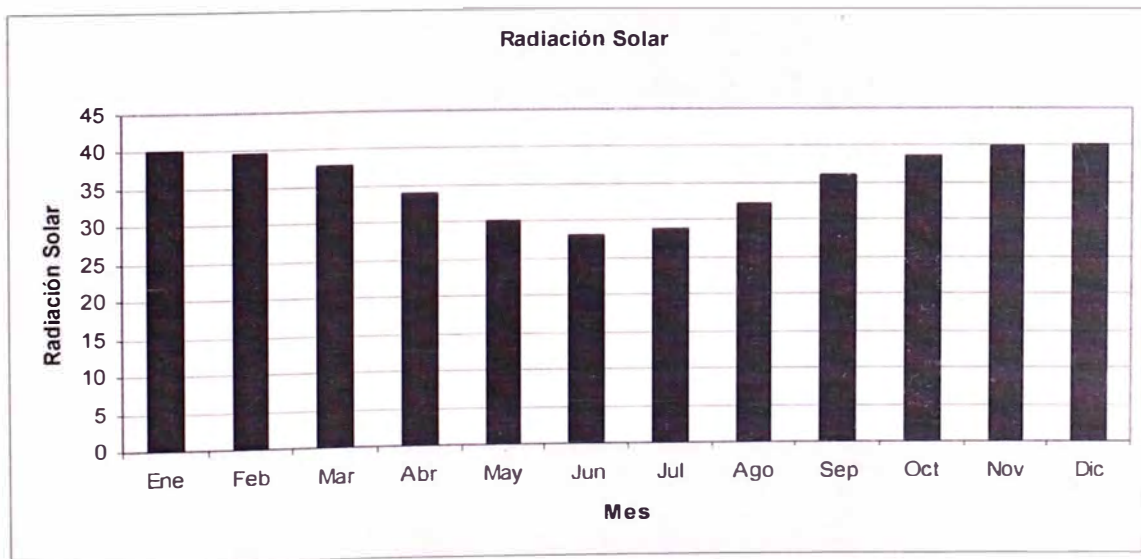


Tabla 3.7. Radiación extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes. Valores en MJ m²/día

Northern Hemisphere												Lat. deg.	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		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	40.5	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:

$$R_a = 40 \text{ MJ m}^{-2}/\text{día} \quad \dots(3.4.3)$$

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

$$R_a = 16.32 \text{ mm/día} \quad \dots (3.4.4)$$

El siguiente paso consiste en determinar las temperaturas promedio, máxima y mínima del área en estudio. La tabla 3.8., muestra las temperaturas promedio de los valles costeros del Perú.

Tabla 3.8. 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 3.9. 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 3.9., y en la expresión 3.4.4, se

procede a reemplazar en la expresión 3.4.2:

$$Et_0 = 0.0023 * (16.32) * (21.5 + 17.8) * \sqrt{29.2 - 13.8} \quad \dots (3.4.5)$$

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

$$Et_0 = 5.79 \text{ mm/día} \quad \dots (3.4.6)$$

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 (3.4.1):

$$Et_c = (5.79) (0.60) \quad \dots (3.4.7)$$

Operando se obtiene el valor de la evapotranspiración del cultivo:

$$Et_c = 3.47 \text{ mm/día} \quad \dots (3.4.8)$$

Finalmente, dependiendo del sistema de riego a emplear, el valor mostrado en la expresión (3.4.8) 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:

$$L = (3.47) / (0.85) \quad \dots (3.4.9)$$

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

$$L = 4.00 \text{ mm/día} \quad \dots (3.4.10)$$

3.5. BIOINGENIERIA

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.

3.5.1. 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 3.10. El certificado en su versión original puede apreciarse en el Anexo b.

Tabla 3.10. 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

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 3.11. Clasificación de los suelos según los niveles de salinidad

Salinidad	
Clasificación del suelo	CE(es)
*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 3.12. Clasificación de los suelos según el nivel de pH

Reacción o pH	
Clasificación del suelo	pH
*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 3.13. Clasificación de los suelos según el contenido de materia orgánica y macronutrientes.

	Materia orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible
Clasificación	%	ppm P	ppm K
*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 3.14. 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 3.14., 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 3.15. El certificado en su versión original puede apreciarse en el Anexo b.

Tabla 3.15. 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

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 3.16. 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 3.16., 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 de la solución de Ingeniería Biotécnica para el control de erosión en el talud.

3.5.2. 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 geoceldas) 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 3.17.

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, promisorio 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 3.17. 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 3.18., se detalla las principales características sobre el hábitat de desarrollo de la *Brachiaria Brizantha* así como recomendaciones para su

sembrio.

Gráfico 3.9. Foto de Brachiaria Brizantha



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

Tabla 3.18. 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	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 Ballardó

**Tabla 3.19. 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 Amances" es una especie vegetal endémica del Perú, principalmente de las lomas de la costa central y emblema de la ciudad capital. Rebrotta (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 Carabaylo. 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 3.10. *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.

3.6. 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:

$$A = R . K . L . S . C . P \quad \dots (3.6.1)$$

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.

3.6.1. 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:

$$E = 916 + 331 \log_{10} I \quad \dots (3.6.2)$$

El factor R viene dado por la siguiente expresión

$$R = \sum_{j=1}^n (916 + 331 \log_{10} I_j) I_{30} \quad \dots (3.6.3)$$

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 (3.6.3), 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 3.21., y el gráfico 3.11.

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 3.12., y 3.13.

De la tabla 3.21., 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 3.12.

En el gráfico 3.12., 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 (gráfico 3.13.) y evaluar el valor del factor R en dicha zona. Del gráfico 3.13., se aprecia que, para la zona encerrada en un círculo segmentado, el valor de R varía según lo siguiente:

Tabla 3.20.- 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 3.21.- 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 3.11.- Histograma de precipitaciones en la estación más cercana al área de estudio

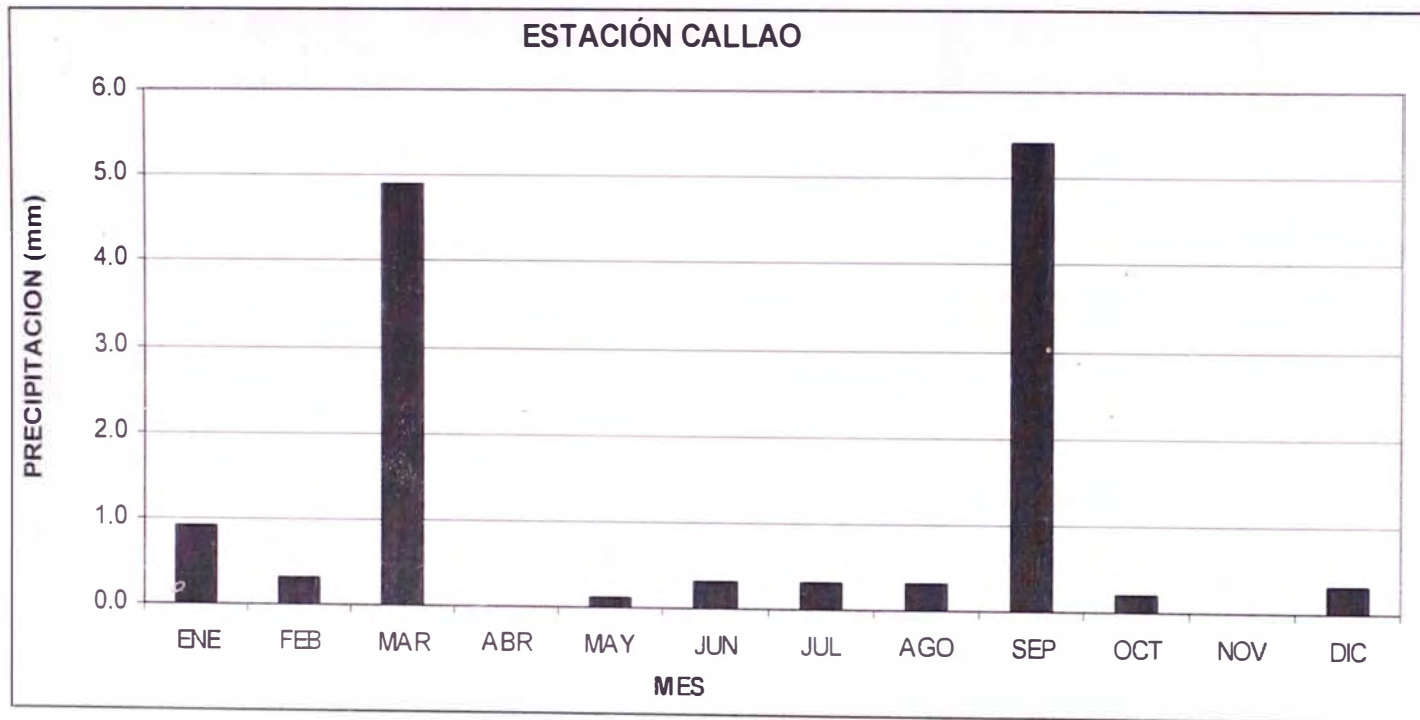


Gráfico 3.12.- Variación espacial del nivel de precipitación promedio anual en los Estados Unidos

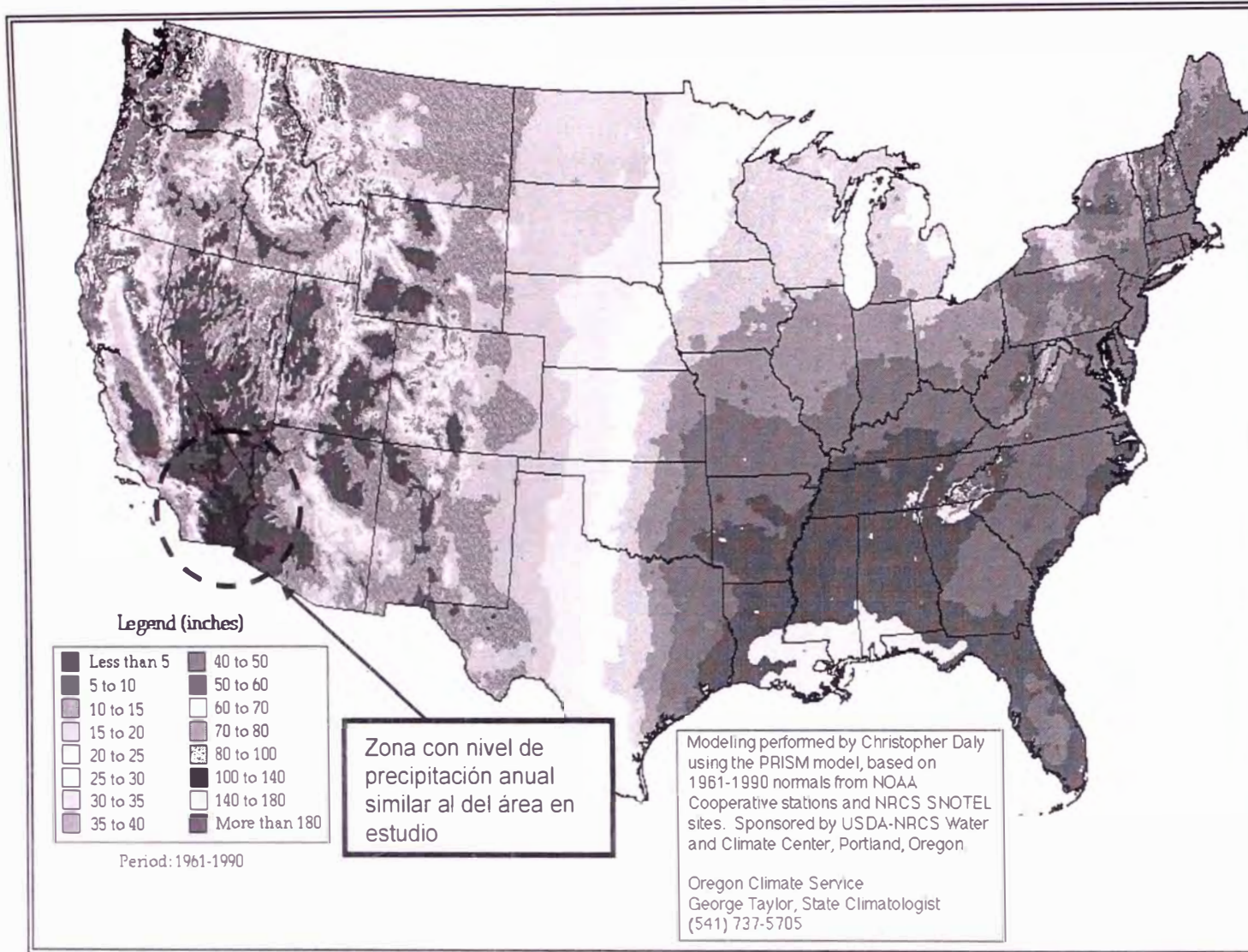
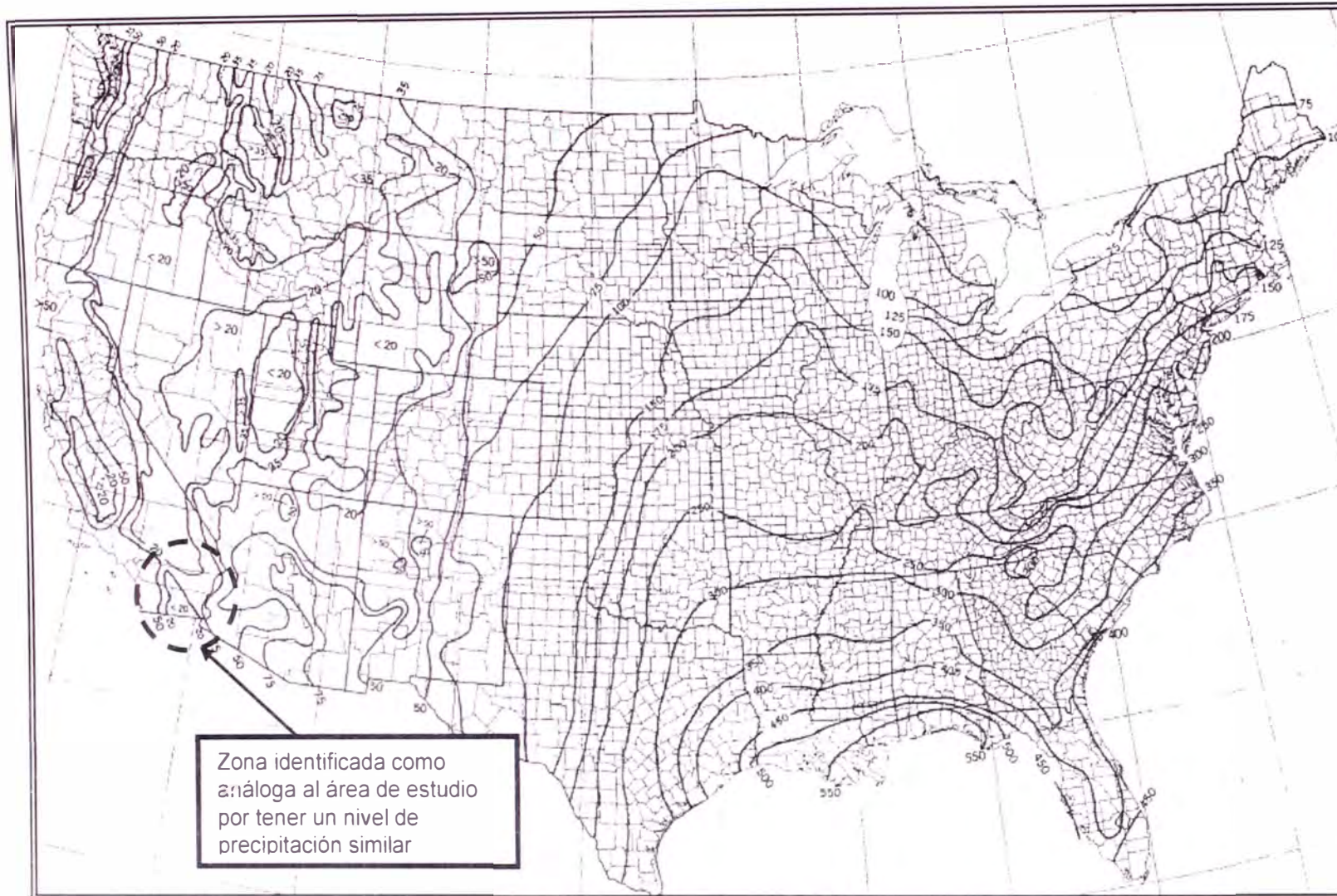


Gráfico 3.13.- Variación espacial del nivel de erosividad (curvas isoerodentes) en los Estados Unidos



3.6.2. Erodabilidad (K)

Del estudio de mecánica de suelos, (ver Anexo b.) se tiene:

- Clasificación SUCS : SM, Areria 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, (ver Anexo b.) se tiene:

- Contenido de materia orgánica = 1.6 %

Con estos datos, ingresamos al nomograma propuesto por Wischmeier & Smith (1978), mostrado en gráfico 3.14. y obtenemos lo siguiente:

$$K = 0.15 \quad \text{hora}/(\text{pies} \cdot \text{pulgada}) \quad \dots (3.6.4)$$

3.6.3. Factor topográfico (L.S)

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

$$L.S = \left(\frac{\lambda}{72.6} \right)^m (65.4 \text{ sen}^2 \theta + 4.56 \text{ sen} \theta + 0.065) \quad \dots (3.6.5)$$

Donde:

λ = Longitud horizontal de la pendiente (pies)

θ = Ángulo de la pendiente

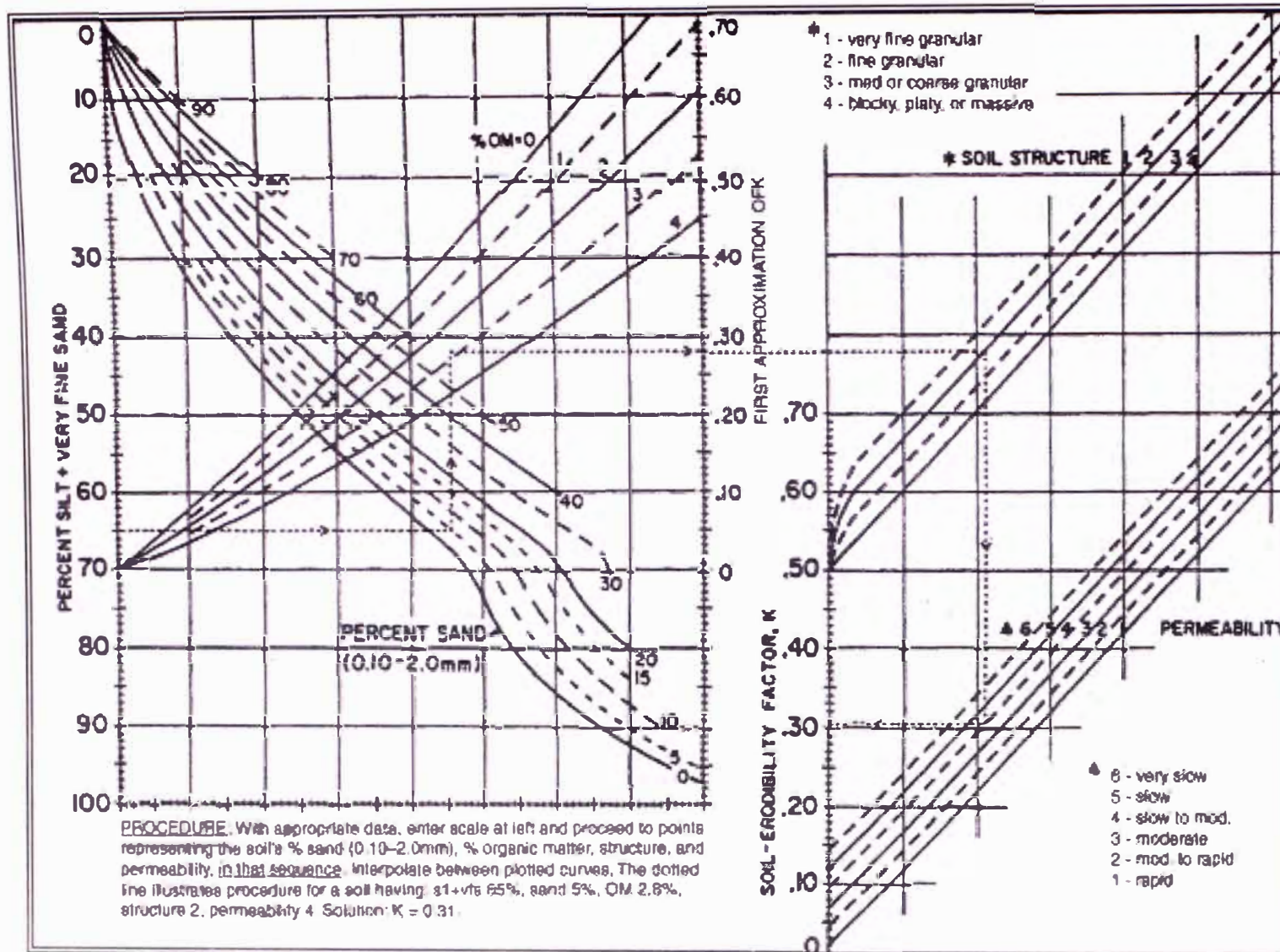
m = Factor dependiente de la gradiente, donde:

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \dots (3.6.6)$$

Donde:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\text{sen} \theta}{0.0896} \right)}{\left[3 (\text{sen} \theta)^{0.8} + 0.56 \right]} \quad \dots (3.6.7)$$

Gráfico 3.14. 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 3.22.- Datos tomados de campo

Lote	Longitud de la pendiente (m)	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 3.22., se calcula secuencialmente los parámetros m y β , aplicando las expresiones (3.6.6) y (3.6.7), respectivamente, con lo cual se obtiene:

Tabla 3.23. Cálculo de factores β y m

Lote	β	m
1	2.55	0.72

Finalmente, aplicando con los datos mostrados en la tabla 3.23., y aplicando la expresión (3.6.5.), se obtiene el parámetro topográfico L.S, requerido para la ecuación universal de pérdida de suelos.

Tabla 3.23. Cálculo de factor topográfico L.S

Lote	L.S
1	12.07

3.6.4. 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 3.25. se muestra una tabla con los valores recomendados para el factor C, publicada por Wischmeier & Smith (1978):

Tabla 3.25. 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
Cacahuete	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 matorros (100%)	0,003
Plantas herbáceas y matorros (60%)	0,035
Cubierta escasa (60%)	0,15-0,09
Cubierta inapreciable	0,45

Fuente: Wischmeier & Smith (1978)

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:

$$C = 1.0 \quad \dots (3.6.8)$$

3.6.5. 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 3.25., se muestran valores del factor P, propuestos por Wischmeier & Smith (1978):

Tabla 3.26. 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:

$$P = 1.0 \quad \dots (3.6.9)$$

3.6.6. 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 (3.6.1). Para ello, la tabla 3.27., muestra los valores de los parámetros obtenidos en los diferentes acápites del estudio sedimentológico y que se emplearán en la USLE:

Tabla 3.27. Valores de los parámetros obtenidos para la zona en estudio

Item	Parámetro USLE	Valor	Unidad
3.6.1	Erosividad (R)	50.00	$\frac{\text{pies} * \text{t} * \text{pulgada}}{\text{acre} * \text{hora} * \text{año}}$
3.6.2	Erodabilidad (K)	0.15	$\frac{\text{hora}}{\text{pies} * \text{pulgada}}$
3.6.3	Factor topográfico (LS)	12.07	Adimensional
3.6.4	Manejo del suelo (C)	1.00	Adimensional
3.6.5	Prácticas de conservación del suelo (P)	1.00	Adimensional

Según esto, se aplica la expresión 3.6.1, para estimar el valor de A o tasa de pérdida de suelo:

$$A = (50.00) (0.15) (12.07) (1.00) (1.00) \dots (3.6.10)$$

Operando, se obtiene:

$$A = 90.53 \text{ t/acre*año} \dots (3.6.11)$$

Haciendo la conversión al sistema internacional de unidades:

$$A = 40.38 \text{ t/(Ha*año)} \dots (3.6.12)$$

Considerando que el área en estudio, posee 0.021 Ha, se puede determinar la cantidad de suelo que se pierde anualmente, multiplicando la tasa de pérdida de suelo anual calculada (A) por el área de la parcela de nuestro interés, como se muestra a continuación

$$A' = (40.38) (0.021) \dots (3.6.13)$$

Operando se obtiene:

$$A' = 0.848 \text{ t / año} \dots (3.6.14)$$

$$A' = 848 \text{ kg / año} \dots (3.6.15)$$

Finalmente, si se desea calcular el volumen del suelo erosionado, se divide el peso entre la densidad natural del suelo. Del estudio de mecánica de suelos (ver Anexo b.), se tiene que la densidad natural del suelo es de 1.61 g/cm^3 , lo cual equivale a 1610 kg/m^3 . Con este dato, se calcula el volumen de suelo erosionado según lo siguiente:

$$V = \frac{848 \frac{\text{kg}}{\text{año}}}{1610 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad \dots (3.6.16)$$

Operando se obtiene:

$$V = 0.527 \text{ m}^3 / \text{año} \quad \dots (3.6.17)$$

CONCLUSIONES

- La información de datos hidrológicos es muy limitada para efectos del cálculo del parámetro R o erosividad de lluvias.
- De acuerdo con el cálculo, la tasa anual de pérdida de suelo en la parcela de estudio, es baja y considerando que no se encuentran obras civiles hidráulicas adyacentes, no requiere de medidas de control de erosión.
- Existen en el medio, especies vegetales que pueden considerarse como las más usadas para el control de erosión en taludes, sobre todo en lo que se refiere a la técnica de pasto reforzado. Estas especies por lo general pertenecen a la familia de las gramíneas o comúnmente conocidos como pastos. Sin embargo estas especies son en su mayoría de origen foráneo (tropical) y no existe el suficiente detalle en los estudios de impacto ambiental sobre su efecto en ecosistemas costeros.
- El enfoque de los estudios básicos para el diseño debe partir como la concepción de un subproyecto dentro del proyecto de Control de Erosión. Considerando el mencionado enfoque, los trabajos de campo concernientes a estudios de mecánica de suelos, tales como la ejecución de una calicata y ensayos DPL, cumplieron el objetivo de entregar toda la información necesaria y solo la necesaria para la Etapa de Diseño del Sistema Biotécnico de Control de Erosión. Por lo tanto, se concluye que las mencionadas pruebas de campo son necesarias para la fase de diseño.

RECOMENDACIONES

- Se debe promover investigaciones a fin de elaborar mapas de distribución espacial de la erosividad de lluvias o curvas isoerodentes, en el territorio peruano.
- Si bien es cierto, el cálculo de la tasa de pérdida de suelo en la parcela en estudio es de un orden de magnitud baja y permitió mostrar una metodología de trabajo, se recomienda realizar experiencias similares de investigación y cálculo en zonas con condiciones más críticas a fin de obtener conclusiones más contundentes respecto al beneficio de ejecutar proyectos de control de erosión.
- Considerar dentro de la parte biológica de la solución de control de erosión, especies vegetales endémicas de la zona por cuanto se puede lograr más de un objetivo en simultáneo con este criterio. Por ejemplo, el emplear una especie endémica que cumpla las funciones solicitadas de cobertura, es menos agresivo para el ecosistema que el emplear una especie foránea. Por otro lado, si se considerase emplear una especie en vías de extinción, se puede atraer inversión de organismos interesados para beneficio del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Castañón, Guillermo. INGENIERÍA DEL RIEGO, UTILIZACIÓN RACIONAL DEL AGUA. Paraninfo Thomson Learning. Madrid – España, 2000.
2. De la Cruz Fallaque, Luis Alberto. USO DE LA BIOINGENIERÍA DE SUELOS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA EN TALUDES. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú, 2005.
3. Escobar Potes, Carlos Enrique. LAS COBERTURAS VEGETALES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN. Publicación electrónica. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Manizales – Colombia, 2003.
4. Fierro, Gustavo. ESTIMACION DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA. ECUACION UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE). Exposición del Curso de Titulación por Actualización Profesional. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú, 2007.
5. Gray, Donald H. and Sotir, Robbin B. BIOTECHNICAL AND SOIL BIOENGINEERING SLOPE STABILIZATION: A PRACTICAL GUIDE FOR EROSION CONTROL. John Wiley & Sons Inc. New York – USA, 1996.
6. Sobero Ballardo, Rogelio. "INSTALACIÓN DE PASTOS TROPICALES Y PASTURAS ALTO ANDINAS". 1ER ENCUENTRO INTERREGIONAL DE GANADEROS EN EL ÁMBITO DEL ALTO HUALLAGA – HUÁNUCO – MESETA DEL BOMBÓN. 5ª EXPOSICIÓN. Huánuco – Perú, 2005.
7. Torres Aguilar, Jilmer Edwin. DISEÑO DE UN SISTEMA PILOTO DE RIEGO TECNIFICADO EN ZONA URBANA, CAMPUS UNI: FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL. Tesis para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú, 1995.

8. Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES A GUIDE TO CONSERVATION PLANNING. US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURE HANDBOOK N° 537. Washington D.C. - United States of America, 1978.

ANEXOS

a. Panel fotográfico

Foto 01. Medición de presión de funcionamiento de aspersor con manómetro



Foto 02. Medición de radio de alcance de aspersor



Foto 03. Ejecución de calicata para el análisis de mecánica de suelos



Foto 04. Ensayo de densidad de campo



Foto 05. Ensayo de densidad de campo

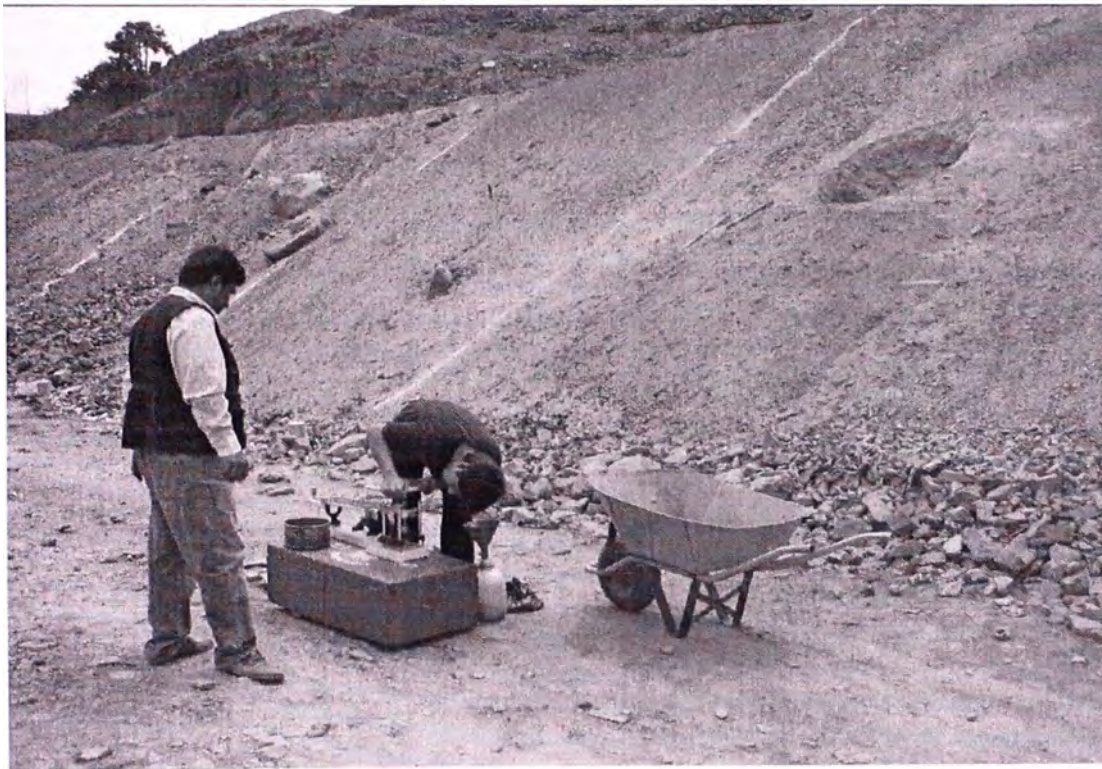


Foto 06. Toma de muestra para análisis de suelo - fertilidad

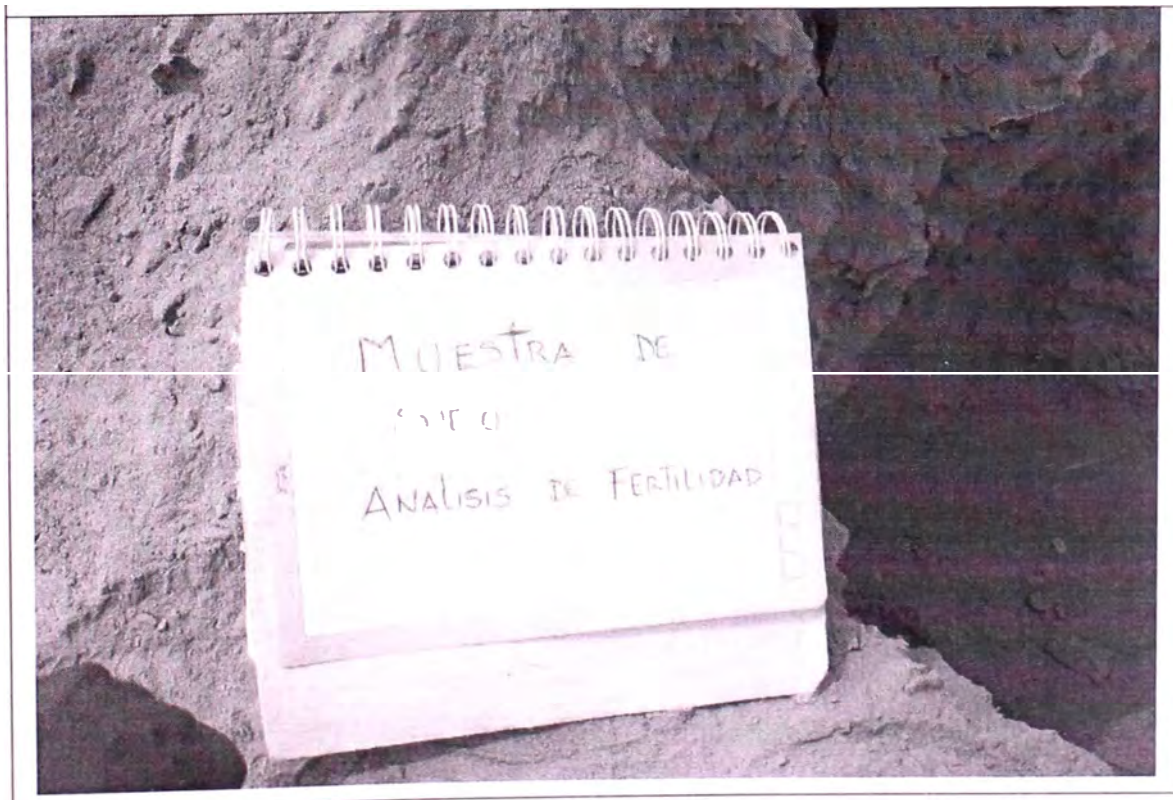


Foto 07. Calicata C01



b. Análisis de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S07 - 129

SOLICITANTE : GRUPO N° 01 CURSO TITULACION POR ACTUALIZACION PROFESIONAL
 PROYECTO : CONTROL DE EROSION DE TALUDES EMPLEANDO GEOSINTETICO
 UBICACION : Talud en camino de Acceso a mina - Zona inferior Reservorio Sedapal - Cerro UNI
 FECHA : 12, Abril del 2007

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

CALICATA : C-1
 PROF.(m.) : ***
 MUESTRA : Unica

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

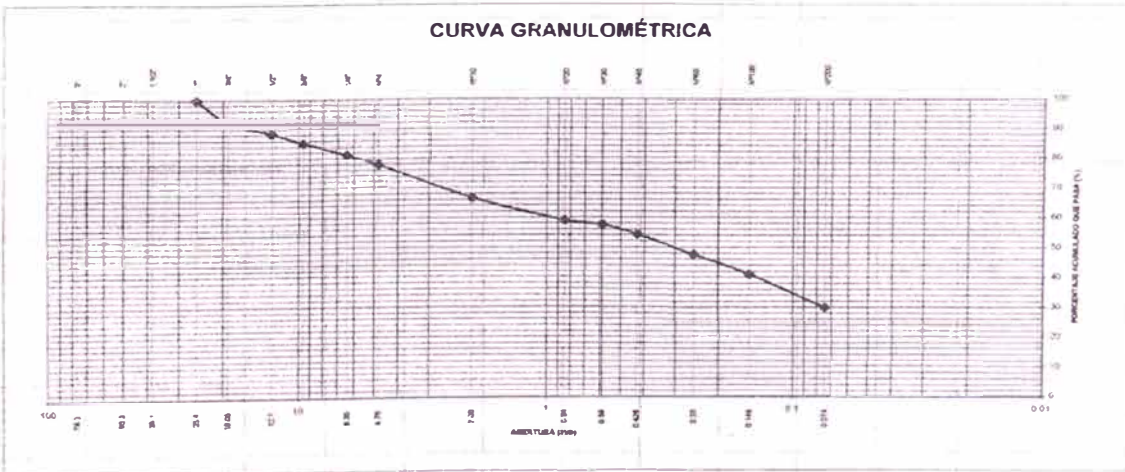
Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial	(%) Acumulado	
			Reteni	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	7.6	7.6	92.4
1/2"	12.700	3.7	11.3	88.7
3/8"	9.525	3.2	14.5	85.5
1/4"	6.350	4.0	18.5	81.5
N°4	4.760	3.4	22.0	78.0
N°10	2.000	11.3	33.2	66.8
N°20	0.840	7.6	40.9	59.1
N°30	0.590	1.5	42.3	57.7
N°40	0.426	3.2	45.5	54.5
N°50	0.250	6.7	52.3	47.7
N°100	0.149	6.6	58.9	41.1
N°200	0.074	11.1	70.0	30.0
- N°200		30.0		

% grava	22.0
% arena	48.0
% finos	30.0

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LIMITE LIQUIDO (%)	NP
LIMITE PLÁSTICO (%)	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	NP

Clasificación SUCS : SM

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Tec. Julio Chávez U.
 Revisión : Bach. Ing. N. Noreña V.

NILTHSON NOREÑA VALVERDE.
 BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



ING. WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

Viene de informe N° :

S07 - 129

II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
 Muestra : Unica
 Calicata : C-1
 Prof.(m) : ***

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de muestra (cm)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (gr/cm3)	1.481	1.481	1.481
Densidad seca inicial (gr/cm3)	1.390	1.390	1.390
Cont. 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 (gr/cm3)	1.958	2.021	2.080
Densidad seca final (gr/cm3)	1.597	1.655	1.707
Cont. de humedad final (%)	22.6	22.1	21.8
Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)	0.3238	0.6300	0.9319

Angulo de friccion interna : **31.3 °**

Cohesion (Kg/cm²) : **0.02**

III.- DENSIDAD NATURAL (Mediante el Cono de 6" y la arena) ASTM D1556

Densidad (gr/cm3) : 1.61
 Humedad (%) : 2.78

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Julio Chávez U.
 Revisado por: Bach. Ing. N. Noreña V.

NILTHSON NOREÑA VALVERDE.
 BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
 Lab. de Mecanica de Suelos UNI



ING. WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
 ING. JEFE DEL LABORATORIO
 Lab. de Mecanica de Suelos UNI



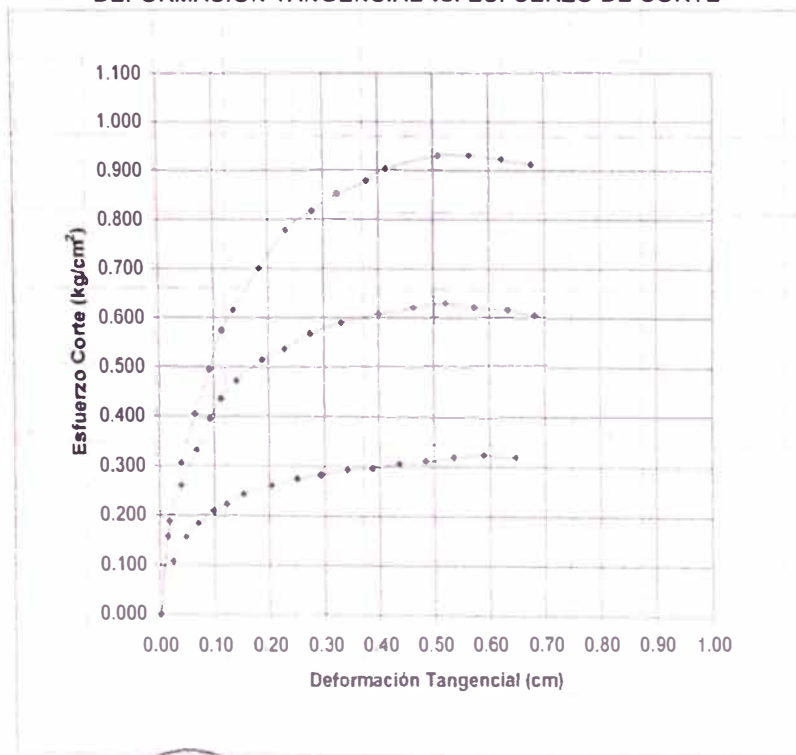
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

INFORME N° S07 - 129

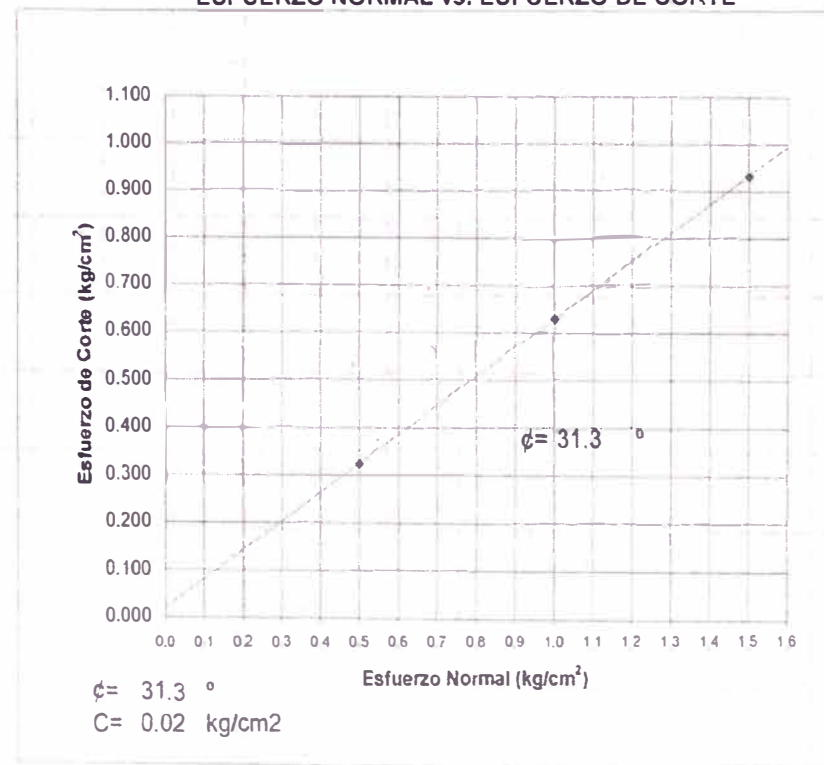
ESTADO : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
MUESTRA : Unica
CALICATA : C-1
Prof.(m) : ***

SOLICITADO : GRUPO N° 01 CURSO TITULACION POR ACTUALIZACION PROFESIONAL
PROYECTO : CONTROL DE EROSION DE TALUDES EMPLEANDO GEOSINTETICO
UBICACIÓN : Talud en camino de Acceso a mina - Zona inferior Reservorio Sedapal - Cerro UNI
FECHA : 12, Abril del 2007

DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/RIMAC
REFERENCIA : H.R. 14150
FACTURA : 11426
FECHA : 12-04-07

Número Muestra		pH	CE _(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Al ³⁺
Lab	Claves	1:1	dS/m	%	%	ppm	ppm	me/100
0203		7.30	31.00	1.2	1.6	33.3	450	0.00



Ing. Rubén Bazán Tapia
Jefe del Laboratorio

/ndf



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : CONTROL EROSION - UNI
PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/CARABAYLLO
REFERENCIA : H.R. 14314
BOLETA : 4351
FECHA : 08-07-07

Número Muestra		pH	CE _(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Al ³⁺
Lab	Claves	1:1	dS/m	%	%	ppm	ppm	me/100
0236		7.04	1.51	0.1	0.8	5.8	111	0.00



Ing. Rubén Bazán Tapia
Jefe del Laboratorio

/ndf