

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERELIDADES.-

Se entiende como banco de préstamo a los yacimientos de sustancias minerales y rocas no metálicos compuesto por material consolidado y no consolidado, cuyo uso está designado para las obras de infraestructura, que no requieran más operaciones que las de arranque, fragmentación y clasificación.

En nuestro caso se realizara la evaluación de estos bancos de préstamo de material aluvial exclusivamente para la conformación de capas sub-base en la construcción de caminos y carreteras.

En estos bancos de préstamo es de mucha importancia el conocimiento de su granulometría, que es la partición de las partículas por tamaños estandarizados, con el fin de que los porcentajes en peso de cada fracción cumplan especificaciones técnicas que siempre son requeridas en las obras civiles.

El suelo aluvial se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería de caminos y sirve para la conformación junto con otros materiales del paquete estructural, en especial este tipo de suelo nos brindara el soporte para las cargas transmitidas desde los vehículos y equipo pesado generalmente.

Por esto los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia portante, capacidad de carga, etc.

Antes del desarrollo de la mecánica Aplicada de Suelos, posible a su vez gracias a las grandes contribuciones científicas de los teóricos, todos los principales problemas de ingeniería civil eran resueltos de forma intuitiva o por tanteos. Ello aparejaba serios riesgos en lo referente tanto a seguridad, duración y economía de las obras.

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades mecánicas dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según su tamaño; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución. Entonces se adoptó en preferencia para suelos gruesos la distribución de tamaños mediante mallas que nos da referencia a las propiedades del material.

En nuestro entorno se formaron y establecieron varias instalaciones (seleccionadoras y chancadoras), que comercializan este tipo de material seleccionado en grandes proporciones, el mismo que puede presentar diferentes características física-mecánicas entre uno y otro banco de préstamo.

1.2 PROBLEMÁTICA.-

¿Cómo contribuir a mejorar la calidad de las capas sub-bases que se realizan en la conformación de paquetes estructurales para la construcción de los diferentes tipos de caminos y carreteras?

1.3 JUSTIFICACIÓN.-

En el país y especialmente en nuestra ciudad, se ha observado a través del tiempo, que los pavimentos flexibles y rígidos, han sufrido gran deterioro, debido a grandes problemas entre los que se presenta la mala calidad de los bancos de material selecto utilizado, y aun así seguimos con la problemática, que nuestro material suelto puesto en obra designado para las últimas capas como sub-base y base no están dentro de los parámetros que exigen las normativas de la construcción (especificaciones técnicas), por lo cual nos crea varias interrogantes como ser: no se hizo un estudio de la zona para identificar los respectivos bancos de producción de material, no hay equipo necesario para trabajar los materiales en laboratorio, no se cuenta con personal capacitado para la producción, etc. O simplemente hay camaradería entre partes empresariales.

Cual sea la razón ocasiona grandes problemas al momento de disponer estos materiales obligando así a las empresas constructoras a hacer sobre acarreo de grandes volúmenes de material encareciendo el precio ya aprobado en la propuesta, o en muchos casos llegar a hacer arreglos verbales entre contra partes haciendo gran daño a la resistencia característica y condiciones que debe cumplir el firme del camino o carretera para la duración del mismo.

Otro aspecto importante a considerar, ya centralizando nuestro análisis en la provincia Cercado del Departamento de Tarija, es que todavía existen caminos donde va ser necesario el uso de material aluvial o seleccionado con adecuadas características física-mecánicas para conformación del paquete estructural.

Por esta situación se genera la necesidad de hacer un estudio, que contemple la mayor cantidad de parámetros posibles establecidos en el diseño teórico metodológico de la investigación, de tal manera prevenir los problemas y falencias presentes para obtener buenas explicaciones y alternativas basadas en lo teórico y

económico, porque como ingenieros estamos comprometidos en minimizar costos y optimizar tiempos sin perder la calidad.

El proyecto se realizara debido a que en nuestro medio no se lleva un adecuado control o supervisión de la calidad de los materiales para la conformación de bases y sub-bases en carreteras, además que se desea contar con registros de comparación de los diferentes bancos de material aluvial que se tienen en la ciudad. El estudio está orientado a la evaluación de la calidad de los bancos de material existentes en la provincia Cercado, y de esta manera en base a resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados, beneficiar a las personas o entes encargados de la construcción de carreteras para que opten por la obtención de materiales para la conformación de capa sub-base de muy buena calidad.

También un motivo para la realización de este trabajo, es la falta de información específica de las canteras y las zonas donde se realiza la extracción de material aluvial, especialmente en lo que se refiere accesos y medios para la obtención de dicho material para conformación de los paquetes estructurales (capa sub-base). Dentro de estos medios se puede mencionar el equipo que existe para la explotación del material, ya sea con la ayuda de maquinaria o simplemente con equipo manual.

Lo que se pretende alcanzar son también diferencias y ventajas en lo que se refiere a calidad de material que puede ser de un mismo lecho del río, pero con diferente ubicación. Muchas veces por comodidad se extrae el material de un determinado sector, pero no se conoce que a poca distancia o simplemente a unos pocos metros se puede encontrar mayor cantidad de material apto para su extracción y que de alguna manera podría tener algunas propiedades y características de mejor condición para su utilización en la conformación de capas sub-base.

De igual manera se pretende aprovechar la mayor cantidad de equipo disponible en laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en relación a algunas empresas, instituciones y centros que también tienen la capacidad

de realizar dichos estudios o investigación pero con resultados más pobres e incompletos en lo que se refiere a caracterización de los materiales en estudio.

Otro aspecto muy importante es la diferencia que se va a encontrar entre los usos de los materiales analizados, siendo unos propicios para su uso en conformación de capas sub-base, mientras que otra parte más conveniente para conformación de capas base.

1.4 OBJETIVOS

General:

Realizar la evaluación geotécnica de bancos de préstamo de material aluvial apto para la conformación de capa sub-base en el Municipio de Cercado de la ciudad de Tarija.

Específicos:

- ✓ Identificar las zonas de estudio dentro del territorio establecido, para proceder posteriormente con el respectivo muestreo.
- ✓ Estimar las capacidades de producción que se tiene en cada banco de préstamo, como así también las condiciones que se tienen para llegar a cada uno de ellos.
- ✓ Determinar las características físico-mecánicas del material procedente de cada banco de material aluvial estudiado, mediante la realización de los ensayos de clasificación, consistencia y resistencia del mismo.
- ✓ Obtener parámetros y coeficientes de corrección granulométrica, por medio de un análisis teórico-práctico del material procesado en laboratorio para que se llegue al cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en los casos donde sea necesario.

- ✓ Realizar un análisis de resultados que nos permita comparar las características encontradas en cada banco de préstamo y elegir las mejores alternativas para la conformación de capas sub-bases.

1.5 ALCANCE

El alcance del estudio está delimitado dentro de la provincia Cercado del departamento de Tarija, con ocho bancos donde se pretende realizar la evaluación, abarcando la mayor parte del territorio seleccionado con una distribución uniforme de las zonas para la presente investigación.

De igual manera la aplicación de este estudio se centra en la conformación del paquete estructural, específicamente en la construcción de la capa sub-base.

Se pretende evaluar los diferentes bancos de material aluvial de la provincia Cercado del departamento de Tarija determinados en nuestro estudio, basándose en la identificación, caracterización y clasificación de los mismos, abocándose a indicadores y características físico-mecánicas con el fin de obtener una metodología para realizar ajustes granulométricos y lograr subsanar falencias en las condiciones del material en estudio para su aplicación en las diferentes construcciones, especialmente de capas sub-base.

Inicialmente se intentara conocer el marco de aplicación del material en estudio, analizando e investigando posibles zonas de uso del suelo aluvial en la conformación del paquete estructural para caminos ya existentes o nuevos proyectos.

Se realizaran trabajos técnicos y prácticos con respectivos ensayos de cada uno de los diferentes tipos de suelos, para así llegar a una evaluación que permitirá emitir un criterio de las características y valoración de los materiales evaluados.

Todos los estudios serán realizados de manera particular para cada banco de préstamo donde se tendrá tres puntos de muestreo para cada zona, donde se implementara la técnica seleccionada para proceder con el muestreo respectivo.

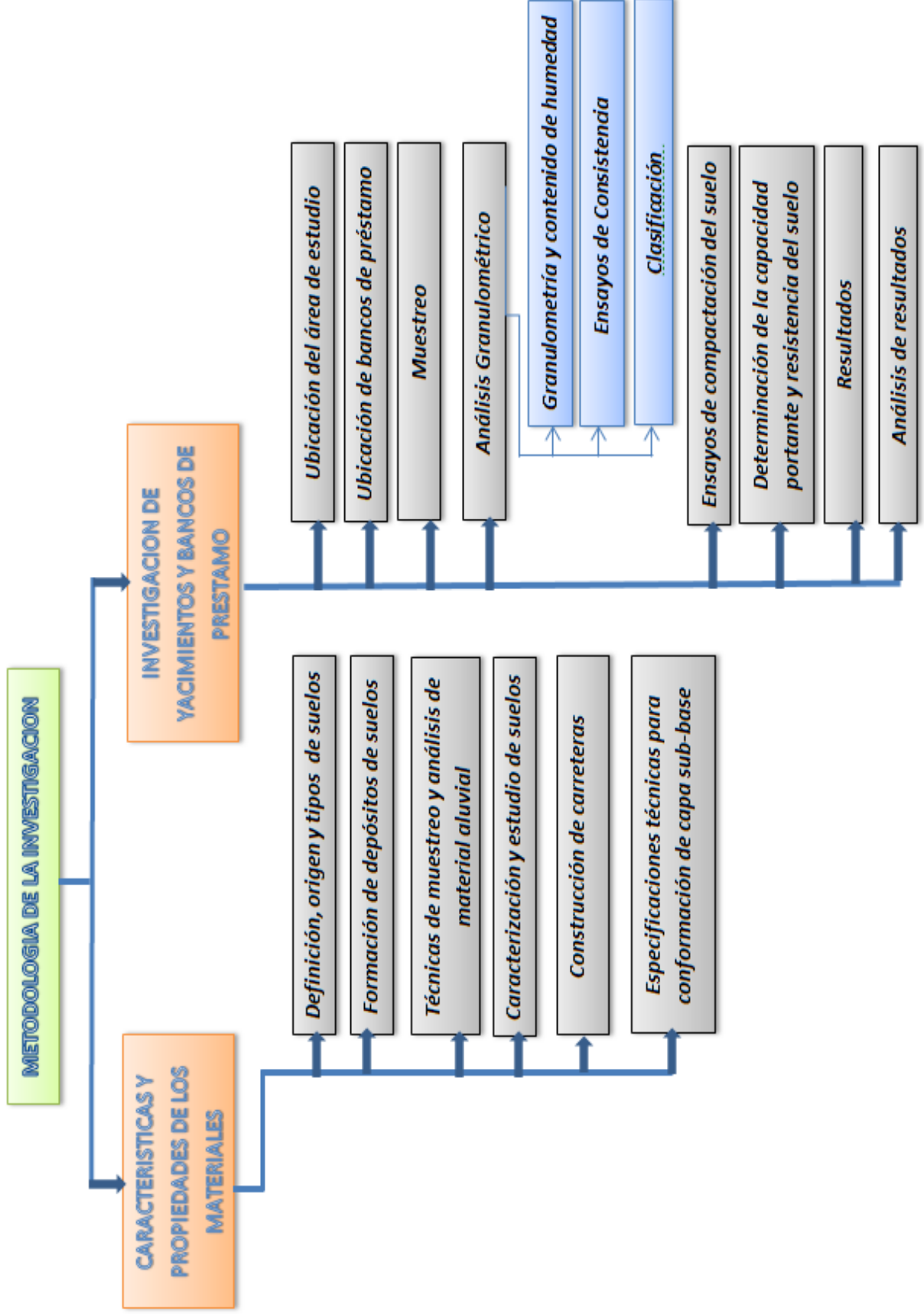
Este trabajo, debe estar enfocado a la comprobación neta experimental, comenzando desde el análisis granulométrico, y siguiendo con el estudio de los límites de consistencia, ensayo de compactación, y determinación de las resistencias tanto al corte con el ensayo de C.B.R., como desgaste de los materiales en la máquina de Los Ángeles, siempre siguiendo como parámetro, las especificaciones técnicas usadas para la construcción de carreteras.

Existe un cronograma que permitirá concluir el trabajo adecuadamente, siguiendo un respectivo control de las actividades, especialmente las consideradas y marcadas de mayor prolongación de tiempo para su realización, lo que nos facilitara obtener resultados satisfactorios para el estudio.

Finalmente, se realizara un resumen y análisis de todos los datos y resultados que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto, tanto en su parte teórica como en la práctica, para dejar un registro de datos y resultados con su respectivo análisis que pueden ser de uso futuro para otros estudiantes o personas que requieran información sobre el tema de investigación.

1.5 METODOLOGIA

Para la metodología de la investigación se van a tomar en cuenta dos campos de análisis, como son la parte teórica del tema de investigación y la parte práctica del mismo, que se deben manejar en forma paralela para la complementación y análisis de los datos, procedimiento y resultados del estudio. De esta manera se realizó el siguiente esquema:



CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

2.1 FORMACIÓN DE DEPÓSITOS DE SUELOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El suelo es producido por intemperismo, es decir, por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos.

El suelo es resultado de la interacción de cinco factores: El material parental, el relieve, el tiempo, el clima, y los seres vivos. Los tres primeros factores desempeñan un rol pasivo, mientras que el clima y los seres vivos participan activamente en la formación del suelo.



Fig. 2.1 Formación de Suelos

- El material parental o roca madre es el sustrato a partir del cual se desarrolla el suelo. De éste se deriva directamente la fracción mineral del suelo y ejerce una fuerte influencia sobre todo en la textura del suelo.
- El clima influye en la formación del suelo a través de la temperatura y la precipitación, los cuales determinan la velocidad de descomposición de los minerales y la redistribución de los elementos; así como a través de su influencia sobre la vida animal y vegetal.
- Los seres vivos (plantas, animales, bacterias y hongos) son el origen de la materia orgánica del suelo, y facilitan su mezcla con la materia mineral. El relieve afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la cantidad de material que es arrastrado, sea por el agua o el viento.
- El tiempo es necesario para un completo desarrollo del suelo. El tiempo de formación de un pequeño volumen de suelo es muy largo (1 cm³ de suelo puede tardar entre 100 y 1000 años en formarse) pero su destrucción es muy rápida.

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales.

Durante la planificación, diseño y construcción de cimentaciones, terraplenes y estructuras de retención, los ingenieros deben conocer tanto el origen como características de los depósitos de los suelos sobre los que se construirán las cimentaciones debido a que cada depósito de suelo tiene atributos físicos propios y únicos.

2.2 DEFINICIÓN DE SUELO

En el sentido general de la ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales. Por esto, se estudia las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, y otras más.

La mecánica de suelos es la rama de la ciencia que trata el estudio de sus propiedades físicas y el comportamiento de masas de suelos sometidas a varios tipos de fuerzas. La ingeniería de suelos es la aplicación de los principios de la mecánica de suelos a problemas prácticos. La ingeniería geotécnica es la ciencia y práctica de aquella parte de la ingeniería civil que involucra materiales naturales encontrados cerca de la superficie de la Tierra.

2.3 ORIGEN Y TIPOS DE DEPÓSITOS DE SUELOS

Los suelos derivan de las rocas que por los procesos geológicos (tectonismo) originan que la roca sea fracturada o plegada luego por los procesos de alteración mecánica o química originan los suelos. Esta mutación no alcanza un estado de equilibrio permanente pues continuamente intervienen agentes o factores de formación que van modificando o cambiando las características físicas y químicas del suelo. La roca madre, que se convierte en suelo puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

Los procesos geológicos como el tectonismo, origina que la roca sea fracturada y/o plegada actuando posteriormente los procesos de meteorización (alteración o intemperismo o erosión).

Algunos suelos permanecen donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se derivan y se llaman suelos residuales. En contraste, algunos productos intemperizados son transportados por medios de procesos físicos a otros lugares y depositados. Estos se llaman suelos transportados. Según el agente de transporte, se subdividen en tres categorías principales:

1. Aluviales o fluviales: depositados por agua en movimiento.
2. Glaciales: depositados por acción glaciaria.
3. Eólicos: depositados por acción del viento.

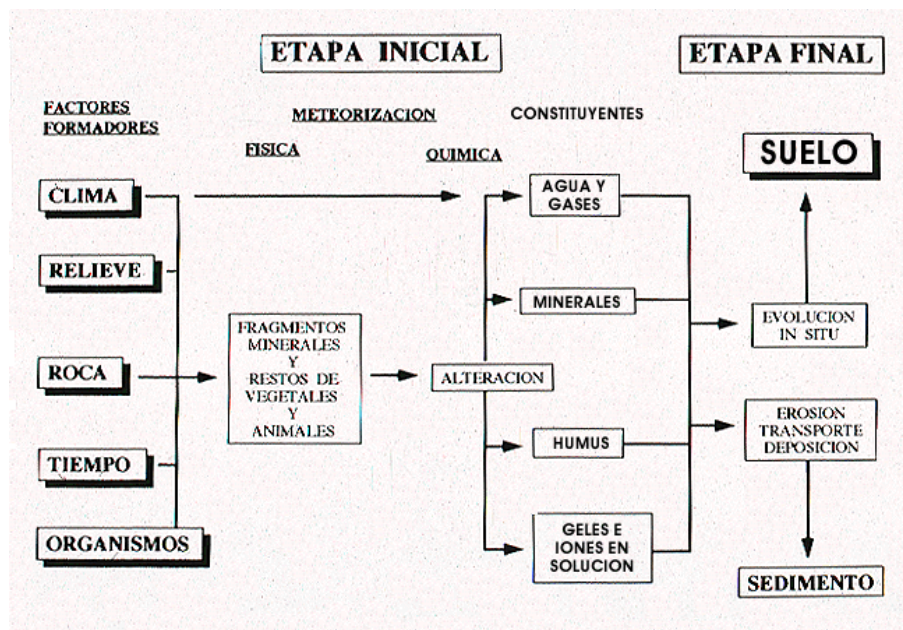


Fig. 2.2 Etapas del Origen del Suelo

La materia de origen, de la cual se ha originado el suelo, puede ser una roca ígnea, sedimentaria o metamórfica que se ha transformado lentamente.

El agua, al atravesar las distintas capas produciendo en su contacto con los elementos químicos y materia orgánica una serie de reacciones físico-químicas, que hacen que este vaya transformando lentamente.

La topografía del lugar, el agua también actúa en el relieve o topografía del terreno ya si el terreno es llano, o hay colinas esta se distribuirá según su relieve.

El clima de la región, determina el color de un suelo.

La temperatura, está asociada íntimamente al clima, pues a mayor temperatura existe mayor cantidad de arcilla en un suelo. Además, el espesor de los estratos o capas depende de la temperatura. Así en zonas frías el espesor de las capas de un suelo es pequeño. En climas cálidos, el lecho rocoso se encuentra a mayor profundidad que en climas fríos.

Los organismos existentes, particularmente los microorganismos, plantas y animales intervienen en la formación del suelo.

El ser humano y sus obras, la construcción de represas, autopistas, carreteras, etc. alteran las condiciones naturales existentes.

Movimientos sísmicos, ciclones y maremotos, estos producen grandes deformaciones en la corteza terrestre.

Explosiones nucleares, ocasionan violentos cambios en la corteza terrestre y alteran las condiciones climáticas atmosféricas y ambientales existentes.

En adición a los suelos transportados y residuales, las turbas se derivan de la descomposición de materiales orgánicos encontrados en áreas de poca altura donde el nivel freático está cerca o arriba de la superficie del terreno.

2.4 CARACTERÍSTICA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO

Entre las propiedades de los suelos se encuentran: El color, distribución del tamaño de las partículas, consistencia, textura, estructura, porosidad, atmósfera, humedad, densidad, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio iónico, sales solubles y óxidos amorfos-sílice alúmina y óxidos de hierro libres.

Las propiedades físicas de los suelos, dependen de la composición mineralógica, de la forma y del tamaño de las partículas que lo forman y del ambiente que los rodea. El tamaño, la forma y la composición química de las partículas determinan la permeabilidad, la capilaridad, la tenacidad, la cohesión y otras propiedades resultantes de la combinación de todos los integrantes del suelo.

La textura general de un suelo depende de las proporciones de partículas de distintos tamaños que lo constituyen. Las partículas del suelo se clasifican como arena, limo y arcilla. Las partículas de arena tienen diámetros entre 2 y 0,05 mm, las de limo entre 0,05 y 0,002 mm, y las de arcilla son menores de 0,002 mm.

En general, las partículas de arena pueden verse con facilidad y son rugosas al tacto. Las partículas de limo apenas se ven sin la ayuda de un microscopio y parecen harina cuando se tocan. Las partículas de arcilla son invisibles si no se utilizan instrumentos y forman una masa viscosa cuando se mojan.

Para entender con mayor precisión las características del suelo, se analiza más a detalle sus propiedades y condiciones del mismo.

2.4.1 Morfología de una Partícula de Suelo

Se conoce como morfología del suelo a las diversas cualidades del suelo en varios horizontes, la descripción del tipo de suelo y la disposición de los horizontes. Las propiedades observables generalmente incluyen: composición, forma, estructura de suelo, organización del suelo, color base del suelo y asuntos

como distribución radicular, poros, evidencia de carbonatos, hierro, manganeso, carbono, arcilla, consistencia del suelo.

La observación de los atributos del suelo para determinar su morfología se realiza en un perfil del suelo.

Descripción de perfiles de suelo

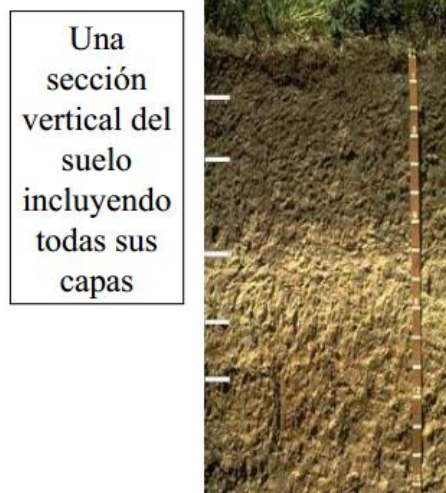


Fig. 2.3 Descripción de perfiles del suelo

2.4.2 Composición de una Partícula de Suelo

Durante la iniciación en la mecánica de suelos se suele razonar con aparente lógica que la composición de las partículas individuales de un elemento de suelo constituye una característica importante del mismo. Esta creencia es falsa en cuanto que existen muy pocas relaciones útiles entre la composición de un suelo y su comportamiento. Por otro lado, tal creencia es cierta en lo que se refiere a un conocimiento fundamental del comportamiento del suelo. La naturaleza y disposición de los átomos en una partícula de suelo, es decir su composición, tiene una considerable influencia sobre la permeabilidad, resistencia y transmisión

de esfuerzos en los suelos, especialmente en los de grano fino. Existen ciertos minerales que pueden conferir propiedades no usuales al suelo que los contiene.

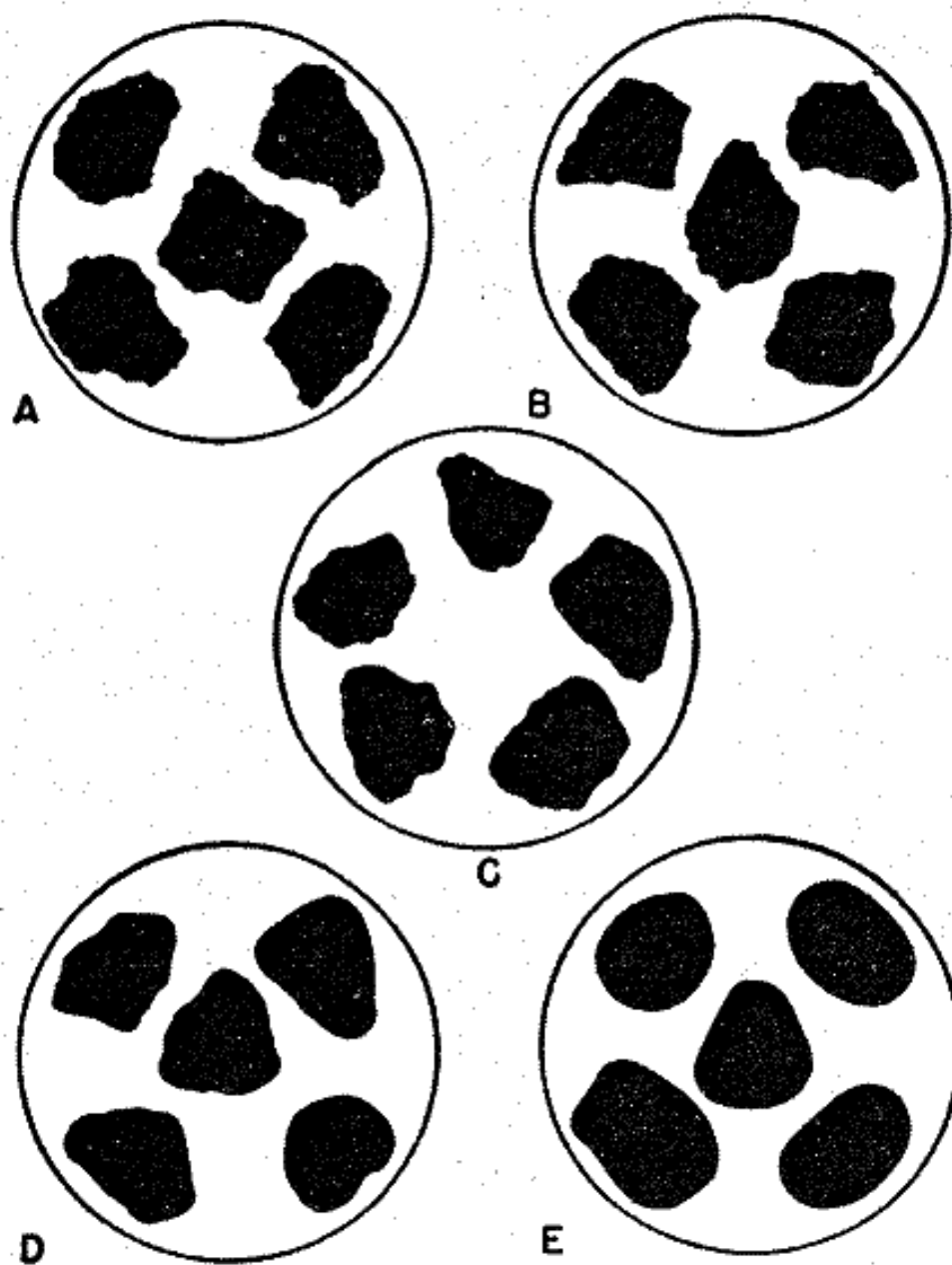
Una partícula de suelo puede ser orgánica o inorgánica:

Se conoce muy poco sobre la composición de los suelos orgánicos; de hecho, en el presente estado de conocimientos, el ingeniero no suele preocuparse de identificar los compuestos orgánicos reales de un suelo.

Existen suelos formados totalmente por partículas orgánicas, como la turba, mientras que hay suelos que contienen algunas partículas orgánicas y algunas inorgánicas, como el “limo orgánico”.

Una partícula de suelo inorgánico puede ser un mineral o una roca. Un mineral es un elemento o compuesto químico presente en la naturaleza y formado por un proceso geológico (es decir, tiene una composición química expresable mediante una fórmula). Una roca es el material sólido que constituye la corteza exterior de la tierra y está formada por uno o más minerales o cristales.

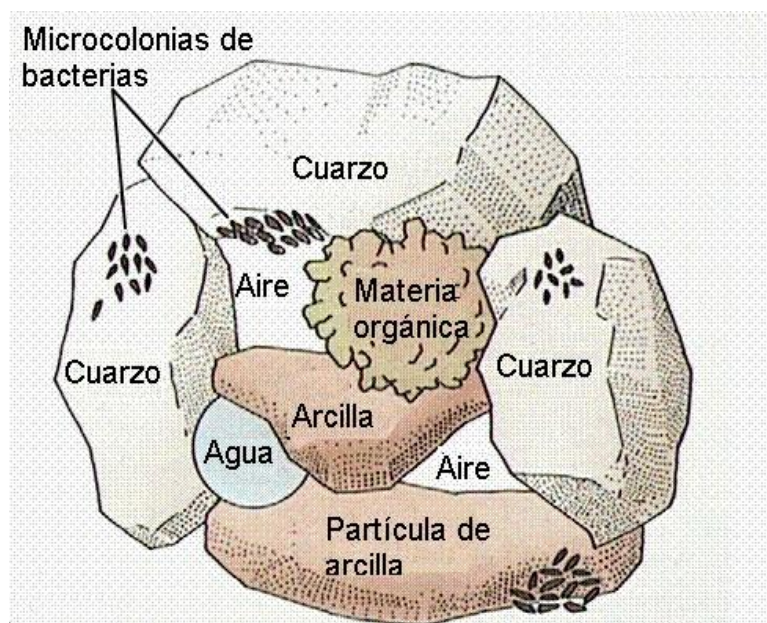
La finalidad de esta presentación es introducir al lector el conocimiento de la naturaleza y disposición de los átomos en las partículas de suelo, de forma que pueda comprender por qué algunas partículas son laminillas típicamente activas y otras, formadas por grandes granos, de dimensiones aproximadamente iguales, son relativamente inertes. Los minerales han sido clasificados según la naturaleza de los átomos y su disposición. La primera clasificación comprende grupos como carbonatos, fosfatos, óxidos y silicatos. Esta clasificación tiene un valor limitado para el ingeniero civil ya que los minerales más abundantes e importantes son los silicatos. De hecho, si se amontonaran todos los suelos del mundo, el 90%, del peso del montón se debería a los silicatos.



Ejemplos de las distintas clases de redondez. A, angulosa; B, sub-angulosa; C, subredondeada; E, muy redondeada

Fig.2.4 Grado de redondez de las partículas

2.4.3 Representación gráfica del suelo



Componentes del suelo y promedios normales

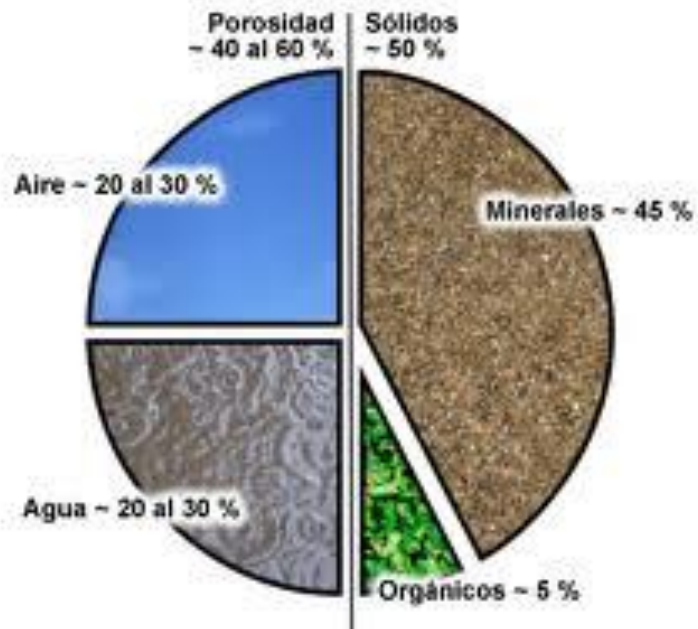


Fig. 2.5 Representación y componentes del suelo

2.5 CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

Es evidente que un sistema de clasificación que pretenda cubrir hoy las necesidades correspondientes, debe de estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser estas lo fundamental para las aplicaciones ingenieriles.

Dada la complejidad y prácticamente la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ir precedido por otro de clasificación completa.

La clasificación de suelos es una categorización sistemática de suelos basado en características distintivas y en criterios de uso. Una clasificación de suelos es muy dinámica, en sí mismo de la estructura del sistema, a las definiciones de clases, y finalmente en la aplicación a campo.

Si bien las diferencias en la significancia de los desarrollos morfológicos a los varios usos del suelo que afectan la aproximación a la clasificación, en un sistema bien construido, los criterios clasificatorios similares de grupo hacen que las interpretaciones no varíen ampliamente. La aplicación exitosa al campo es un desafío, ya que hay naturaleza compleja en la formación de los suelos, y la opacidad inherente de los recursos edáficos.

"El propósito de cualquier clasificación es ser capaz de organizar el conocimiento de tal modo de que las propiedades de los objetos puedan ser recordados y sus relaciones entendidas más fácilmente para un objetivo específico. El proceso de formación de clases por agrupamiento de objetos se hace sobre la base de sus propiedades comunes. En cualquier sistema de clasificación, lo más trascendente no es acerca de cuál es el número más grande, sino que sean más precisos, y se puedan deducir más conclusiones importantes de los objetivos y así sirvan de mejor manera al propósito clasificatorio."

2.5.1 Sistema de Clasificación AASTHO



AASTHO, es la denominación al sistema de clasificación de suelos determinado y confeccionado por el Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) que en sus inicios (Año 1929), era denominado AASHO. Este sistema es básicamente un sistema de clasificación de los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno de estos grupos está determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Estos ensayos determinan el “índice de grupo”, número que clasifica a cada suelo el que está determinado por la siguiente formula empírica.

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0.005 (Wl - 40)) + 0,01 (F - 15) (IP - 10).$$

Dónde:

F= Porcentaje que pasa por 0.08 m, expresado en números enteros basado solamente en el material que pasa por 80 mm

Wl= Límite Líquido

IP= Índice de Plasticidad

*Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0.

Este tipo de clasificación es más usada para definir calidad de suelos empleados para la confección de terraplenes, material de sub-rasante, sub-bases y bases. Luego de obtenido el “Índice de Grupo” con la formula anterior, se ingresa a la siguiente tabla para determinar a qué grupo pertenece el suelo.

Tabla 2.1 Clasificación del suelo según AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa el Tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)

Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6

Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

2.5.2 Sistema de Clasificación SUCS

Este sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS), fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

Esta clasificación divide los suelos en:

Suelos de grano grueso.

Suelos de grano fino.

Suelos orgánicos.

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No.200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en ingles de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Suelos gruesos. Se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

Suelos finos. El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compresibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (hig compresibility).

El sistema Unificado de clasificación de suelos, utiliza como identificación los

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o arcillas orgánicas	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

siguientes símbolos:

Tabla 2.2 Identificación de suelos según SUCS

Fracción Gruesa (FG)= 100% menos lo que pasa el tamiz No. 200.

Para que el suelo sea una grava debe cumplirse lo siguiente:

Retiene el tamiz No. 4 $> \frac{1}{2}$ FG

Retiene el tamiz No. 4: 100 menos lo que pasa el tamiz No. 4

Para que el suelo sea una arena debe cumplirse lo siguiente:

Retiene el tamiz No. 4 $< \frac{1}{2}$ FG

Las gravas con 5 a 12% de finos requieren el uso de símbolos dobles: GW-GM grava bien graduada con limo; GW-GC grava bien graduada con arcilla; GP-GM grava mal graduada con limo; GP-GC grava mal graduada con arcilla.

Las arenas con 5 a 12% de finos requieren el uso de símbolos dobles: SW-SM arenas bien graduada con limo; SW-SC arenas bien graduada con arcilla; SP-SM arena mal graduada con limo; SP-SC arena mal graduada con arcilla.

Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada de la carta de plasticidad, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.

Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena, añada “con arena” al nombre del grupo.

Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava añada “con grava” al nombre del grupo.

Si el suelo contiene 15 a 29% mayos de la malla No. 200 añada “con arena” o “con grava”, el que sea predominante.

Si el suelo contiene $\geq 30\%$ mayor de la malla No. 200, predominantemente arena, añada “arenoso” al nombre del grupo.

Si el suelo contiene $\geq 30\%$ mayor de la malla No. 200, predominantemente grava, añada “gravoso” al nombre del grupo.

Tabla 2.3 CARTA DE PLASTICIDAD

SUCS ASTM D2487

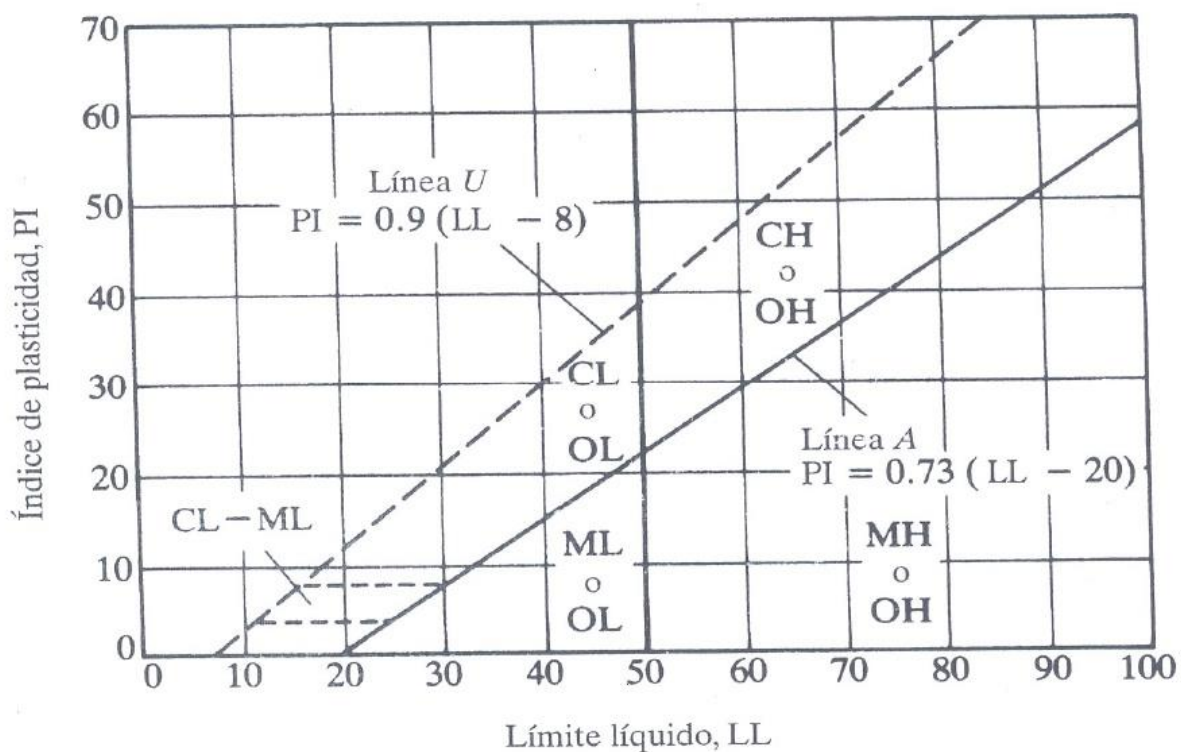


Tabla 2.4 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUICS) ASTM D 2487

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelos	
			Símbolo de grupo	Nombre del grupo
Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
		Cu < 4 y 1> Cc > 3	GP	Grava mal graduada
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP<4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
		IP>7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo
		Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada
		Cu < 6 y 1> Cc > 3	SP	Arena mal graduada
Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP<4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
		IP>7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
	Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
		Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
		Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo
		Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
	Inorgánicos	IP>7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
		IP<4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Limite liquido - secado al horno limite liquido - no secado	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico
		Inorgánicos	IP>7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH
Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	IP<4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"		MH	Limo de alta plasticidad
	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno limite liquido - no secado	OH	Arcilla orgánica Limo orgánica
Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	Turba
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200				
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200				
Suelos altamente orgánicos				

2.5.3 Tamaño Efectivo, Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura

Las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes suelos. Además, tres parámetros básicos del suelo se determinan con esas curvas que se usan para clasificar los suelos granulares. Los tres parámetros del suelo son:

1. Diámetro efectivo
2. Coeficiente de uniformidad
3. Coeficiente de curvatura

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10% de finos se define como diámetro efectivo o D_{10} . El coeficiente de uniformidad está dado por la relación:

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Donde: C_u = coeficiente de uniformidad

D_{60} = diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

El coeficiente de curvatura se expresa como:

$$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$$

Donde: C_c = coeficiente de curvatura

D_{30} = diámetro correspondiente al 30% de finos

La curva de distribución granulométrica muestra no solo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de partículas. La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se la llama suelo mal graduado. La curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama bien graduado. Un suelo bien graduado tiene un coeficiente de uniformidad mayor de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas, y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (para gravas y arenas).

Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas. La curva III representa tal suelo y se la llama de granulometría discontinua.

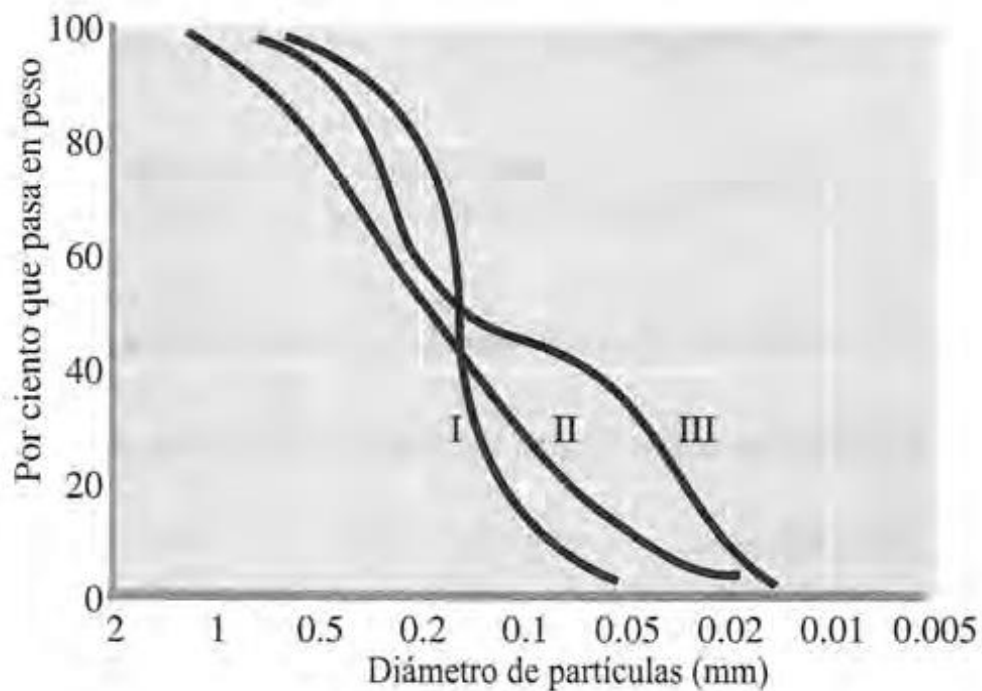


Fig. 2.6 Curvas Granulométricas

2.6 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de agua o contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo (la humedad del suelo), las rocas, la cerámica o la madera medida en base a análisis volumétricos o gravimétricos. Esta propiedad se utiliza en una amplia gama de áreas científicas y técnicas y se expresa como una proporción que puede ir de 0 (completamente seca) hasta el valor de la porosidad de los materiales en el punto de saturación.

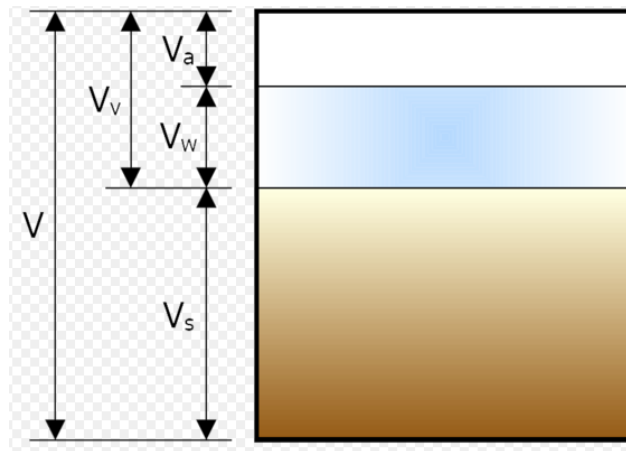


Fig. 2.7 Representación de volúmenes de suelo

Dónde:

V_w : es el volumen de agua

$V_T = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$: es el volumen total (que es $V_{\text{suelo}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{espacio vacío}}$).

2.7 RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS

El suelo es un material constituido por el esqueleto de partículas sólidas rodeado por espacios libres (vacíos), en general ocupados por agua y aire. Para poder describir completamente las características de un depósito de suelo es necesario

expresar las distintas composiciones de sólido, líquido y aire, en términos de algunas propiedades físicas.

En el suelo se distinguen tres fases:

Sólida: formada por partículas minerales del suelo, incluyendo la capa sólida adsorbida.

Líquida: generalmente agua (específicamente agua libre), aunque pueden existir otros líquidos de menor significación.

Gaseosa: comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases, por ejemplo: vapores de sulfuro, anhídridos carbónicos, etc.

La capa viscosa del agua adsorbida, que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida, suele incluirse en esta última pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación (secado).

Algunos suelos contienen, además, materia orgánica (residuos vegetales parcialmente descompuestos) en diversas formas y cantidades.

Pese a que la capa adsorbida y el contenido de materia orgánica son muy importantes desde el punto de vista de las propiedades mecánicas del suelo, no es preciso considerarlos en la medición de pesos y volúmenes relativos de las tres fases principales.

Sus influencias se tomarán en cuenta más fácilmente en etapas posteriores del estudio de ciertas propiedades de los suelos.

Las fases líquida y gaseosa conforman el Volumen de Vacíos, mientras que la fase sólida constituye el Volumen de Sólidos.

Un suelo está totalmente saturado, cuando todos sus vacíos están ocupados únicamente por agua; en estas circunstancias consta, como caso particular, de sólo dos fases: la sólida y la líquida. Muchos suelos bajo la napa, están saturados.

Entre estas fases es preciso definir un conjunto de relaciones que se refieren a sus pesos y volúmenes, las cuales sirven para establecer la necesaria nomenclatura y para contar con conceptos mensurables, a través de cuya variación puedan seguirse los procesos ingenieriles que afectan a los suelos.

En los laboratorios de Geotecnia puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno, y el peso específico de los suelos.

Estas magnitudes no son las únicas cuyo cálculo es necesario; es preciso obtener relaciones sencillas y prácticas a fin de poder medir algunas otras magnitudes en términos de éstas.

Su dominio debe considerarse indispensable para la aplicación rápida y sencilla de las diversas teorías que conforman la Geotecnia.

En la figura aparece un esquema de una muestra de suelo separada en sus tres fases, y en ella se acotan los pesos y volúmenes cuyo uso es de gran interés.

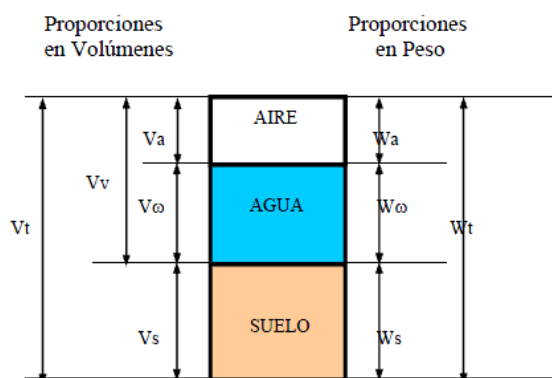


Fig. 2.8 Proporciones de volúmenes de suelo

El significado de los símbolos es el siguiente

V_t : volumen total de la muestra del suelo (volumen da la masa)

V_s: volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos)

V_ω: volumen de la fase líquida (volumen de agua)

V_a: volumen de la fase gaseosa (volumen de aire)

V_v: volumen de vacíos de la muestra de suelo (volumen de vacíos).

$$V_v = V_\omega + V_a$$

$$V_t = V_v + V_s$$

$$V_t = V_\omega + V_a + V_s$$

W_t : Peso Total de la muestra de suelo (Peso de la Masa).

W_s : Peso de la fase sólida de la muestra.

W_ω: Peso de la fase líquida (peso del agua).

W_a : Peso de la fase gaseosa, convencionalmente considerado como nulo en Geotecnia.

Existe un problema para poder definir el peso sólido, o sea del suelo seco, obtenido eliminando la fase líquida. El problema proviene del hecho de que la película de agua adsorbida no desaparece por completo al someter al suelo a una evaporación en horno, a temperatura practicas; la cuestión está convencionalmente resuelta en Geotecnia, al definir como estado seco de un suelo al que se obtiene tras someter el mismo a un proceso de evaporación en un horno,

con temperaturas de 105° C a 110° C, y durante un período suficiente para llegar a peso constante, el cual se logra generalmente en 18 a 24 horas.

RELACIONES DE PESOS Y VOLÚMENES

En Geotecnia se relaciona el peso de las distintas fases con sus volúmenes correspondientes, por medio del concepto de peso específico, es decir, la relación entre el peso de la sustancia y su propio volumen, y de los pesos por unidad de volumen, que relacionan los pesos totales (de una o más sustancias) con los volúmenes totales.

Pesos Específicos.

Se define al peso específico relativo como la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua destilada a 4° C sujeta a una atmósfera de presión.

γ_o : Peso específico del agua destilada, a 4° C. y a la presión atmosférica correspondiente al nivel del mar. $\gamma_o = 1,000 \text{ gr/ cm}^3$

γ_w : Peso específico del agua en condiciones reales de trabajo, su valor difiere un poco del γ_o , en la práctica se toma igual que γ_o .

γ_s : Peso específico del suelo, también llamado peso volumétrico de los sólidos.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

En forma general podemos decir que para

- Arenas: 2,65 gr/cm³
- Arcillas: 2,5 a 2,9 gr/cm³ Con un valor medio estadístico de 2,7 gr/cm³

Densidad o Peso por Unidad de Volumen.

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t}$$

- * Con una humedad diferente a la correspondiente a su saturación

$$\gamma_t = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w + W_a}{V_s + V_v} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$$

Convencionalmente $W_a = \text{cero}$
- * Para $\omega = \omega_{\text{sat}} (V_a = 0)$.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$$
- * Cuando $W_w = 0$ (seco)

$$\gamma_d = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V_v}$$

La relación que existe, para un mismo volumen total, entre el peso por unidad de volumen seco, el peso por unidad de volumen con una humedad distinta a la de saturación, y el peso por unidad de volumen saturado, es la siguiente:

$$\gamma_d < \gamma < \gamma_{\text{sat}}$$

Ello se debe al progresivo aumento del peso total a causa del incremento del contenido de agua en los vacíos del suelo.

2.8 LÍMITES DE CONSISTENCIA

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

2.8.1 Limite Líquido

El límite de liquidez se define como el contenido en agua del terreno en correspondencia del cual, el surco practicado en la muestra se cierra en un tramo de 12 mm después de una secuencia de 25 golpes. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

El instrumento está compuesto de un casquete esférico de metal, fijado en el borde a un dispositivo que mediante la operación de una manivela se produce la elevación del casquete y su subsecuente caída, produciendo así un choque

controlado contra una base también metálica. El terreno mezclado uniformemente con agua es colocado en la parte del casquete metálico opuesta al punto fijo y se le da forma con una plantilla que deja en el centro una ranura uniforme. A cada vuelta de la manivela se produce un golpe en el casquete, que tiende a hacer deslizar el suelo ya húmedo juntando los bordes de la ranura.



Fig. 2.9 Aparato de Casagrande

2.8.2 Limite Plástico

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.



Fig. 2.10 Rodillos de obtención de Limite Plástico

2.8.3 Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedades en el que el suelo tiene un comportamiento plástico. Por definición, es la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

2.8.4 Carta de Plasticidad

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo así como para la identificación del mismo.

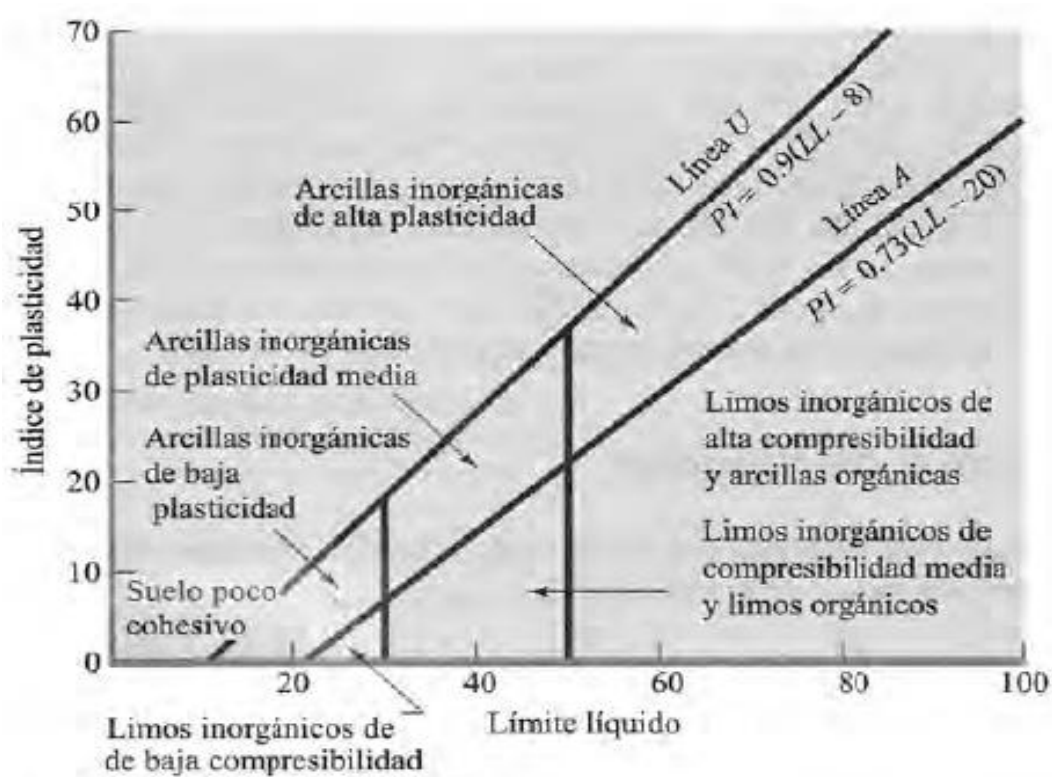


Tabla 2.5 Carta de Plasticidad (Descripción)

Casagrande (1932) estudio la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad, donde se diferencian arcillas y limos orgánicos e inorgánicos, con plasticidad y compresibilidad variable.

2.9 ESTUDIOS GRANULOMÉTRICOS

Los granos que conforman en suelo y tienen diferente tamaño, van desde los grandes que son los que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos pequeños, los que no se pueden ver con un microscopio. El análisis granulométrico al cuál se somete un suelo es de mucha ayuda para la ejecución de proyectos, tanto estructuras como carreteras porque con este se puede conocer la permeabilidad y la cohesión del suelo. También el suelo analizado puede ser usado en mezclas de asfalto o concreto.

Los Análisis Granulométricos se realizaran mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferente tamaño de aberturas, dependiendo de la separación de los cuadros de la maya. Los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas. Para el ensayo o el análisis de granos gruesos será muy recomendado el método del Tamiz; pero cuando se trata de granos finos este no es muy preciso, porque se le es más difícil a la muestra pasar por una maya tan fina; Debido a esto el Análisis granulométrico de Granos finos será bueno utilizar otro método, como el Hidrómetro.

2.9.1 Curva Granulométrica

Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado e hidrométrico) se presentan generalmente en graficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano).

Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética. Por ejemplo, las curvas de distribución granulométrica para dos suelos se muestran en la siguiente figura. La curva de distribución granulométrica para el suelo A es la combinación de los resultados del análisis por cribado, y los resultados del análisis hidrométrico para la fracción de finos.

Cuando los resultados del análisis por cribado y del análisis hidrométrico se combinan, generalmente ocurre una discontinuidad en el rango en que estos se traslapan. La razón para la discontinuidad es que las partículas de suelo son generalmente irregulares en su forma. El análisis por cribado da la dimensión intermedia de una partícula; el análisis hidrométrico da el diámetro de una esfera que se asentaría a la misma razón que la partícula de suelo.

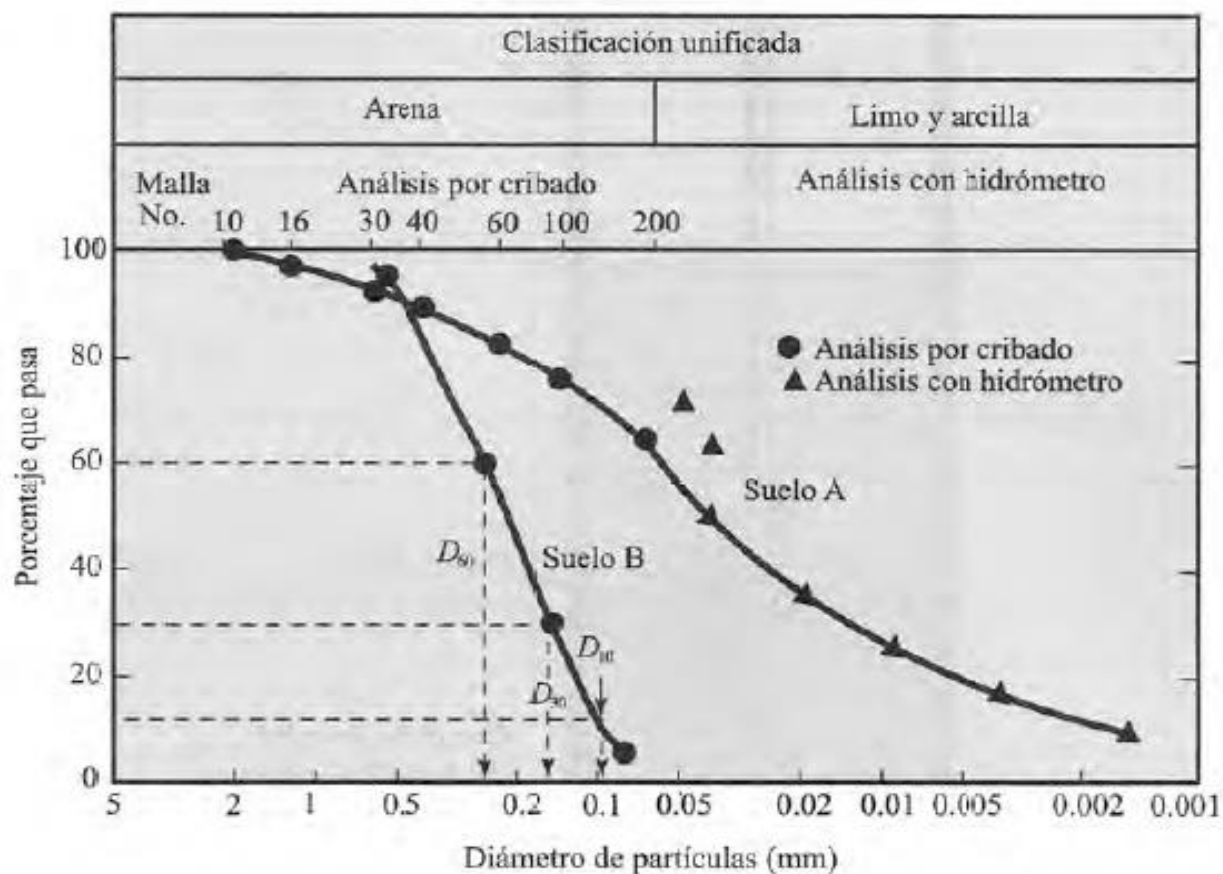
Los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla presentes en un suelo se obtienen de la curva de distribución granulométrica. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el suelo A en la figura tiene los siguientes porcentajes:

Grava (límite de tamaño: mayores que 4.75 mm) = 0%

Arena (límites de tamaño: 4.75 a 0.075 mm)= porcentaje de más finos que 4.75 mm de diámetro-porcentaje de más finos que 0.075 mm de diámetro= $100-62=38\%$

Limo y arcilla (límites de tamaño: menores que 0.075mm) =38%

Tabla 2.6 Diámetros Efectivos



2.10 COMPACTACIÓN DE SUELOS

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos.

La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos. La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos

con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares.



Fig. 2.11 Compactación con maquinaria

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre si y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

2.10.1 Compactación en Laboratorio

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

EL objetivo de este ensayo, es el siguiente:

Determinar la Densidad Seca Máxima y el Contenido de Humedad Óptimo de un suelo, utilizando el Método de Compactación adecuado al tipo de suelo ensayado

Descripción de este ensayo:

A partir de 1933, el Ing. R. Proctor dio inicio al estudio racional de la Compactación. Este investigador verificó, que un mismo suelo, conforme su

Contenido de Humedad, reacciona de manera diferente a la Compactación, alcanzando valores diversos de densidad.

Proctor compactó muestras de suelo en un recipiente cilíndrico, utilizando diferentes contenidos de humedad. Después de Compactar la muestra en el cilindro y determinar su Densidad, la retiraba del cilindro, la desmenuzaba y aumentaba el agua repitiendo la operación de Compactación.

Con los valores de Densidad y Humedad, obtenidos de la Compactación de cada muestra, Proctor pudo trazar la Curva de Compactación (típica para todos los suelos), que a su vez le permitió encontrar la Densidad Máxima y la Humedad Óptima del suelo.

Y es este precisamente este método desarrollado por Proctor, el utilizado actualmente para realizar la Compactación de suelos.

La Compactación es la operación o procedimiento de Estabilización Mecánica, cuyo objetivo fundamental es aumentar la Densidad del suelo, por medio de una mayor aproximación de sus partículas, lo que se consigue con una disminución del Índice de Vacíos.

Mediante el proceso de Compactación del suelo se persiguen los siguientes objetivos prácticos:

- Aumentar la Resistencia a la Compresibilidad y al Corte.
- Obtener de mayor uniformidad y homogeneidad.
- Conseguir que el suelo sea menos susceptible a las variaciones de humedad.

2.10.1.1 Ensayo Proctor Standard T-99

Sirve para determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad. Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado. Ambos ensayos determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o áridos, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No 4, o que tengan un retenido máximo del 10 % en esta malla, pero que pase (dicho retenido) totalmente por la malla 3/8. Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8 deberá determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Proctor Standard.

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo. Históricamente, el primer método, en el sentido de la técnica actual, es el debido a R. R. Proctor, y es conocida hoy en día como "Prueba Proctor Standard". La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión entres capas dentro de un molde de dimensiones y forma determinadas por medio de golpes de un pisón, que se deja caer libremente desde una altura especificada.

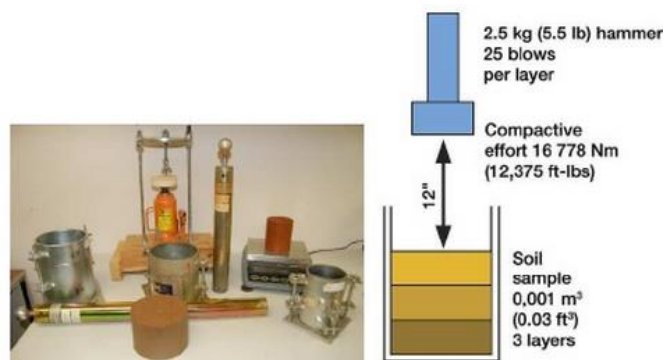


Fig. 2.12 Ensayo de Compactación

Con este procedimiento de compactación Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial del agua en el suelo, encontrando que tal valor era de vital importancia en la compactación lograda. En efecto observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos y, por lo tanto, mejores compactaciones del suelo, pero que esa tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones. Proctor puso de manifiesto que, para un suelo dado y usando el procedimiento descrito, existe una humedad inicial llamada "óptima", que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación. Esta prueba consiste en compactar el suelo en tres capas dentro de un molde de dimensiones y forma determinadas, a cada capa se le compacta con 25 golpes por medio de un pistón, que se deja caer libremente desde una altura específica.

2.10.1.2 Ensayo Proctor Modificado T-180

El ensayo Proctor modificado, al igual que el Proctor normal o Standard, es un ensayo de compactación de suelos. El Corps of Engineers de la U.S. Army propuso un ensayo Proctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación por unidad de volumen, obteniéndose unas densidades secas máximas más elevadas y unas humedades óptimas menores que en el ensayo normal.

Este ensayo en España está normalizado por la NLT-108, que a su vez sigue la norma americana AASHTO 180-74/ASTM D 1557-70.

En el ensayo Proctor modificado se apisona una muestra de suelo en un molde metálico de 2320 cm³ de capacidad (152,5 mm de diámetro interior y 127 mm de altura), es usual utilizar el molde del Ensayo CBR, con un disco espaciador en su fondo. El molde se llena en 5 tongadas y se apisona con 60 golpes por tongada,

distribuidos por toda la superficie. La maza utilizada para apisonar tiene una masa de 4,54 kg y cae desde una altura de 457 mm. Con todo esto, la energía de compactación por unidad de volumen es 4,5 veces superior a la del ensayo normal. El ensayo se puede realizar de forma manual o mecánica.

Para obtener la curva humedad-densidad seca, es necesario realizar el ensayo sobre varias muestras del suelo, que nos darán los puntos de dicha curva. Generalmente con cuatro o cinco de estos puntos ya es posible dibujarla, y por tanto, obtener la densidad máxima Proctor y la humedad óptima correspondiente.

Si se comparan los resultados obtenidos en diferentes tipos de suelos, compactados según los ensayos Proctor normal y modificado, se comprueba que en los compactados según este último se obtienen unas densidades secas mayores y unas humedades óptimas menores. Estas diferencias son más acusadas en suelos finos muy plásticos y mucho menor en zahorras bien graduadas, ya que estas últimas tienen una compactibilidad mejor y su densidad alcanza ya valores elevados con niveles de energía de compactación del Proctor normal.

Al igual que en el ensayo normal, si el tamaño máximo del suelo a emplear en obra es superior al que permite el ensayo, es necesario tamizar el suelo previamente y ensayar la fracción fina de este, realizando una corrección posterior. Por este motivo, si el suelo a ensayar contiene elementos de gran tamaño en mayor medida que elementos de pequeño tamaño, la densidad Proctor no sería un buen elemento de comparación y debe sustituirse por otros ensayos que midan directamente la capacidad resistente y la deformabilidad del suelo.

2.10.2 Compactación en Campo

Generalmente este tipo de compactación en campo se lo realiza con la ayuda de maquinaria, entendiendo por compactar la acción de aplicar durante la construcción del relleno, la energía necesaria para producir una disminución

apreciable del volumen de huecos del material empleado y por tanto del volumen total del mismo. Diferenciándose de la consolidación, en que esta, aunque también disminuye el volumen de huecos dicha reducción no se consigue durante la ejecución de los terraplenes y otros, sino en el transcurso de un plazo de tiempo relativamente largo y debido a pérdida de agua intersticial, por efecto de cargas de servicio móviles o fijas, por agentes atmosféricos, etc. La necesidad de compactar apareció no hace aún muchos años debido a la urgencia de utilizar las obras inmediatamente, sin tiempo para que el tráfico o los agentes atmosféricos produjesen los asientos definitivos. Por tanto, los sistemas de compactación se han ido desarrollando paralelamente a la mecanización de las obras, ya que la aplicación de la energía necesaria exige una maquina adecuada en potencia y movilidad, para cada caso.

El problema se presenta porque la energía de compactación necesaria en cada caso no es solamente diferente, sino que también lo es el modo como dicha energía debe ser transmitida al terreno. La energía debe ser transmitida al terreno. Esta es la razón de que existan hoy día en el mercado diferentes tipos de máquinas compactadoras, y como consecuencia, la dificultad inherente de elegir en cada caso el modelo más idóneo. No quiere decir esto, un terraplén con una máquina de un tipo u otro quede mejor o peor compactado. Con cualquier máquina, por poco específica que esta sea, podemos obtener una compactación satisfactoria. Lo que ocurrirá es que se gastara más mucha energía de compactación y como consecuencia lógica más tiempo, más dinero, etc., si no elegimos la maquina adecuada. Por lo tanto el problema más importante en la compactación es elegir la maquina adecuada para cada trabajo. Para dicha elección tenemos hoy día unas ideas generales, consecuencia de ensayos prácticos más o menos guiados por teorías, que nos permiten de entrada y a la vista de las principales características del material a compactar, decidir el tipo de máquinas más idóneo.

Los factores principales que influyen en la capacidad de compactación de los suelos, son la composición granular y el contenido de humedad. Dentro de la composición granular, lo más importante es el tamaño del grano, mucho más incluso que la composición del mismo. El contenido de humedad es el otro factor importante en la compactación. Se determine el valor más favorable mediante el ensayo Proctor, que nos da la relación entre el contenido de humedad y la densidad del terraplén. Así vemos que la densidad seca máxima crece con la energía de compactación.

La humedad optima depende de la energía utilizada para compactar. El agua al actuar como lubricante de las partículas facilita una mejor imbricación entre ellas, pero si hay exceso de la misma, parte de la energía de compactación se pierde en expulsar el agua, por lo que aparece lógicamente la existencia de un porcentaje óptimo, que es necesario determinar en cada caso. Ahora bien, como la corrección de humedad de un material es difícil y costosa, conviene evitarla, siendo preferible utilizar energías de compactación elevadas que permitan conseguir densidades secas superiores en un campo de humedades más amplio.

Hay de todas formas suelos que presentan más o menos dificultad de compactar. Entre los primeros están los cohesivos en general, los de granulometría uniforme, no cohesivos o débilmente cohesivos, con un coeficiente de desigualdad pequeño, rocas ligeras y rocas pesadas. Entre los suelos fáciles, tenemos las arenas bien graduadas no cohesivas o poco cohesivas a partir de un valor mediano de coeficiente de desigualdad, mezclas de arena y gravillas bien graduadas, no cohesivas o poco cohesivas con iguales coeficientes y, en general, todos los suelos no cohesivos o escasamente cohesivos aun con relativamente pequeñas desigualdades de grano.

2.10.2.1 Compactación Manual

APISONADOR DE IMPACTO (CANGURO, SAPO O SALTARIN).-

Especialmente para compactar en sitios de áreas pequeñas y suelos granulares principalmente. No es muy eficiente en suelos arcillosos.



Fig. 2.13 Equipo de Compactación manual

2.11.2.2 Compactación con Maquinaria

APISONADORAS CLASICAS DE RODILLOS LISOS.- En estas apisonadoras la característica más importante es la presión que ejercen sobre el terreno. Se considera un área de contacto en función del diámetro de los rodillos, peso de la máquina y tipo de suelo, a través del cual se transmite la presión estática. Estas máquinas, aunque muy empleadas, la verdad es que su efecto de compactación alcanza muy poca profundidad en suelos coherentes. En los no coherentes, causan desgarros en la superficie, transversales a la dirección de la marcha, destruyendo de esta manera parte de su propio trabajo. Sin embargo son útiles para el planchado de macadam y sellado de superficies regadas con emulsiones asfálticas.

Su utilización máxima la tienen hoy día en las primeras pasadas de compactación de aglomerados asfálticos.

RODILLOS DE PATAS DE CABRA.- Estos Compactadores concentran su peso sobre la pequeña superficie de las puntas troncocónicas solidarias al rodillo, ejerciendo por lo tanto unas presiones estáticas muy grandes en los puntos en que las mencionadas partes penetran en el suelo.

Conforme se van dando pasadas y el material se compacta, dichas partes profundizan cada vez menos en el terreno, llegando un momento en que no se aprecia mejora alguna, pues la superficie, en una profundidad de unos 6 centímetros siempre quedara distorsionada. Al pasar la maquina sobre la nueva tongada de material se compacta perfectamente esa superficie distorsionada de la cape anterior.

Este tipo de compactador trabaja bien con suelos coherentes, sin piedras, en capes de 20 cm. Con humedad adecuada, se consiguen resultados satisfactorios en unas 8/10 pasadas. Debido a su alta preside especifica (15/30 kg/cm²) y a los efectos de amasado que producen las partes, compactan bien los suelos altamente plásticos, con poco contenido de agua e incluso pobres de aire y de vacíos. Como se trata de una maquina muy sencilla y robusta, el rendimiento que se obtiene es francamente bueno. Los pesos de estos Compactadores utilizados por nosotros oscilan entre 1.000 y 8.000 kg., pudiendo acoplarse en paralelo o en también varias unidades para obtener mejores rendimientos.



Fig. 2.14 Maquinaria para Compactación Patas de Cabra

COMPACTADORES CON RUEDAS NEUMATICAS.- Estas máquinas trabajan principalmente por el efecto de la presión estática que producen debido a su peso, pero hay un segundo efecto, debido al modo de transmitir esta presión por los neumáticos que tiene singular importancia.

Las superficies de contacto de un neumático dependen de la carga que soporte y de la presión a que este inflado, pero la presión que transmite al suelo el neumático a través de la superficie elíptica de contacto no es uniforme. Por lo tanto y para simplificar el problema se emplea el término ‘presión media’ de contacto que se obtiene dividiendo la carga sobre cada rueda por la superficie de contacto. Estas superficies de contacto se obtienen para las diferentes presiones de inflado y cargas sobre rueda, marcando las huellas de contacto sobre una placa de acero con el neumático en posición estática.

Fig. 2.15 Maquinaria para Compactación con rodillo neumático



Es norma general esperar una presión del orden del 90 % de la presión en la superficie a profundidades de 70 cm. y actuando en un ancho de unos $\frac{2}{3}$ del ancho de la huella del neumático. Esto obliga a las máquinas compactadoras de estos tipos a procurar un cierto solape entre las huellas de los neumáticos delanteros y traseros. Un compactador de neumáticos inflado a poca presión da unas superficies de contacto cóncavas y en los bordes del neumático, en los que la cubierta recibe el apoyo estructural de los laterales aparecen unas presiones horizontales adicionales que ayudan al asentamiento de las partículas y a su mezclado.

Los neumáticos para Compactadores deben ser de banda de rodadura ancha y lisa y capaces de ejercer una presión media de contacto entre 60 y 90 p.s.i. uniformemente sobre la superficie de contacto ajustando lastre y presión de inflado.

COMPACTADORES DE RODILLOS VIBRATORIOS.- Hoy día es quizá la máquina más utilizada. En los últimos años ha sido tal los tipos y marcas disponibles en el mercado, que casi resulta materialmente imposible conocerlas todas. Se han empleado en la compactación de toda clase de suelos sin distinción:

bases granulares artificiales, sub-bases naturales, suelo-cementos, rellenos rocosos, asfaltos, arcillas, arenas, etc., y naturalmente, el éxito ha sido variable. Hay que considerar primordialmente los efectos de resonancia. Esta es función, por una parte, de la composición o tipo del terreno, contenido de humedad del mismo, etc., y por otra, del propio vibrador. Es decir, que lo importante es la adecuación de frecuencia de resonancia del suelo y de la mesa del vibrador.



Fig. 2.16 Compactación con rodillo vibratorio

2.11 RESISTENCIA DE SUELOS

La resistencia característica del suelo dentro de un análisis para carreteras, especialmente para conformación del paquete estructural, nos llevan a la realización de dos estudios principales del firme que son el estudio de la capacidad de soporte del suelo (CBR), y la respuesta del mismo al desgaste que sufre a través del tiempo por medio de la máquina de 'Los Ángeles'.

2.11.1 Capacidad de Soporte (CBR) de Suelos.

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este

ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.



Fig. 2.17 Equipo para ensayo de CBR

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

Tabla 2.7 Valores de Carga Unitaria

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm ²	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, se muestran los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 (para el molde de 15.5 cm de diámetro), para la compactación de muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

Tabla 2.8 Energías de Compactación

	Método	Golpes	Capas	Peso del martillo N
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

Tabla 2.9 Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	regular	sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	bueno	base,subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

2.11.2 Ensayo de Desgaste Los Ángeles

Este ensayo se recoge en la norma NLT-149 “Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Ángeles”. La máquina de Los Ángeles consiste en un tambor cilíndrico de acero que gira en posición horizontal. Este cilindro está provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar y un entrepaño para conseguir el volteo del material.

En la máquina de Los Ángeles se introduce una muestra de árido limpio y lavado, con una de las siete granulometrías indicadas por la norma, y una carga abrasiva compuesta de esferas de fundición o de acero, cuyo peso total depende de la granulometría elegida. Con la muestra y la carga abrasiva en el interior del tambor, se hace girar este a una velocidad constante y durante un número determinado de vueltas, para suelo aluvial con una gradación tipo A se utilizan 500 vueltas, posteriormente se separa la muestra por el tamiz N° 12.

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original de la muestra y su peso al final del ensayo, expresada en tanto por ciento del peso inicial. A este valor numérico se le denomina coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Por lo general, se puede decir que coeficientes superiores a 50 corresponden a áridos de mala calidad, no aptos para la construcción de capas de firme. Coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos con resistencia al desgaste

suficiente para cualquier posible aplicación, y en particular, para capas de rodadura bituminosas que hayan de soportar tráfico pesado.



Fig. 2.18 MAQUINA DE LOS ANGELES

2.12 ESTRUCTURACIÓN DEL FIRME EN CARRETERAS

Tradicionalmente se utilizan en el pavimento flexible suelos de buena calidad de soporte estructural, como lo son las gravas, arenas y otros tipos de suelos adecuados para su uso tradicional.

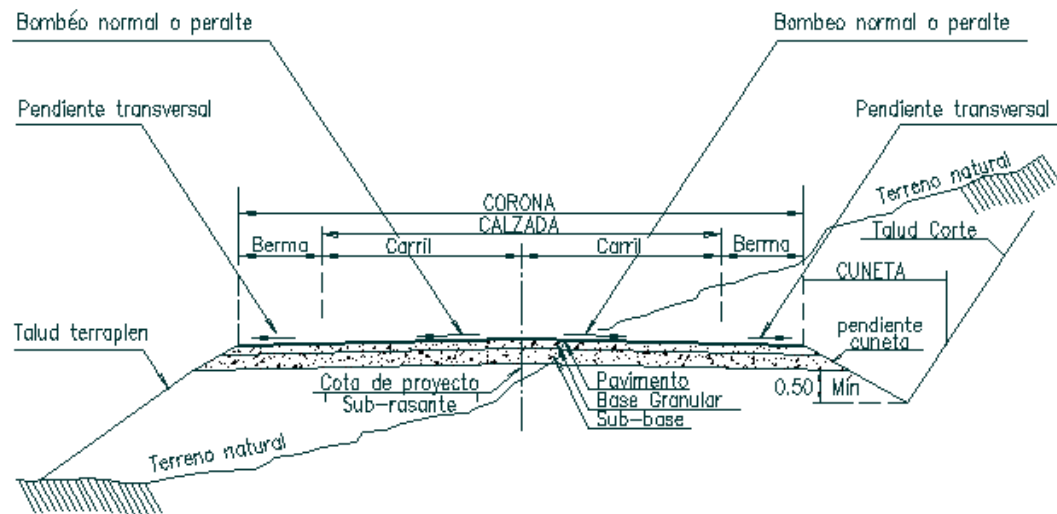


Fig. 2.19 Perfil de una Carretera

Estos tipos de materiales comúnmente se deben transportar hasta la obra, lo que significa transportar físicamente el camino en volquetas al lugar de su construcción.

Desde hace mucho tiempo han sido y siguen siendo materias primas para la elaboración y mantenimiento de esta estructura, donde la selección y localización se convierte en uno de los problemas básicos del Ingeniero Civil en especial cuando éstas se encuentran muy alejados de la obra a construir o de otra manera no lo exista en abundancia.

El mismo uso de estos materiales acarrea consigo en el ecosistema en que vivimos algunos problemas de mayor magnitud como por ejemplo la extracción de áridos de forma irracional y descontrolada de ríos y otros problemas de menor magnitud pero que afectan indiscutiblemente al medio ecológico.

2.13 EXPLORACION Y MUESTREO DE SUELOS

La exploración y muestreo de los suelos es una necesidad que se tiene tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra que se trate, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo con el que se está tratando. El conjunto de estos datos debe llevar al proyectista a adquirir una concepción razonablemente exacta de las propiedades físicas del suelo que hayan de ser consideradas en sus análisis. En realidad es en el laboratorio donde el proyectista ha de obtener los datos definitivos para su trabajo; primero, al realizar las pruebas de clasificación ubicará en forma correcta la naturaleza del problema que se le presenta y de esta ubicación podrá decidir, como segunda fase de un trabajo, las pruebas más adecuadas que requiere su problema particular, para definir las características de deformación y resistencia a los esfuerzos en el suelo con que haya de laborar, más lo que la instructora nos guía.

El conocimiento anticipado de tales problemas permite, a su vez, programar en forma completa las pruebas necesarias para la obtención del cuadro completo de datos de proyecto, investigando todas aquellas propiedades físicas del suelo de las que se pueda sospechar que lleguen a plantear en la obra una serie de condiciones de tal manera que sean críticas.

Investigación del Suelo:

Por lo general, no se asigna a esta primera operación la importancia que merece. El estudio del sitio donde se proyecta construir, un puente, un pavimento, una edificación, etc. y particularmente la operación de obtener muestras, se deja muchas veces en manos de personal con escasa experiencia en este campo de la mecánica de los suelos.

Tanto el estudio del sitio donde se proyecta levantar una estructura, como la obtención de muestras, son de gran importancia y deberán hacerse bajo la

dirección y constante supervisión de un ingeniero especialista o de un geólogo. El estudio del suelo no debe limitarse al lugar donde estará situada la estructura, sino que debe comprender toda la zona circunvecina. El estudio del sitio debe comprender los principales accidentes naturales del terreno, como pueden ser: quebradas, riachuelos, zonas anegadas, vegetación existente, etc. Estos datos son muy valiosos para poder proyectar sistemas de drenaje, prevenir y evitar deslizamientos que pudieran presentarse posteriormente.

Así mismo, el conocimiento de las características de la región: si es o no una zona lluviosa, etc.

Hoy en día el estudio del sitio se ha simplificado grandemente pues se cuenta con una información valiosa y detallada proveniente de los levantamientos topográficos que se realizan, de los estudios geológicos y las imágenes satelitales. Todos estos datos proporcionan valiosa ayuda al ingeniero o geólogo que está a cargo del estudio de una zona determinada.

2.13.1 Técnicas de Muestreo de Suelos

Se tiene como objetivo obtener la cantidad necesaria de suelo viendo que las mismas sean representativas y lo más homogéneas posible.

Existen dos condiciones en las que se puede obtener las muestras, en condiciones alteradas y condiciones inalteradas.

2.13.1.1 Obtención de Muestras Alteradas.

PROCEDIMIENTO:

- Ubicar el área de excavación.
- Excavar lo más vertical posible.
- El material excavado se debe colocar periféricamente fuera del pozo.

- Terminar la excavación hasta la profundidad determinada.
- Describir el perfil del suelo.
- Medir el espesor de cada estrato (de arriba hacia abajo).
- Para el muestreo, colocar la lona en la base del pozo, pegada a la pared de muestreo.
- Anotar la profundidad de cada estrato.
- Colocar las muestras de suelo en bolsas de polietileno, por separado cada estrato.
- Identificar cada muestra con etiqueta y marcar en cada bolsa, (pozo N°, profundidad, lado, procedencia, etc.).

2.13.1.2 Obtención de Muestras Inalteradas (suelos cohesivos).

PROCEDIMIENTO:

- Determinar el estrato a excavar.
- Cortar periféricamente con el cuchillo, espátula o badilejo el área de muestreo.
- Alisar la superficie superior.
- Excavar alrededor y por detrás de la muestra.
- Formar una figura geométrica del suelo cohesivo (cubo o rectángulo preferentemente).
- Corta por la base con cuidado, objeto no dañar la muestra.
- El trozo cortado colocar a la sombra sobre un recipiente.
- Calentar la parafina en un bañador hasta licuarla.
- Aplicar con la brocha 3 a 5 capas de parafina licuada a cada cara, dejando enfriar previamente cada capa.
- Cubrir la totalidad de la muestra.
- Colocar en cajas de aserrín o arena para su traslado a laboratorio, debidamente identificadas.

2.13.2 Tipos de Muestreo

Los muestreos identificados por la norma AASHTO T-2, toman en cuenta dos principales tipos de muestreo que se realizan en campo:

- ✓ Pozos a cielo abierto (Muestras alteradas e inalteradas hasta 5 m de profundidad)
- ✓ Sondeos (Muestras del subsuelo a profundidades mayores a 5 m.)

EQUIPO DE CAMPO:

- Picotas
- Palas
- Lonas
- Bolsas cerradas
- Marcadores
- Libreta de notas
- Flexómetro
- Etiquetas

2.13.3 Cantidades mínimas necesarias.

MATERIAL		PESO MINIMO NECESARIO
(TAMAÑO MAXIMO)		(KG)
3½"	90 mm	65
3"	75 mm	60

2½"	63 mm	45
2"	50 mm	40
1½"	37,5 mm	30
1"	25 mm	25
¾"	19 mm	15
½"	12,5 mm	10
3/8"	9,5 mm	5
Nº 4	4,75 mm	5
Nº 10	2,0 mm	5

Tabla 2.10 Valores de Cantidades para muestreo

2.14 EQUIPO Y MAQUINARIA PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL ALUVIAL

Dentro del equipo necesario para la explotación y extracción de material aluvial se puede mencionar primeramente la maquinaria que puede ser usada como es el caso de Excavadoras, Palas Cargadoras y Volquetas, además de las Trituradoras, Zarandas, Cintas Alimentadores, etc.

El uso de cada equipo y maquinaria a utilizar viene determinado de acuerdo a las condiciones que se tienen en el lugar para el aprovechamiento del material, además de las cantidades que se pueden obtener del mismo.

Generalmente y dependiendo de la aplicación del material, este se lo puede obtener de forma directa y tratada de plantas seleccionadoras, aunque para estos casos se debe realizar un análisis de disponibilidad y costos.

2.15 ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA CONSTRUCCIÓN DE CAPA SUB-BASE

Descripción. Consiste en el suministro, transporte, colocación, sobre la sub-rasante definida en los diseños, conformación y compactación de grava, piedra partida, arenilla u otro material granular aprobado. El trabajo se extenderá a las bermas, si así lo indican los planos o lo exige el Interventor.

Materiales. El material para sub-base se compondrá de fragmentos de roca, gravas, arenas y limos.

En cada caso, sean suelos naturales o mezclados, debe obtenerse una capa uniforme, compacta, libre de terrones de arcilla, materia orgánica, basuras, escombros, u otros elementos objetables.

Estos materiales deben cumplir las siguientes propiedades:

Granulometría. Para la gradación de los materiales de sub-base se recomienda el uso de valores dentro de los límites especificados en la siguiente tabla:

Tabla 2.11 Rangos Granulometricos para capa sub-base

Tamiz	Porcentaje que pasa
3"	100
2"	100 – 100
1 1/2"	56 – 89
1"	46 – 78
3/4"	34 – 70
3/8"	24 – 56
Nº 4	13 – 45
Nº 10	10 – 40

Nº 40	2 – 18
Nº 200	0 – 10

Límites de Consistencia. La fracción del material que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad menor de 6 y un límite líquido menor de 25.

Desgaste. El material al ser sometido al ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles, debe presentar un desgaste menor del 50%.

Equivalente de Arena. La fracción del material que pasa por el tamiz Nº 4 debe presentar un equivalente de arena mayor del 20%.

Valor Relativo de Soporte, CBR. El CBR será mayor de 30% para una densidad seca mínima del 95% con relación a la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Fuentes de Materiales. Los materiales se extraerán de canteras o depósitos aluviales estudiados y aceptados para el estudio, mediante control de calidad realizado y confirmado por escrito con las firmas de validación correspondiente.

Procedimiento de Construcción. La construcción de una sub-base comprende las siguientes operaciones repetidas cuantas veces sea necesario: Extensión y humedecimiento de una capa, conformación, compactación y acabado de la misma capa.

El Contratista no puede dar comienzo a los trabajos sin la aprobación del Supervisor.

La sub-base se coloca en capas no mayores de 20 cm. de espesor, medido antes de la compactación, y mantiene un contenido de humedad cercano al óptimo para compactarse a un mínimo del 95% de la densidad máxima que se obtiene en el ensayo Proctor Modificado.

En ningún caso se permite colocar la capa superior de sub-base sin que la capa inferior cumpla las condiciones de nivelación, espesor y densidad exigidas. Simultáneamente con estas operaciones, se procede a conformar las bermas permanentes si es el caso, las cuales se compactan en todo su ancho y en el espesor total de la capa para que sirva de contención lateral a la zona central.

Cuando se trate de sub-base sobre afirmado existente, se sigue el siguiente procedimiento: Si el afirmado existente en la vía forma parte de la sub-base del proyecto, este se escarifica en una profundidad de 10 cm. o la que se indica en las especificaciones particulares. Se conforma y compacta al 95% de la densidad máxima del Proctor Modificado.

Si el espesor de la sub-base por colocar sobre el afirmado existente, está proyectado para corregir irregularidades menores de la calzada, el Supervisor puede autorizar la colocación y mezcla del material de sub-base con el afirmado existente ya escarificado. El Contratista coloca el material de sub-base de tal manera que no produzca segregación y no cause daño a la superficie de asiento. Las ruedas de las volquetas se deberán mantener limpias para evitar la contaminación de la superficie de sub-rasante o sub-base terminadas del material de sub-base por colocar.

Cualquier contaminación de una capa debe corregirse, antes de proseguir el trabajo. El Contratista está obligado a conservar y restaurar todo camino utilizado para acarreo de los materiales, dejándolo en condiciones similares a como las que presentaba antes de iniciar los transportes.

Equipo. Los equipos para la ejecución de los trabajos especificados comprenden: Motoniveladora debidamente equipada con cuchilla y escarificadores en buenas condiciones, cisterna que permita un riego uniforme sobre la superficie.

El espesor de cada capa y el número de pasadas del equipo de compactación estarán determinados por la capacidad del equipo que disponga el Contratista y el material a compactar.

Tolerancias. Las tolerancias admisibles para la aceptación de la sub-base generalmente están dentro de los siguientes parámetros: La cota de cualquier punto de la sub-base conformada y compactada no debe variar en más o menos un centímetro (+ /-1 cm.) de la cota proyectada. El espesor verificado por medio de perforaciones en la sub-base terminada no debe ser menor del noventa y cinco por ciento (95%) del espesor de diseño. En los proyectos de mejoramiento de vías existentes en las que el afirmado forma parte de la sub-base, el Supervisor determina el procedimiento de control de espesores, cotas y pendientes longitudinales y transversales según lo estime conveniente.

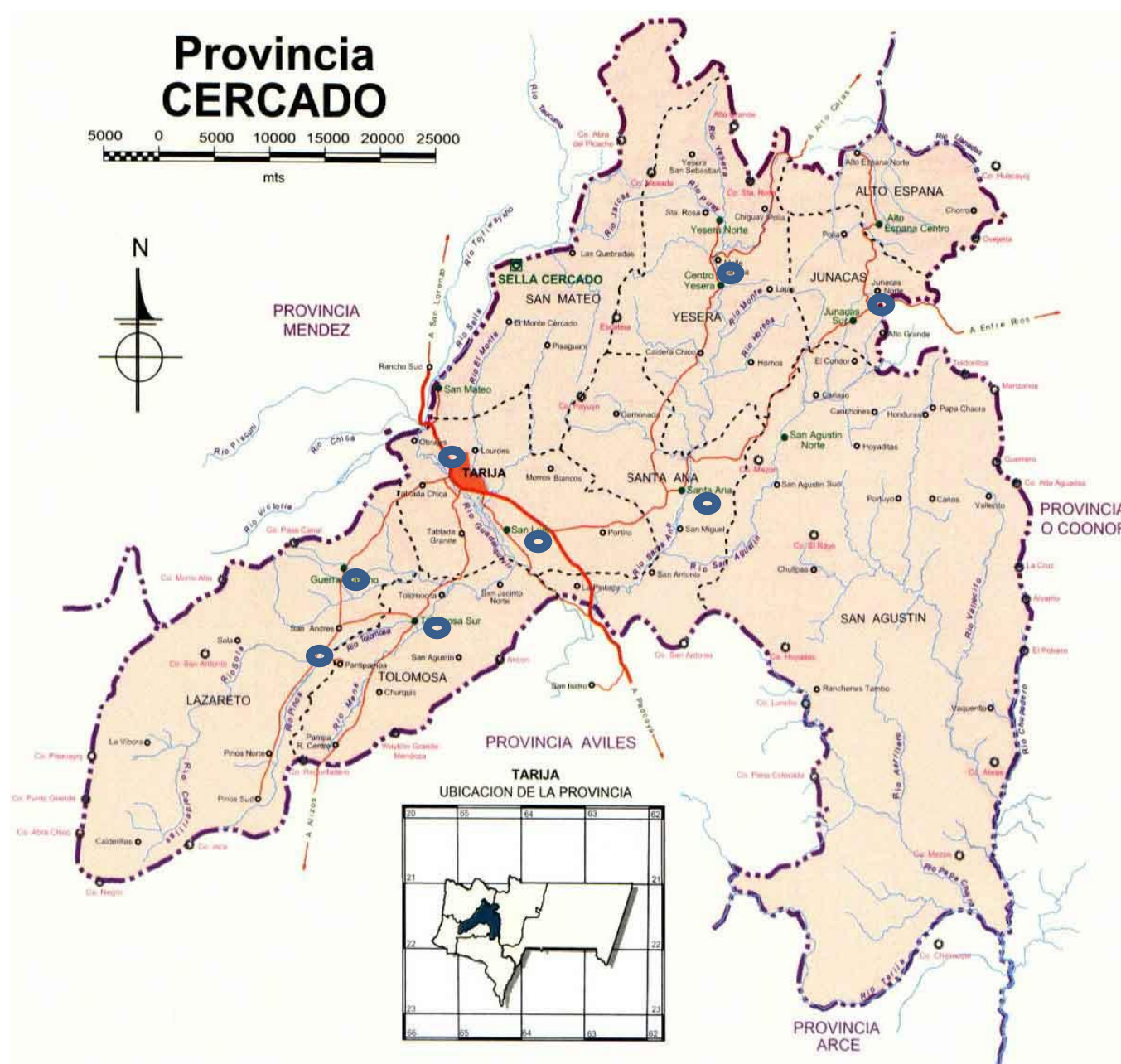
Medida. La medida se lo realiza en metros cúbicos (m^3) de sub-base compactada de acuerdo con las cotas, espesores y demás dimensiones indicadas en los planos o determinadas por el Supervisor.

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS Y BANCOS DE PRÉSTAMO

3.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Fig. 3.1



3.2 UBICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES DE YACIMIENTOS DE PRÉSTAMO DE SUELO ALUVIAL

Para el presente estudio de estimación de volúmenes de material disponible en los lechos de los ríos de material aluvial, se optó por la utilización de medios e imágenes satelitales, ya que se dificulta demasiado realizar una medición manual de las áreas de los lechos de los ríos en consideración.

El trabajo que se realiza es primeramente el delimitar el área del río que se considera más factible para su explotación, debido a importantes factores, principalmente el de accesos y distancias hacia algún camino o carretera próximos.

En otro de los aspectos que se consideró, luego de realizar algunas calicatas en los diferentes bancos de préstamo es que la altura del material aprovechable oscila en la mayoría de los casos de los diferentes ríos entre 0.4m -0.7 m, estas alturas van variando de acuerdo a muchos factores como topografía del lugar, curso del agua, etc. Para nuestro análisis, al no ser este el principal punto de investigación se procedió a adoptar un valor de 0,60m como nuestra altura de material aprovechable para todos los bancos de material de los distintos ríos.

Otro punto a considerar es la distribución del material en el lecho del río, ya que para los diferentes casos se tiene una disposición de materiales variable, es decir existen lugares con más cantidad de material para poder aprovechar que en otros, incluso hay lugares se podría llamar desérticos de material grueso que tienen casi en la totalidad de su superficie partículas finas para poder explotar. Por este motivo, además de considerar que no se puede realizar la explotación de todo el material de los lechos aluviales por su daño a la ecología y medio ambiente del lugar, se estimó la cantidad aprovechable en un 40% del área superficial de los bancos de préstamo.

Considerando todos estos aspectos, se puede proporcionar una idea de la magnitud y longitud total de capa sub-base que puede ser cubierta con el uso de estos yacimientos de préstamo, considerando condiciones pésimas del terreno, adoptamos un espesor total de la capa sub-base de 0.80 m y ancho de carril de 8.0 m, obtenemos que el

material y las zonas de estudio nos pueden brindar el material necesario para cubrir aproximadamente 96.3 km de conformación de capa sub-base.

Finalmente es importante considerar que el análisis que se llevó a cabo sobre los volúmenes de explotación de material aluvial puede variar de manera sustancial, ya que se puede llevar el análisis a una mayor área de extensión, dependiendo de las necesidades que se presentan para los diferentes tipos de proyectos que se pretendan ejecutar.

3.3 MUESTREO

Fig 3.2 BANCO OBRAJES



Fig 3.3 BANCO SAN LUIS

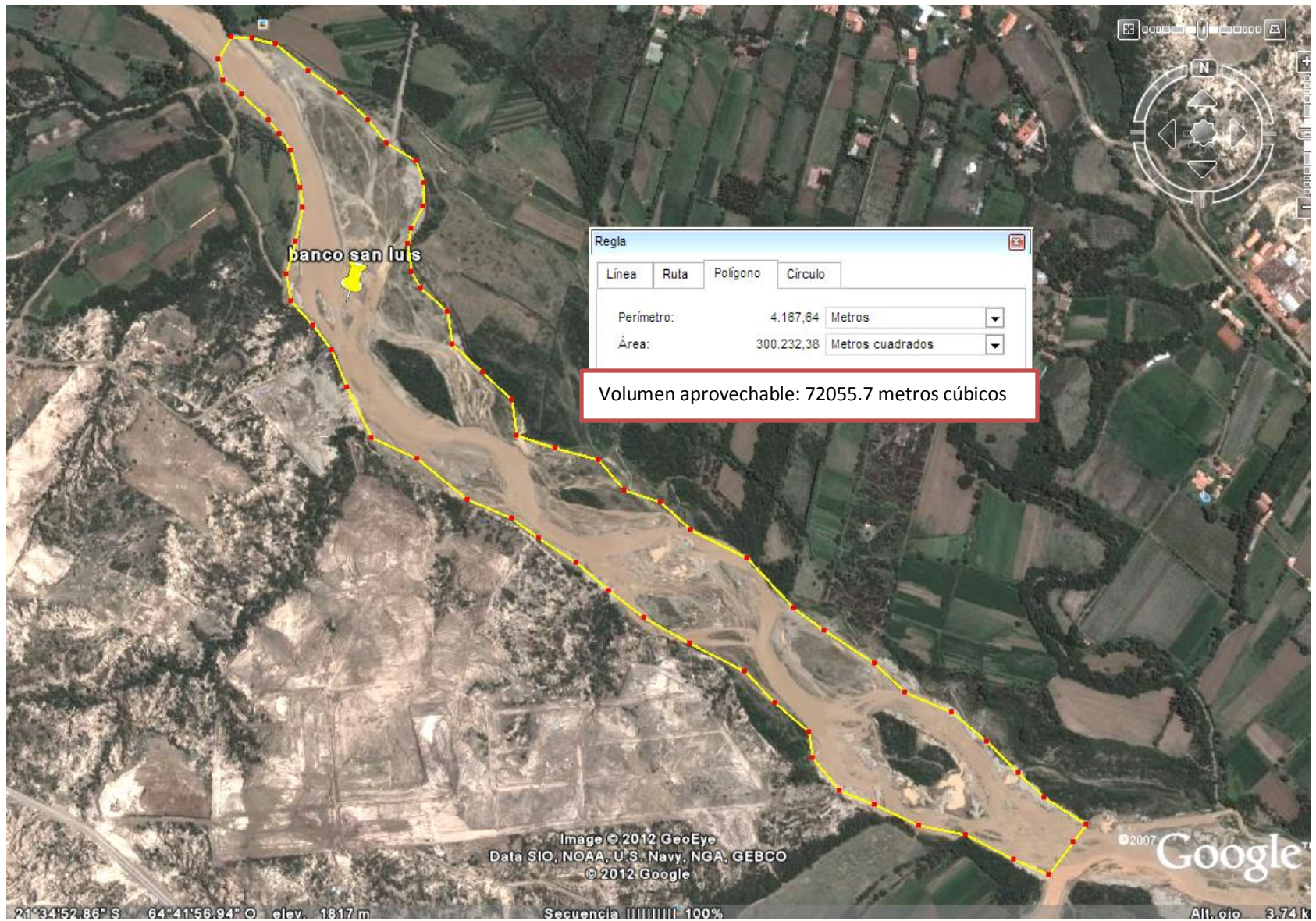


Fig 3.4 BANCO BELLA VISTA

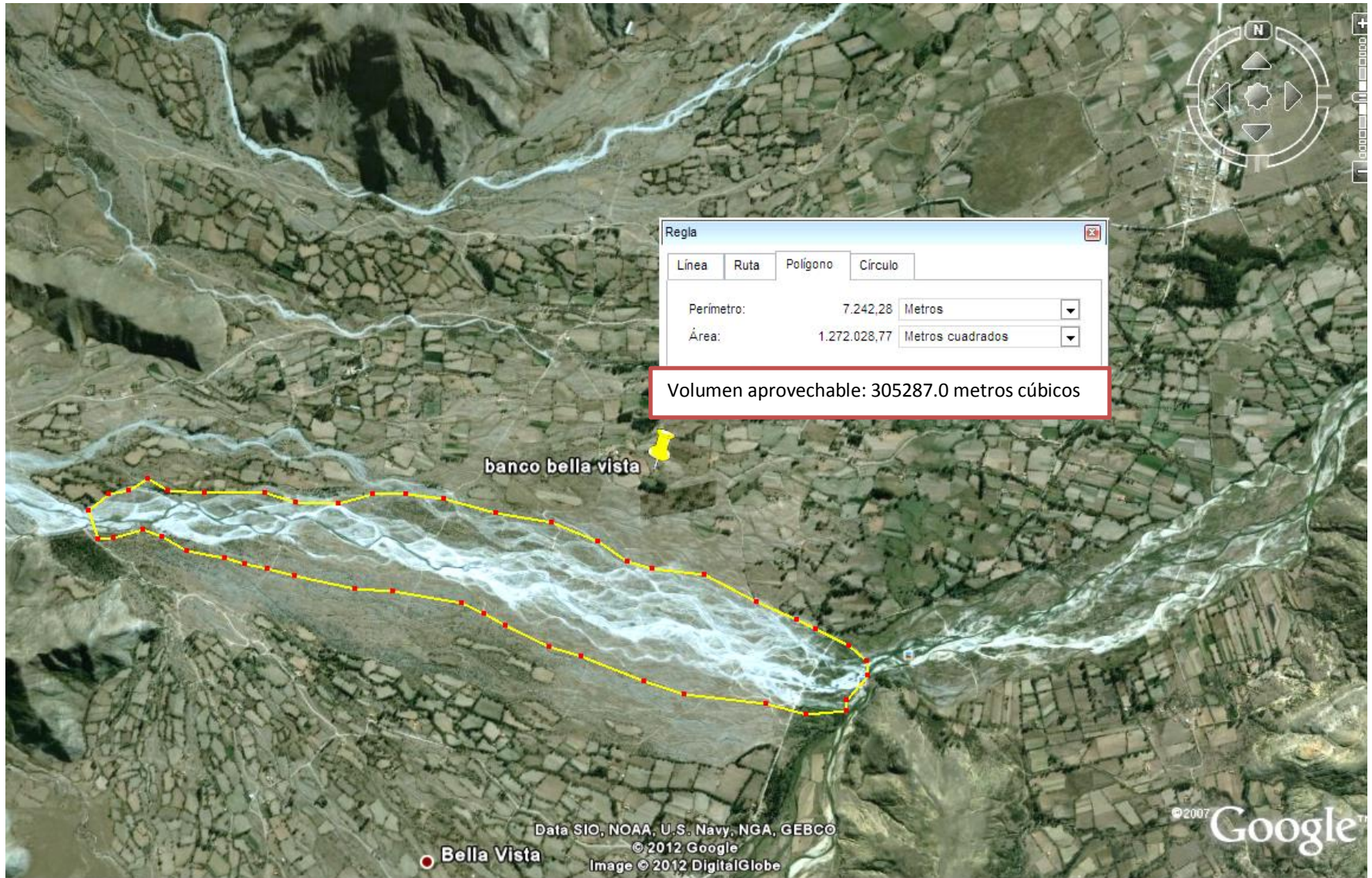


Fig 3.5 BANCO SAN ANDRÉS

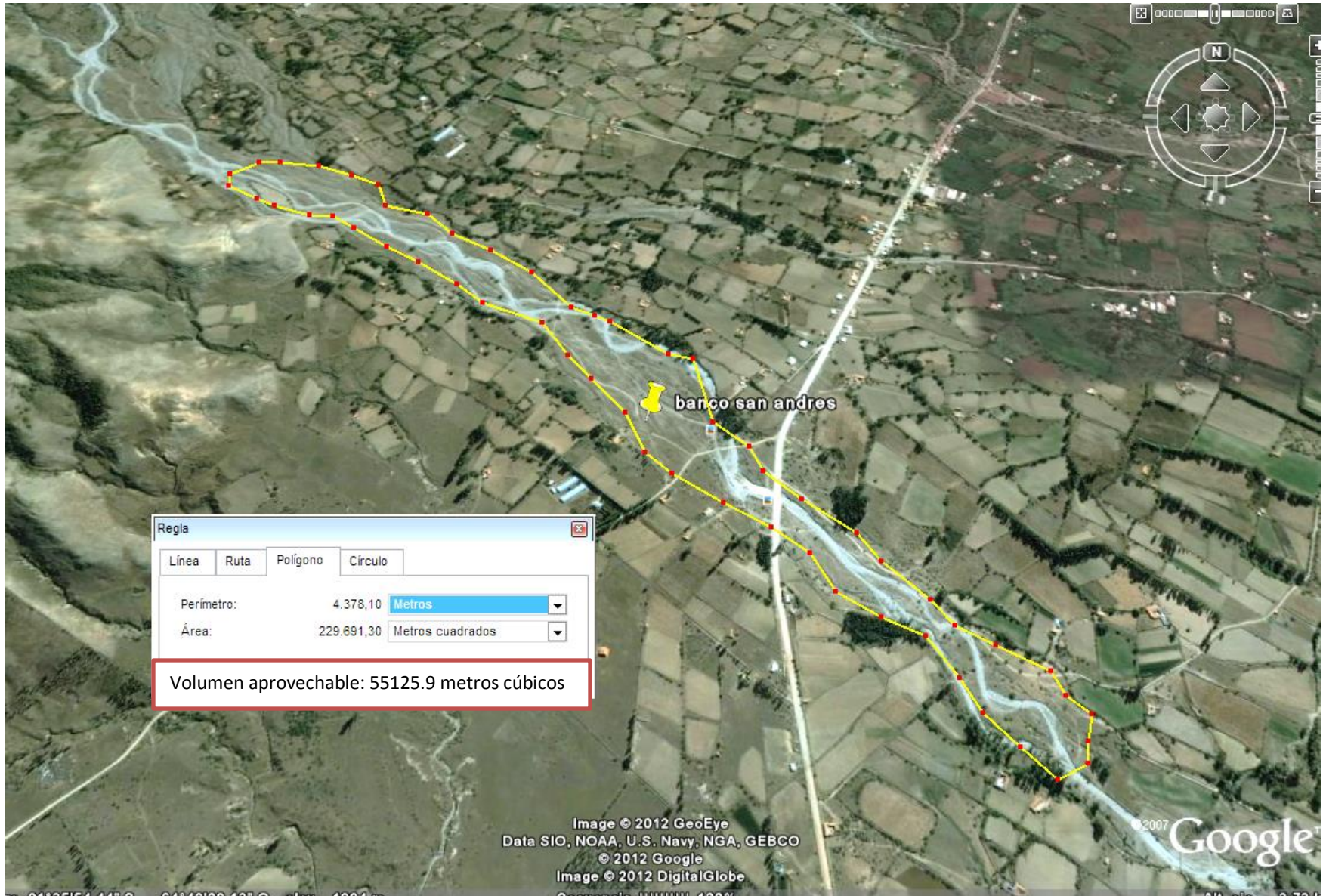


Fig 3.6 BANCO TOLOMOSA

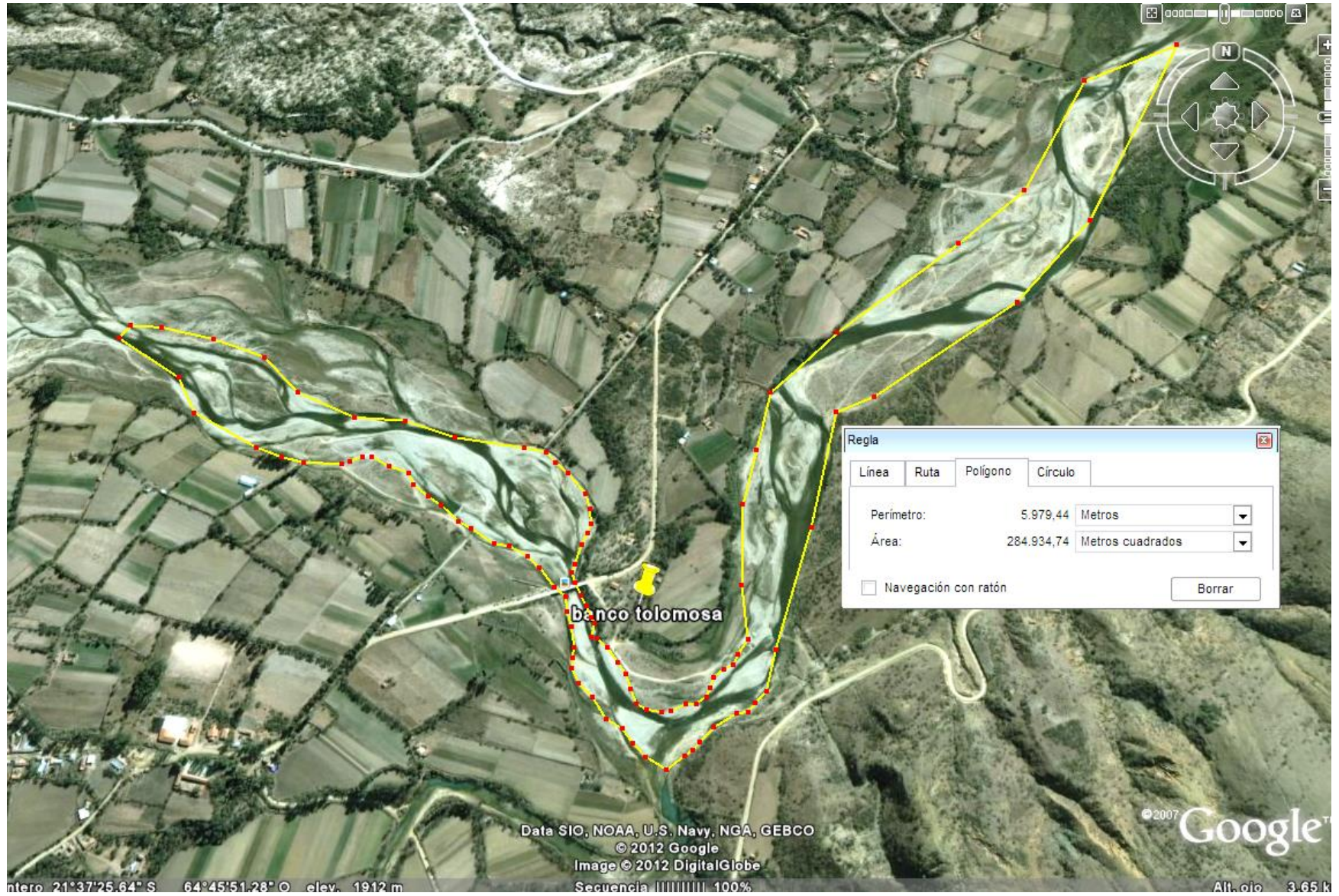


Fig 3.7 BANCO SANTA ANA

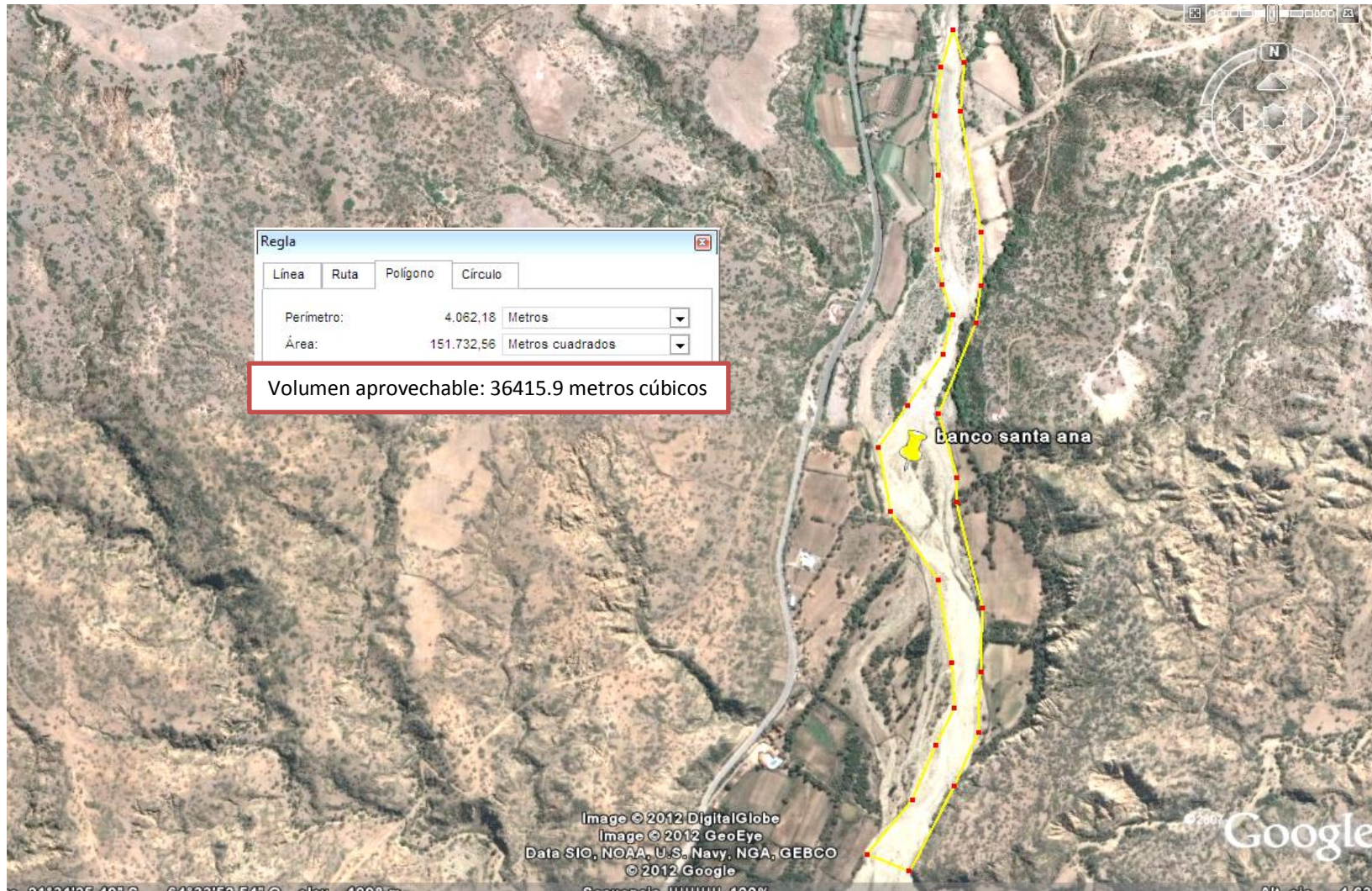


Fig 3.8 BANCO JUNACAS

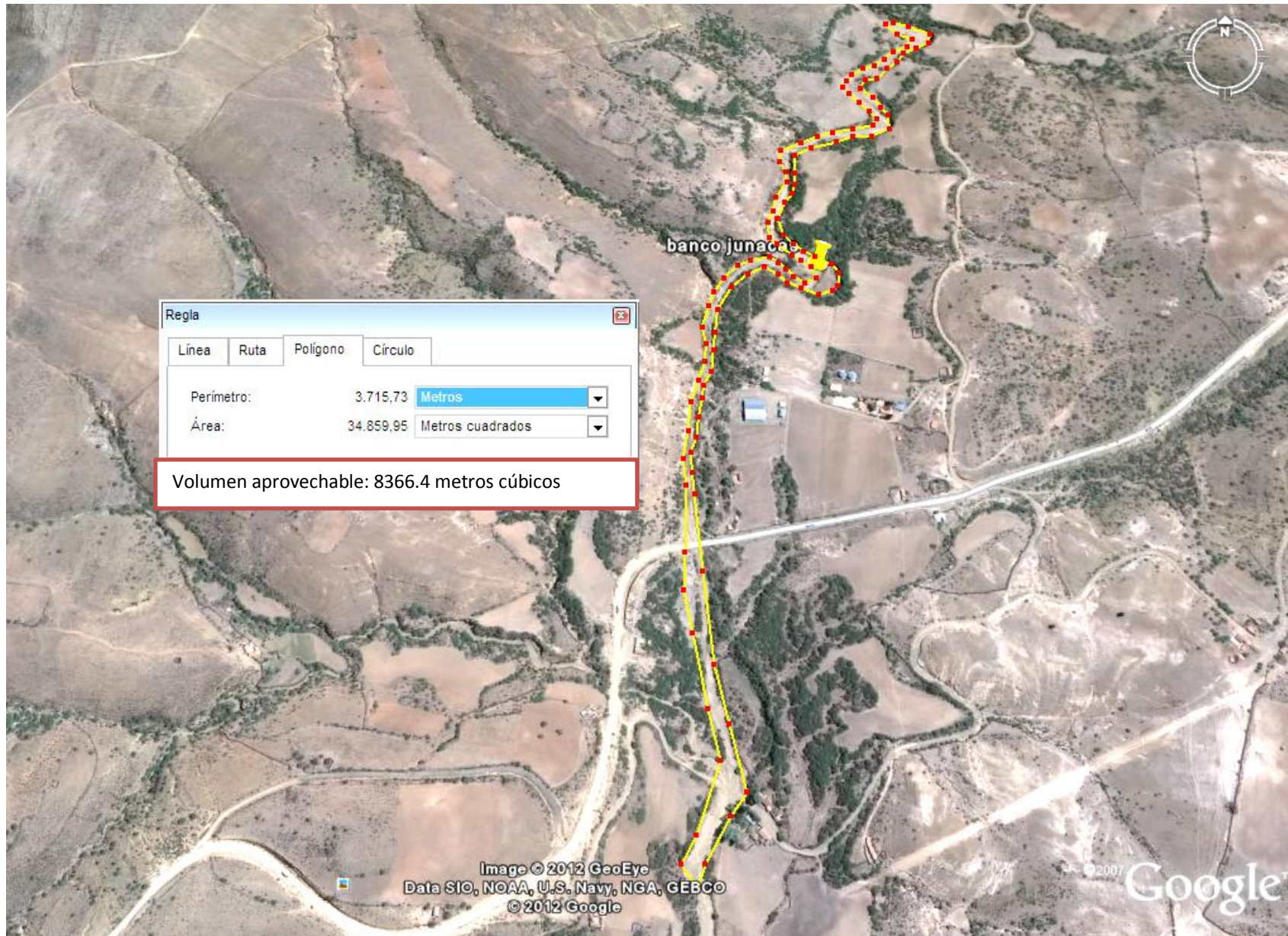
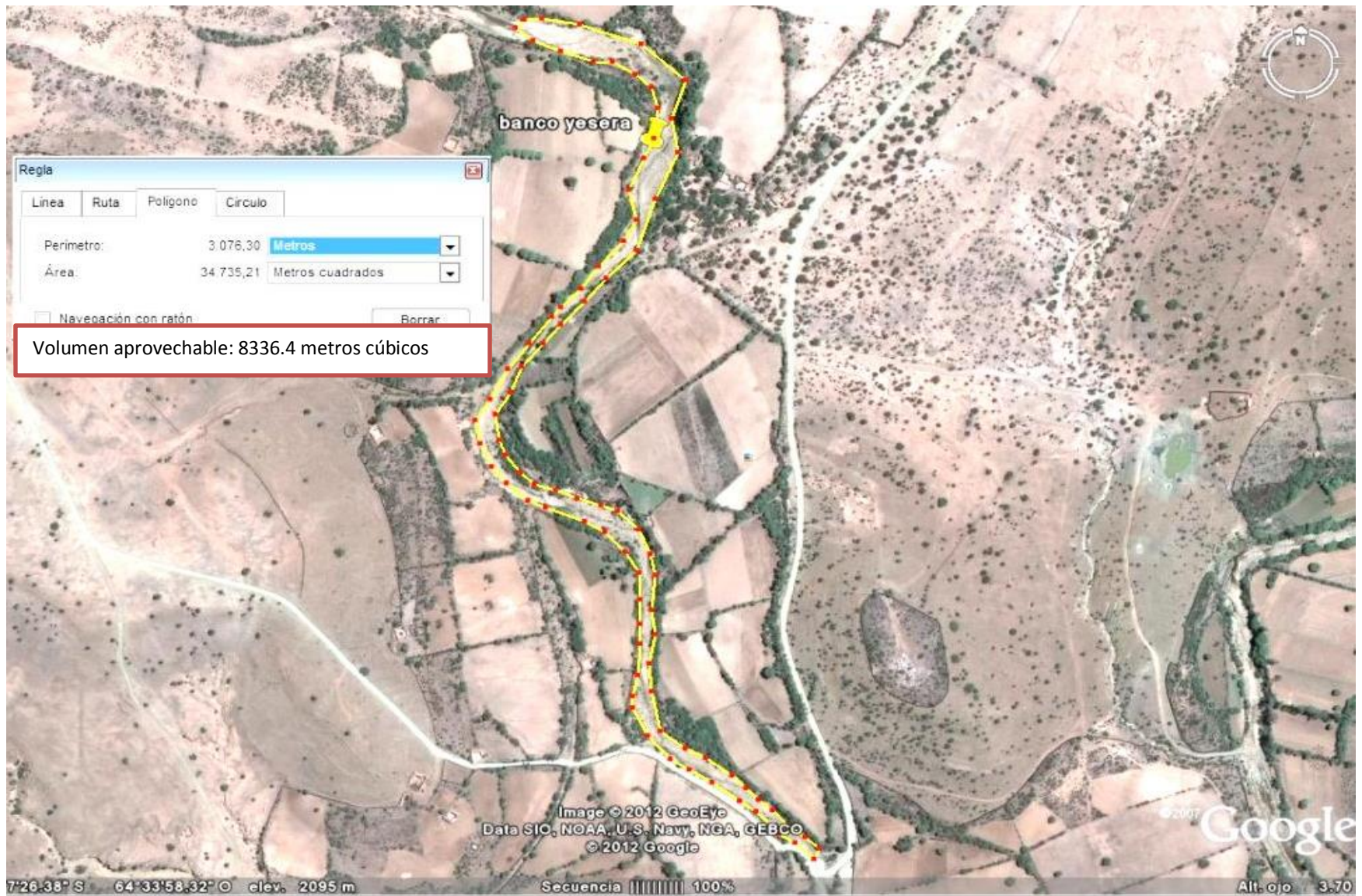


Fig 3.9 BANCO YESERA



3.4 RESULTADOS OBTENIDOS

TABLA FINAL DE RESULTADOS

Nº	Procedencia	Referencia	Utilización	Granulometría (%pasa del total)									Límites			Clasif.	Proctor		CBR		Exp. %	Desgaste %	Observacion
				2"	1½"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	L.I.	L.p.	I.p.		D.max.	H.op.	100%	95%			
1	Obrajes	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	88,0	67,7	54,7	35,4	26,5	22,7	16,2	3,9	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,218	6,58	82	65	0,03	26,02	Ninguna	
2	Obrajes	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	87,9	67,3	54,3	35,3	26,4	21,5	15,6	3,7	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,223	6,51	83	42	0,02	25,08	Ninguna	
3	Obrajes	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	86,3	64,8	51,3	34,2	26,9	21,9	14,9	2,9	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,237	6,43	92	33	0,01	24,66	Ninguna	
4	San Luis	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	84,1	65,5	57,0	40,9	31,1	27,1	20,8	4,5	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,230	5,78	93	74	0,00	23,56	Granulometria	
5	San Luis	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	83,0	64,9	56,0	40,5	31,1	26,2	19,1	3,1	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,227	6,31	99	67	0,00	22,82	Granulometria	
6	San Luis	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	84,0	66,7	57,8	43,9	35,3	29,0	11,6	5,0	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,236	5,71	96	73	0,00	22,92	Ninguna	
7	Bella Vista	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	86,9	72,4	64,7	52,5	44,7	32,9	13,8	4,9	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,196	5,31	83	35	0,03	24,62	Ninguna	
8	Bella Vista	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	87,3	73,9	66,3	53,7	43,7	33,5	14,2	4,5	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,199	5,20	90	25	0,03	25,46	CBR	
9	Bella Vista	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	87,5	74,6	67,2	53,9	44,0	35,1	14,7	4,3	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,210	5,51	98	19	0,05	25,12	CBR	
10	San Andrés	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	89,8	71,4	57,8	39,2	26,0	20,2	9,8	3,1	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,208	5,92	57	44	0,03	36,46	Granulometria	
11	San Andrés	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	89,6	70,5	57,9	37,7	28,2	21,9	11,2	4,1	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,216	5,91	59	29	0,06	36,34	CBR	
12	San Andrés	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	87,4	66,2	52,9	33,0	24,8	19,6	10,3	4,4	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,216	6,00	65	34	0,05	35,96	Ninguna	
13	Tolomosa	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	88,9	77,7	70,3	57,3	49,4	41,0	22,2	5,8	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,236	5,45	81	59	0,02	31,66	Granulometria	
14	Tolomosa	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	85,2	70,1	64,1	52,8	44,9	36,2	14,0	3,3	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,233	5,52	77	59	0,05	32,62	Ninguna	
15	Tolomosa	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	88,6	77,2	69,6	53,3	39,4	34,4	17,6	3,8	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,232	6,48	80	48	0,03	31,84	Granulometria	
16	Santa Ana	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	94,2	83,3	69,9	53,2	35,2	30,1	22,4	3,4	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,223	6,25	79	46	0,00	33,00	Granulometria	
17	Santa Ana	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	93,1	82,6	69,4	52,2	33,4	28,7	21,5	3,8	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,230	5,70	79	59	0,00	33,26	Granulometria	
18	Santa Ana	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	92,4	83,6	72,3	57,5	36,8	32,6	24,1	3,2	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,230	5,60	85	45	0,00	31,92	Granulometria	
19	Junacas	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	87,6	75,2	66,0	46,5	33,7	27,5	11,7	3,2	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,197	5,46	70	56	0,01	32,26	Ninguna	
20	Junacas	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	91,9	73,0	64,9	46,6	34,7	28,2	13,4	2,6	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,195	6,11	72	50	0,00	32,04	Granulometria	
21	Junacas	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	88,5	76,0	65,5	45,9	33,0	27,4	12,7	3,7	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,223	5,80	77	58	0,03	30,80	Ninguna	
22	Yesera	Muestra 1	Capa Subbase	100,0	85,9	71,7	62,4	46,7	32,8	27,1	16,9	3,7	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,221	5,88	93	53	0,00	24,12	Ninguna	
23	Yesera	Muestra 2	Capa Subbase	100,0	83,3	67,0	59,9	43,4	30,6	25,9	14,9	3,4	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,226	6,32	79	47	0,02	24,70	Ninguna	
24	Yesera	Muestra 3	Capa Subbase	100,0	86,0	71,8	63,2	44,5	33,0	27,1	16,4	3,4	NO PLASTICO	A-1-a	0	2,229	6,31	83	51	0,01	24,88	Ninguna	

RESUMEN DE DATOS																				
N° de Datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Promedio	100,0	87,8	72,3	62,3	45,8	34,4	28,2	15,8	3,8	-	-	-	-	-	2,2	5,9	81,2	48,7	0,0	28,8
Dato Máximo	100,0	89,8	74,6	67,2	53,9	44,7	35,1	20,8	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	6,6	99,4	74,1	0,1	36,5
Dato Mínimo	100,0	83,0	64,8	51,3	33,0	24,8	19,6	9,8	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	5,2	56,6	18,6	0,0	22,8
Desv. Estándar	0,0	2,1	3,6	5,2	7,7	7,7	5,5	3,4	0,7	-	-	-	-	0,0	0,0	0,5	15,0	19,6	0,0	5,4

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

- En si los materiales de los bancos ubicados en la zona de Obrajes y Yesera cumplen con todas las exigencias pautadas en las especificaciones según establece el Servicio Departamental de Caminos de Tarija (SEDECA) para conformación de sub-bases. Estos requisitos van desde los ensayos de granulometría, consistencia hasta los ensayos de resistencia de los materiales reflejados en las hojas de cálculos.
- Dentro de la clasificación del suelo por medio del sistema AASHTO, se puede evidenciar que los coeficientes de uniformidad en su mayoría presentan un elevado valor que nos brindan información de que el material presenta una curva granulométrica bien graduada, mientras que el coeficiente de curvatura nos presenta un valor que en varios casos cumple las especificaciones para una curva granulométrica bien graduada, mientras que en otras situaciones estos valores pueden estar cerca de los rangos exigidos pero no llegan a cumplir con los mismos y puede cambiar la denominación y clasificación de los suelos, aunque esta información puede ser variable de acuerdo a la bibliografía utilizada o simplemente puede existir pequeños errores en la lectura de los datos de los diámetros efectivos.
- En todos los casos los suelos analizados son no plásticos, y este resultado es validado al tratarse de suelos aluviales y por ende arenosos,
- La densidad máxima de suelo seco esta entre $2,218-2,237 \text{ g/cm}^3$ para todos los casos y según parámetros e información que se tiene si está dentro de los límites pretendidos ($1,9-2,3 \text{ g/cm}^3$, según establece el SEDECA).
- La humedad optima esta entre el rango de 5.0-7.0 % en la mayoría de los casos, y está dentro de los resultados esperados al tratarse de material de lecho aluvial, según parámetros que se tenían de otros ensayos y estudios realizados por parte del SEDECA.

- El material de Bella Vista tienen mayor porcentaje de agregado fino que pasa el tamiz N° 4, en comparación con el resto de los bancos, por lo que en su compactación puede ser uno de los factores que afecta para presentar menores valores en su densidad máxima, así también puede ser parte del problema de no llegar al CBR especificado en dos de los casos estudiados.
- Dentro de los resultados obtenidos de desgaste por abrasión en la máquina de Los Ángeles, es importante resaltar que se obtuvieron muy buenos resultados para todos los bancos de préstamo, llegando a cubrir las expectativas de obtener valores menores al 50% de desgaste que es el especificado para sub-bases según lo establece el SEDECA. Los valores obtenidos oscilan entre 22-37% de desgaste de los materiales.
- Si bien se realizaron tres ensayos para cada banco de préstamo, los mismos en varias situaciones arrojan resultados que pueden ser variables aunque en rangos considerables, si bien el mayor problema se presenta en cuanto al ensayo de CBR, los resultados de este pueden ser validados analizando de igual manera la prueba de desgaste por abrasión que arrojan resultados más precisos ya que se trabaja con cantidades y tamaños estandarizados para todos los casos.
- También es importante recalcar que se trató de estimar los volúmenes de material que puede ser explotado de los diferentes ríos, a través del programa tecnológico conocido como “Google Earth Pro”, de donde a partir previamente de la ubicación del área de estudio y visitas a las zonas escogidas para el mismo, se delimitó las áreas más favorables para la posible extracción de áridos.
- Dentro del tipo de muestreo que se utilizó se puede considerar que las calicatas se realizaron a profundidades bajas debido a que en esas alturas se tenía un material relativamente uniforme, aunque el mismo puede también ser obtenido a mayores profundidades pero la granulometría del agregado variaría sustancialmente y sería necesario realizar una mezcla de material para llegar a las propiedades solicitadas.

- En el análisis que se realizó para estimar las cantidades disponibles de material aluvial apto para conformación de capas sub-bases, se debe hacer énfasis en que correctamente a través de las calicatas realizadas se conoció las alturas de material relativamente uniforme y homogéneo principalmente, las mismas que oscilan entre los 0.40-0.70 m, aunque este mecanismo se adoptó específicamente para conocer la cantidad de material grueso, ya que a mayores profundidades igualmente se puede encontrar partículas gruesas aunque en menor proporción comparada con las capas más superficiales de material.
- En otro de los aspectos que se consideró al momento de seleccionar el material para su estudio, se puede mencionar que en el mismo lecho del río se trató de descartar el material más grueso que aparentaba tener un tamaño mayor a 2 pulgadas que fue el punto de partida de material apto a considerar para la conformación de la capa de sub-base. Aunque tal vez en el mismo lugar no se pudo lograr en su totalidad esta selección, la misma se consolidó de manera precisa en los laboratorios donde se realizó la granulometría con lo que se terminó de descartar este material de mayor tamaño al estipulado.
- Para todos los casos se obtuvo en los materiales una clasificación para el sistema AASHTO A-1-a (0), si bien de igual manera en los cálculos se pudo clasificar al material por el sistema SUCS, este último es más utilizado al momento de realizar estudio de fundaciones, en cambio el que se adoptó y representó en la tabla final de resultados es el comúnmente utilizado en el caso de aplicación en caminos y carreteras.
- El ensayo de compactación fue con el que más problemas se contó, porque al momento de encontrar el contenido humedad óptima y densidad máxima, la muestra de suelo era muy variable y debían realizarse a la par los cálculos necesarios para conocer si se formaba la curva característica.
- Así también las lecturas del CBR solo se realizaron hasta 0.4 pulgadas de penetración debido a que para esta medida ya se tenía problemas con pequeños ruidos en la prensa hidráulica del equipo, y más que todo fue una

medida de seguridad que se tomó para evitar cualquier clase de daño que se podía ocasionar al mismo.

- Muchas veces para la prueba de CBR era necesario realizar algunos ajustes o repetición del ensayo, porque moldes que tenían menor de cantidad de golpes arrojaban mayores valores de CBR, esto seguramente a que el pistón del equipo se encontraba en contacto con algún material grueso de la muestra que alteraba la prueba. Varias veces se tuvo que repetir la lectura de CBR de los moldes que arrojaban resultados erróneos.
- El desgaste debe ser menor al 50% para cumplir con las normativas y especificaciones exigidas para conformación de capas sub-bases. En el estudio realizado se logró obtener de manera adecuada en todos los casos este parámetro exigido que eran los resultados esperados al tratarse de material proveniente de lechos de ríos.
- Se pudo experimentar la variación de los resultados de desgaste de Los Ángeles en los ensayos realizados del río Guadalquivir que tuvo dos puntos de estudio, uno en la zona de Obrajés, y otro en la zona de San Luis que arrojaron diferentes resultados de desgaste de sus materiales, aunque sin llegar a una variación muy amplia en cuanto a porcentajes de los mismos.
- Es importante hacer énfasis en que en muchos casos los materiales estudiados cumplen especificaciones hasta para ser usados en conformación de capas bases, lo que refleja muy bien la calidad de algunos bancos de préstamo de suelo aluvial, aunque también existieron otros que no llegaron a cumplir con los requerimientos exigidos especialmente en lo que se refiere a granulometría y CBR.
- Para dos de las muestras de San Luis que no cumplen con las especificaciones técnicas en lo que se refiere a granulometría en este caso del tamiz N° 40, la solución que se podría adoptar para cumplir con dichas especificaciones es que para cada cantidad de material seleccionada para su uso que pase el tamiz N° 10 y se retenga en el N° 40, se aumente el material aluvial en una cantidad y porcentaje calculado previamente para que se llegue máximo al 18% de

material que pasa esta última malla mencionada y de esta manera se respeta la normativa exigida.

- El banco de Bella Vista es el con mayores magnitudes para explotación de material, aunque en dos de las muestras analizadas no cumple con las especificaciones técnicas del C.B.R para la conformación de capa sub-base, pero igualmente realizando una mezcla con otro tipo de material puede brindarnos una gran solución en el planteamiento de alternativas para conformación de capas sub-base.
- Para dos de las muestras del banco de San Andrés, con exceso de material retenido en el tamiz de $1\frac{1}{2}$ ", se puede llegar a cumplir con las especificaciones técnicas señaladas, aumentando en ambos casos 1% de material retenido de esta malla, lo que puede llegar a contribuir de igual manera a hacer cumplir las especificaciones técnicas del C.B.R en una de las muestras de este banco.
- En una de las muestras del banco de Tolomosa la solución para cumplir con las especificaciones técnicas en lo que se refiere a granulometría es aumentar en un 15% del total, el material que se retiene en el tamiz de $1\frac{1}{2}$ ", de esta manera todos los porcentajes de los tamices varían y se llega a los requerimientos exigidos.
- De la misma manera, para todas las muestras del banco de Santa Ana se debe aumentar la cantidad de material retenido en el tamiz de $1\frac{1}{2}$ " y N° 40 en porcentajes de 10% del total para cada malla, de esta manera se llega al cumplimiento de las especificaciones técnicas.
- Finalmente para una de las muestras del banco de Junacas se debe aumentar un 5% del total del material en el tamiz de $1\frac{1}{2}$ ", para modificar la granulometría y cumplir de igual manera con las especificaciones señaladas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Concluido el desarrollo del presente estudio se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El estudio cumplió con el objetivo general y específicos planteados mediante la correcta evaluación y mecanismos utilizados para llevar a cabo el adecuado análisis de los materiales estudiados para conformación de capa sub-base en la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- Todas las especificaciones técnicas fueron obtenidas del servicio departamental de caminos de Tarija (SEDECA).
- En todos los casos los materiales analizados por el sistema AASTHO, nos dan una clasificación A-1-a (0) para los suelos y los mismos no son plásticos en ningún caso.
- Para pruebas de CBR donde se encuentra alguna magnitud de expansión se presenta una variación considerable del peso antes y después de reposo en

agua de la muestra, esto generado específicamente por las propiedades de las partículas finas.

- Tanto la granulometría, resistencia al corte (C.B.R) y desgaste de los materiales aluviales varia a lo largo del curso de un mismo río.
- Para los tres resultados más altos de CBR, se obtuvieron los tres valores menores de desgaste en la máquina de Los Ángeles, pero esta tendencia no es constante.
- En las correcciones granulométricas es preferente modificar la cantidad de material retenido en la menor cantidad de mallas posibles, a modo de facilitar este proceso.
- No existe relación entre el contenido de humedad óptima y la densidad máxima de las diferentes muestras de suelo aluvial.
- En la búsqueda de incrementar el área de estudio de los bancos de préstamo, el principal aspecto a considerar es la variación de costos que se puedan presentar para la explotación del material, debido a la falta de accesos a los sitios de explotación y las distancias de acarreo.
- Otro aspecto considerado dentro del estudio mediante las calicatas, es que de igual manera si se quiere aprovechar en mayores proporciones el material disponible, mediante una chancadora se puede llegar a la utilización del material de mayor tamaño a 2'', que se encuentra de igual manera en proporciones considerables y variables en los diferentes lechos de los ríos.

4.2 RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar el muestreo es necesario considerar las cantidades que se pretenden utilizar para los ensayos de laboratorio, siendo preferible obtener un poco más del material adoptado para muestra, considerando que el mismo muchas veces puede llegar a escasear o perderse para algunos tipos de ensayos y surgen muchas dificultades para la culminación de las prácticas.

- Es importante luego de obtener las muestras, colocarlas en un lugar fuera del alcance de la humedad o la lluvia, ya que esto dificulta y sobre todo puede llegar a retrasar el procedimiento de los respectivos ensayos que se pretende realizar.
- Durante los ensayos de compactación es importante que una persona realice toda la prueba, ya que cada individuo tiene una diferente forma y estilo de realizar los golpes de los moldes con los respectivos pistones, lo que puede verse reflejado en los resultados que se obtienen.
- Se recomienda siempre el estudio adecuado de todos los materiales que se pretende utilizar, si bien el presente estudio puede ser de importante aporte en cuanto al conocimiento de antecedentes de las características de los yacimientos estudiados.
- Al momento de realizar un estudio extenso, es necesario tomar en cuenta en el cronograma que se tiene elaborado, algunos problemas de tiempo que pueden surgir y como se puede sacar provecho del mismo para no atrasar mucho el transcurso del proyecto o estudio.
- Se recomienda tener en cuenta siempre las especificaciones técnicas de una sola institución o empresa muy representativa y de la cual se sigan la mayoría de las normas utilizadas en la ingeniería del país o ciudad.