

2011

LA INESTABILIDAD NATURAL DEL SUBSUELO ES UNA AMENAZA A CONSIDERAR, EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LOS MUNICIPIOS DEL PAIS

Ensayo Técnico

La inestabilidad natural del subsuelo es una amenaza natural resultado de la interacción de variables abióticas, que se puede determinar y localizar geográficamente mediante estudios de carácter cualitativo. De esta manera zonas de alta y muy alta inestabilidad geológica se califican como frágiles y se pueden diferenciar al ordenar ambiental un territorio municipal, señalándolas y tratándolas como áreas de conservación y protección ambiental. Factores litológicos, tectónicos, pluviosos y pendientes complejas, son suficientes y apropiados para determinar espacios con inestabilidad del subsuelo, mediante la aplicación de superposición de cartografía temática.

MSc. I.F. Henry Zuñiga
Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Ingeniería Forestal
<http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/docentes/hzunigap/>

2011



**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS
NATURALES
PROYECTOS CURRICULARES DE INGENIERIA FORESTAL**

**LA INESTABILIDAD NATURAL DEL SUBSUELO ES UNA
AMENAZA A CONSIDERAR, EN EL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DE LOS MUNICIPIOS DEL PAIS
(ENSAYO TÉCNICO)**

**HENRY ZUÑIGA PALMA
I.F M.Sc.**

GRUPO DE APOYO

**Sánchez Heliodoro
Figueroa Alberto
Zúñiga Pier Paolo**

BOGOTA 2011

- Resumen

La inestabilidad natural del subsuelo es una amenaza natural resultado de la interacción de variables abióticas, que se puede determinar y localizar geográficamente mediante estudios de carácter cualitativo.

De esta manera zonas de alta y muy alta inestabilidad geológica se califican como frágiles y se pueden diferenciar al ordenar ambiental un territorio municipal, señalándolas y tratándolas como áreas de conservación y protección ambiental.

Factores litológicos, tectónicos, pluviosos y pendientes complejas, son suficientes y apropiados para determinar espacios con inestabilidad del subsuelo, mediante la aplicación de superposición de cartografía temática.

1- Apertura

En diferentes lugares de los municipios del país es común encontrar movimientos de tierras, denominados por los habitantes de las regiones como volcanes, derrumbes, desprendimientos, avalanchas, etc.

Movimientos de tierra por lo general de tipo gravitacional, con alta incidencia de la inestabilidad del subsuelo, que conjuntamente con otros aspectos

ambientales condicionan el usufructo del territorio por actividades socioeconómicas.

La inestabilidad natural del subsuelo resultado de la interacción de variables naturales de índole litológico, tectónico, climático y geomorfológico, entre otras, se debe diferenciar espacialmente al organizar físicamente un territorio municipal, con el fin de prevenir eventualidades catastróficas que afecten vidas humanas, animales y actividades económicas.

Es así como la delimitación de las áreas inestables en mención, se puede abordar mediante procedimientos cuantitativos o cualitativos, llamando la atención sobre estos últimos, cuando no son necesario cálculos puntuales para la instalación de obras civiles de gran envergadura, por ello es, que aplicaciones cualitativas son usualmente empleadas en el ordenamiento del territorio y particularmente para categorizar estas zonas como frágiles y consecuentemente protegerlas.

2- Desarrollo Temático

Características del tema

Al ordenar el territorio de un municipio se tienen en cuenta grandes extensiones físicas y en algunas zonas de ellas, pueden aparecer sectores susceptibles a desplazarse en dirección a la mayor inclinación del terreno,

debido a propiedades intrínsecas del material geológico que subyace en el territorio.

Esa inestabilidad natural del subsuelo es una cualidad negativa calificada con expresiones de baja, media, alta y muy alta peligrosidad, pero por lo general tal categorización, no es sustentada en apropiado conocimiento del entorno.

En términos prácticos, procedimientos técnicos no complicados de carácter cualitativo, nos permiten generar información adecuada y suficiente para delimitar con cierto nivel de confianza, áreas con posibilidad de movimiento en dirección de la pendiente.; procedimientos que se pueden observar en este documento y aplicarse cuando se considere conveniente.

Sinopsis

Para el U.S Geological Service (1.972) en MMA (1.996). Al delimitar áreas con subsuelos inestables, se debe considerar la litología, la pendiente y antecedentes históricos.

El Departamento de Cundinamarca y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD (1.991), en la determinación de Amenazas naturales en dicho departamento, interrelacionaron las siguientes variables ambientales:

patrones de precipitación y régimen climático, composición litológica, suelos por posición y saturación, pendiente media y densidad de drenaje.

Zúñiga (2.000) en la determinación de áreas inestables de tipo geológico, articula la litología con la precipitación y la pendiente del lugar.

Sánchez et al (2.002) señalaron como factores relevantes en la zonificación de la susceptibilidad del terreno a deslizamientos, además de la lluvia, la litología, la densidad de fracturamiento, la morfología, la densidad de drenaje, los suelos, pendientes,, morfodinámica y cobertura vegetal.

Cazadillas (2.005) menciona entre los factores que influyen en la estabilidad de las laderas, entre otros a: aspectos del terreno, características litológicas, condiciones climáticas, presencia de rocas con fallas y/o fracturas, tipos de arcillas, aspectos erosivos, actuaciones humanas, movimientos sísmicos, presencias cársticas, huracanes, etc.

De otro lado, Echarry (2.005) hace alusión a factores que influyen en la estabilidad de las laderas, destacando a su vez entre ellos los siguientes: características del terreno, la lluvia, presencia de fallas y fracturas en rocas, acciones antrópicas, etc.

Mientras tanto, Gavilanes (2.004) enuncia que los parámetros geotécnicos a considerar en la estabilidad de taludes están relacionados con las rocas y destaca la porosidad, fisuras, densidad – peso específico, resistencia a la compresión uniaxial, etc. Parámetros que se deben tener en cuenta conjuntamente con la lluvia, agua subterránea, procesos de meteorización, relleno de fisuras y grietas, etc.

Para Alzate (2.005) la inestabilidad del territorio se debe de manera exclusiva a la inclinación natural del terreno, afectada por el agua intersticial, la gravedad, tipo de material, etc. En la inestabilidad aparecen factores condicionantes y desencadenantes, relacionando entre los primeros a la estructura geológica, litología de la zona, hidrogeología y morfología del área. En el segundo grupo de factores se pueden enmarcar la lluvia, la sismicidad, el vulcanismo, el tectonismo y las actividades antrópicas, entre otros.

Análisis

Cuando se aborda la temática de la inestabilidad de una zona física o geográfica de cualquier lugar, de manera indiferenciada diferentes autores la identifican como la no estabilidad del suelo o del subsuelo o del terreno o del territorio.

De tal manera que, acá se observa en las propuestas técnicas relacionadas con movimientos naturales de tierras, la interacción de distintas variables de

parámetros propios de las dimensiones físico biótica, construida y económica.

Es así como, mientras para Zúñiga (2.000), Zúñiga (2.008), Gavilanes (2.004) y el Departamento de Cundinamarca y PNUD (1.991)) las variables a tener en cuenta son de características abióticas del sistema natural, Sánchez (2.002) además considera la cobertura vegetal del sistema físico biótico.

Pero para Casadillas (2.005), Echarry (2.005) y Alzate (2.005), variables de distintos componentes del sistema natural son las diferenciadas, conjuntamente con actividades antrópicas.

En cambio, el U.S Geological Service (1.972) integra variables abióticas con una variable de carácter social.

Al tenor de lo antes expuesto, si bien es cierto los pronunciamientos de los diferentes autores son pertinentes con desplazamientos naturales de tierra originados por diferentes factores, también es cierto que no todos los desplazamientos son iguales, porque a la luz de interpretaciones apropiadas y teniendo en cuenta las variables que de una u otra forma en ellos participan, encontramos que se ha hecho alusión a inestabilidad del suelo, a inestabilidad del subsuelo, a inestabilidad del terreno (inestabilidad de

subsuelo y suelo) y a inestabilidad del territorio (presencia conjunta de inestabilidades anteriores).

Síntesis

En los procesos de selección de criterios y elección de parámetros y variables ambientales a ser aplicados en procedimientos cualitativos (como es nuestro caso), con el fin de zonificar zonas de inestabilidad geológica para áreas territoriales municipales, técnicamente se encuentra dificultad al decidir la opción apropiada, porque de aquellos indicadores por lo general no existe la cantidad y/o calidad para una utilización que se quiere, sea bastante veraz, confiable y de baja subjetividad.

No sobra además aclarar, que en términos de organización territorial es fundamental plasmar la información en cartografía temática, que luego se superpone mediante técnicas apropiadas para demarcar zonas homogéneas problema. Por ello es importante decidirse por aquellos componentes, parámetros y variables del entorno, de los cuales se encuentra o se pueda elaborar información en mapas de materias específicas con convenientes niveles de resolución, de tal manera que se integre dicha información con pesos de igual valor, evitando de esa manera y en gran medida sesgos de carácter disciplinar o profesional de las personas que en tales procesos participan.

De otro lado, es recomendable abordar los procesos de selección y elección aquí aludidos, en términos de génesis o sea bajo una direccionalidad de antecedente consecuente, recordando que primero es lo abiótico que lo biótico, que lo natural antecede a lo construido y lo económico social es anterior a lo político administrativo.

En otras palabras estamos asumiendo, que es preferible al señalar áreas de inestabilidad del subsuelo en un municipio, elegir pocos (no menos de tres) componentes, parámetros y variables con datos fiables y verificables, que articular muchos de ellos con problemas en su localización terrenal, porque las zonas así determinadas se vuelven inciertas, ante la actuación subjetiva de quienes de esa manera las precisan.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto y no olvidando que la figura más estable en el espacio es el triángulo, porque por tres puntos del espacio pasa un plano y solamente un plano (axioma matemático), técnicamente es adecuado construir zonas homogéneas de inestabilidad del subsuelo, considerando al menos tres componentes abióticos del sistema natural e integrando por lo menos tres parámetros (uno de cada componente seleccionado) y tres variables (una por cada parámetro elegido).

A continuación se ilustra el procedimiento cualitativo para determinar áreas de inestabilidad natural del subsuelo, bajo criterio abiótico en tres escenarios diferentes.

PRIMER ESCENARIO

Es un escenario básico con las siguientes consideraciones, en donde todos los parámetros tienen idéntico peso o importancia.

- Componente geológico, parámetro litológico, variable tipo de roca o suelo geológico.
- Componente climático, parámetro precipitación, variable cantidad lluvia anual.
- Componente geomorfológico, parámetro inclinación natural terreno, variable pendiente compleja (por presencia de varios paisajes y o relieves)

Relacionado con lo geológico se emplea del anexo la clasificación de unidades litológicas de Cendrero (1.976) en MOPU (1.981), con aplicación de la columna estabilidad en pendientes, valorando con 3 la baja estabilidad, con valor de 2 la media estabilidad y con valor de 1 la alta estabilidad.

En lo climático se utiliza del anexo la clasificación de pluviosidad de la Organización Meteorológica Mundial – adaptada por el autor- asignándole un valor de 1 a las precipitaciones de insuficientes a escasas, con valor de 2 las lluvias suficientes, con valor de 3 las precipitaciones abundantes y con valor de 4 la pluviosidad excesiva.

Pertinente con lo geomorfológico (del anexo) se aplica la clasificación de pendientes complejas, señalándole un valor de 1 al primer rango de pendientes, un valor de 2 al rango medio de pendientes, un valor de 3 al rango alto de pendientes y un valor de 4 al rango muy alto de pendientes.

La interrelación de las valoraciones asignadas se efectúa de la siguiente manera:

Precipitación: 1 – 2 – 3 – 4

Pendiente: 1 – 2 – 3 – 4

Estabilidad: 1 – 2 – 3

Valor mínimo de interrelación: $1 \times 1 \times 1 = 1$

Valor máximo de interrelación: $4 \times 4 \times 3 = 48$

Valor medio de la interrelación: 24

Con los valores anteriormente calculados se elabora la siguiente tabla:

Tabla No 1: Inestabilidad natural del subsuelo

RANGO	VALOR	CLASE
1	0-12	Baja
2	13-24	Media
3	25-36	Alta
4	37-48	Muy Alta

Los valores de la Tabla No 1 se obtienen al superponer los mapas temáticos de litología, Isoyetas y pendientes complejas. A continuación dos ejemplos posibles para aplicación.

Si al sobreponer los mapas antes señalados, se obtiene una zona con predominio de rocas areniscas, con precipitación de 1.500 milímetros año y pendiente compleja del 30%, tendríamos un valor máximo de interrelación de 6 ($1 \times 3 \times 2$), cifra que permite ubicar a la zona en el primer rango de clasificación, con denominación de baja inestabilidad del subsuelo.

Así mismo, si al sobreponer los mapas anteriormente señalados, se determina una zona con predominio de margas, con precipitación de 1.500 milímetros año y pendiente compleja del 40%, se obtiene un valor máximo de interrelación de 27 ($3 \times 3 \times 3$), cifra que permite ubicar al área en el tercer rango de clasificación, denominándose por lo tanto como zona de alta inestabilidad del subsuelo.

SEGUNDO ESCENARIO

También es un escenario básico, en donde todos los parámetros tienen igual peso o importancia. Difiere del anterior por el empleo de pendientes simples, en lugar de pendientes complejas.

-Componente geológico, parámetro litológico, variable tipo de roca o suelo geológico.

-Componente climático, parámetro precipitación, variable cantidad lluvia anual.

-Componente geomorfológico, parámetro inclinación natural terreno, variable pendiente simple (por presencia de un solo tipo de relieve)

Con lo geológico se utiliza del anexo la clasificación de unidades litológicas de Cendrero (1.976) en MOPU, (1.981), con aplicación de la columna estabilidad en pendientes, valorando con 3 la baja estabilidad, con valor de 2 la media estabilidad y con valor de 1 la alta estabilidad.

Para lo climático se trae del anexo la clasificación de pluviosidad de la Organización Meteorológica Mundial – adaptada por el autor- asignándole un valor de 1 a las precipitaciones de insuficientes a escasas, con valor de 2 las lluvias suficientes, con valor de 3 las precipitaciones abundantes y con valor de 4 la pluviosidad excesiva.

En lo geomorfológico. (del anexo) se usa la clasificación de pendientes simples, señalándole un valor de 1 al primer rango de pendientes, un valor de 2 al rango medio de pendientes, un valor de 3 al rango alto de pendientes y un valor de 4 al rango muy alto de pendientes.

La interrelación de las valoraciones asignadas se efectúa como sigue:

Precipitación: 1 – 2 – 3 – 4

Pendiente: 1 – 2 – 3 – 4

Estabilidad: 1 – 2 – 3

Valor mínimo de interrelación: $1 \times 1 \times 1 = 1$

Valor máximo de interrelación: $4 \times 4 \times 3 = 48$

Valor medio de la interrelación: 24

Teniendo en cuenta los valores calculados se elabora la tabla que sigue.

Tabla No 2: Inestabilidad natural del subsuelo:

RANGO	VALOR	CLASE
1	0-12	Baja
2	13-24	Media
3	25-36	Alta
4	37-48	Muy Alta

Los valores de la Tabla anterior son resultado de la superposición de los mapas temáticos Litología, Isoyetas y pendientes simples. Acto seguido se ilustran dos ejemplos posibles para aplicar en predios con un solo tipo de relieve. .

Si al sobreponer los mapas antes señalados, se obtiene una zona con predominio de rocas limolitas, con precipitación de 1.500 milímetros año y pendiente simple del 30%, calcularíamos un valor máximo de interrelación de 18 (2 X 3 X 3), cuantificación que permite ubicar a la zona en el segundo rango de clasificación, con denominación de media inestabilidad del subsuelo.

De igual forma, si como resultado de la sobreposición de los mapas arriba enunciados, se delimita una zona con predominio de esquistos, con precipitación de 2.500 milímetros año y pendiente simple del 55%, se obtiene un valor máximo de interrelación de 48 (3 X 4 X 4), cifra que permite ubicar al área en el cuarto rango de clasificación, el cual relaciona las áreas de muy alta inestabilidad del subsuelo.

TERCER ESCENARIO

En este escenario se tiene en cuenta además el parámetro tectonismo y la variable falla, pero se mantiene que todos los parámetros poseen igual peso o importancia. Veamos como:

- Componente geológico, parámetro litológico, variable tipo de roca o suelo geológico.
- Componente geológico, parámetro tectonismo, variable tipo de roca o suelo geológico.

-Componente climático, parámetro precipitación, variable cantidad lluvia anual.

-Componente geomorfológico, parámetro inclinación natural terreno, variable pendiente compleja (por presencia de varios paisajes y o relieves)

Atañe a lo geológico – litológico – roca, la clasificación de unidades litológicas de Cendrero (1.976) en MOPU (1.981) del anexo, utilizando la columna estabilidad en pendiente, y valorando a su vez con 3 la baja estabilidad, con valor de 2 la media estabilidad y con valor de 1 la alta estabilidad.

Es pertinente con lo geológico – tectonismo – fallas (la presencia real de cualquier tipo de falla), delimitando fajas de 100m a lado y lado de las mismas). Se asigna un valor de 1 a la no presencia de fallas y un valor de 2 a la existencia de las mismas. .

Para lo climático es útil emplear la clasificación de pluviosidad de la Organización Meteorológica Mundial (ver anexo), asignando un valor de 1 a las precipitaciones de insuficientes a escasas, un valor de 2 a las lluvias suficientes, un valor de 3 a las precipitaciones abundantes y un valor de 4 a la pluviosidad excesiva.

Así mismo, con lo geomorfológico (ver anexo) se aplica la clasificación de pendientes complejas, cuantificando con un valor de 1 al primer rango de pendientes, con un valor de 2 al rango medio de pendientes, con un valor de 3 al rango alto de pendientes y con un valor de 4 al rango muy alto de pendientes.

La interrelación de las valoraciones asignadas se efectúa de la siguiente manera:

Precipitación: 1 – 2 – 3 – 4

Pendiente: 1 – 2 – 3 – 4

Estabilidad: 1 – 2 – 3

Fallas: 1 - 2

Valor mínimo de interrelación: $1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$

Valor máximo de interrelación: $4 \times 4 \times 3 \times 2 = 96$

Valor medio de la interrelación: 48

Con los valores anteriormente calculados se elabora la tabla a continuación:

Tabla No 3: Inestabilidad natural del subsuelo:

RANGO	VALOR	CLASE
1	0-24	Baja
2	25-48	Media
3	49-72	Alta
4	73-96	Muy Alta

Los valores de la Tabla No 3 son producto de la superposición de los mapas temáticos de litología, fallas, isoyetas y pendientes complejas. A continuación se muestran dos aplicaciones posibles. .

Si al sobreponer los mapas antes señalados, se obtiene una zona con predominio de rocas areniscas, sin fallas, con precipitación de 1.500 milímetros año y pendiente compleja del 30%, tendríamos un valor máximo de interrelación de 6 ($1 \times 1 \times 3 \times 2$), valor que facilita ubicar a la zona en el primer rango de clasificación, con definición de baja inestabilidad del subsuelo.

De otra parte, si al sobreponer los mapas arriba señalados, se demarca una zona con predominio de margas, fallada, con precipitación de 1.500 milímetros año y pendiente compleja del 40%, se obtiene un valor máximo de interrelación de 54 ($3 \times 2 \times 3 \times 3$), cifra con la cual se localiza al área en el tercer rango de clasificación, llamándose como zona de alta inestabilidad del subsuelo.

3- Cierre

En la delimitación de áreas con inestabilidad natural del subsuelo, es apropiado interrelacionar como mínimo tres factores ambientales del sistema natural, principalmente tipo de roca, lluvia anual y pendientes.

Cuando se calcula la inestabilidad natural del subsuelo para un predio en particular y en el mismo aparece un solo tipo de relieve, las pendientes a interrelacionar son de carácter simple.

Al determinar áreas de inestabilidad natural del subsuelo en alguna propuesta de ordenamiento territorial municipal, es aconsejable integrar a la interrelación de variables, la presencia de fallas y aplicar pendientes complejas (por la existencia de varios paisajes geomorfológicos o relieves del terreno).

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ALZATE, Raúl de Jesús. Estabilidad de taludes con aplicación en zonas húmedas. Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, Quibdo. 2.005.

CALZADILLA, María. Efecto del agua sobre las rocas y los suelos. Curso internacional de capacitación sobre fundamentos para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos. Santo Domingo. 2.005.

ECHARRY, Luis. Movimiento de la tierra y aludes. Ciencias de la tierra y medio ambiente. Tema 8. Libro electrónico. 2.005.

GAVILANES, Hernán. Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes. Curso de explotación de canteras. Asociación de Minas del Ecuador. 2004.

GOBERNACION DE CUNDINAMARCA - PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD. Evaluación ambiental de amenazas naturales en el Departamento de Cundinamarca. Bogotá, 1.991.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE - MMA. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Madrid: Secretaría General del Medio Ambiente. Madrid. 1996.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO - MOPU. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Madrid: 1981.

SANCHEZ, Reinaldo, MAYORGA, Ruth, URREGO, Luis, VARGAS, Germán. Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión. Ideam. 2.002.

ZUÑIGA PALMA, Henry. Clase Magistral Ordenamiento Territorial. Proyecto Curricular Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: 2008

ZUÑIGA, Henry. Hagamos el Ordenamiento Territorial del Sector Rural de Nuestro Municipio. Bogotá D.C.: Universidad Distrital. 2000

ZUÑIGA, Henry La pendiente compleja atributo del territorio, útil en el ordenamiento espacial del municipio (Ensayo Técnico) U. Distrital. Bogotá. (2010).

OTRA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

CORPOBOYACÁ – U. DISTRITAL. Plan de ordenamiento ambiental del territorio jurisdicción de Corpoboyacá. Bogotá 1.997.

CORPOBOYACÁ – U. DISTRITAL. Plan de manejo para el uso sostenible del recurso hídrico de los páramos de Guina, Guantiva y Onzaga del Departamento de Boyacá. Bogotá. 1.997

DAMA – E.E.B – U. DISTRITAL. Agenda ambiental. Alcaldía local del Sumapaz. Santafe de Bogota. 1.994...

DAMA – U. DISTRITAL. Plan de manejo ambiental del área forestal distrital Sierras del Chicó y Caracterización general del área forestal distrital Cerros de Suba. Bogota. 2.006.

INVERNAR ASESORES LTDA. Estudio regional de ordenamiento ambiental de la zona minera del carbón en el área del Valle del Cauca y Cauca. Convenio CVC – CARBOCOL. Cali ,1.993.

ZUÑIGA, Henry. Estudio de ordenamiento ambiental de la pequeña y mediana minería del carbón en el área de norte de Santander. Corponor. Cúcuta. 1.993

ZUÑIGA, Henry. Clases Magistrales Manejo Técnico Ambiental. Proyecto Curricular de Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C. 2010.

ZUÑIGA, Henry. Los Recursos Naturales. Apuntes de clase. Especialización en Avalúos Universidad Distrital. Bogotá 2010.

GRUPO TÉCNICO DE APOYO

SÁNCHEZ, Heliodoro. I.F. (Premio Mundial Kenton Miller a la Innovación para la Sostenibilidad de Áreas Protegidas. Año 2007). Revisión texto.

FIGUEROA ALBERTO I. F Esp. Edición pagina Web

ZUÑIGA PIER PAOLO Adm. Emp. Esp.Revisión documental soporte.

ANEXO 1: Tablas

Tabla 1 Anexo: Propiedades físicas de las unidades litológicas:

Nº	Unidad	Permeabilidad	Potencial de corrosión	Estabilidad en pendientes	Facilidad de excavación	Potencial de extracción y expansión	Capacidad portante
1	Calizas	Alta	Baja	Alta	Baja	No aplicable	Alta
2	Dolomías	Alta	Baja	Alta	Baja	No aplicable	Alta
3	Margas y calizas margozas	Baja	Media	Media	Media	Baja	Media
4	Cuarcitas	Media	Baja	Alta	Baja	No aplicable	Alta
5	Areniscas compactas	Media	Baja	Alta	Baja	No aplicable	Alta
6	Areniscas poco compactas	Alta	Baja	Baja	Alta	No aplicable	Media
7	Arcillas arenosas y areniscas arcillosas	Media	Media	Media	Media	Baja	Media
8	Arcillas plásticas y arenosas	Baja	Media	Baja	Alta	Alta	Baja
9	Arcillas plásticas y margas yesífericas	Baja	Alta	Baja	Alta	Alta	Baja
10	Alternancia de arcillas, margas, areniscas y calizas	Media	Baja	Media	Media	Baja	Media

Fuente: Cendrero (1976) en MOPU (1981) - Adaptado por el autor

Tabla 2 Anexo: Relación rangos pendientes simples y pendientes complejas:

Pendiente simple (%) (en una sola dirección)	Pendiente compleja (%) (en varias direcciones)	Clase
0 - 15	0 - 25	Baja
15 - 25	25 - 35	Media
25 - 50	35 - 100	Alta
> 50	> 100	Muy Alta

Fuente: Zuñiga (2010). Adaptado por el autor

Tabla 3 Anexo: Clasificación de la precipitación:

Pluviosidad (mm)	Calificación
000 - 500	Insuficiente a Escasa
500 - 1000	Suficiente
1000 – 2000	Abundante
> 2000	Excesiva

Fuente: Organización Metereológica Mundial..Adaptado por el autor.