

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES, VALENCIA – ESTADO CARABOBO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Licds. Pirela G., Jorge L.
Valencia F., Fernando L.
Valencia F., Luis E.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES, VALENCIA – ESTADO CARABOBO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Omar Márquez

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Abdel Abuhazi

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Licds. Pirela G., Jorge L.
Valencia F., Fernando L.
Valencia F., Luis E.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

Pirela G. Jorge L.
Valencia F. Fernando L.
Valencia F. Luis E.

ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES, VALENCIA – ESTADO CARABOBO

Tutor Académico: Prof. Omar Márquez. Tutor Industrial: Ing. Andel Abuhazi.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2009, 162 p.

Palabras Claves: Susceptibilidad, Movimientos en masa, Cuenca Río Cabriales

RESUMEN

Con la finalidad de realizar un estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales, para contribuir desde este punto de vista a la zonificación de las áreas más susceptibles de la cuenca, se llevó a cabo una metodología experimental que incluyó una revisión exhaustiva de los trabajos previos realizados en la zona, un levantamiento geológico-geomorfológico detallado de las principales unidades fisiográficas, así como el estudio de la estabilidad cinemática de las laderas y taludes. De igual modo, se realizó un estudio fotointerpretativo de imágenes pancromáticas y fotos de satélite de la zona de estudio. Seguidamente, se procesaron los datos generados a partir de los estudios realizados, a través del uso de la novedosa y práctica herramienta de Sistemas de Información Geográfico: ArcGIS 9.3, por medio de la cual se generaron modelos digitales de elevación 3D y mapas temáticos de factores geoambientales que permitieron caracterizar espacialmente la susceptibilidad de las distintas unidades geoambientales ante los movimientos en masa. Luego de integrar y superponer los mapas temáticos de factores geoambientales, se obtuvo el mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales, el cual dividió a la cuenca en 5 categorías de susceptibilidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta); resultando más susceptibles aquellas zonas relativamente de mayores alturas, con pendientes que superan el 100 % y con litologías de carácter inestable. Como es el caso de los sectores Cerro Cariaprima, Cerro La Manguita, Fila Orégano, Polígono de Tiro de Valencia, Cerro el Café, Fila Montemayor, Fila La Guacamaya y Cerro el Morro.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



INTRODUCCIÓN

Desde los tiempos más primitivos de la evolución de la vida en el planeta Tierra, éste ha sido objeto de innumerables desastres naturales, todos ellos con características especiales; pero con un mismo resultado: pérdida de vidas y daños materiales. Es por ello, que para Diciembre de 1987, La Asamblea General de Naciones Unidas, mediante resolución 42/169 acordó designar la década de 1990 como “Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales”; centrando su objetivo en la necesidad de incentivar el conocimiento de una serie de procesos geodinámicos y climáticos (terremotos, tsunamis, huracanes, inundaciones, **movimientos en masa**, volcanismo y sequías) que, con reiterada periodicidad, provocan importantes pérdidas de vidas humanas y daños materiales.

Sin embargo, y a pesar del esfuerzo que realiza el mundo científico por minimizar el efecto destructivo de estos fenómenos naturales desde la década de los 90; todavía en el presente siglo existen muchas zonas que no han sido estudiadas, desde el punto de vista de su riesgo o susceptibilidad ante fenómenos naturales. Ejemplo de ello son la mayoría de las cuencas hidrográficas del área tropical de América Latina, las cuales carecen de un adecuado manejo de los recursos naturales.

En nuestro país, Venezuela, la intervención de cuencas altas y su uso inadecuado, ha alterado significativamente su equilibrio natural, producto de la inadecuada relación del hombre con su espacio, por lo tanto se hace necesario implementar acciones correctivas que permitan minimizar dicha problemática. El primer paso para llevar a cabo estas correcciones, lo representa el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca, el cual permitirá identificar y zonificar aquellas regiones asociadas a inestabilidades del terreno.

Lo anteriormente planteado compete al área de interés de este estudio: la Cuenca Hidrográfica del Río Cabriales; para la cual se plantea una metodología experimental



que permita llevar a cabo la evaluación y análisis de la susceptibilidad ante los movimientos en masa a los cuales se encuentra expuesta ésta importante cuenca donde, el continuo crecimiento de la población, desarrollo de infraestructuras urbanas y el intenso uso o aprovechamiento de los recursos naturales han servido como catalizadores de dichos procesos naturales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las regiones montañosas por su atractivo natural, cercanía a fuentes de agua y la presencia de suelos fértiles, se han convertido, con el transcurso de los años, en las zonas más codiciadas por el hombre para la construcción de centros poblados, que en la mayoría de los casos no se rigen por ninguna normativa de planificación urbana, produciendo modificaciones en la configuración del medio físico-natural y acelerando los procesos geológicos naturales propios del lugar.

La Región Central de Venezuela no escapa a esta problemática, por la presencia de la Cordillera de la Costa con sus ramales principales, la Serranía del Interior y la Serranía del Litoral; los cuales conforman un área de escarpadas montañas, profundos valles, llanuras fértiles y excelentes condiciones climáticas con un período de sequía y otro de abundante pluviosidad, que le imprimen un régimen de carácter permanente a la mayoría de los cursos de agua principales de la zona.

Este es el caso de la **cuenca hidrográfica del Río Cabriales** en la ciudad de Valencia, Estado Carabobo, donde la intervención de la cuenca y su uso inadecuado, ha alterado significativamente su equilibrio natural, con el consecuente deterioro e incremento de procesos erosivos en cauces y vertientes, contaminación de aguas y daños en el ecosistema. Como consecuencia de ello, se han registrado movimientos en masa e inundaciones muy extensas y caudalosas como la del 12 de mayo de 1986, donde las aguas inundaron barrios y urbanizaciones enteras como: Trincheras, Tarapío, Naguanagua, Mañongo, El Trigal, La Trigaleña, Calle Independencia, Paseo Cabriales, Avenida Lara, Calle Michelena, Los Taladros, La Monumental, La Castrera, César Girón, etc., y la reciente inundación del 20 de octubre de 2008 (que trajo consigo significantes deslizamientos) y afectó las viviendas de aproximadamente 600 familias en los sectores Monte Sión, Rocío, El Café I y II y La Estancia del municipio Naguanagua.

En resumen, la cuenca del Río Cabriales evidencia un problema geológico-ambiental cada vez de mayor importancia, que repercute desfavorablemente en la estabilidad del terreno. En tal sentido el presente trabajo, el cual se encuentra enmarcado dentro del Sub-proyecto “Riesgo Geotécnico/Geomorfológico del Proyecto de Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos” – MISIÓN CIENCIA-INGEOMIN, en vista de que no existe un estudio que permita zonificar y/o identificar las zonas de mayor inestabilidad terrenal, tiene como finalidad realizar un estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales, por medio del cual se obtendrá un mapa de susceptibilidad que proporcionará la data necesaria para identificar las áreas vulnerables ante movimientos en masa, lo que facilitará el establecimiento de las directrices técnicas para la ejecución de planes de desarrollo comunitario, que conjuntamente con el conocimiento de las normas de conservación ambiental y de aprovechamiento sustentable, permitirán controlar, redistribuir y construir viviendas dignas para esta comunidad venezolana.

Con la finalidad de llevar a cabo - de manera exitosa - el presente proyecto, se plantearon los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Generar un mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales (Valencia- Estado Carabobo), para evaluar la estabilidad en la que se encuentran los distintos sectores de la cuenca, en función de las variables geoambientales que la afectan.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Procesar e interpretar la información geológica, geotécnica y geomorfológica de trabajos previos realizados en el área de estudio.
- ✓ Caracterizar la geología de la zona por medio de un estudio geológico de superficie y el análisis de mapas geológicos, mapas topográficos y fotografías aéreas, a escala 1:25.000.
- ✓ Evaluar la estabilidad de los macizos rocosos presentes en la zona de estudio, por medio de la aplicación del ensayo R.Q.D. (*Rock Quality Designation*) y la representación estereográfica de las estructuras presentes.
- ✓ Construir un Modelo Digital de Elevación 3D que permita conjuntamente con las observaciones de campo, identificar los diversos factores geoambientales que afectan la cuenca del Río Cabriales
- ✓ Generar mapas temáticos de los factores geoambientales que inciden en la estabilidad de la cuenca del Río Cabriales.
- ✓ Integrar la información geológica, geotécnica y geomorfológica representada en los mapas de factores geoambientales, a través de una metodología experimental que permita evaluar objetivamente la susceptibilidad del terreno.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES LOCALES

ANTECEDENTES TEÓRICOS

MARCO TEÓRICO

MARCO GEOGRÁFICO

MARCO GEOLÓGICO

ANTECEDENTES LOCALES

López (1942) y Morgan (1969) llevan a cabo un formidable trabajo de la geología del Valle de Valencia que les permitió definir las diversas unidades geológicas que lo componen. López (1942) destacó la unidad de rocas ígneas, rocas metamórficas y sedimentos no consolidados por donde escurre el Río Cabriales.

Linares (1964) realiza un estudio del origen del Río Cabriales que incluyó una descripción detallada de su trascendencia a lo largo de los años. La autora destacó el grado de variabilidad que ha generado el urbanismo a la cuenca del Cabriales, así como su grado de significancia en el haber valenciano.

En 1981, el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) lleva a cabo la realización del *Plan Rector Básico de Drenaje Urbano* de la ciudad de Valencia, para preservar planicies inundables. Seguidamente, el antes mencionado instituto elaboró el Proyecto Drenajes Primarios de la Zona suroeste de Valencia.

Padrón y Mota (1982) hicieron una estimación del efecto del urbanismo sobre la esorrentía directa del Río Cabriales, y concluyen que en algunos sectores de la cuenca había ocurrido un incremento del escurrimiento por encima del 40 % desde el año 1960 hasta 1980.

Castellano *et al.* (1983) y Martínez y Rodríguez (1986) realizaron una evaluación sanitaria del Río Cabriales, y determinan que las aguas del río presentan graves problemas sanitarios producto de descargas líquidas de origen doméstico e industrial a lo largo de su cauce, sumado a problemas de índole física, como es el caso de los desbordamientos que presentaba el río en épocas de lluvia.

En 1986 el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR) como respuesta inmediata a las descomunales inundaciones que sufrió la ciudad de

Valencia en ese período, llevó a cabo un Plan de Acción Inmediata que generó el anteproyecto *Canalización y Mejoras del Río Cabriales, Valencia-Carabobo*. El cual propuso canalizar el río 24 km desde su confluencia con el río Retobo hasta el desparramadero del Paíto.

Holmquist y Ponce (1986) llevaron a cabo la caracterización geotécnica del subsuelo del Área Metropolitana de la Ciudad de Valencia, y a partir de ello establecieron posibles soluciones para la mejora y construcción de fundaciones. Bolinaga *et al.* (1987) luego de realizar un estudio geotécnico del cauce del Río Cabriales señalan que aguas abajo de Puente Hipódromo, el fondo del río estaba compuesto por una arcilla abigarrada muy resistente a la socavación, mientras que aguas arriba de dicho puente se encontraban expuestos materiales areno-limosos de baja resistencia a la socavación.

Para el año 1991, el Fondo de Inversión Social de Venezuela (FONVIS) llevó a cabo un estudio de alternativas de canalización del Río Cabriales en el sector centro-sur de la ciudad de Valencia. En 1992 la Gobernación del Estado Carabobo elabora el proyecto de *Canalización Definitiva del Río Cabriales en el Sector Centro-Sur de la Ciudad de Valencia – Estado Carabobo*; donde se canaliza mediante revestimiento de concreto.

Briceño *et al.* (1999) estudian el impacto urbanístico sobre la esorrentía y calidad del agua del Río Cabriales, obteniendo que las zonas más afectadas por la contaminación son las más cercanas al Parque Fernando Peñalver y al Distribuidor los Samanes (OD < 4 mg/l).

Guevara y Carrasco (2001) llevan a cabo una modelación estocástica de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y OD (oxígeno disuelto) en el Río Cabriales, la cual les permitió concluir que dichos modelos pueden dar a conocer la posible distribución de los contaminantes en el río y el agotamiento a lo largo del tiempo.



ANTECEDENTES TEÓRICOS

Algunos de los trabajos que hasta la fecha se han realizado y que manejan la idea conceptual del estudio de susceptibilidad a través de métodos de aproximación probabilística son:

Carrara, et al. (1983, 1991, 1992, 1995 y 2003), que básicamente utiliza análisis estadísticos multivariado y desarrolla la idea fundamental del modelo por regresión lineal y análisis discriminante.

Brabb (1984), analiza factores como geología, pendientes y movimientos activos.

Soeters y van Westen (1996), zonifican mediante el reconocimiento de zonas de inestabilidad y factores generadores.

Larsen y Torres-Sánchez (1998), presentan la distribución y frecuencia de deslizamientos en una determinada área de Puerto Rico mediante el tratamiento de imágenes satelitales en un SIG.

Guzzetti et al. (1999), aplican análisis estadísticos multivariados y resaltan las condiciones de los factores participantes.

Nagarajan et al. (2000), muestra un mapa de susceptibilidad con cinco áreas generadas a partir de una función discriminante bivariable.

Gorsevski (2001), combina y aplica modelos de regresión logística y análisis de componentes principales.



Clerici (2002) utiliza un análisis multivariado condicional y desarrolla su propio SIG. Lorente, et al. (2002) explican la distribución espacial de los factores que generan flujos de detritos en los Pirineos centrales de España.

Dai y Lee (2002), modelan la inestabilidad de laderas en una isla de Hong Kong mediante un análisis estadístico de regresión lineal múltiple utilizando *Arcview*.

Irigaray (2002) desarrolla un excelente trabajo de los diversos métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG., donde resalta la aplicación de una expresión algebraica factible para el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa, mediante un método estadístico multivariado.

Remondo et al. (2003), desarrolla un modelo de susceptibilidad en base a las relaciones estadísticas entre movimientos conocidos y los factores condicionantes, crea su base de datos con *ArcInfo 7.2*.

Santacana et al. (2003), desarrollan un mapa de susceptibilidad en los Pirineos españoles mediante un análisis estadístico multivariado en el que involucra 13 parámetros relacionados a la geometría de la ladera.

Lee (2004) aplica y compara métodos estadísticos con ayuda de un SIG, es de los pocos trabajos que comparan sus resultados.

Núñez y Villacorta *et al.* (2006) realizan un estudio de susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca Chancay y Lambayeque – (Lambayeque-Cajamarca) al norte del Perú, y resaltan en sus conclusiones la factibilidad y eficacia del método estadístico multivariado propuesto por Irigaray (2002) para el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa.

MARCO TEÓRICO

A continuación se presentarán una serie de definiciones y descripciones necesarias para el buen entendimiento del proyecto en curso, ya que constituyen el basamento teórico/práctico del mismo. Dentro de ellas destacan la definición de movimientos en masa, susceptibilidad ante movimientos en masa y los métodos para la elaboración de mapas de susceptibilidad ante movimientos en masa.

MOVIMIENTOS EN MASA

Un movimiento en masa puede ser definido como todo desplazamiento (vertical, horizontal o inclinado) de un volumen de material litológico (roca, formación superficial o suelo) importante, en el cual el principal agente es la gravedad y que puede o no incluir el efecto del agua.

Los términos más utilizados para denominar globalmente estos fenómenos son: movimientos en masa, movimientos de terreno, deslizamientos, deslizamientos de terreno, deslizamientos de vertiente, remociones en masa, movimientos de ladera, derrumbes, etc.

TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

En general se definen seis grupos principales: derrumbes, flujos, deslizamientos, propagación lateral, reptación y deformaciones gravitacionales profundas (Cruden y Varnes, 1996; IDEAM, 2001); los cuales representan los principales tipos de movimientos en masa.

Tabla 1. Tipos de movimientos en masa según Cruden y Varnes (1996).

Tipo	Subtipo
Derrumbes	Caída de roca (detritos o suelo)
	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca
Deslizamiento	Deslizamiento traslacional Deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional Deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos) Deslizamiento por flujo
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	---

Caída (Fall)

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El

estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

Volcamiento (*Toppling*)

Se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978). El volcamiento puede ser en bloque, flexional (o flexural) y flexional del macizo rocoso.

Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante.

El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales.

Deslizamiento (Slide)

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de *deslizamientos compuestos* (Hutchinson, 1988).

Propagación Lateral (Lateral Spread)

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. La mayoría de los *deslizamientos* y los *flujos* involucran algún grado de expansión.

Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el *deslizamiento* o el *flujo*. Varnes (1978) distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que suprayacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.

Las propagaciones laterales pueden desarrollarse y evidenciar deformación plástica de materiales frágiles bajo el peso de una unidad competente. Algunos autores señalan que hay una relación continua entre deslizamientos y expansiones laterales, dependiendo de la importancia de la deformación interna. De esta forma, muchos casos de propagación lateral podrían incluirse dentro de la categoría de *deslizamientos compuestos*, como lo propone Hutchinson (1988).

Flujo (Flow)

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Hungr et al. (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas. Es importante hacer la distinción entre los diferentes tipos de flujos cuando se analiza la amenaza a que está sometida un área ya que, el potencial destructivo es característico de cada tipo.

Por ejemplo, es importante establecer la diferencia entre *flujo de detritos* y *avalancha de detritos*. En el caso del flujo de detritos (movimiento en masa canalizado) el estudio de amenaza se deberá concentrar en una trayectoria pre-establecida o canal y en el área de depositación o abanico, áreas potencialmente afectadas. En cambio, una avalancha de detritos puede desplazarse sobre áreas abiertas en laderas de alta pendiente. Por supuesto las avalanchas de detritos con frecuencia encuentran un canal pre-existente y se convierten en flujos de detritos.

Otra distinción importante de uso práctico para el estudio de amenazas es aquella entre *flujos de detritos* y *crecidas de detritos* (inundaciones o avenidas de detritos). Las crecidas (debris flood) presentan un potencial destructivo relativamente bajo con respecto a los flujos de detritos (debris flow) (Hungar, 2005).

Reptación (Creep)

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Dentro de este movimiento se incluyen la *solifluxión* y la *gelifluxión*, este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

A continuación se mostrarán una serie de gráficos que ilustran los diversos factores que pueden desencadenar movimientos en masa (figuras 1 y 2):

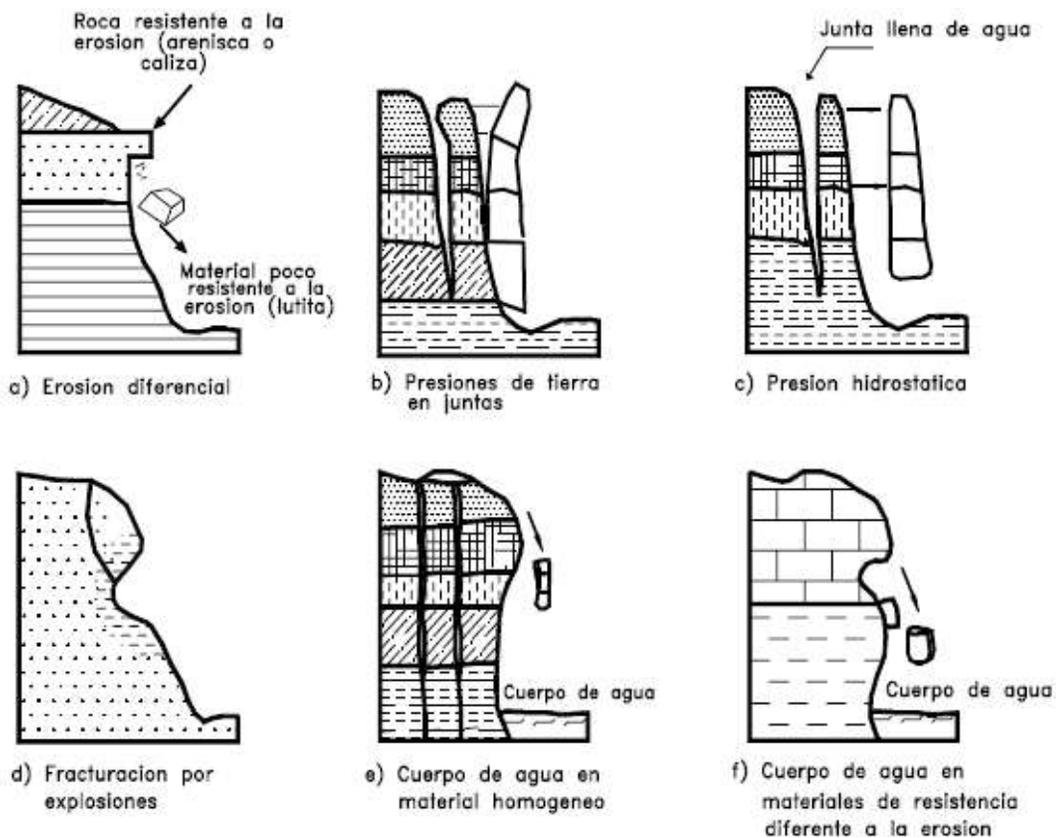


Figura 1. Factores que desencadenan movimientos en masa (IDEAM, 2001).

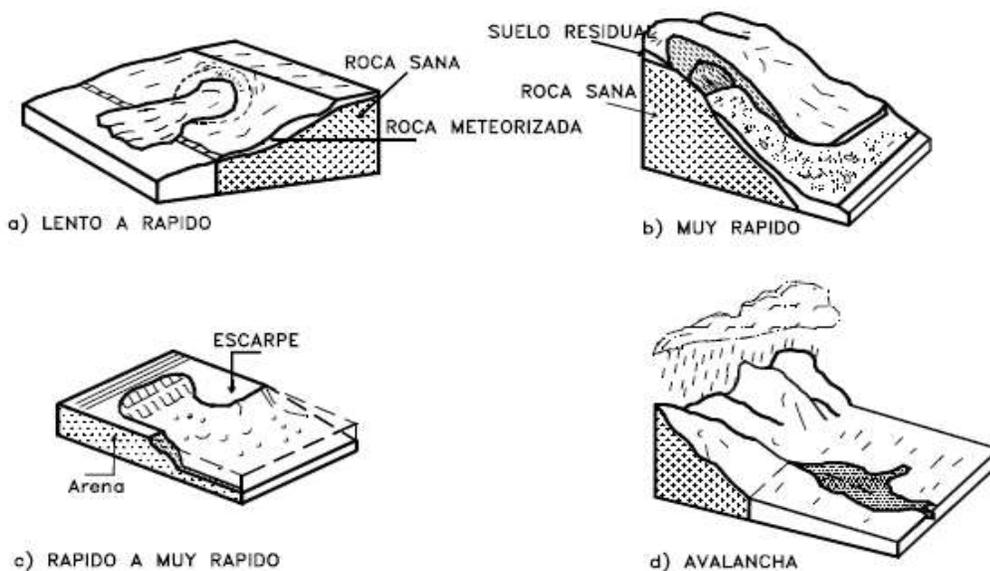


Figura 2. Factor velocidad en los movimientos en masa (IDEAM, 2001).

RIESGO

Han sido muchos los autores que han trabajado en la definición del riesgo. Se destacan tres, Rowe (1977) define el riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un peligro por el valor del daño (riesgo medido en unidades monetarias). Varnes (1984) define el riesgo en función de tres parámetros: peligro, vulnerabilidad y elementos bajo riesgo. Bell (1998) establece que la ocurrencia de un riesgo dado en un período particular de tiempo puede ser expresada en términos de probabilidad. A partir de todos estos estudios, la organización Geólogos del Mundo (*World Geologist*) para el 2006, propuso la definición de riesgo como el peligro por el daño, ya que a través de esta fórmula (Figura 3) se pueden integrar los demás parámetros (probabilidad, amenaza, vulnerabilidad y exposición).

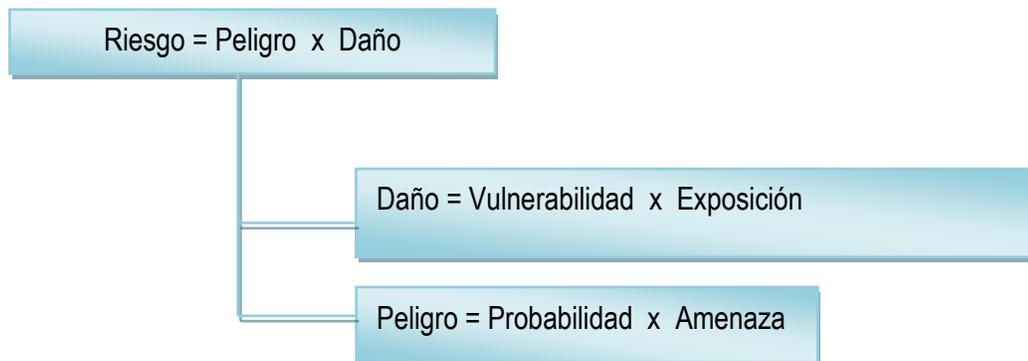


Figura 3. Fórmula del riesgo (Geólogos del Mundo.org, 2006).

Peligro: condición, proceso o acontecimiento geológico que supone una amenaza para el ser humano o su hábitat. La peligrosidad se expresa en función de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza y de su energía.

Amenaza: en términos geológicos, puede ser definido como un proceso con características específicas en cuanto a su origen, tipología y energía, que puede convertirse en un fenómeno dañino. Las amenazas de origen natural se clasifican en función del agente que las provoca. Suarez (2009) señala que la amenaza ante movimientos en masa resulta de la adición de la susceptibilidad ante movimientos en masa y los efectos detonantes (lluvias y sismos).

Vulnerabilidad: describe el grado de resistencia de un sistema respecto al impacto de los peligros naturales. Se puede medir como el grado de pérdida esperado que puede provocar un fenómeno destructivo, de una magnitud dada, sobre un elemento expuesto (personas o bienes). La vulnerabilidad depende de todos los aspectos que determinan el elemento expuesto: físicos, ideológicos, sociales, económicos, ambientales, políticos, educativos, etc.

Probabilidad: expresa la frecuencia relativa de ocurrencia de un suceso, es decir, las veces que este se podría dar a lo largo del tiempo. Se trabaja a partir del tratamiento estadístico de registros de datos, o bien por medio de fórmulas empíricas. La estimación de la probabilidad se establece a partir del denominado período de ocurrencia o de retorno: intervalo de recurrencia media entre sucesos determinados que se calcula mediante métodos diferentes según el tipo de proceso geológico.

Daño: se refiere a los efectos nocivos que sufre un conjunto de elementos expuestos a una amenaza. Se expresa a través de dos componentes, la exposición y la vulnerabilidad, que dependen del marco social, económico y estructural de la zona amenazada.

Los daños ocasionados por una determinada amenaza se cuantifican a partir de diferentes indicadores, dada la dificultad de evaluar los aspectos asociados a la vulnerabilidad. Los indicadores más comunes son los siguientes:

- Personales: número de víctimas, heridos, desplazados, evacuados, damnificados, afectados.
- Materiales: número de edificaciones afectadas, infraestructuras afectadas.
- Medioambientales: contaminación del agua, impacto sobre la flora y la fauna.
- Económicos: pérdidas directas o indirectas por la paralización de la producción, por la reconstrucción, costes de los bienes asegurados, etc.

Exposición: se refiere al conjunto de elementos expuestos al área de influencia temporal y espacial de una amenaza. Se expresa cuantitativamente en número de habitantes o infraestructuras afectadas.

RIESGOS ANTE MOVIMIENTOS EN MASA

El riesgo ante movimientos en masa resulta de la evaluación conjunta y sucesiva de la susceptibilidad, amenaza y la vulnerabilidad ante movimientos en masa de un terreno determinado (Figura 4); las cuales – una vez integradas – permiten obtener una aproximación del riesgo ante procesos de remoción en masa de la zona evaluada.

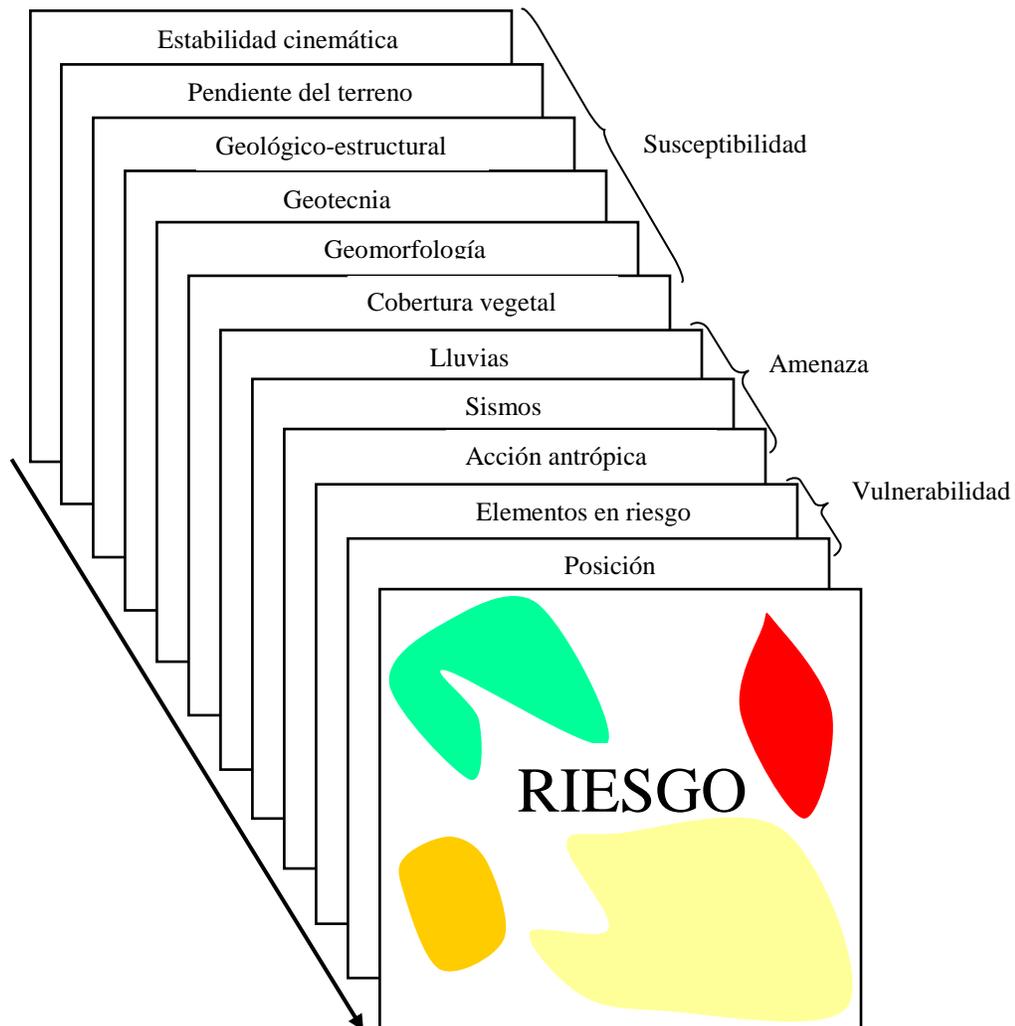


Figura 4. Esquema ilustrativo de la evaluación del riesgo ante movimientos en masa.



SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA

La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir movimientos en masa. El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van desde muy baja hasta muy alta susceptibilidad.

MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD (según Villacorta et al., 2006)

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES

El presente mapa reseña eventos que son el resultado de fuertes o continuas lluvias que ocurren en las cuencas altas y/o medias de los valles, las cuales sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y carga de los ríos (debido principalmente a la ocupación humana de los cauces). Una manera de determinar en una primera aproximación, las zonas susceptibles a inundaciones, es la interpretación de sensores remotos.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN FLUVIAL Y EROSIÓN DE LADERAS

Este mapa nos indica las áreas de erosión fluvial con alta susceptibilidad, así como las que son afectadas por erosión de laderas con cárcavas y erosión lineal, cuya susceptibilidad varía entre grado alto, medio y bajo. Los fenómenos están relacionados con el periodo de precipitaciones ocasionales, meteorización y/o alteración de rocas, procesos antrópicos, etc.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS ARENAMIENTOS

El mapa de susceptibilidad a los arenamientos se trabaja en base a la interpretación de sensores remotos (fotos aéreas e imágenes satelitales), así como la evaluación en el

terreno. La ausencia y/o escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de las arenas, debido a que los vientos -que erosionan, transportan y depositan las partículas de suelo, en áreas secas donde el suelo no es retenido por la vegetación- favorecen la migración y acumulación de arenas en forma de dunas. El grado de pendiente también influye en el análisis de susceptibilidad a los arenamientos, ya que está relacionado a la velocidad del viento y a la intensidad de luz que recibe el suelo (deseccación). El uso de la tierra también puede influir en el avance de las arenas: prácticas agrícolas, sobrepastoreo, etc.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

El mapa de susceptibilidad (Figura 5) indica el grado de facilidad con que ocurren los movimientos en masa: caídas, derrumbes, flujos, deslizamientos y movimientos complejos, teniendo en cuenta los factores locales (geoambientales) de los terrenos: pendiente de los terrenos, geológico-estructural, zonificación geotécnica, estabilidad cinemática, geomorfología y cobertura vegetal (Figura 4). La influencia de cada factor geoambiental vendrá determinada por la evaluación en campo y la visualización de los mismos en el modelo digital de elevación 3D. A continuación se describirán los mapas temáticos de factores geoambientales necesarios para la obtención del mapa de susceptibilidad.

- ✓ Mapa de pendiente: el mapa de pendiente registra la pendiente topográfica de la zona de estudio. La pendiente topográfica es una variante que incrementa el potencial de ocurrencia de un movimiento en masa y depende del porcentaje o grado de inclinación que posea, de manera tal que mientras mayor sea el porcentaje de inclinación de una pendiente, mayor es el efecto de la gravedad sobre el material que desliza, lo que hace que gane mayor velocidad. Las regiones que presentan mayor nivel de peligrosidad son aquellas en las que se producen cambios abruptos de pendientes, es decir, donde la inclinación pasa de muy empinada (mayor de 100 %) a pendientes bajas o nula (menor de 33 %) debido a que las masas en movimiento se desplazan sin mayor resistencia por la mayor

inclinación hasta la planicie del terreno, descargando toda su energía en ellas, mientras que si el cambio se da de manera gradual, la masa va disipando en forma paulatina toda la energía cinética acumulada trayendo como consecuencia la disminución de la velocidad de desplazamiento y arrastre de la masa, y disminuyendo su efecto devastador (IDEAM, 2001).

- ✓ Mapa geológico-estructural: este mapa permite cartografiar unidades estratigráficas que afloran en la región, conjuntamente con las estructuras que dieron cabida a la disposición espacial que las rocas presentan hoy día. Este mapa permite conocer las designaciones estratigráficas, agrupación de unidades geológicas, naturaleza, edades y estructuras presentes de los materiales rocosos que están en la zona de estudio. Así mismo devela intrínsecamente el comportamiento mecánico de la roca, relacionadas a identificación de litosomas o litodemos, permitiendo así por medio del análisis geológico estructural, inferir parámetros cualitativos que conduzcan a un diagnóstico de estabilidad.
- ✓ Mapa de zonificación geotécnica: los mapas geotécnicos constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y uso del territorio y para el proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos.
- ✓ Mapa de estabilidad cinemática: se basa en sectorizar dentro de la carta topográfica, las áreas que definen a las laderas de acuerdo a su orientación espacial, considerando su rumbo y buzamiento. La intención de sectorizar en áreas la disposición espacial de las laderas, recae en observar si las estructuras y el corte de los taludes guardan algún tipo de relación con el grado de estabilidad de las mismas, y a su vez pero de manera informativa conocer cuál es su exposición.

- ✓ *Mapa de unidades geomorfológicas*: este mapa sub-divide al terreno en las distintas unidades geomorfológicas que lo componen. Dichas unidades van a venir determinadas por las formas del relieve, las cuales son un reflejo directo de la acción de distintos procesos geomórficos; relacionados a su vez con las características morfo-genéticas, morfo-estructurales y morfo-climáticas del terreno. El relieve relativo de las distintas unidades geomorfológicas (dominante, intermedio, dominado, etc.) permite evaluar la susceptibilidad de las distintas unidades respecto a los movimientos en masa.

- ✓ *Mapa de cobertura vegetal*: muestra el contenido vegetal de la zona en estudio y la clasifica en distintas sub-zonas dependiendo del tipo de vegetación predominante. El factor vegetación es de gran importancia en los estudios de estabildades de terrenos, puesto que las coberturas vegetales (en función de la naturaleza de sus raíces) pueden brindarle estabilidad al terreno.

ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA

Antes de llevar a cabo un estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa, es necesario tomar en cuenta, que no existe un procedimiento estandarizado para la preparación de este tipo de mapas y sí existe mucha libertad en la determinación de la metodología a seguir para construirlos. Los niveles de susceptibilidad variarán de acuerdo a los criterios utilizados por los diversos autores (Suarez, 2009).

En la siguiente tabla (Tabla 2) se podrán observar las metodologías más usadas a nivel mundial para la elaboración de los mapas de susceptibilidad ante movimientos en masa, modificado de GEMMA (2007):

Tabla 2. Metodologías para la evaluación de susceptibilidades ante movimientos en masa.

Metodologías	Análisis	Uso recomendado de acuerdo a la escala		
		Regional 1:100.000	Media 1:25.000	Detallada 1:10.000
Métodos Geomorfológicos	Análisis de distribución	Si	Si	Si
	Análisis de actividad	No	Si	Si
	Análisis de densidad	Si	No	No
Métodos heurísticos	Análisis geomorfológico Subjetivo	Si	Si	Si
	Ponderación de parámetros	Si	Si	No
Métodos probabilísticos	Análisis estadístico univariado y bivariado	No	Si	No
	Análisis estadístico multivariado	No	Si	No
Métodos determinísticos	Aplicación de análisis de talud infinito (factor de seguridad)	No	No	Si

Según Almaguer-Carmenates (2006) para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los movimientos en masa existen diversas aproximaciones, basadas la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la aparición de la rotura. En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad (Hansen, 1984; Hartlen y Viberg, 1988; Corominas, 1987; Van Westen, 1993; Carrara et al., 1995; y Leroi, 1996). Existen cuatro procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad del terreno: métodos geomorfológicos de inventario, métodos determinísticos, métodos heurísticos y métodos probabilísticos.

Los **métodos geomorfológicos** se basan en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas geomorfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja es la validez y detalle del análisis y mapa resultantes, si se realizan por un buen experto. El inconveniente de estos métodos es el alto grado de

subjetividad dependiente de la experiencia del autor. La elaboración de estos mapas exige conocer la morfología y tipología de movimientos (Hansen, 1984).

Los **métodos determinísticos** se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto. Se fundamentan en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos. Estos métodos muestran un grado de fiabilidad alto si los datos son correctos. Su principal inconveniente es su baja idoneidad para zonificaciones rápidas y de extensas áreas (Van Westen, 1993). El método más usual se aplica para deslizamientos traslacionales utilizando el modelo de talud infinito (Ward et al, 1982 y Brass et al, 1989).

Los **métodos heurísticos** se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos (Carrara et al., 1995). El principal inconveniente radica en que en la mayor parte de los casos, el conocimiento disponible entre los factores ambientales que pueden causar inestabilidad y los deslizamientos es inadecuado y subjetivo, dependiendo de la experiencia del experto. Un procedimiento de este tipo es el análisis cualitativo basado en combinación de mapas de factores (Lucini, 1973). El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita comparar documentos producidos por diferentes autores.

Los **métodos probabilísticos** se basan en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actual y pasada (Carrara et al., 1995). Se utilizan cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, aplicándose los modelos estadísticos que pueden ser univariantes, bivariantes y multivariantes. La principal ventaja es la objetividad del método. El costo de la adquisición de algunos factores relacionados con la inestabilidad de laderas es el principal inconveniente. Dentro de este grupo se encuentran los métodos estadísticos y el análisis de frecuencia de deslizamientos. Son métodos indirectos cuyos

resultados se pueden extrapolar a zonas distintas para estimar la susceptibilidad, con condiciones geológicas y climáticas homogéneas.

Los **análisis estadísticos univariantes** se dividen en dos grupos: los que utilizan el análisis condicional y los que no lo utilizan. El análisis condicional, trata de evaluar la relación probabilística entre diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basan en la superposición de uno o más factores con el mapa de distribución de deslizamientos, para obtener una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos (Chung y Fabbri, 1993). Los resultados se interpretan en términos de probabilidad según el teorema de Bayes (Morgan, 1968), certeza (Heckerman, 1986), según conjuntos difusos (MahdaviFar, 2000) o según plausibilidad (Shafer, 1976).

Los **análisis estadísticos bivariados** se basan en asignar valores por parte de un especialista, a las distintas variables de predicción y combinarlos en una clasificación de susceptibilidad. Para esto, se obtienen las densidades reales de cada clase de movimientos en masa a partir de cada mapa de inventario. Se obtiene una correlación bivariada entre las variables de predicción y la densidad del movimiento en masa. El mapa de susceptibilidad resultante puede utilizarse para estimar la ocurrencia de futuros movimientos en masa. Se recomienda probar y calibrar diversas formas de combinación y compilación de los valores de susceptibilidad, a fin de obtener la mejor correlación.

Los **análisis estadísticos multivariantes** estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tienen cada uno de ellos. Se trata de una aproximación más objetiva que otras técnicas situándose hoy como uno de los procedimientos con mejores resultados en la predicción espacial de los movimientos en masa (Villacorta et al., 2006). Las técnicas estadísticas más utilizadas son la

regresión múltiple, análisis factorial de correspondencia y el análisis discriminante (Jones et al., 1961; Neuland, 1976; Carrara, 1983).

En el análisis estadístico multivariante de la susceptibilidad ante movimientos en masa el SIG (Sistema de Información Geográfico) se utiliza en buena parte del proceso. El SIG se utiliza para crear e integrar modelos de elevación 3D, mapas temáticos de factores geoambientales y el mapa inventario de movimientos en masa.

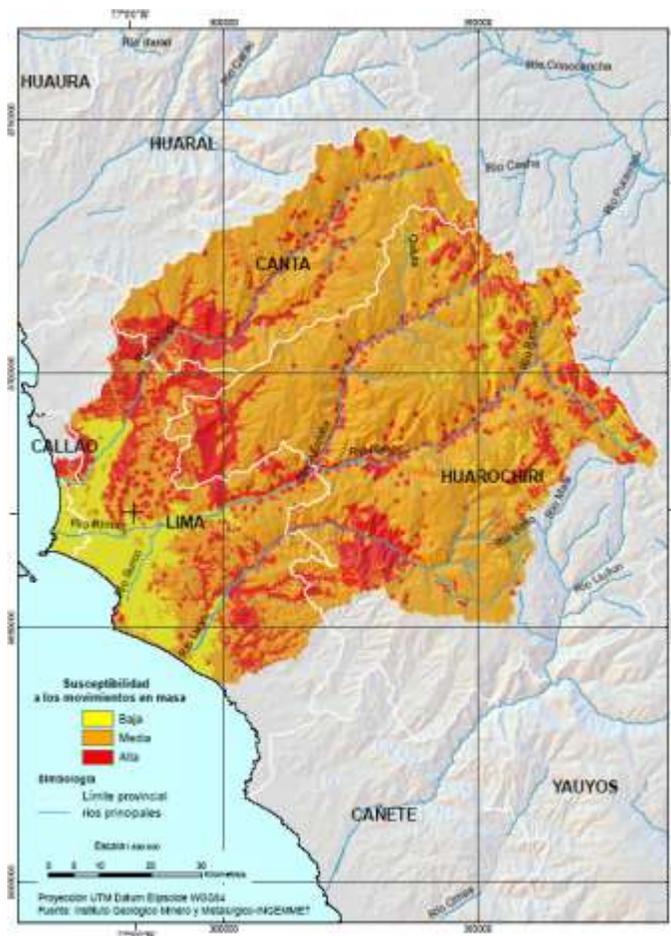


Figura 5. Ejemplo de mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de Lima, Perú (Villacorta *et al.*, 2006).

CLASIFICACIÓN R.Q.D. (Deere, 1964)

La clasificación de Deere o del R.Q.D. (*Rock Quality Designation*) se funda en la cuantificación del *grado de fractura* de la roca. Permite la obtención de un *índice*, que es un valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso (Tabla 3), teniendo en cuenta las características de la roca.

✓ Procedimientos de Cálculo:

Para determinar el R.Q.D. en el terreno existen tres procedimientos de cálculo, éstos son:

Primer Procedimiento R.Q.D.

Se realiza tomando las medidas y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.5 m, a partir de los testigos obtenidos en el sondeo.

Deberán incluirse los discos del núcleo ocasionados por rompimiento mecánico de la roca como parte del RQD.

Segundo Procedimiento R.Q.D.

Consiste en calcular el R.Q.D. en función del número de fisuras por metro lineal, determinadas al efectuar el levantamiento litológico-estructural (*detail line*) en el lugar del terreno o zona predeterminada para la exploración.

RQD Determinado en el campo por el área de Geotecnia, en un tramo longitudinal de pared expuesta: $RQD = 100 \lambda (-0.1) \lambda x (0.11 + \lambda)$

Donde: $\lambda = N^{\circ}$ De Fisuras / Espacio

Tercer Procedimiento R.Q.D.

Consiste en calcular el R.Q.D. en función del número de fisuras por metro cúbico (m^3), determinadas al realizar el levantamiento geológico en el lugar del terreno o zona predeterminada para la exploración.

Comprende el cálculo del R.Q.D. en función del número de fisuras por m^3 al realizar el geológico-estructural de las paredes del macizo.

Bajo la siguiente fórmula: $RQD = 115 - (3.3) J_v$, donde: $J_v = N^\circ$ de fisuras por m^3 .

Tabla 3. Índice R.Q.D.

R.Q.D. (%)	Calidad de la Roca
< 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

MARCO GEOGRÁFICO

A continuación se presentará un apartado correspondiente a la geografía física de la zona en estudio, el cual lleva como objetivo principal la comprensión de los patrones y procesos asociados al ambiente natural de la cuenca del Río Cabriales.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio abarcará la cuenca alta, media y baja del Río Cabriales, el cual representa el río más importante de la ciudad de Valencia, Estado Carabobo.

El Río Cabriales posee una longitud de 33 km y drena un área de aproximadamente 200 km² y se ubica entre los 67° 58' – 68° 09' de longitud y los 10° 20' – 10° 05' de latitud (Figura 6).

El nacimiento del cauce se encuentra en la vertiente sur de la serranía de Bárbula, en el Parque Nacional San Esteban, al norte de Naguanagua, en el pico Hilaria (a 1650 m.s.n.m.) y entre los cerros Agua Linda y El Novillo. Se une al Río Retobo, en el sector homónimo. Pasa, aproximadamente, de norte a sur, por la parte Centro-Oriental de la Ciudad de Valencia y desemboca en las cercanías de la represa de Pao-Cachinche, a donde van a parar sus aguas después de ser tratadas.

El Río Cabriales había sido desviado en 1979 hacia el Lago de Valencia para que no contaminase las aguas del Río Pao, pero el crecimiento inesperado del nivel de agua en dicho lago y el aumento del nivel de contaminación del mismo hicieron que en 2005 se volviese a desviar al Río Pao.



Figura 6. Cauce medio del Río Cabriales.

CLIMA

El clima que predomina en las vastas extensiones por donde escurre el Río Cabriales se caracteriza por precipitaciones promedio anuales de 1.000 mm (Estación Bárbula), con un periodo lluvioso entre los meses de abril y octubre, y un periodo seco que se extiende desde noviembre hasta marzo. La temperatura media anual de 23,4 °C (Estación Guataparo - Dique) y una humedad relativa que oscila entre 60 y 87%.

En su recorrido el Río Cabriales recibe descargas domésticas provenientes de zonas urbanas; sumado a esto, en los últimos años la cuenca del Río Cabriales ha sido sometida a un proceso de urbanización que coadyuva a la contaminación de la misma. (Guevara y Carrasco, 2001).

HIDROGRAFÍA

La cuenca del Río Cabriales desde el punto de vista hidrológico se puede dividir en 3 tramos con características específicas:

- a) El curso superior, desde el nacimiento hasta la confluencia con el Río Retobo. Está constituido por un sistema de drenaje rápido debido a la pendiente pronunciada del terreno.
- b) El curso medio, comprende todo el sector urbano, desde la Ciudad Universitaria hasta las inmediaciones donde se hallan los pozos del I.N.O.S., en El Jobo.
- c) El curso inferior, cuyo cauce se caracteriza por ser de naturaleza meándrica, de bajo fondo, en donde son frecuentes los desbordamientos.

El Río Cabriales drena un área de aproximadamente 200 Km² hasta la estación pluviométrica “Los Samanes”, siendo la longitud del cauce principal de 33 km, con una pendiente media de 12,2 m/km. El afluente principal es el Río Retobo, el cual se le une por su margen derecho cerca de Naguanagua, siguiendo el eje principal una orientación sur-este.

Cerca del extremo norte de las depresiones del río se encuentran playas abandonadas, caracterizadas por arenas no consolidadas y por estratificación cruzada. En la cercanía del Lago de Valencia el cauce desaparece o no existe patrón de drenaje definido (Padrón y Mota, 1982).

TOPOGRAFÍA

La cuenca del Río Cabriales posee una superficie topográficamente bien diferenciada, en zonas de altos topográficos (montañas y colinas que bordean el valle) y bajos topográficos (depresión del valle de Valencia), como puede observarse en la figura 7.

Así mismo dentro de las zonas de altos topográficos se diferencian laderas que presentan pendientes que van desde 1 a más de 100 %.

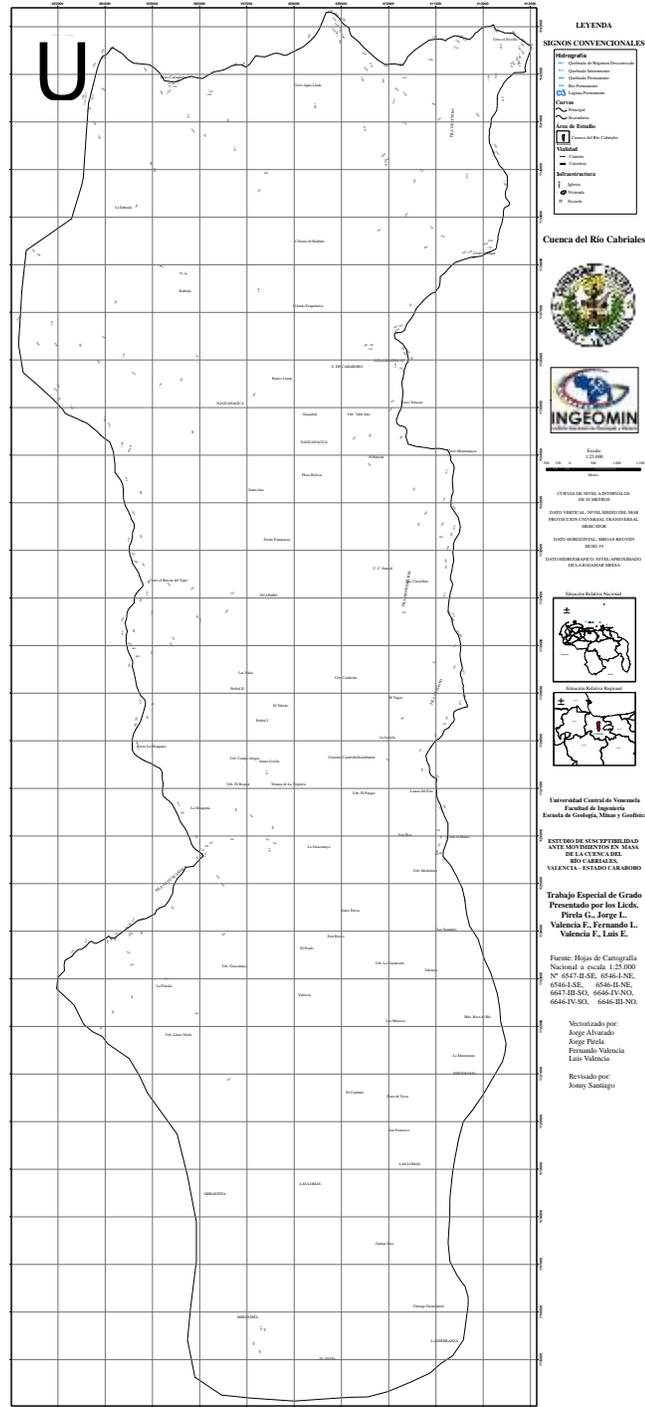


Figura 7. Mapa topográfico de la cuenca del Río Cabriales.

COBERTURA VEGETAL

En la antigüedad el Río Cabriales tuvo aguas limpias y caudalosas, que corrían bajo el espeso lecho formado por vegetación ribereña, en la que se encontraban árboles diferentes, tales como jabillo, camoruco o sunsún, mijao o mijagüa, jobo, mango, yagrumo y el bambú (Fundacite, 1999).

Actualmente, el río ha disminuido su calibre evidenciándose en la desaparición de numerosas quebradas a lo largo de su curso. Esto es ocasionado por la destrucción de la vegetación en sus cabeceras, por quema y tala de árboles.

El desarrollo comercial e industrial de la ciudad ha contaminado al río de aguas sucias y desechos. Se aumentan los efectos negativos con la poca conciencia y conocimiento por parte de la población y los organismos competentes, respecto a las medidas de sanidad y salubridad.

En resumen, la cuenca del Río Cabriales evidencia un problema ambiental cada vez de mayor importancia, particularmente cuando se refiere a la contaminación de las aguas y la destrucción de la cobertura vegetal (Fundacite, 1999). Sin embargo, aún se conservan coberturas vegetales diferenciadas en 5 zonas principalmente (MINAMB, 2003): sabana abierta (vegetación herbácea > arbustiva-arbórea), sabana arbolada (vegetación arbustiva-arbórea > herbácea), bosques, plantaciones forestales y agropecuarias y zona urbanas o de vegetación escasa.

GEOMORFOLOGÍA

El Valle de Valencia (ubicado al noroeste del Lago de Valencia) pertenece a una serie de valles amplios que se extienden hasta el pueblo de Guacara; dichos valles se encuentran separados por estribos que se desprenden de la Cordillera de la Costa hasta el Lago, siendo el de Valencia el más occidental de los valles principales.

En esta región, la Cordillera de la Costa se alza abruptamente con vertientes muy empinadas, tanto hacia la costa del Mar Caribe como hacia el Lago de Valencia, formando un gran macizo montañoso interpuesto entre la planicie del lago y el mar, cuya fila maestra tiene una dirección general este-oeste (López, 1942).

La parte superior del Valle de Valencia limita con la falda sur de la cordillera y sus bordes orientales y occidentales están limitados por dos grandes estribos que se desprenden de esta cordillera en dirección NS, distantes 5 kilómetros aproximadamente el uno del otro en la parte más ancha del valle. De estos estribos principales se desprenden a su vez pequeños ramales en dirección aproximada este-oeste que dividen el valle transversalmente. La tendencia de ramales secundarios a dividir el valle es muy marcada desde sus cabeceras, pero los salientes más importantes se encuentran hacia el sur (Fundacite, 1999; López, 1942).

El valle en estudio se encuentra limitado hacia el norte por el divorcio de aguas con el Caribe, por el sur por la línea que va de los cerros de Guacamaya a la canteras de cemento y por el este y oeste por las filas de cerros que vienen de la serranía de la Costa a morir en la planada de la Laguna. El piso del valle, por lo general bastante plano, presenta una serie de conos aluvionales en los entrantes de las montañas que lo rodean: Los conos aluvionales son bastante espesos en la parte norte, donde el material depositado se origina principalmente del núcleo central de la Cordillera de la Costa. Por su parte los aluviones provenientes de los estribos laterales no son tan potentes, debido a que los puntos de origen no fueron tan altos como la cordillera (Fundacite, 1999). El drenaje del valle se efectúa por el río Cabriales, que tiene sus cabeceras hacia el norte y baja directamente de la serranía litoral. El Cabriales cruza de norte a sur la ciudad de Valencia y forma muchos meandros al sur de Naguanagua en la región comprendida entre este pueblo y Valencia, pero su planicie aluvional ocupa una fracción muy pequeña del valle.

Geomorfológicamente, el Valle de Valencia se puede clasificar en las siguientes unidades geomorfológicas (MINAMB, 2003):

Valle (depresión del Valle de Valencia): comprende las superficies de origen sedimentario desarrollado por el arrastre y sedimentación del Río Cabriales a lo largo de la planada del valle, así como el arrastre y sedimentación de pequeños afluentes secundarios intermitentes (en período de lluvias).

Penillanura (al sur del Valle de Valencia): corresponde a la superficie de erosión, ligeramente ondulada y de escasa pendiente que se halla contigua al Valle de Valencia. Esta unidad geomorfológica presenta un leve desnivel con respecto al valle, y se pueden observar algunos relieves residuales a lo largo de la misma.

Terrazas altas (vertientes secundarias al este y oeste del Río Cabriales): es aquella que comprende las zonas de conos de deyección de dichas vertientes, a lo largo del piedemonte de las laderas este y oeste, posee inclinaciones naturales de hasta 33 %; estando esta zona representada por espesores de sedimentos en las zonas de menores pendientes, y por los suelos residuales de espesores variables producto de la meteorización *in situ* de los estratos rocosos en las zonas de las mayores pendientes.

Colinas altas (ladera este del Valle de Valencia): unidad que comprende los relieves de alturas moderadas (500 - 600 m) con bases redondeadas. En esta unidad nacen algunas vertientes secundarias que desembocan al Río Cabriales.

Montaña -media montaña- (fila maestra de la Cordillera de la Costa y ladera oeste del Valle de Valencia): esta zona está representada por los relieves de mayor altura y los ramales transversales que se desprenden de éstas. En esta zona es donde nacen la mayoría de las vertientes secundarias que descargan sus aguas en la cuenca del Río Cabriales. En ella el subsuelo se encuentra representado por espesores menores de suelos residuales y afloramientos de los estratos rocosos que forman dichas filas.

SUELOS

El Valle de Valencia posee suelos de diversa naturaleza que se extienden por todo el terreno que conforma el valle; y dentro de ellos se destacan unos muy ricos en material calcáreo y arcilloso, lo que le confiere una gran calidad desde el punto de vista agrícola e industrial respectivamente. A continuación se presentará un resumen de los diversos suelos que yacen sobre el área de estudio:

Suelos de áreas montañosas: son suelos en pendientes, desarrollados a partir de materiales in situ y transportados por movimientos en masa, usualmente pedregosos. Predominan inceptisoles, alfisoles, ultisoles, además de algunos entisoles poco profundos (Fundacite, 1999).

Suelos de piedemonte: desarrollados en una estrecha faja entre montañas y la planicie con pendientes de alrededor de 5 % sobre materiales usualmente de granulometría mixta con fragmentos gruesos. Predominan inceptisoles, alfisoles y entisoles esqueleto.

Suelos de valles y planicies: se han desarrollado a partir de sedimentos no consolidados depositados por desbordes a través de la red hidrográfica funcional y no funcional de la cuenca del Lago de Valencia. Algunos suelos poseen altos contenidos calcáreos, derivados de formaciones geológicas con calizas. Estos suelos son de textura media y gruesa, con estructura débil, alto contenido de carbonato de calcio, permeabilidad muy rápida e infiltración excesivamente rápida, con alta capacidad de retención de humedad, de bien a imperfectamente drenado, y fertilidad mediana a alta.

Suelos de planicie lacustrina: son suelos muy particulares derivados de materiales parentales de origen lacustrino (fondo del lago), expuestas por retiro del cuerpo de agua a la acción de los elementos del entorno emergido. Son altamente calcáreos, con



una alta retención y transmisión de humedad y muy fértiles. Tienen una baja capacidad de sustentación mecánica y ofrecen muchos problemas para el desarrollo urbanístico. En esta categoría de suelos predominan los entisoles.

Suelos de altiplanicie: Están ubicados en la altiplanicie de Tocuyito y se han desarrollado sobre materiales sedimentarios relativamente antiguos. Son suelos rojos, con predominio de alfisoles e inceptisoles ácidos. De acuerdo con los estudios de suelos, la cuenca del Valle de Valencia evidencia una alta disponibilidad de tierras con aptitud para el uso agrícola diversificado (Fundacite, 1999; López, 1942).

MARCO GEOLÓGICO

A continuación se presentará una revisión del marco geológico regional y local asociado a la cuenca del río Cabriales.

GEOLOGÍA REGIONAL

El Valle de Valencia situado en el ángulo nor-noroeste de la gran hoya del Lago de Valencia y a una altura media de 475 m.s.n.m está conformado geológicamente por rocas metamórficas, rocas ígneas y sedimentos no consolidados, que comprenden diversas unidades geológicas como la Faja de la Cordillera de la Costa (Gneis de Cabriales, Formación Las Brisas, Formación Las Mercedes y el Complejo de San Julián), y la unidad Oligoceno-Neoceno-Cuaternario que yace sobre el basamento (Figura 8, 9 y 10). Este valle como se dijo anteriormente posee una dirección aproximada norte-sur y está separado de los valles adyacentes por estribos que se desprenden del macizo de la Cordillera de la Costa hasta el Lago (López, 1942; Menéndez, 1966 y Urbani, 1989).



Figura 8. Situación regional de la Cordillera de la Costa (modificado de Menéndez, 1966).



Figura 9. Vista aérea oblicua del Valle de Valencia.



Figura 10. Vista aérea de la Cordillera de la Costa.

A su vez, la Faja de la Cordillera de la Costa se encuentra representada en la zona de estudio por 2 importantes asociaciones geológicas; como son: la *Asociación Metamórfica Ávila* (Paleozoico-Precámbrico) y la *Asociación Metasedimentaria Caracas* (Mesozoico). A continuación se hará una breve descripción geológica de cada una de estas asociaciones.

ASOCIACIÓN METAMÓRFICA ÁVILA

Esta asociación comprende la unidad del *Gneis del Cabriales* (gneis porfidoclásico de grano grueso), *Complejo San Julián* (esquistos moteado y esquistos no moteado), *Formación Peña de Mora* (augengneis) y sub-unidades de menor expresión areal, dentro de las cuales se pueden destacar: *Gneis de grano medio*, *Gneis de grano fino*, *Augenesquistos*, *Anfibolita* y *Cuarcita esquistosa*.

Gneis del Cabriales (Paleozoico Tardío): esta unidad comprende las rocas graníticas del norte de Valencia, San Joaquín y Mariara, las cuales en la antigüedad fueron cartografiadas como: Granito Porfídico por López (1942), Gneis de Sebastopol por Morgan (1969) y Formación Peña de Mora por González (1972) y Urbani (1972).

Seguidamente una campaña de cartografía geológica detallada llevada a cabo por diversos autores, entre los cuales se destacan Frass (1981), Aguilera y Vallenilla (1985) y Urbani *et al.* (1988) extienden la cartografía de estas rocas desde las montañas al nor-oeste de Valencia hasta cerca de la zona de Vigirima. Posteriormente Urbani (1988, 1989) denomina estas rocas como Gneis del Cabriales.

Su localidad tipo se ubica en el cauce medio y alto del río Cabriales, al norte de Valencia, estado Carabobo, y según Urbani (1989) este cuerpo está constituido por un gneis granítico, caracterizado por la presencia de grandes megacristales de feldespato potásico de hasta 8 cm, pero también hay zonas con aspecto textural diferente: con tamaños de grano fino a medio, zonas cizalladas con textura augen, así como xenolitos y diques de aplitas y pegmatitas.

Por su parte Urbani *et al.* (1989) aseguraron que esta unidad a su vez puede ser dividida en siete subunidades distintivamente cartografiables, a saber: gneis porfiroclástico, gneis de grano medio, gneis de grano fino, augenesquisto, augengneis, gneis sillimanítico y rocas máficas.

En cuanto a sus contactos, se tiene que hacia el norte, sur y este está en contacto estructuralmente concordante con rocas del Esquisto de San Julián. Hacia el oeste el contacto con el Granito de Guaremal no se observa por la cobertura selvática y el difícil acceso (Urbani, 1988).

Complejo de San Julián (Paleozoico-Precámbrico): luego de la definición original del “Augengneis de Peña de Mora” por Aguerrevere y Zuloaga (1937), autores posteriores como Dengo (1951, 1953), Wehrmann (1972) y Urbani y Quesada (1972) que trabajaron a escala regional, fueron ampliando la definición de la Formación Peña de Mora para poder incluir toda una amplia gama de rocas que se iban descubriendo, como esquistos y gneises de variada mineralogía, cuarcitas, mármoles, anfibolitas y otros tipos de rocas.

Posteriormente Ostos (1981) pudo cartografiar a los augengneises como una unidad separada a los demás tipos de rocas, que autores anteriores habían adicionalmente incluido dentro de la Formación Peña de Mora. Lo mismo ocurrió con los trabajos de la zona de La Sabana - Cabo Codera, Mamo - Puerto Cruz, Puerto Cabello - Valencia (recopilados en Urbani *et al.*, 1989) donde igualmente se pudo cartografiar separadamente las zonas de augengneis de los demás tipos de rocas. Por consiguiente Urbani y Ostos (1989), proponen volver al nombre original propuesto por Aguerrevere y Zuloaga (1937) de Augengneis de Peña de Mora para referirse únicamente a los cuerpos dispersos de augengneises y gneises de grano grueso, mientras que proponen el nombre de Esquisto de San Julián para incluir las litologías esquistosas y gnéicas que los circundan.

El Esquisto de San Julián tiene como localidad tipo la quebrada de San Julián, que nace en la Silla de Caracas y desemboca en el Mar Caribe en Caraballeda. Su litología consta de rocas preponderantes como el esquisto y gneis cuarzo - plagioclásico - micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (Urbani y Ostos, 1989). Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita. Estas rocas cuando aparecen en zonas de dimensiones cartografiables a escala 1:10.000 se han denominado “Metaígneas de Tócome” (Léxico Estratigráfico - PDVSA, 1997).

Formación Peña de Mora (Paleozoico–Precámbrico): Wehrmann (1972), amplió la acepción original de la Formación Peña de Mora, definiéndola “como un complejo ígneo-metamórfico equivalente lateral de la Formación Las Brisas, que prácticamente forma el núcleo de la Cordillera de la Costa”.

En general, la unidad está constituida por gneises de grano fino a medio, augengneises gruesos y bandeados, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo-muscovíticos y ocasionalmente anfibolitas, en algunos lugares se desarrollan mármoles delgados. Dentro de esta secuencia se encuentran cuerpos dispersos de rocas ultramáficas, básicas y ácidas. Entre la litología mencionada, las rocas que predominan se han dividido en tres tipos: gneises de grano fino a medio, plagioclásico-cuarzo-muscovíticos; augengneises y gneises muy gruesos, bandeados, cuarzo-plagioclásico-microclínicos y gneises de grano fino a medio, cuarzo-plagioclásico-epidótico-biotíticos, asociados a rocas anfibólicas, donde generalmente, el cuarzo se presenta con bordes saturados, y extinción ondulatoria, la plagioclasa se encuentra sericitizada y maclada o sin macla, el feldespato potásico, microclino es a veces pertítico.

ASOCIACIÓN METASEDIMENTARIA CARACAS

Esta asociación geológica comprende las Formaciones: *Las Brisas*, *Antímano* y *Las Mercedes*, sumado a unidades geológicas de menor magnitud de *Mármol* y *Anfibolita*.

Formación Las Brisas (Mesozoico): la Formación Las Brisas ha sido definida como una secuencia de sedimentos metamorfizados que afloran en la región de Caracas. La localidad tipo se encuentra en el sitio llamado Las Brisas, unos 14 km., al sur del Valle, en la carretera al Dique de La Mariposa. Los afloramientos de esta unidad fueron extendidos por Azuaje (1972), hacia el este, entre Guatire y Cabo Codera. Hacia el oeste Wehrmann (1972), extendió la unidad hacia la región de la Colonia Tovar; Rodríguez (1972), y Morgan (1969), la reconocen en la región de Choróní y Puerto Cabello, respectivamente. González (1972), la extiende hacia la zona de Bejuca-Urama-El Palito y Bellizia y Rodríguez (1968), la localizan en el Estado Yaracuy.

En la región de Caracas, la Formación Las Brisas, consiste principalmente en esquistos y gneises cuarzo-feldespáticos-micáceos, esquistos cuarzo-sericíticos-grafitosos con lentes, bloques y bandas de mármoles oscuros. Generalmente se encuentran capas de gneis microclino-calcáreo asociadas con los cuerpos calcáreos. En la actualidad existe la tendencia de considerar a la Formación Peña de Mora como parte de la Formación Las Brisas, Urbani (1976), y de restringir el uso del nombre Peña de Mora a la sección “augengneis”, considerada como facies dentro de la misma unidad. Sin embargo, debido a lo arraigado del término en la literatura, y con el fin de evitar complicaciones, estas litologías se describen por separado hasta tanto no sea aceptado el cambio.

En general toda la sección de afloramientos de la Formación Las Brisas, desde Cabo Codera, al este, hasta Yaracuy, al oeste, las rocas más abundantes son los esquistos cuarzo-feldespáticos-micáceos, con textura esquistosa, que se hace gnéisica a medida

que aumenta el contenido de feldespatos. El color varía de gris claro a tonos verdosos y meteorizan a marrón claro. Su composición mineralógica es: cuarzo, plagioclasa del tipo oligoclasa sódica, muscovita, biotita, feldespato potásico, calcita, clorita, epidoto, y cantidades menores de opacos. En la meteorización de estas rocas, a diferencia de los esquistos de la Formación Las Mercedes, la desintegración mecánica juega un papel más importante que la química. Los horizontes de rocas calcáreas en la Formación Las Brisas, han sido denominados “Fase Zenda”. Estas rocas difieren en composición de los mármoles de Antímamo, ya que los cuerpos calcáreos de la Formación Las Brisas son dolomíticos, mientras que los de Antímamo contienen solo pequeñas cantidades de magnesio en la localidad tipo.

Dentro de los mármoles de la Formación Las Brisas se han mencionado dos localidades fosilíferas. Wolcott (1943), realizó el primer descubrimiento cerca de la cabecera de la Quebrada Care, tributaria del Río Guarenas, esta localidad había sido designada inicialmente como Formación Las Mercedes, pero posteriormente Urbani (1969) y Wehrmann (1972) la identificaron como parte de la Formación Las Brisas; los fósiles identificados allí pertenecen al género *Pecten* (*Camptonectes*) sp., cuya edad está restringida al Jurásico-Cretácico.

Formación Antímamo (Mesozoico): Dengo (1951), designó con este nombre una serie de mármoles intercalados con esquistos micáceos y “rocas verdes” expuestos al norte de Antímamo, Distrito Federal, que el mismo autor había incluido en la “Fase Zenda” de la Formación Las Brisas. Los mármoles de la Formación Antímamo se presentan en forma de lentes discontinuos, que representan formas tectónicas como “boudins” y bloques rotados. Se observan buenos afloramientos al sur-oeste de la población de San Pedro, cerca de de la carretera que conduce a la represa de Agua Fría, al norte de Carayaca, en el valle de los ríos Mamera, Tacagua y Mamo, por la carretera vieja a Caracas- La Guaira, en el valle del Río Curucutí y en Sanchorquiz. La localidad tipo se ubica 500 m, al norte de Antímamo. Los mármoles consisten en un 90% de calcita con pequeñas cantidades de cuarzo, muscovita, piritita y grafito; las

capas de mármol se pueden presentar macizas o en capas finamente foliadas; presentan color gris claro o negro, según el contenido de grafito. Las relaciones de los mármoles de Antímamo con la unidad infrayacente, Formación Las Brisas, y suprayacente, Formación Las Mercedes, han sido descritas como concordantes en ambos casos. Sin embargo, esta concordancia es de tipo estructural y que las lentes de mármol representan formas tectónicas. La Formación Antímamo se ha correlacionado según Bellizia y Rodríguez (1968) y Wehrmann (1972), con la Formación Nirgua de los Estados Carabobo, Cojedes, Yaracuy y Lara.

Formación Las Mercedes (Mesozoico): la localidad tipo de ésta formación fue establecida por Aguerrevere y Zuloaga (1937), en la hacienda del mismo nombre (hoy urbanización Las Mercedes), al este de Caracas. Debido a que esta localidad se ha convertido en un área urbana, Wehrmann (1972), propone establecer como sección de referencia la que aflora en la carretera Petare-Santa Lucía, donde aparecen afloramientos casi continuos hasta su transición con la Formación Chuspita. Según Wehrmann (1972), la litología predominante consiste en esquistos grafitoso-calcáreos con intercalaciones de mármoles grafitosos en forma de lentes. Localmente se encuentra un horizonte de mármoles oscuros en capas delgadas sin posición estratigráfica definida, que ha sido denominado “Caliza de Los Colorados”. Los esquistos de la Formación Las Mercedes son esquistos cuarzo-muscovítico-grafitoso-calcáreos. Localmente, en la costa noroeste de la Serranía del Ávila, se encuentran ejemplares con plagioclasa, León (1975) y Vivas (1975). En general, las rocas presentan textura esquistosa, buena foliación, y grano medio a fino; su color es gris oscuro, con color de meteorización gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo, muscovita de hábito alargado en bandas lepidoblásticas, calcita con macla polisintética, grafito, óxidos de hierro, escaso epidoto, y ocasionalmente plagioclasa.

Los esquistos de la Formación Las Mercedes, se encuentran cruzados por numerosas vetas de cuarzo, calcita y ankerita recrystalizadas; son bastante incompetentes, por lo cual han sufrido intensamente los efectos del plegamiento. Por otra parte la

composición calcárea facilita la meteorización química, y por ende mecánica, haciéndose la roca muy friable, este problema es importante debido a que la formación aflora en regiones urbanas altamente pobladas o en vías de expansión. Los mármoles asociados con los esquistos grafitosos, se presentan en capas delgadas de forma lenticular, muy deformadas; presentan foliación moderada, son de color gris azulado y meteorizan en gris claro.

Los contactos de la Formación Las Mercedes con las demás unidades que afloran en la Faja de la Cordillera de la Costa, se han establecido sobre la base de supuestas relaciones estratigráficas y no estructurales, como lo son en la práctica. El Léxico Estratigráfico de Venezuela, II edición, 1970, sitúa la base de ésta formación “en el tope de la Formación Antímamo, donde ésta última aflora, o en el tope del esquistos cuarzo-micáceo de la Formación Las Brisas”. Wehrmann (1972), señala que hacia el tope la formación se hace cada vez más cuarzosa y menos calcárea, hasta pasar transicionalmente a la Formación Chuspita. Según el mismo autor, la base de la formación es concordante con la Formación Antímamo o transicional con la Formación Las Brisas.

GEOLOGÍA LOCAL

El Río Cabriales yace sobre un terreno geológico que se compone a modo general por 2 zonas: una zona de *rocas ígneo-metamórficas* (Asociación Metamórfica Ávila y Asociación Metasedimentaria Caracas), que se encuentra en el cauce alto del río (fila maestra de la cordillera) y en las laderas este y oeste del Valle de Valencia y una zona de *sedimentos no consolidados* (aluvión fluvial cuaternario y conos aluviales) por donde escurre el cauce medio y bajo del río.

Las rocas ígneo-metamórficas pertenecientes a la Asociación Metamórfica Ávila corresponden principalmente a la unidad geológica Gneis del Cabriales, la cual aflora en el cauce alto del Río Cabriales (Figura 11 y 12).



Figura 11. Vista panorámica del Gneis del Cabrales (Parque San Esteban).

Figura 12. Remanente del Gneis del Cabrales en el sector “Las Viviendas”, Valencia – Carabobo.

Por su parte las rocas metamórficas corresponden a esquistos micáceos, calcáreos y calcáreo-grafíticos de origen sedimentario (Asociación Metasedimentaria Caracas, figuras 13 y 14), los cuales en ciertas zonas se encuentran asociados a cuerpos de mármol que alcanzan los 100 m de espesor, como puede ser divisado entre las regiones de Bárbula, Montecerino y en la Av. Rotaria (Figura 14). Adicionalmente rocas ígneas ocurren como intrusiones dentro de los esquistos y son de naturaleza tanto ácida como básica (López, 1942; Urbani, 1989).

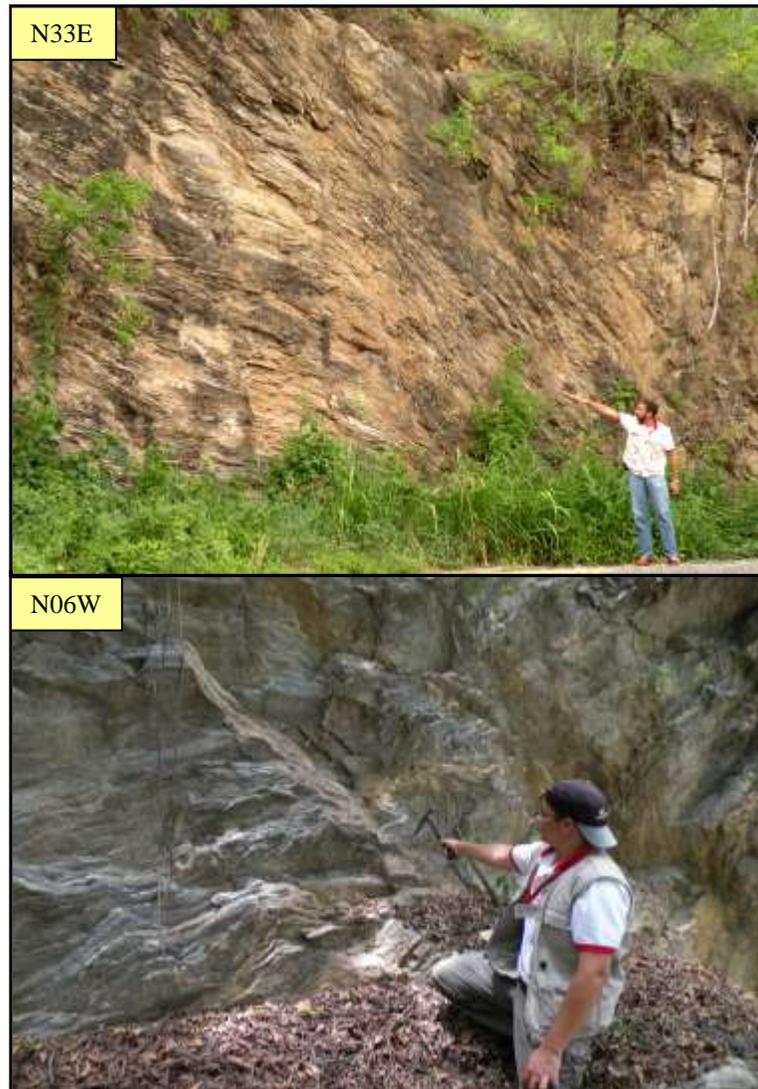


Figura 13. Afloramiento de Fm. Las Mercedes adyacente a la Av. Rotaria (Valencia – Carabobo).

Figura 14. Afloramiento de Mármol en la Calle 120 de Valencia – Carabobo.

Los sedimentos no consolidados se presentan en forma de aluviones que provienen de los cerros a su alrededor. El material de estos depósitos aluvionales varía según su procedencia. Los que se encuentran más hacia el norte provienen de las intrusiones ígneas, por su parte los que se encuentran más hacia el sur provienen del complejo metamórfico (esquistos micáceos y calcáreos) que rodea el valle. Estos depósitos sedimentarios yacen sobre la planicie del Valle de Valencia y conforma las márgenes del cauce medio y bajo del Río Cabriales (Figura 15).



Figura 15. Cauce medio del Río Cabriales (detrás del Club Portugués de Naguanagua).

Desde el punto de vista geológico-estructural (a nivel regional) el Valle de Valencia se encuentra limitado por fallas: al norte por el Sistema del Caribe y al sur por el Sistema de La Victoria, lo cual le confiere cierta complejidad estructural. Ahora, en las inmediaciones del valle se localizan fallas (a escala regional y local), plegamientos (a escala local), foliaciones y diaclasamientos; como se pueden observar en las siguientes imágenes (figuras 16, 17 y 18).



Figura 16. Plegamiento tipo “S” en el cuerpo de mármol adyacente a la Calle 120 de Valencia.



Figura 17. Sistema de diaclasas en Esquisto de Las Mercedes, se puede observar también el efecto del geotropismo o gravitropismo en las raíces del árbol (Av. La Encima- Valencia).



Figura 18. Foliación marcada en Esquisto de Las Mercedes.

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

El estudio geotécnico de la cuenca del Río Cabriales de Holmquist y Ponce (1986), permitió zonificar geotécnicamente la cuenca en 4 zonas principales:

Zona I (SP-SM): en general, corresponde a suelos granulares representados mayormente por arenas, son mal gradados y presentan mediano a elevado contenido de suelos finos (limosos). Estos suelos presentan densidades sueltas a muy densas dependiendo de la profundidad a la que se encuentra, representándose las menores densidades en los primeros 10 a 15 m de profundidad y las mayores densidades por debajo de los 15 m de profundidad.

Los suelos limosos existentes en esta zona, son de baja a mediana plasticidad; presentan consistencia blanda a media en los primeros 10 a 15 m superficiales y consistencias rígidas a muy duras a profundidades mayores de 15 m; con tendencias de comportamientos normalmente consolidados y contenido de humedad natural dentro del rango plástico en los primeros 15 m de profundidad y comportamiento pre-

Pirela & Valencia² (2009)

consolidado en aquellos estratos de consistencias rígidas a muy duras detectados a profundidades mayores de 15 m, donde el contenido de humedad natural presenta una tendencia bien definida. En esta zona se observa la presencia del nivel freático.

Zona II (CL-ML): esta zona presenta propiedades similares a las propiedades de la zona I; sin embargo, en esta zona predominan los estratos de suelos tipo arcillas y limos de baja plasticidad. Se observa una tendencia de los suelos finos a un comportamiento característico de suelos pre-consolidados en donde se conserva el contenido de humedad natural tanto en superficie como en profundidad cercanos al índice de plasticidad. La presencia del nivel freático en la zona II está representado por la posibilidad de existencia de varios acuíferos en profundidad, compuestos por estratos de arenas limpias, mal gradadas o con bajo a mediano contenido de finos, interrumpidos por estratos impermeables de suelos finos detectándose con mucha frecuencia acuíferos superficiales.

Zona III ((SP-SM)g – (SP-SC)g – (CL)g – (ML)g): los suelos detectados en esta zona están representados por suelos residuales producto de la meteorización de los macizos rocosos presentes, por lo que son arenas medias a finas muy limosas o muy arcillosas con variable contenido de gravas siendo las partículas gruesas de fragmentos de calcita o cuarzo, dependiendo del tipo de roca que le dio origen, y por arcillas y limos de baja plasticidad con variable contenido de arena y gravas. En general el espesor de esta zona varía de menos de 1 m hasta espesores importantes como los que se detectan en la urbanización de Guataparo y sus alrededores que pueden alcanzar hasta los 20 m.

Estos suelos presentan consistencias rígidas a muy duras, y densidades medias a densas aún en los metros superficiales. Las discontinuidades que se encuentran en estos suelos son la presencia de cavidades de bachacos continuas en distribución irregular de los 2 a 4 m superficiales y alcanzar longitudes mayores a los 80 m, con frecuentes salidas a la superficie.

Finalmente estos suelos su uso principal sería el de uso como suelos de préstamos, para la construcción de cuerpos de terraplenes, sub-bases de fundaciones de estructuras menores y bases de pavimentos ya que en muchos casos se comportan como gravas arcillosas con alto contenido de arena; en esta zona por lo general no existe un nivel freático estático, pudiendo detectarse en épocas de lluvias y en zonas bajas de nacimientos de vertientes.

Zona IV (Rocas): esta zona está representada por los diferentes tipos de roca que afloran y forman el subsuelo, tales como esquistos cuarzo-micáceo, esquistos calcáreos, esquistos calcáreos grafitosos, gnéises y mármoles; estos se encuentran en avanzados y mediados grados de meteorización dependiendo si se tratan de afloramientos ubicados en las laderas de colinas o cercanos a las crestas respectivamente. En forma general, el mayor grado de meteorización de estos macizos rocosos se presenta en las zonas de laderas.

Todos estos afloramientos presentan un uso óptimo para suelos de préstamo. Entre propiedades geotécnicas, los defectos estructurales que experimentan son los planos sistemas de diaclasas, planos de foliación, la existencia de micro y macros fisuras así como de fallas menores; estos defectos estructurales deben ser considerados en el diseño de un determinado talud a objeto de estabilizar su estabilidad de corto y largo plazo. No existe ninguna zona de nivel freático, aunque pueden encontrarse algunas zonas con acuíferos en épocas de lluvias.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

A continuación se presentará el esquema metodológico experimental que tiene como finalidad cumplir con los objetivos propuestos por el presente trabajo.

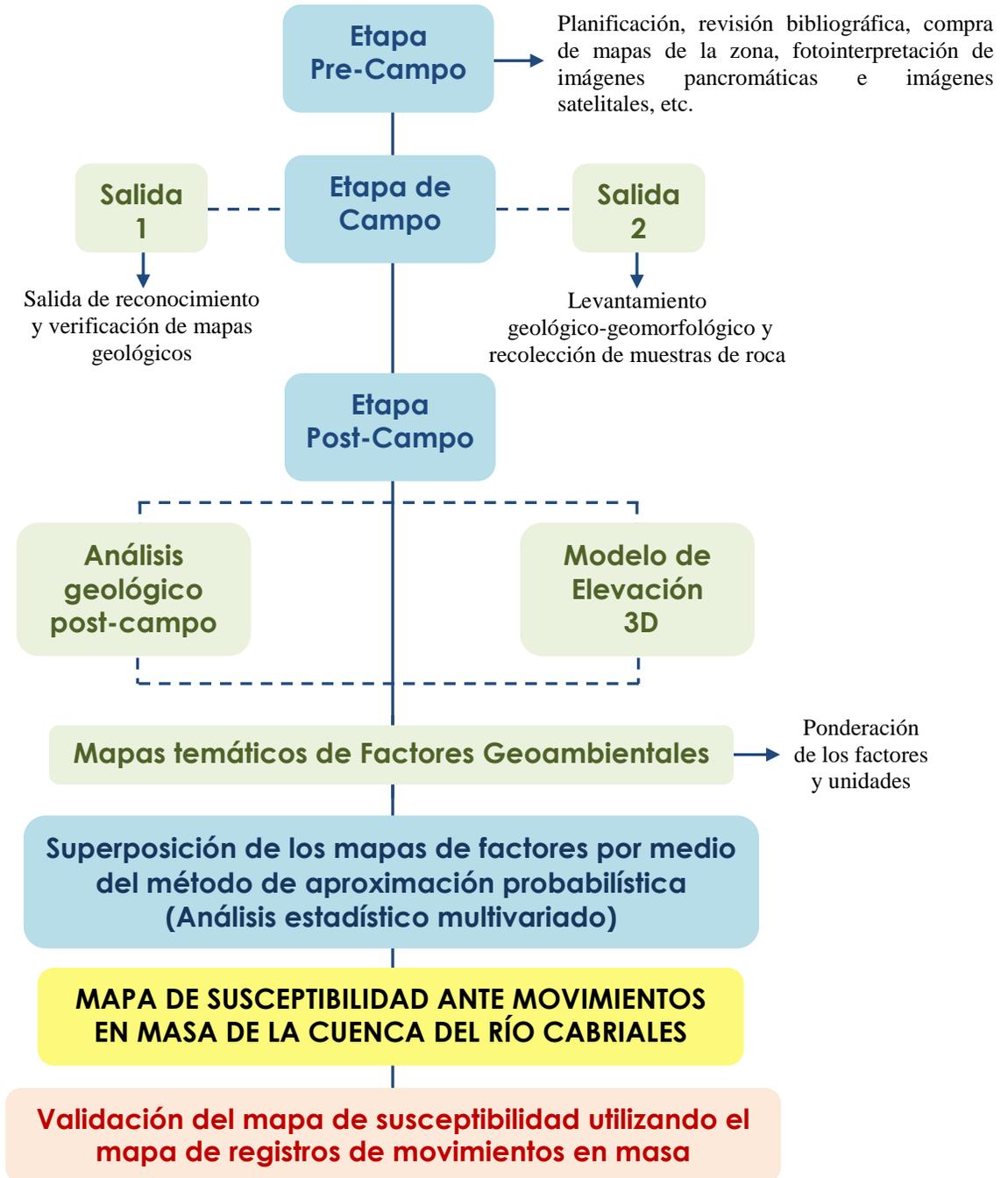


Figura 19. Esquema metodológico experimental.



ETAPA DE PRE-CAMPO

La fase de pre-campo se basó en la recolección, recopilación, procesamiento y análisis de toda información referente al área de estudio, como lo son: informes, tesis de grado y publicaciones previas; de los cuales se obtuvo información acerca de la geología regional y local, los estudios geotécnicos realizados (granulometría, límites de consistencia, entre otros), los datos del comportamiento hidrológico del área y la historia de ocurrencia de fenómenos naturales en la cuenca hidrográfica del Río Cabriales.

De igual manera se revisaron publicaciones científicas que permitieran obtener metodologías para la evaluación de susceptibilidades ante movimientos en masa en cuencas similares. Dentro las publicaciones revisadas valen resaltar las investigaciones de Irigaray (2002), Nuñez y Villacorta (2006) y Suarez (2009), las cuales proporcionaron información sobre los métodos para la evaluación de susceptibilidades ante remociones en masa y permitieron proponer el modelo adecuado para el estudio de la cuenca del Río Cabriales.

A esto se le sumó la interpretación y digitalización de las cartas topográficas y geológicas a escala 1:25.000, la fotointerpretación de fotografías aéreas de misiones antiguas y recientes a escala 1:25.000, para determinar la evolución de los procesos dinámicos. Todo ello con la finalidad de generar un mapa de inventario, con límites de zona, vías de acceso, límites de formaciones geológicas y cualquier otro rasgo que se considerara necesario resaltar para su comprobación en campo.

ETAPA DE CAMPO

La siguiente etapa consistió en el reconocimiento e identificación (en el área de estudio) de las distintas variables geológicas, geotécnicas y geomorfológicas existentes; para de esta manera, afianzar la información recopilada en la primera etapa y poder determinar los estudios más factibles, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la presente investigación. Para ello, se programaron dos salidas de campo, la primera salida se desarrolló durante una semana (04–12/08/2009) y la segunda en aproximadamente 3 semanas (14/08/2009–02/09/2009).

La primera etapa de campo comprendió el reconocimiento de la zona de estudio, determinación de los accesos más favorables, ubicación de las distintas formaciones geológicas y la respectiva verificación de los distintos procesos de geodinámica superficial presentes en la zona de estudio (cuenca del Río Cabriales).

En la segunda etapa, se realizó un levantamiento geológico detallado del área de estudio, que se caracterizó por la aplicación de las técnicas de campo convencionales, como: descripción litológica, recolección de muestras de roca de las distintas formaciones geológicas que afloran en el área, mediciones detalladas de las diversas estructuras geológicas (diaclasas, fallas, pliegues, foliaciones) y de las laderas y taludes presentes, así como la evaluación del grado de meteorización de las rocas y la identificación y tipificación de procesos de geodinámica superficial que han afectado la zona, entre otros, los cuales determinan las características más resaltantes de los macizos rocosos distribuidos por el toda el área que cubre la cuenca hidrográfica del Río Cabriales. Toda la información obtenida se resumió en plantillas de campo, como la que se muestra en la Figura 20.

ETAPA DE POST-CAMPO

La presente etapa del esquema metodológico comprendió – a modo general – 3 fases de estudio, como son: el análisis geológico post-campo, la generación de mapas temáticos y por último, la aplicación del método de aproximación probabilística para el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa (método estadístico multivariado).

Análisis Geológico Post-Campo

El análisis geológico post-campo incluyó el análisis de la *descripción geológica de los macizos rocosos* y el *análisis de estabilidad de los mismos*.

La descripción geológica de los afloramientos rocosos (resumida en las plantillas de campo) permitió evaluar las propiedades geológicas más importantes de los mismos; entre las que destacan: litología, grado de meteorización, densidad de fracturas y resistencia de la roca intacta.

Así mismo – en vista de que los macizos rocosos pertenecientes a la cuenca del Río Cabriales se hallan fuertemente deformados, principalmente como resultado de una tectónica activa, la cual se evidencia por las fallas geológicas de tendencia EO que atraviesan toda el área, y por las fracturas o planos de discontinuidad que han modificado la estructura y resistencia de los materiales – se llevó a cabo el análisis de estabilidad de los macizos rocosos, de manera de obtener una visión general de la firmeza de los macizos. Esto se realizó por medio de la representación estereográfica de los planos de discontinuidad presentes en los afloramientos, utilizando el software *StereoNett* y por medio de la evaluación de la calidad de los macizos rocosos según la clasificación R.Q.D. de Deere (1964).

Modelo Digital de Elevación 3D

A partir de los mapas topográficos de la zona de estudio y su digitalización a través del software de Sistemas de Información Geográfico, ArcGIS 9.3, se creó el Modelo de Elevación 3D (MED) de la zona de estudio, el cual conjuntamente con las observaciones de campo y los estudios previos permitió evaluar de una manera práctica y fiable los factores geoambientales asociados a la inestabilidad de los macizos rocosos. Todo ello con la finalidad de evaluar que factores – concretamente – influyen en la dinámica de los movimientos en masa de la región.

Mapas temáticos de factores geoambientales

Una vez determinados los factores geoambientales involucrados en los procesos de remoción en masa, se generaron los mapas temáticos correspondientes a cada factor (Mapa de Pendiente, Mapa Geológico-Estructural, Mapa de Zonificación Geotécnica, Mapa de Estabilidad Cinemática, Mapa de Unidades Geomorfológicas y Mapa de Cobertura Vegetal) a escala 1:25.000 y en digital, por medio de la utilización del software ArcGIS 9.3 (software de Sistemas de Información Geográfico), al cual se le procesaron los datos obtenidos tanto en las labores de campo como en publicaciones científicas previas.

El mapa de pendiente y el mapa de estabilidad cinemática (a diferencia del resto de los mapas) fueron generados a partir del Modelo Digital de Elevación 3D y con un tamaño de celda (resolución) de 5 x 5; en el caso del mapa de estabilidad cinemática el Modelo Digital de Elevación 3D se utilizó para generar el mapa de orientación de laderas, el cual posteriormente con las consideraciones de las medidas de las estructuras geológicas presentes y la fointerpretación, permitió obtener el mapa de estabilidad cinemática del terreno. El resto de los mapas temáticos fueron generados por medio de la digitalización y vectorización de imágenes de mapas previos y también se trabajaron con una resolución de 5 x 5.

Determinación del peso (ponderación) de los factores geoambientales en función de su capacidad para generar movimientos en masa

Para la ponderación de los factores geoambientales involucrados en la susceptibilidad de los terrenos ante movimientos en masa (pendiente del terreno, geológico-estructural, geotecnia, estabilidad cinemática, geomorfología y cobertura vegetal), se ha utilizado el método de jerarquías analíticas propuesto por Saaty (1980). Con este procedimiento se establece una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas está definido el número de atributos de las variables (clases) a ponderar. El resultado es una matriz de comparación entre pares de clases, en la que se observa la importancia de cada una de ellas sobre cada una de los demás (a_{ij}) (Tabla 4), posteriormente se determina el eigenvector principal, que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos (w_{ij}) (Tabla 5), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty, 1980; Barredo, 1996; Saaty, 1997).

El eigenvector principal (EP) conviene normalizarse para así obtener el vector de prioridades (EPN). El procedimiento usado en esta aplicación, sigue lo expuesto por Barredo (1996) y consiste, en obtener primero los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, del siguiente modo, $Na_{11} = a_{11} / \sum a_{1j}$, así el valor normalizado para cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor (a_{ij}) y el valor de la sumatoria de cada columna.

Posteriormente, los valores normalizados se suman por filas, obteniendo así el eigenvector principal, el cual según Voogd (1983) se normaliza dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre n (número de factores), resultando de esta manera el eigenvector principal normalizado (EPN) que representa los pesos (w_j) de cada factor.

Tabla 4. Método de jerarquías analíticas para asignación de valor o pesos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES					EIGENVECTOR PRINCIPAL
FACTORES	A	B	C	D	
A	a_{AA}	a_{AB}	a_{AC}	a_{AD}	e_A
B	a_{BA}	a_{BB}	a_{BC}	a_{BD}	e_B
C	a_{CA}	a_{CB}	a_{CC}	a_{CD}	e_C
D	a_{DA}	a_{DB}	a_{DC}	a_{DD}	e_D

Tabla 5. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}).

(Asignación de importancia a cada par de factores)

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
EXTREMA BAJA	MUY BAJA	BAJA	MEDIA BAJA	IGUAL	MEDIA ALTA	ALTA	MUY ALTA	EXTREMA ALTA

La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}) es una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida por Saaty (1980), entendiéndose como extremadamente menos importante (1/9) hasta extremadamente más importante (9), indicando el valor 1 de igualdad en la importancia entre pares de factores, como se puede observar en Barredo (1996). Así mismo se pueden utilizar valores pares (2, 4, 6, 8) para identificar relaciones que representan valores de consenso entre dos juicios (Saaty, 1997).

Luego de la obtención y normalización del vector de los pesos, es imprescindible obtener una medida cuantitativa acerca de la consistencia en la asignación de los juicios de valor. El índice que ofrece este procedimiento para el cálculo de la consistencia es la *razón de consistencia (c.r.)*, el cual se establece a partir del cociente entre el valor del índice de consistencia (c.i.) y el índice aleatorio (r.i.).

$C.R. = C.I. / R.I.$

$C.I. = \frac{\text{Eigenvalor máximo} - n}{n - 1}$

R.I. = Valor asignado según el orden de la matriz.

Donde n: es el número de factores evaluados.

Autores como Barredo (1996), indican que para valores de c.r. mayores o iguales a 0,10, los juicios de valor deben ser revisados, ya que no son lo suficientemente consistentes para establecer los pesos (W_j); por el contrario, si el c.r. es inferior a 0,10; se pueden, considerar satisfactorios los juicios de valor asignados.

Tabla 6. Matriz de jerarquías analíticas de los factores geoambientales involucrados en la susceptibilidad ante movimientos en masas de la cuenca del Río Cabriales.

Factores Geoambientales	Pendiente	Geológico Estructural	Geotecnia	Estabilidad Cinemática	Geomorfología	Cobertura Vegetal
Pendiente	1	5	5	5	7	9
Geológico Estructural	1/5	1	1	1	3	5
Geotecnia	1/5	1	1	1	3	5
Estabilidad Cinemática	1/5	1	1	1	3	5
Geomorfología	1/7	1/3	1/3	1/3	1	3
Cobertura Vegetal	1/9	1/5	1/5	1/5	1/3	1

Tabla 7. Obtención y normalización del peso correspondiente a cada factor geoambiental (C.R.=0,05).

Factores Geoambientales (normalizado)	Pendiente	Geológico estructural	Geomorfología	Geotecnia	Cobertura Vegetal	Estabilidad Cinemática	EP	EPN (Peso)
Pendiente	0,539	0,586	0,586	0,404	0,321	0,586	3,02	0,50
Geológico Estructural	0,108	0,117	0,117	0,173	0,179	0,117	0,81	0,14
Geotecnia	0,108	0,117	0,117	0,173	0,179	0,117	0,81	0,14
Estabilidad Cinemática	0,108	0,117	0,117	0,173	0,179	0,117	0,81	0,14
Geomorfología	0,077	0,039	0,039	0,058	0,107	0,039	0,36	0,06
Cobertura Vegetal	0,060	0,023	0,023	0,019	0,036	0,023	0,19	0,03

Tabla 8. Ponderaciones finales asignadas a los distintos factores geoambientales.

Factor Geoambiental	Ponderación (%)
Pendiente	50,4
Geológico-Estructural	13,5
Geotecnia	13,5
Estabilidad Cinemática	13,5
Geomorfología	6,0
Cobertura Vegetal	3,1

Determinación del peso de las unidades (correspondientes a cada factor geoambiental) en función de su susceptibilidad ante movimientos en masa

La asignación del peso de las unidades correspondientes a cada factor geoambiental se realizó en función de sus propiedades evaluadas en campo, así como en función de lo reportado en la literatura para unidades similares (Suarez, 2009; INGEOMIN, 2008; Nuñez y Villacorta, 2006; INGEOMINAS, 2002; González y Lima, 2001; etc.) en una escala del 0 al 2; donde el valor 2 se le asigna a la unidad con mayor capacidad para generar movimientos en masa y el 0 a la unidad con menor capacidad para generarlos (Tabla 9).

Tabla 9. Pesos asignados a las unidades geoambientales (variables) en función de su capacidad para generar movimientos en masa.

Unidades de Pendiente	Peso
Nula/muy baja (0% – 33%)	0,4
Baja (35% - 56%)	0,8
Moderada (58% - 77%)	1,2
Empinada (79% – 100%)	1,7
Muy Empinada (> 100%)	2,0
Unidad Geológico-estructural	Peso
Gneis Cabriales (Pzgc)	1,4
Esquisto San Julián (Pzsj)	1,6
Mármol (Klmmcl)	1,6
Esquisto Brisas (Jlb)	1,7
Esquisto Mercedes (Klm)	1,8
Serpentinitas (Tos)	1,8
Conos Aluviales (Qca)	2,0
Aluvión (Qa)	2,0
Unidades Geotécnicas	Peso
Zona IV (rocas)	1,4
Zona III (Suelos residuales)	1,6
Zona II (CL - ML)	1,9
Zona I (SP - SM)	2,0
Unidades Geomorfológicas	Peso
Valle (Valle aluvio-fluvial)	0,1
Penillanura	0,2
Terrazas altas	1,0
Colinas Altas	1,2
Montaña (Media Montaña)	1,4
Unidades de Cobertura vegetal	Peso
Urbana/Vegetación escasa	2,0
Plantaciones Agropecuarias y Forestales	1,6
Sabana Abierta (Herbácea > Arbórea/Arbustiva)	1,4
Sabana Arbolada (Arbórea/Arbustiva > Herbácea)	1,0
Bosque	0,8
Unidades de Estabilidad Cinemática	Peso
Muy Inestable	2,0
Inestable	1,6

Estable	1,2
Muy Estable	0,8

Aplicación del método de aproximación probabilística para la integración de los mapas temáticos de factores geoambientales (método estadístico multivariado)

De los estudios previos, se generaron unos mapas de factores geoambientales ponderados, los cuales fueron integrados y superpuestos por medio de la aplicación de un *método estadístico multivariado para la evaluación de la susceptibilidad ante movimientos en masa* utilizando el S.I.G. ArcGIS 9.3, el cual se utiliza como una herramienta rápida de dibujo y superposición cuantitativo-espacial de datos.

El método para la evaluación de susceptibilidad ante movimientos en masa utilizado en el presente trabajo, resulta de la modificación e integración de los métodos estadísticos multivariados (*análisis factorial de correspondencia*) propuestos por Nuñez y Villacorta (2006), Irigaray (2002) e IDEAM (2002), puesto que dichos autores (separadamente) consideraron algunas variables geoambientales que no resultan aplicables a la zona de estudio (ya sea por su ausencia o falta de data) y no tomaron en cuenta otras que sí resultan de gran importancia para la zona en cuestión. En vista de ello, se eliminaron algunas variables y se agregaron otras que representan variables de mayor valor en el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales. Obteniéndose la siguiente expresión algebraica:

$$SMM = \frac{\sum SP(PP) + \sum SG(PG) + \sum SG_t(PG_t) + \sum SE(PE) + \sum SG_m(PG_m) + \sum SV(PV)}{NF}$$

Donde:

SMM = susceptibilidad ante movimientos en masa.

$\sum SP$ = sumatoria de susceptibilidades de la variable pendiente.

$\sum SG$ = sumatoria de susceptibilidades de la variable geológico-estructural.



ΣSE = sumatoria de susceptibilidades de la variable estabilidad cinemática.

ΣSG_t = sumatoria de susceptibilidades de la variable geotecnia.

ΣSG_m = sumatoria de susceptibilidades de la variable geomorfología.

ΣSV = sumatoria de susceptibilidades de la variable cobertura vegetal.

PP = ponderación del factor pendiente.

PG = ponderación del factor geológico-estructural.

PG_t = ponderación del factor geotecnia.

PG_t = ponderación del factor estabilidad cinemática.

PG_m = ponderación del factor geomorfología.

PV = ponderación del factor cobertura vegetal.

NF = número de factores.

Dicha expresión fue procesada a través del software ArcGIS 9.3 con la finalidad de generar un mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa, producto de la superposición espacial de los mapas de factores geoambientales ponderados.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

RESULTADOS

A continuación se presentarán los resultados derivados de los diversos análisis propuestos por el esquema metodológico del siguiente proyecto, como son:

- ✓ *Análisis geológico post-campo* (Descripción geológica de los afloramientos de roca y estudio de estabilidad de los macizos rocosos).

- ✓ *Modelo digital de elevación 3D*

- ✓ *Mapas temáticos de factores geoambientales* (Mapa de Pendiente, Mapa Geológico-Estructural, Mapa de Zonificación Geotécnica, Mapa de Estabilidad Cinemática, Mapa de Unidades Geomorfológicas y Mapa de Cobertura Vegetal).

- ✓ *Mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa* (Superposición de los mapas temáticos de factores geoambientales para la obtención del mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales).

ANÁLISIS GEOLÓGICO POST-CAMPO

El siguiente apartado expondrá la descripción geológica de los afloramientos de roca estudiados en campo, así como el estudio de estabilidad de los macizos rocosos.

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LOS AFLORAMIENTOS

A continuación se mostrarán las características geológicas más importantes (resumidas en las plantillas de campo) de algunos de los afloramientos estudiados. El resto de las plantillas pueden ser observadas en el apéndice-1.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 1	ALTITUD	512 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1137487	AGUAS :	ARR	<input checked="" type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/>
	E:	607146	MARGEN:	IZQ	<input checked="" type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Gneis del Cabriales		
COLOR F.:	Gris blanzuco	COLOR M.:	Marrón claro
DESCRIPCION:	Afloramiento de Gneis del Cabriales (gneis feldespático de grano medio) que se presenta como un remanente erosivo en la planicie sedimentaria del Valle de Valencia. Esta pequeña ladera se encuentra en el sector “Las Viviendas”. Naguanagua-Carabobo.		

MUESTRA 1:	---	ORIENTACIÓN:	---	SEGÚN:	---
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN	N30W	INCLINACIÓN	≈ 65 °
LADERA	<input checked="" type="checkbox"/>	ALTURA	12 m	LONGITUD	≈ 56 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/>	INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input checked="" type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N65E	BUZAMIENTO	59 S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N25W	28 S	1:3	≈33cm	≈ 1 m	≈6mm	E.L.	---
Plano 2	N40E	36 S	1:4	≈25cm	≈ 60cm	≈5mm	O.L.	---
Plano 3	N76E	60 N	1:3	≈30cm	≈ 50cm	≈5mm	O.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N30W	Foto del afloramiento.
02	N30W	Zoom del afloramiento.



Figura 21. Remanente erosivo del Gneis del Cabriales en el sector “Las Viviendas”.



Figura 22. Zoom del afloramiento del Gneis del Cabriales.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 2	ALTITUD	510 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1136059		AGUAS:	ARR <input checked="" type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/>
	E:	609347		MARGEN:	IZQ <input type="checkbox"/> DER <input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Gneis del Cabriales		
COLOR F.:	Gris blancuzco	COLOR M.:	Marrón claro
DESCRIPCION:	Afloramiento de Gneis del Cabriales (gneis feldespático de grano medio) que se halla en contacto (N41E/39 S) con el Esquisto de Las Brisas. Esta ladera se encuentra en las adyacencias de la U.C., a unos 350 m de la construcción del Aula Magna-UC. Valencia-Carabobo.		

MUESTRA 1:	CRC-05	ORIENTACIÓN:	N46E	SEGÚN:	Carretera
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN	N22W	INCLINACIÓN	≈ 73 °
LADERA	<input checked="" type="checkbox"/>	ALTURA	16 m	LONGITUD	≈ 22 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/>	INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input checked="" type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N51E	BUZAMIENTO	52 S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N74E	63 N	1:3	≈33cm	≈ 4 m	≈5cm	E.L.	cuarzo
Plano 2	N70E	36 S	1:2	≈58cm	≈ 2,5 m	≈6cm	O.L.	---
Plano 3	N68E	89 N	1:5	≈20cm	≈ 1,7 m	≈5cm	O.R.	cuarzo
Plano 4	N65E	44 S	1:4	≈24cm	≈ 2,1 m	≈3cm	O.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N42E	Foto del contacto.
02	S39W	Foto de los bloques erráticos.
03	N50E	Foto de bloques erráticos del esquisto las brisas.
04	S17W	Foto de Gigantesco bloque errático en la U.C.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 2	ALTITUD	510 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1136059	AGUAS :	ARR	<input checked="" type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/>
	E:	609347	MARGEN:	IZQ <input type="checkbox"/>	DER <input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de Las Brisas		
COLOR F.:	Verde blancuzco	COLOR M.:	Amarillo roizco
DESCRIPCION:	Afloramiento de Esquisto Las Brisas (Esquisto cuarzo-micáceo) que se halla en contacto (N41E/39 S) con el Gneis del Cabriales. Esta ladera se encuentra en las adyacencias de la U.C., a unos 350 m de la construcción del Aula Magna-UC. Valencia-Carabobo.		

MUESTRA 1:	CRC-10	ORIENTACIÓN:	N68E	SEGÚN:	Carretera
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input type="checkbox"/>	ORIENTACION	N22W	INCLINACION	≈ 73 °
LADERA	<input checked="" type="checkbox"/>	ALTURA	16 m	LONGITUD	≈ 22 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/>	INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input checked="" type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N51E	BUZAMIENTO	52 S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N74E	63 N	1:3	≈33cm	≈ 4 m	≈5cm	E.L.	cuarzo
Plano 2	N70E	36 S	1:2	≈58cm	≈ 2,5 m	≈6cm	E.L.	---
Plano 3	N68E	89 N	1:5	≈20cm	≈ 1,7 m	≈5cm	E.R.	---
Plano 4	N65E	44 S	1:4	≈24cm	≈ 2,1 m	≈3cm	E.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N42E	Foto del contacto.
02	S39W	Foto de los bloques erráticos.
03	N50E	Foto de bloques erráticos del esquisto las brisas.
04	S17W	Foto de Gigantesco bloque errático en la U.C.



Figura 23. Contacto Gneis del Cabriales y Esquisto Las Brisas.



Figura 24. Cantos rodados del Gneis del Cabriales en las adyacencias de la U.C.



Figura 25. Bloques erráticos del Esquisto Las Brisas.



Figura 26. Bloques erráticos del Gneis del Cabriales.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 3	ALTITUD	506 m.s.n.m
COORDENADAS:	N: 1133088	AGUAS :	ARR <input checked="" type="checkbox"/>	ABA	<input type="checkbox"/>
	E: 606659	MARGEN:	IZQ <input checked="" type="checkbox"/>	DER	<input type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de San Julián	
COLOR F.:	Gris claro	COLOR M.: Marrón rojizo
DESCRIPCION:	Afloramiento de Esquisto San Julián (Esquisto cuarzo-micáceo granatífero) que se halla considerablemente meteorizado. Este talud se encuentra en la ladera oeste del Valle de Valencia, en Naguanagua – Carabobo.	

MUESTRA 1:	CRC-15	ORIENTACIÓN:	N21W	SEGÚN:	Carretera
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input type="checkbox"/>	ORIENTACION	S53E	INCLINACION	≈ 68°
LADERA	<input checked="" type="checkbox"/>	ALTURA	3,5 m	LONGITUD	≈ 7m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/>	INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N68E	BUZAMIENTO	61S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N08E	73 S	1:3	≈8cm	≈ 30cm	≈3mm	E.L.	---
Plano 2	N02W	62 S	1:4	≈12cm	≈ 25cm	≈3mm	E.L.	---
Plano 3	N05W	54 S	1:3	≈12cm	≈ 35cm	≈2mm	E.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N06E	Foto del esquisto granatífero.
02	---	Muestra de mano del Esquisto San Julián

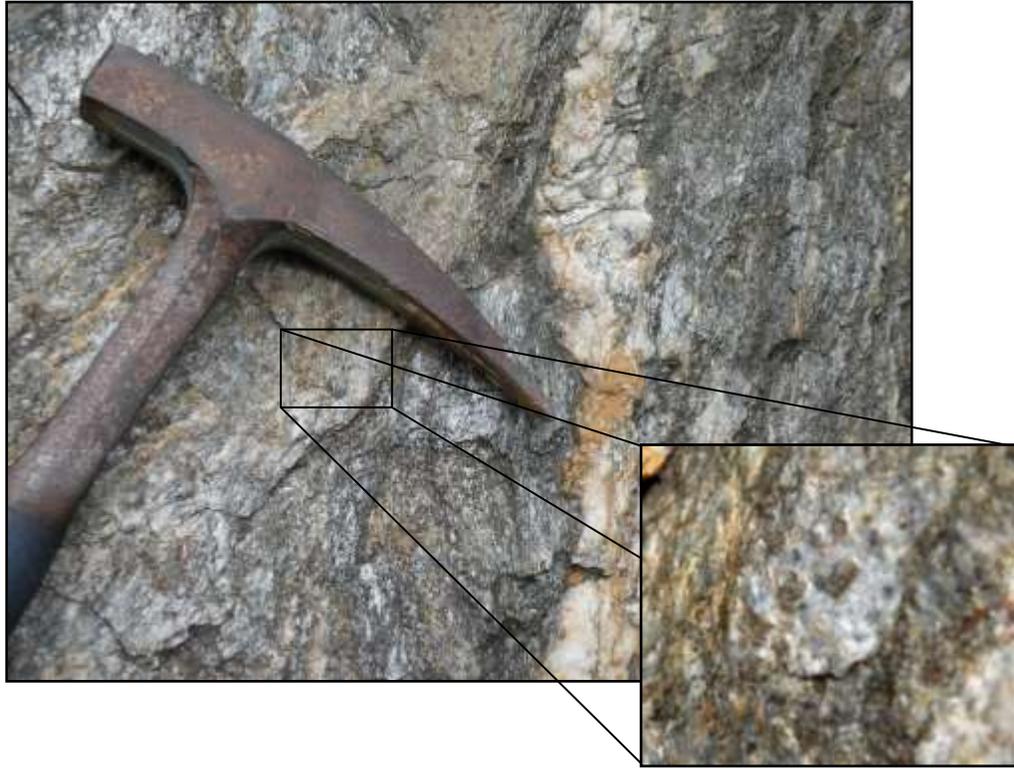


Figura 27. Esquisto granatífero San Julián.



Figura 28. Muestra de mano del Esquisto San Julián.



**ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA
DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES, VALENCIA – ESTADO CARABOBO**



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 4	ALTITUD	562 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1131051	AGUAS :	ARR	<input checked="" type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/>
	E:	606735	MARGEN:	IZQ	<input checked="" type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de Las Mercedes		
COLOR F.:	Gris Oscuro	COLOR M.:	Marrón rojizo
DESCRIPCION:	Afloramiento de Esquisto Las Mercedes (Esquisto calcáreo grafitoso) que se halla completamente meteorizado. Este talud se encuentra en las adyacencias del Polígono de Tiro de Valencia-Carabobo, a unos 200 m de las canchas de tiro.		

MUESTRA 1:	CRC-20	ORIENTACIÓN:	N25W	SEGÚN:	Carretera
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input checked="" type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN	S56E	INCLINACIÓN	≈ 86 °
LADERA	<input type="checkbox"/>	ALTURA	4,5m	LONGITUD	≈ 6m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input checked="" type="checkbox"/>		

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION RUMBO BUZAMIENTO

FALLA RUMBO BUZAMIENTO

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N04E	74 S	1:15	≈8cm	≈ 60cm	≈3mm	E.L.	---
Plano 2	N07W	48 S	1:10	≈12cm	≈ 40cm	≈3mm	E.L.	---
Plano 3	N02W	62 S	1:6	≈20cm	≈ 55cm	≈2mm	O.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N25W	Foto del afloramiento vista al norte.
02	S30W	Diaclasamiento en el Esquisto Las Mercedes.



Figura 29. Afloramiento del Esquisto Las Mercedes en el Polígono de Tiro de Valencia.



Figura 30. Diaclasamiento en el Esquisto Las Mercedes.



**ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA
DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES, VALENCIA – ESTADO CARABOBO**



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 8	ALTITUD	492 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1127672		AGUAS:	ARR <input type="checkbox"/> ABA <input checked="" type="checkbox"/>
	E:	609516		MARGEN:	IZQ <input type="checkbox"/> DER <input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Mármol de la Asociación Metasedimentaria Caracas		
COLOR F.:	Gris claro	COLOR M.:	Marrón
DESCRIPCION:	Afloramiento de Mármol que se halla considerablemente diaclasado y foliado. Esta ladera se encuentra en las adyacencias de la Calle 120, a unos 100 m del Distribuidor Cemento Carabobo en Valencia, estado Carabobo.		

MUESTRA 1:	CRC-25	ORIENTACIÓN:	N10W	SEGÚN:	Carretera
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN N86E	INCLINACIÓN ≈ 68°
LADERA	<input checked="" type="checkbox"/>	ALTURA 7 m	LONGITUD ≈ 18 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	
	VEG. ESCASA	DEFORESTADA PARA CULTIVO
	VEG. ABUNDANTE	VEG MODERADA <input checked="" type="checkbox"/>

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N80E	BUZAMIENTO	89 S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N18W	48 S	1:3	≈30cm	≈ 1 m	≈5mm	O.L.	calcita
Plano 2	N16W	88 S	1:5	≈20cm	≈ 80 cm	≈2mm	O.L.	calcita
Plano 3	N08W	70 S	1:3	≈30cm	≈ 50 cm	≈2mm	O.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	S16E	Foto del afloramiento.
02	S10E	Foto del afloramiento.



Figura 31. Afloramiento de mármol en las adyacencias de la Calle 120.



Figura 32. Evidencia de plegamiento en el afloramiento de mármol de la Calle 120.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 9	ALTITUD	492 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1127703	AGUAS :	ARR	ABA <input checked="" type="checkbox"/>
	E:	609535	MARGEN:	IZQ	DER <input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA: Mármol de la Asociación Metasedimentaria Caracas

COLOR F.: Gris claro COLOR M.: Marrón

DESCRIPCION:
Afloramiento de Mármol que se halla en contacto (N75E/86N) con el Esquisto Las Brisas. Este talud se encuentra en las adyacencias de la Calle 120, a unos 150 m del Distribuidor Cemento Carabobo en Valencia, estado Carabobo.

MUESTRA 1: --- ORIENTACIÓN: --- SEGÚN: ---

MUESTRA 2: ORIENTACIÓN: SEGÚN:

TALUD ORIENTACIÓN N81E INCLINACIÓN ≈ 80°

LADERA ALTURA 9 m LONGITUD ≈ 15 m

TERRAPLEN TOMADO DESDE ZONA: SUPERIOR INFERIOR

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION RUMBO N66E BUZAMIENTO 66 S

FALLA RUMBO --- BUZAMIENTO ---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N03E	77 N	1:5	≈20cm	≈ 1 m	≈5mm	O.L.	qz-cal
Plano 2	N80E	59 S	1:3	≈35cm	≈ 80cm	≈3mm	O.L.	calcita
Plano 3	N25W	32 N	1:6	≈12cm	≈ 1 m	≈2mm	O.L.	calcita

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N16E	Foto del afloramiento.
02	N02W	Foto del afloramiento.



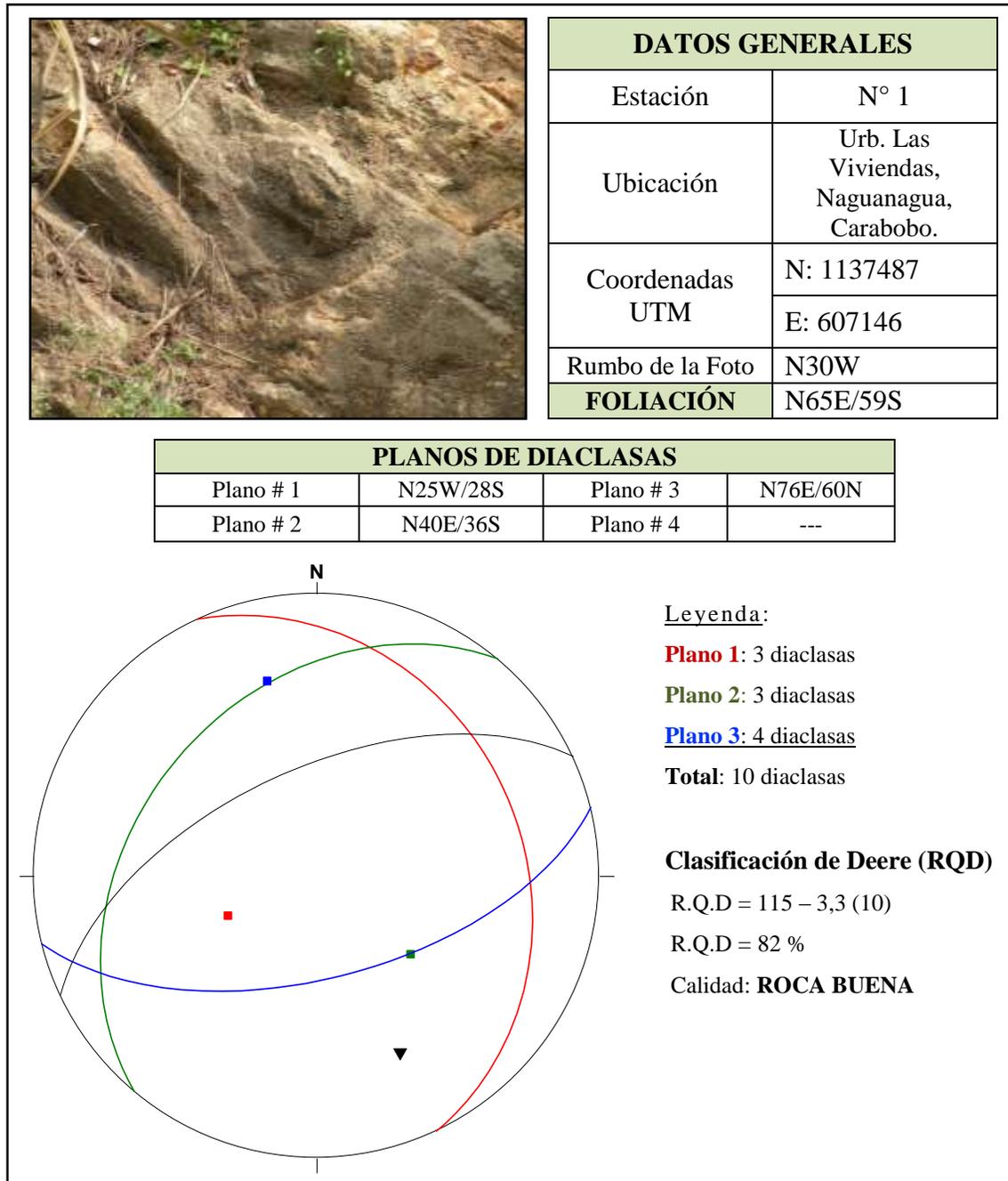
Figura 33. Contacto del Esquisto Las Brisas y el Mármol.

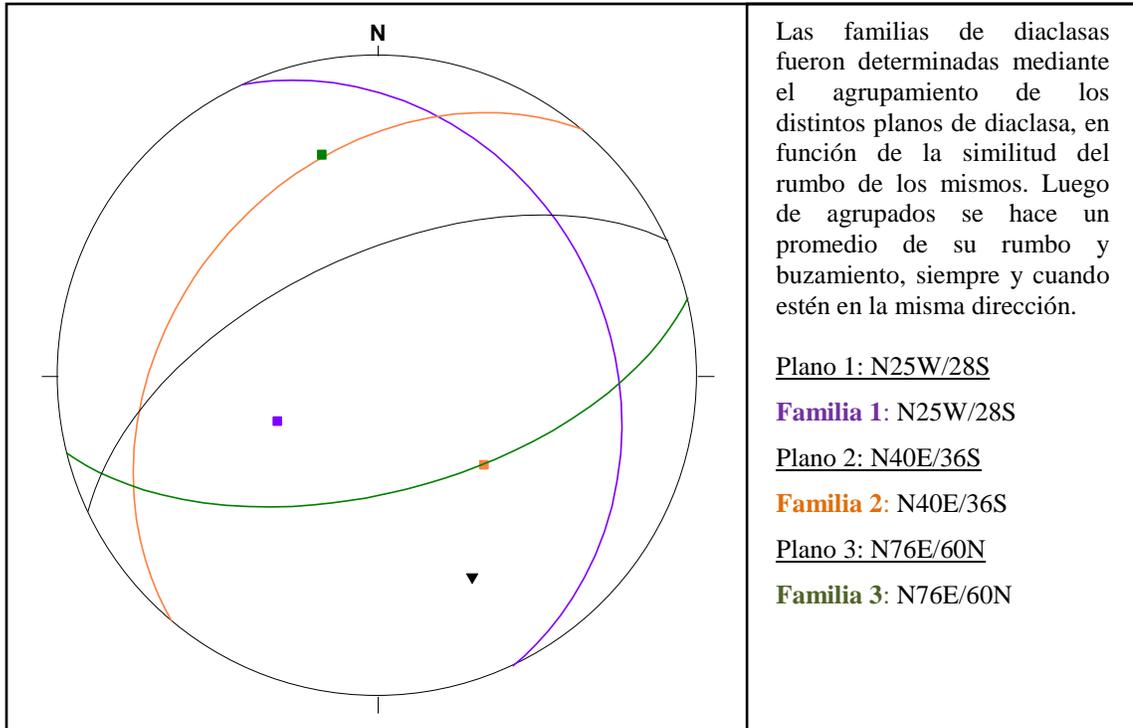


Figura 34. Vista panorámica del contacto Esquisto Las Brisas y el Mármol.

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LOS MACIZOS ROCOSOS

A continuación se mostrarán algunos de los estereogramas generados a partir de las estructuras geológicas correspondientes a los afloramientos estudiados, así como la respectiva Clasificación de Deere (R.Q.D) de dichos afloramientos. El resto de los estereogramas pueden ser observados en el apéndice-2.





ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N35W, con una inclinación de 63°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N08E, con una inclinación de 64°.

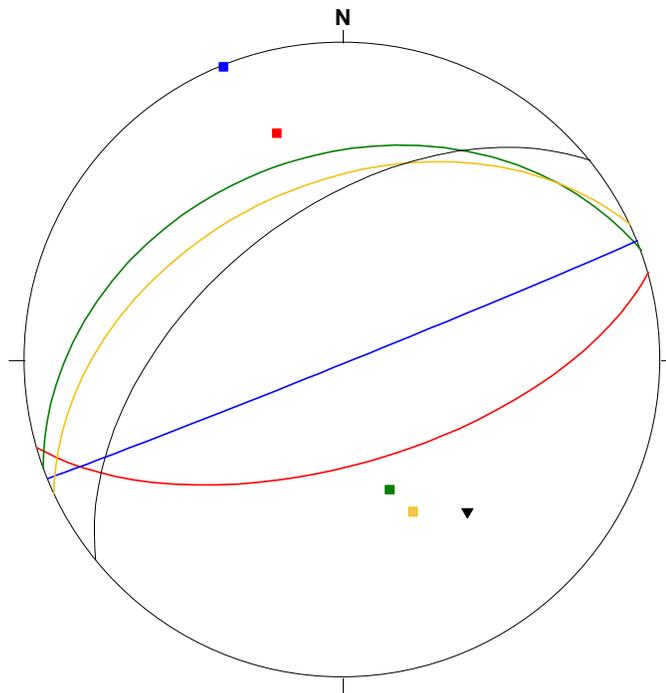
Dirección del plano común (foliación-familia3) = N19E, con una inclinación de 81°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 2
Ubicación	Universidad de Carabobo (cerca de la nueva Aula Magna)
Coordenadas UTM	N: 1136059
	E: 609347
Rumbo de la Foto	N42E
FOLIACIÓN	N51E/52S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N74E/63N	Plano # 3	N68E/89N
Plano # 2	N70E/36S	Plano # 4	N65E/44S



Leyenda:

- Plano 1:** 3 diaclasas
- Plano 2:** 2 diaclasas
- Plano 3:** 5 diaclasas
- Plano 4:** 4 diaclasas

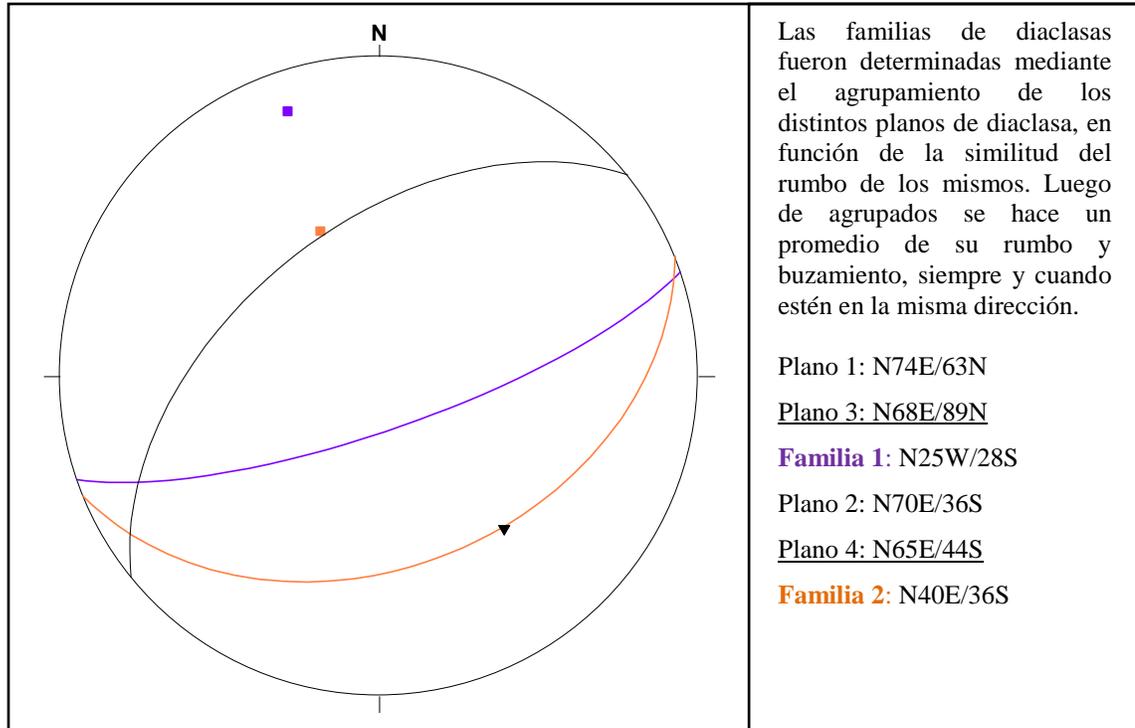
Total: 14 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

$$R.Q.D = 115 - 3,3 (14)$$

$$R.Q.D = 69 \%$$

Calidad: **ROCA REGULAR**



ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N23E, con una inclinación de 71°.

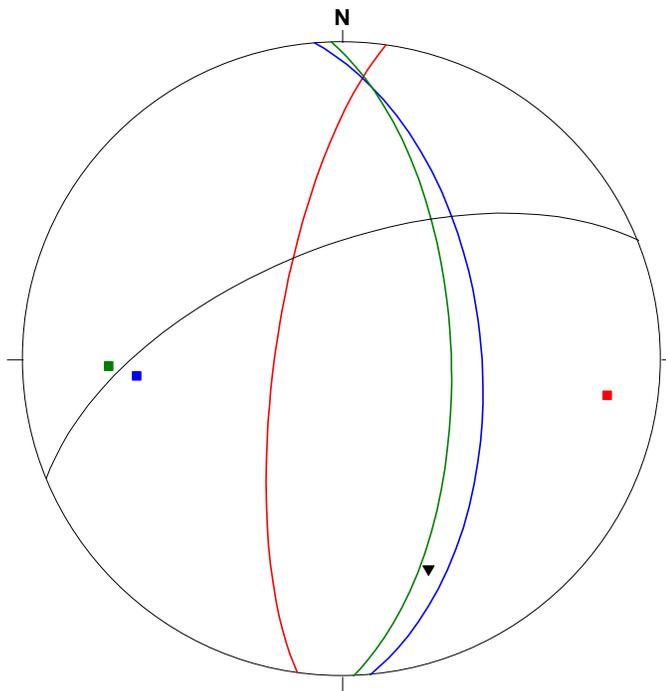
Dirección del plano común (foliación-familia2) = N32E, con una inclinación de 81°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 3
Ubicación	En las adyacencias de la Urb. Terrazas de Paramacay
Coordenadas UTM	N: 1133088
	E: 606659
Rumbo de la Foto	N06E
FOLIACIÓN	N68E/61S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N08E/73S	Plano # 3	N05W/54S
Plano # 2	N02W/62S	Plano # 4	---



Leyenda:

Plano 1: 3 diaclasas

Plano 2: 4 diaclasas

Plano 3: 3 diaclasas

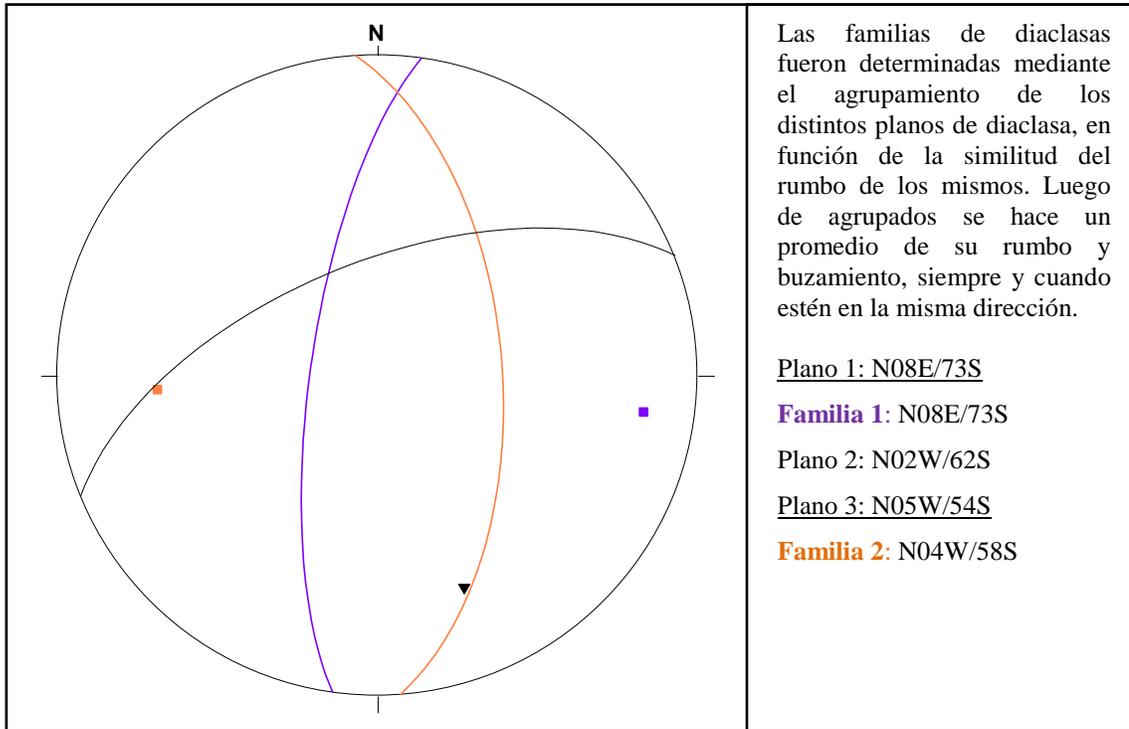
Total: 10 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

R.Q.D = $115 - 3,3 (10)$

R.Q.D = 82 %

Calidad: **ROCA BUENA**



ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

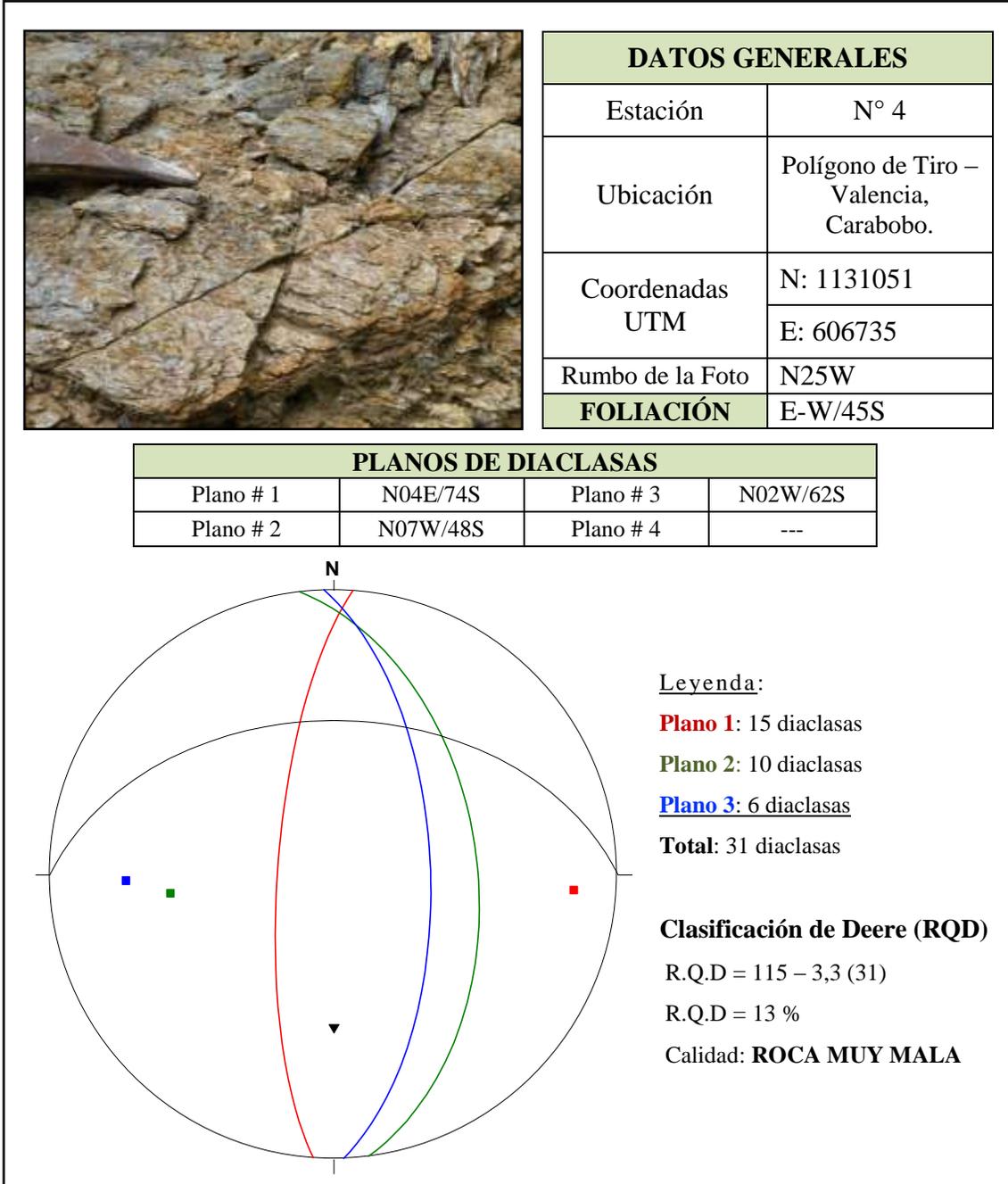
Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

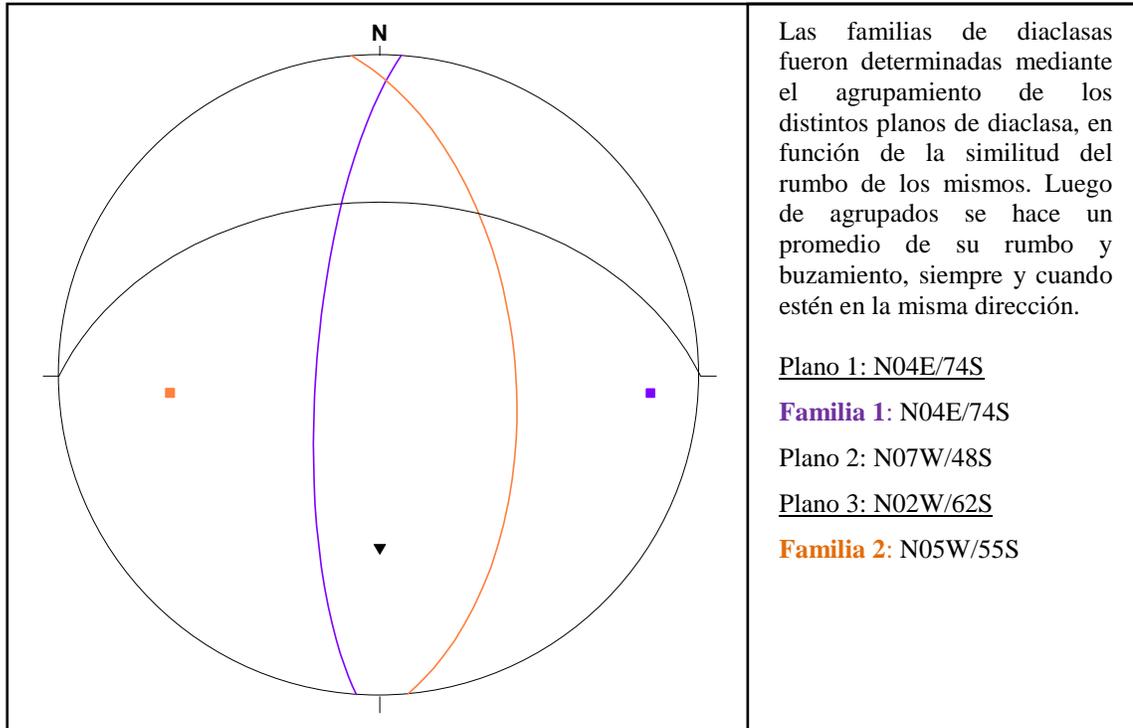
Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N25E, con una inclinación de 29°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N56E, con una inclinación de 45°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.





ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

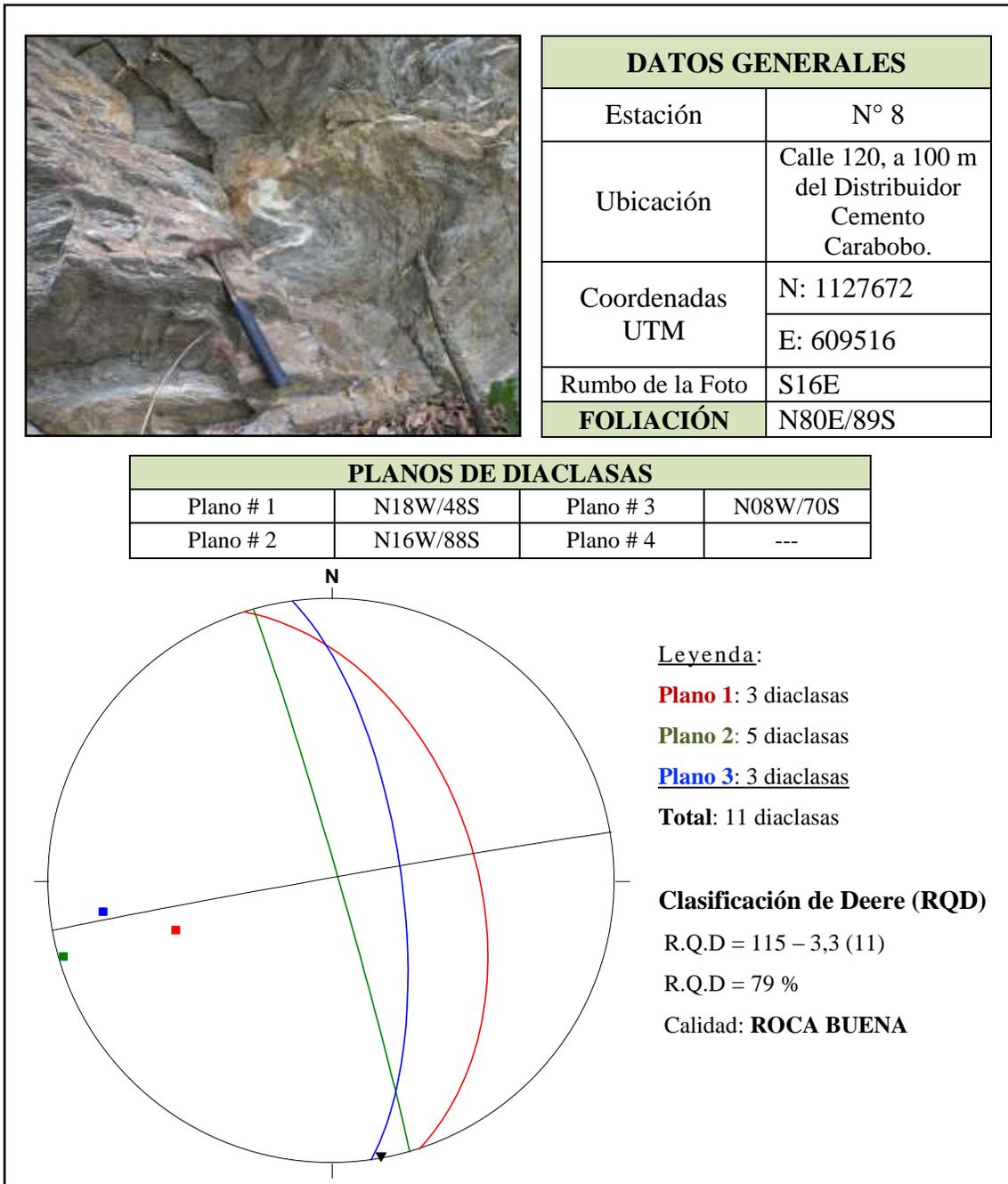
Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

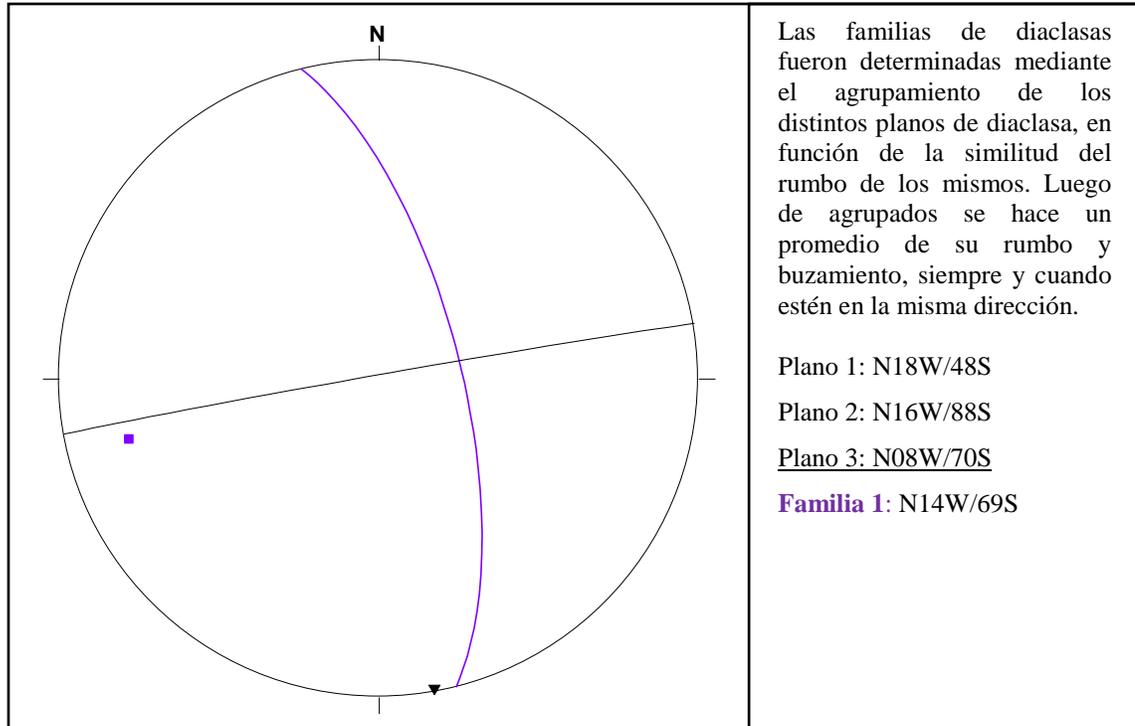
Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N13E, con una inclinación de 46°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N58W, con una inclinación de 50°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.





ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo plana, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (plana):

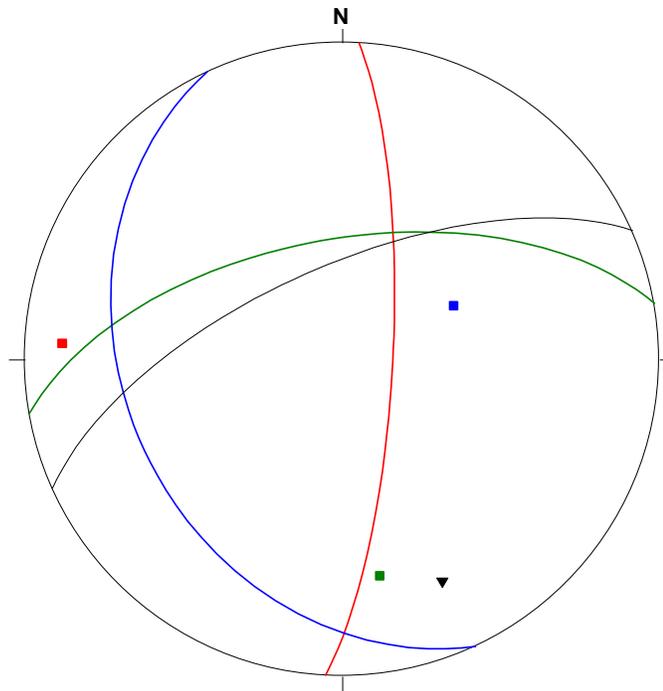
Dirección del plano común (foliación-familia1) = N14W, con una inclinación de 21°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 9
Ubicación	Calle 120, a 150 m del Distribuidor Cemento Carabobo.
Coordenadas UTM	N: 1127703
	E: 609535
Rumbo de la Foto	N02W
FOLIACIÓN	N66E/66S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N03E/77N	Plano # 3	N25W/32N
Plano # 2	N80E/59S	Plano # 4	---



Leyenda:

Plano 1: 5 diaclasas

Plano 2: 3 diaclasas

Plano 3: 6 diaclasas

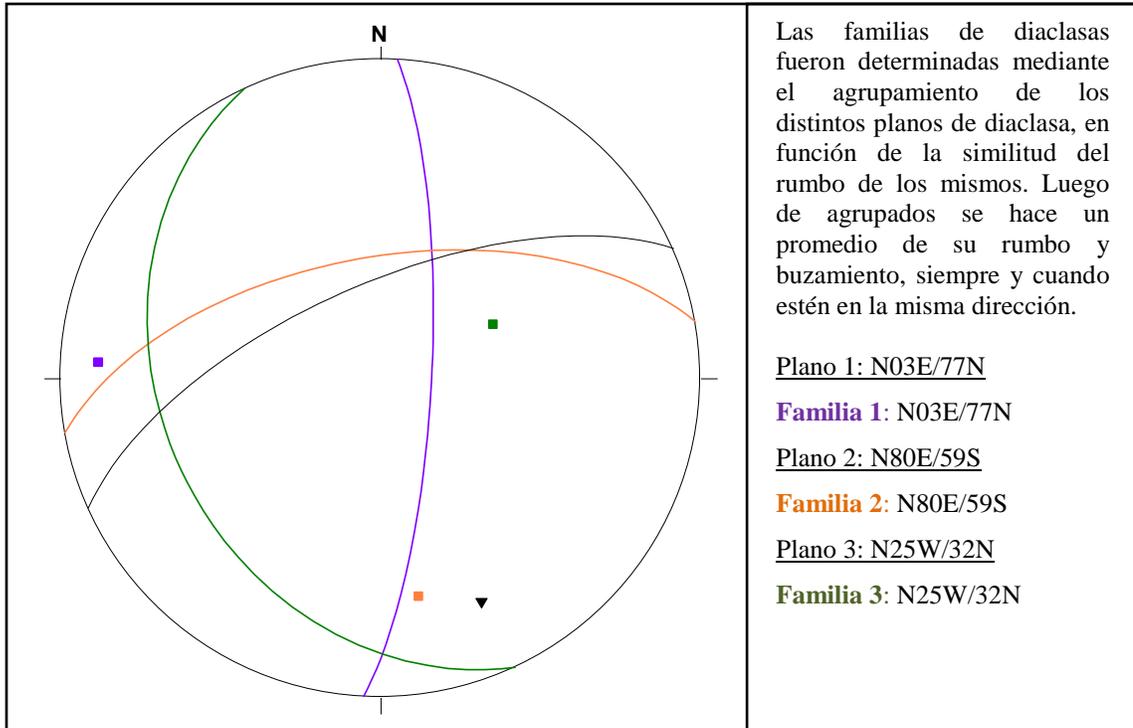
Total: 14 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

$$R.Q.D = 115 - 3,3 (14)$$

$$R.Q.D = 69 \%$$

Calidad: **ROCA REGULAR**



ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N67E, con una inclinación de 34°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N52E, con una inclinación de 40°.

Dirección del plano común (foliación-familia3) = N09W, con una inclinación de 59°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 3D

A partir del mapa topográfico (en formato digital) se procedió a construir el Modelo Digital de Elevación 3D de la cuenca del Río Cabriales, utilizando la novedosa herramienta de Sistemas de Información Geográfico ArcGIS 9.3.

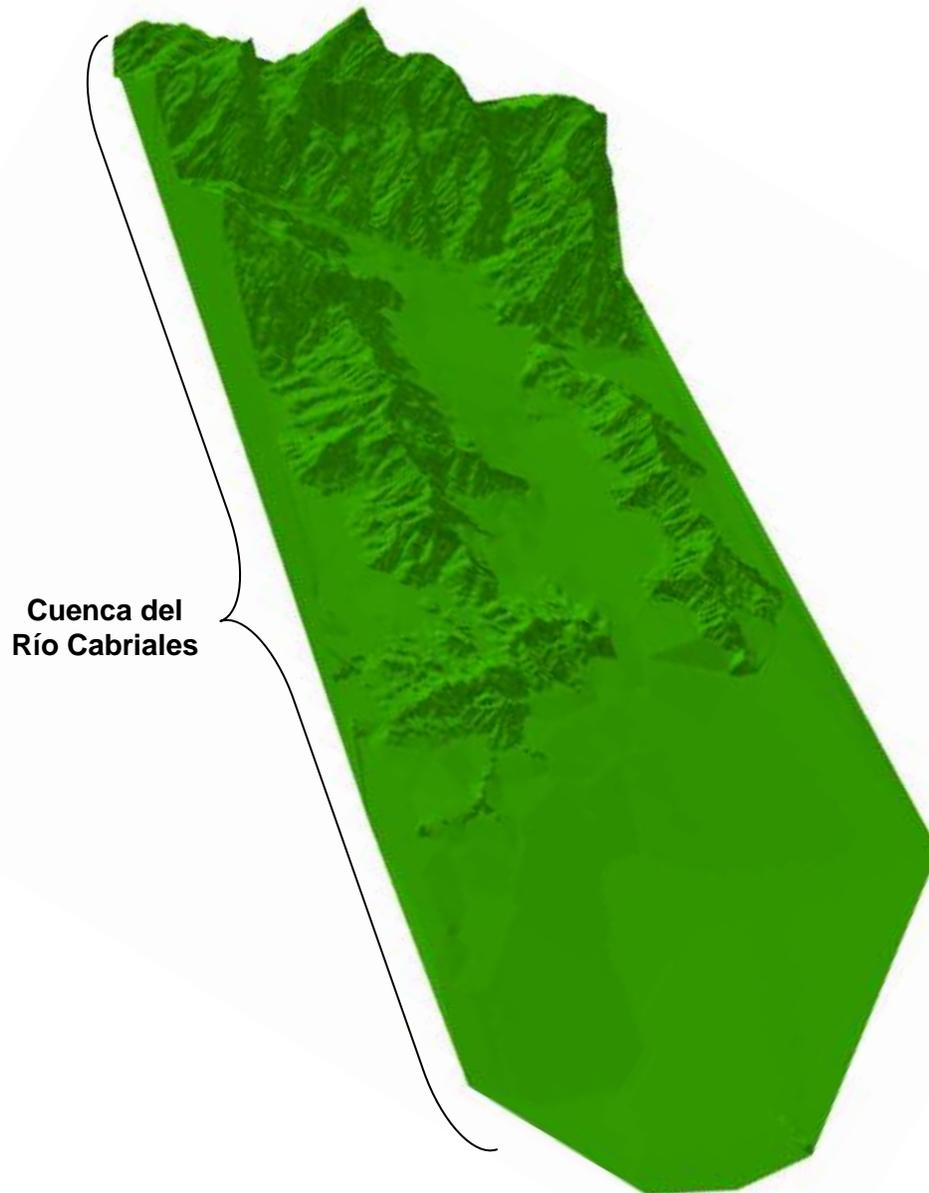


Figura 35. Modelo digital de elevación 3D (TIN).

MODELO DE ELEVACIÓN EN PLANTA (TIN)

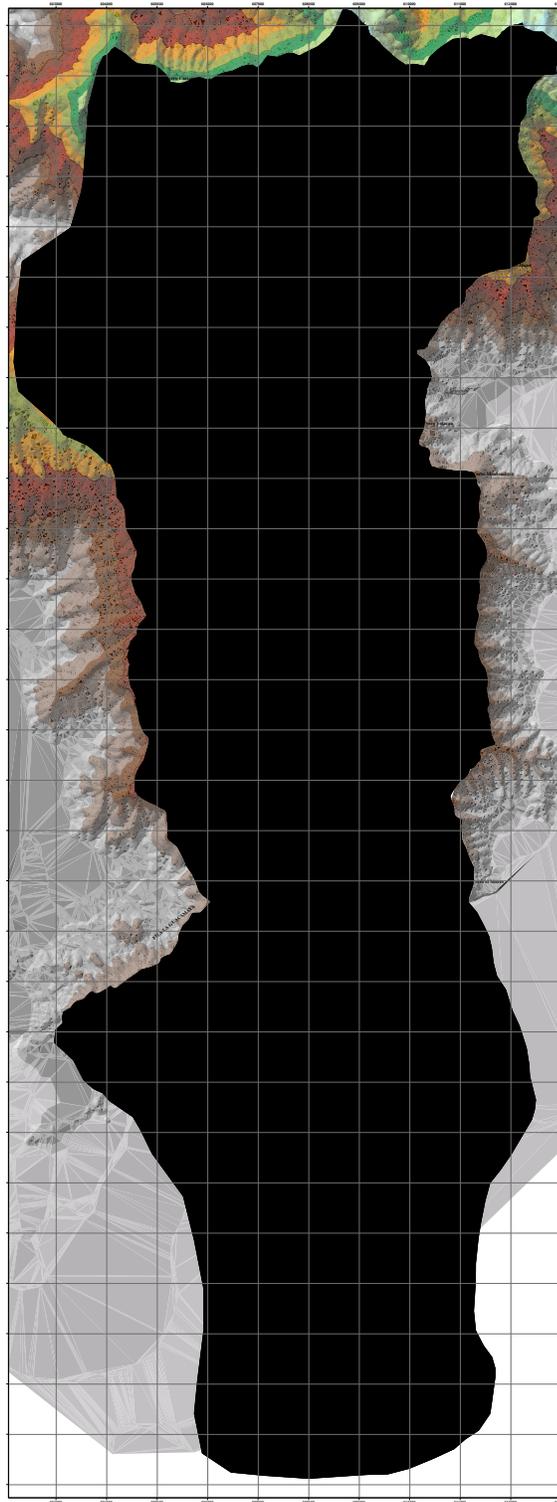


Figura 36. Modelo de elevación en planta (TIN).



MAPAS TEMÁTICOS DE FACTORES GEOAMBIENTALES

El siguiente apartado mostrará los mapas temáticos de los diversos factores geoambientales involucrados en la susceptibilidad de los movimientos en masa en la cuenca del Río Cabriales.

Estos mapas son:

- ✓ Mapa de Pendiente.
- ✓ Mapa Geológico-Estructural.
- ✓ Mapa de Zonificación Geotécnica.
- ✓ Mapa de Estabilidad Cinemática.
- ✓ Mapa de Unidades Geomorfológicas.
- ✓ Mapa de Cobertura Vegetal.

MAPA DE PENDIENTE

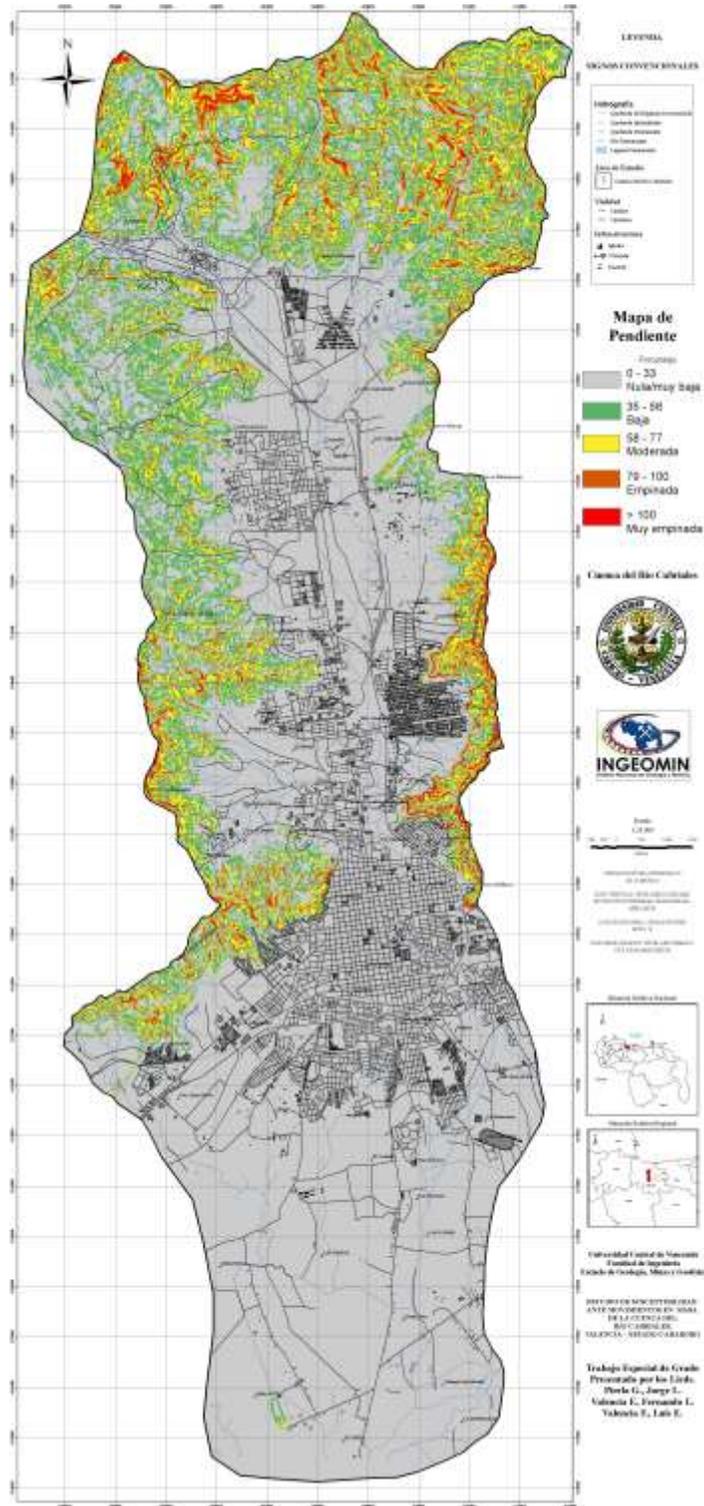


Figura 37. Mapa de pendiente de la cuenca del Río Cabriales.

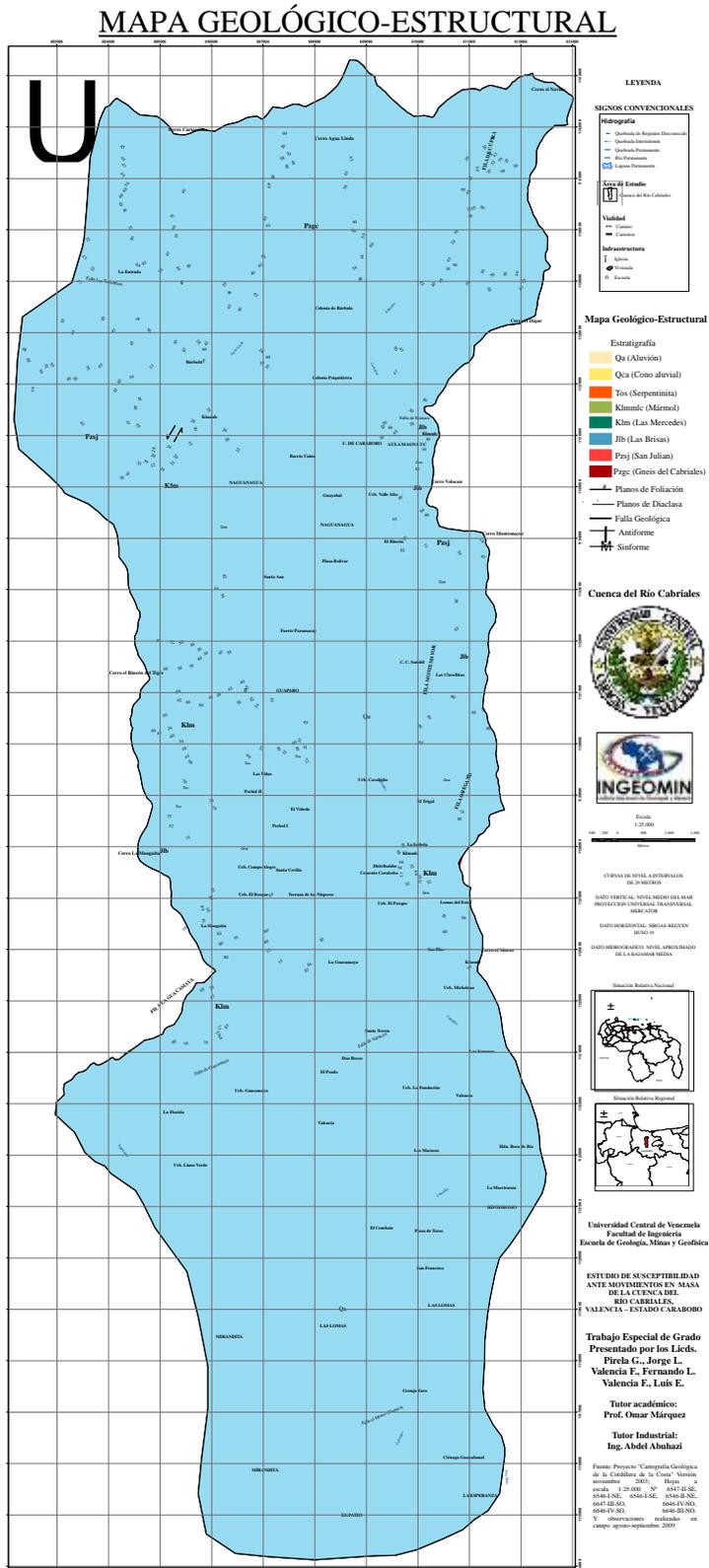


Figura 38. Mapa geológico-estructural de la cuenca del Río Cabriales (modificado de Urbani, 2003).

MAPA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

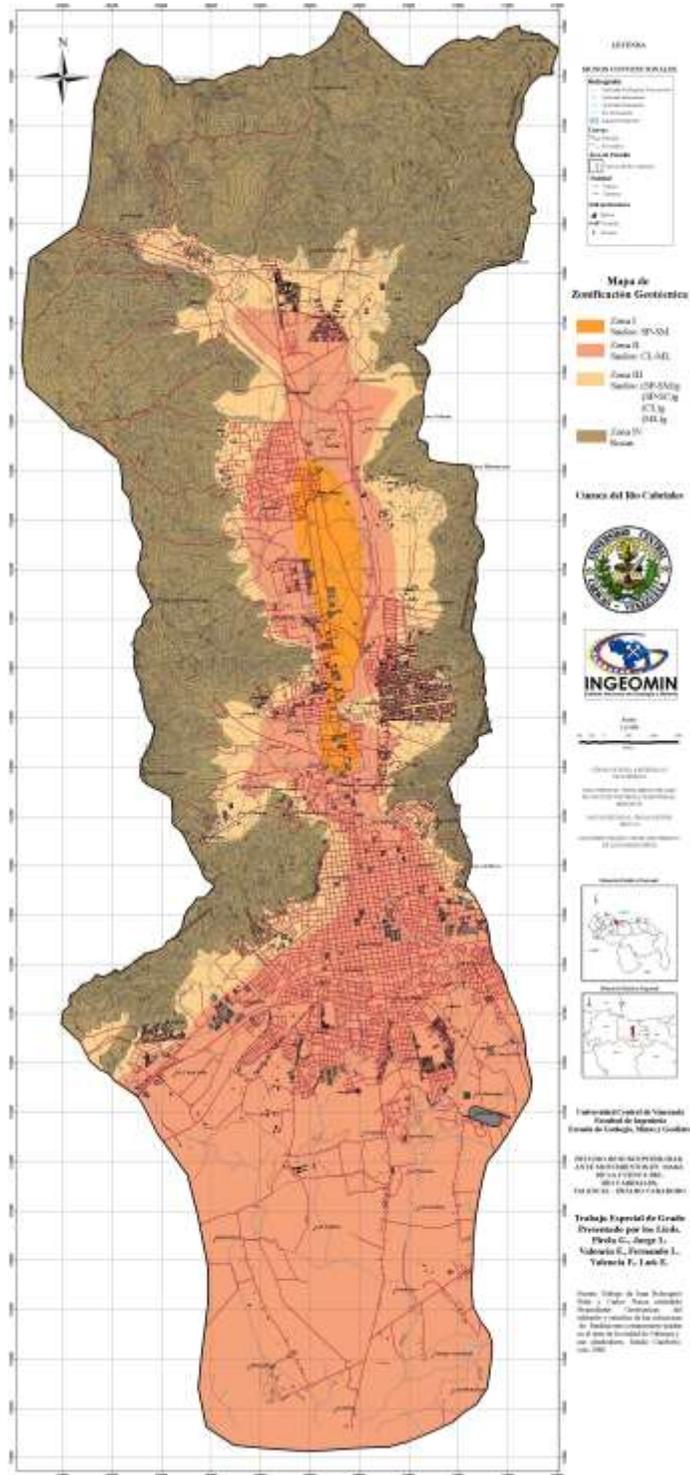


Figura 39. Mapa de zonificación geotécnica de la cuenca del Río Cabriales (modificado de Holmquist y Ponce, 1986).

MAPA DE ESTABILIDAD CINEMÁTICA

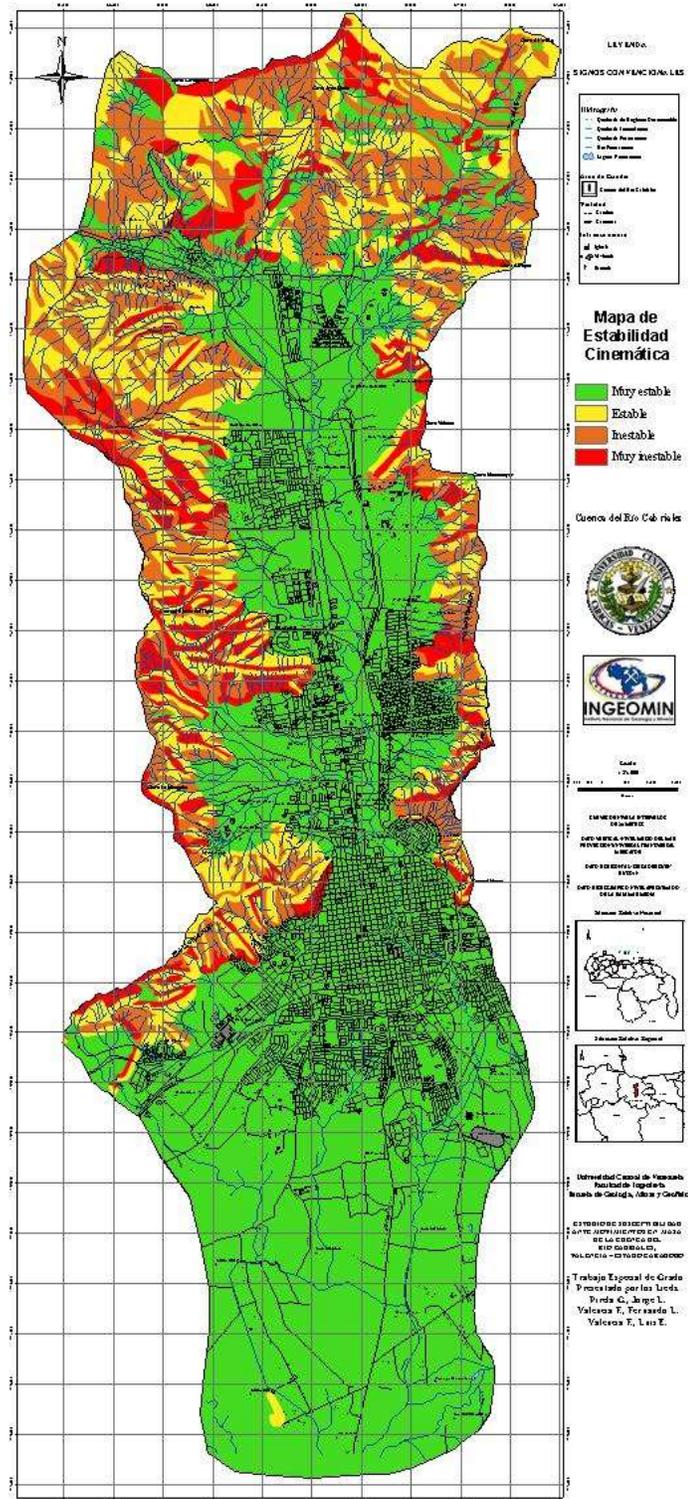


Figura 40. Mapa de estabilidad cinemática de la cuenca del Río Cabriales.

MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

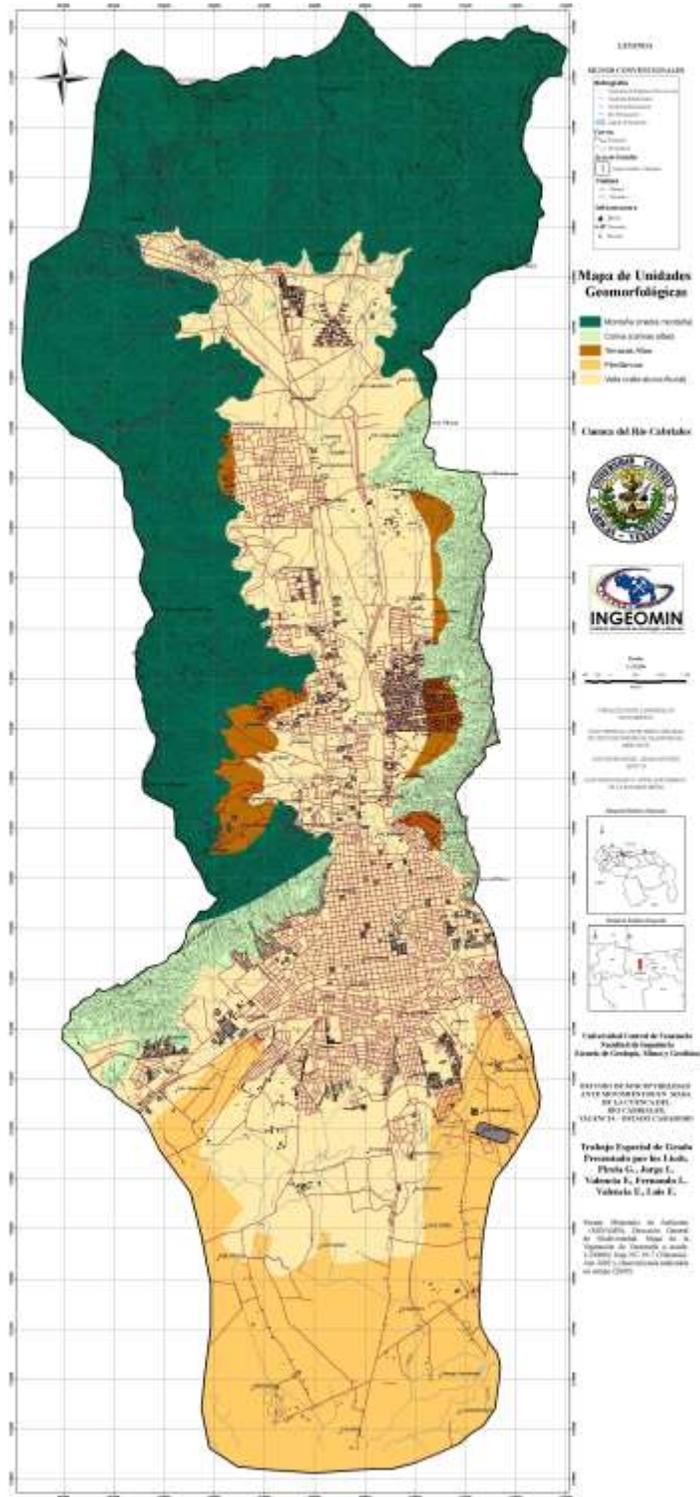


Figura 41. Mapa de unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Cabriales (modificado de MINAMB, 2003).



CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente apartado se procederá a realizar el análisis del mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales (Figura 43), el cual fue obtenido por medio de la superposición ponderada de los mapas temáticos de factores geoambientales que influyen en la generación de procesos de remoción en masa en la zona y posteriormente se validará dicho mapa en función de su comparación con el mapa de movimientos en masa registrados en la zona de estudio (Figura 44).

ANÁLISIS DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

El mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales muestra 5 categorías de susceptibilidad que vienen determinadas por la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa; éstas son:

Susceptibilidad Muy Baja: la categoría de susceptibilidad muy baja corresponde a las zonas de la cuenca del Río Cabriales que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 0 al 20 %, estas zonas se ubican a lo largo de toda la planicie del Valle de Valencia y en pequeñas zonas dentro de las laderas este y oeste del valle y de la fila maestra de la Cordillera de la Costa (como en el sector “La Entrada”).

Estas zonas presentan una susceptibilidad muy baja a nula, ya que en ella se hallan terrenos con pendientes muy bajas que oscilan entre los 0 a 22 %, litologías de carácter estable y un relieve relativo muy bajo a nulo (ya que es medido con respecto al fondo del valle), aunado a ello, esta zona no comprende macizos rocosos con debilidades estructurales que le puedan conferir cierta inestabilidad cinemática. Estas zonas de muy baja susceptibilidad comprenden el 70 % de la cuenca del Río Cabriales.



Susceptibilidad Baja: la categoría de susceptibilidad baja pertenece a las zonas de la cuenca del Río Cabriales que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 21 al 40 %, estas zonas se ubican mayoritariamente a lo largo de las regiones bajas de las laderas este y oeste del Valle de Valencia (como en el sector “El Rincón”) y en ciertas zonas de la fila maestra de la Cordillera de la Costa, así como en diversos sectores ubicados en las zonas altas de la ladera oeste.

Estas zonas presentan una susceptibilidad baja, ya que en ella se hallan terrenos con pendientes bajas que oscilan entre los 22 a 33 %, macizos rocosos y suelos residuales de carácter estable y un relieve relativo bajo, lo que le confiere una menor energía potencial, aunado a ello, esta zona comprende macizos rocosos con escasas debilidades estructurales que le confieren cierta estabilidad cinemática. Estas zonas de baja susceptibilidad abarcan aproximadamente un 10 % de la cuenca del Río Cabriales.

Susceptibilidad Moderada: la categoría de susceptibilidad moderada corresponde a las zonas de la cuenca del Río Cabriales que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 41 al 60 %, estas zonas se ubican mayormente a lo largo de las terrazas altas (conos aluviales) y el piedemonte de las laderas este y oeste del Valle de Valencia y de la fila maestra de la Cordillera de la Costa (como en el sector “Colonia de Bárbula”), así como en diversos sectores ubicados dentro de las zonas medias y altas de colinas y zonas montañosas.

Estas zonas presentan una susceptibilidad moderada, ya que son zonas que poseen pendientes moderadas que oscilan entre los 35 a 56 % y problemas geotécnicos de magnitud intermedia, se encuentran generalmente asociadas a las unidades de piedemonte y colinas de pendientes intermedias donde afloran rocas duras consistentes, con fracturas (mármoles, gneises, esquistos cuarzo-micáceos, etc.).

Son zonas moderadamente controlables con obras de ingeniería. En algunos sectores existen procesos incipientes asociados a deslizamientos, erosión hídrica, quienes están siendo acelerados por intervenciones correspondientes a movimientos de tierra y el intemperismo. Estas zonas de moderada susceptibilidad ante movimientos en masa abarcan aproximadamente el 9 % de la cuenca del Río Cabriales.

Susceptibilidad Alta: la categoría de susceptibilidad alta pertenece a las zonas de la cuenca del Río Cabriales que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 61 al 80 %, estas zonas se ubican mayormente a lo largo de las colinas y montañas ubicadas al norte, este y oeste de la planicie del Valle de Valencia, así como en diversos sectores ubicados dentro de las terrazas altas (conos aluviales).

Estas zonas presentan una susceptibilidad alta, ya que son zonas que poseen pendientes altas que oscilan entre los 58 a 100 % y problemas geotécnicos de magnitud considerable. En dichas zonas se ubica una elevada densificación de procesos geomorfológicos con tendencia a carcavamiento y colapsos a pie de talud, deslizamientos masivos de suelos residuales, formación de cárcavas profundas, erosión del material rocoso relacionada a profundización de los tributarios, alto diaclasamiento y formaciones rocosas de moderada a baja resistencia.

En los taludes con pendientes elevadas se manifiestan caídas de rocas, debido al fracturamiento profundo, además de la intervención antrópica que origina inestabilidad por socavamiento basal. Estas zonas de alta susceptibilidad abarcan aproximadamente el 5 % de la cuenca del Río Cabriales.

Susceptibilidad Muy Alta: la categoría de susceptibilidad muy alta corresponde a las zonas de la cuenca del Río Cabriales que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa mayores al 81 %, estas zonas se ubican mayormente en las zonas altas de las montañas y colinas presentes en la cuenca (como en el “Cerro La Manguita”, “Cerro Cariaprima” y “Fila Orégano”), así como en diversos sectores

ubicados dentro de las zonas medias a bajas de las laderas este y oeste del valle (laderas de las colinas y montañas).

Estas zonas presentan una susceptibilidad muy alta, ya que son zonas que poseen pendientes muy altas ($> 100 \%$) y problemas geotécnicos de magnitudes preocupantes. Estas zonas se encuentran asociadas a deslizamientos activos, compuestos y profundos, donde afloran litologías de carácter inestable. Aquí también se agrupan ciertos depósitos recientes (coluviones, aluviones, vestigios de terrazas, cono de acumulación, etc.), los cuales están sujetos a condiciones desencadenantes de movimientos en masa en casos de pluviosidad extrema.

Las presentes zonas son susceptibles a modificaciones geométricas importantes (cortes), incidencia de sismos de importancia, efectos de la escorrentía que facilitan la erosión y cambios de cauces en crecidas torrenciales. En general se observan deslizamientos masivos de suelos, fragilidad en cuanto a la denudación del material ante eventos hidrometeorológicos, elevado diaclasamiento de la roca, lo cuales son los principales responsables de procesos de caídas, volcamiento y fallamiento de tipo cuña en estado activo (apéndice-3). Estas zonas de muy alta susceptibilidad comprenden aproximadamente el 6 % de la cuenca del Río Cabriales.

VALIDACIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

Con la finalidad de evaluar que tan representativo y acertado es el mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales y la metodología empleada para su elaboración, se procedió a comparar detalladamente la sinergia y/o concordancia entre el mapa de susceptibilidad obtenido en el presente trabajo (Figura 43) y el mapa de movimientos en masa registrados en la cuenca (Figura 44).

Al observar ambos mapas es posible notar el alto grado de correspondencia entre las zonas de moderada, alta y muy alta susceptibilidad ante movimientos en masa y las zonas donde se han registrado movimientos en masa antiguos y recientes, según información proporcionada por el IAPCAD (2009); así mismo, se puede observar que en las zonas de baja y muy baja susceptibilidad ante movimientos en masa, no se observan registros relevantes de movimientos en masa sino más bien se caracteriza por la ausencia y/o registro escaso de movimientos en masa en la antigüedad. Estas zonas de alta susceptibilidad abarcan aproximadamente el 6 % de la cuenca del Río Cabriales.

El alto grado de correspondencia entre ambos mapas (mapa de susceptibilidad y mapa de registros) permite validar la metodología utilizada - en el presente trabajo - para la elaboración del mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa (análisis probabilístico multivariado), ya que caracteriza como zonas susceptibles o muy susceptibles a aquellas zonas donde juntamente han ocurrido movimientos en masa relevantes en el pasado. Todo ello sin integrar y/o superponer el mapa inventario de procesos geomorfológicos externos (mapa de registros) para la obtención del mapa de susceptibilidad, a diferencia del método estadístico bivariado; el cual calibra la susceptibilidad de las diversas unidades geoambientales en función de la densidad de movimientos en masas registrados en la mismas; lo que le confiere una considerable subjetividad y sesgo al estudio. Aunado a que no necesariamente donde haya ocurrido un movimiento en masa vaya a ocurrir otro movimiento en el futuro, ya que la zona afectada pudo haber alcanzado la estabilidad cinemática luego del movimiento.

Sumado a lo expuesto anteriormente, resulta válido acotar que todo mapa de susceptibilidad está sujeto a cambios durante ciertos lapsos de tiempo, ya que las unidades y factores geoambientales que le confieren esa determinada susceptibilidad pueden variar considerablemente; surtiendo efectos positivos o negativos en el grado de estabilidad del terreno. Por tal razón se le adjudica un tiempo de vida o tiempo de vencimiento de aproximadamente unos 50 años según Leroi (1996).

MAPA DE REGISTROS DE MOVIMIENTOS EN MASA

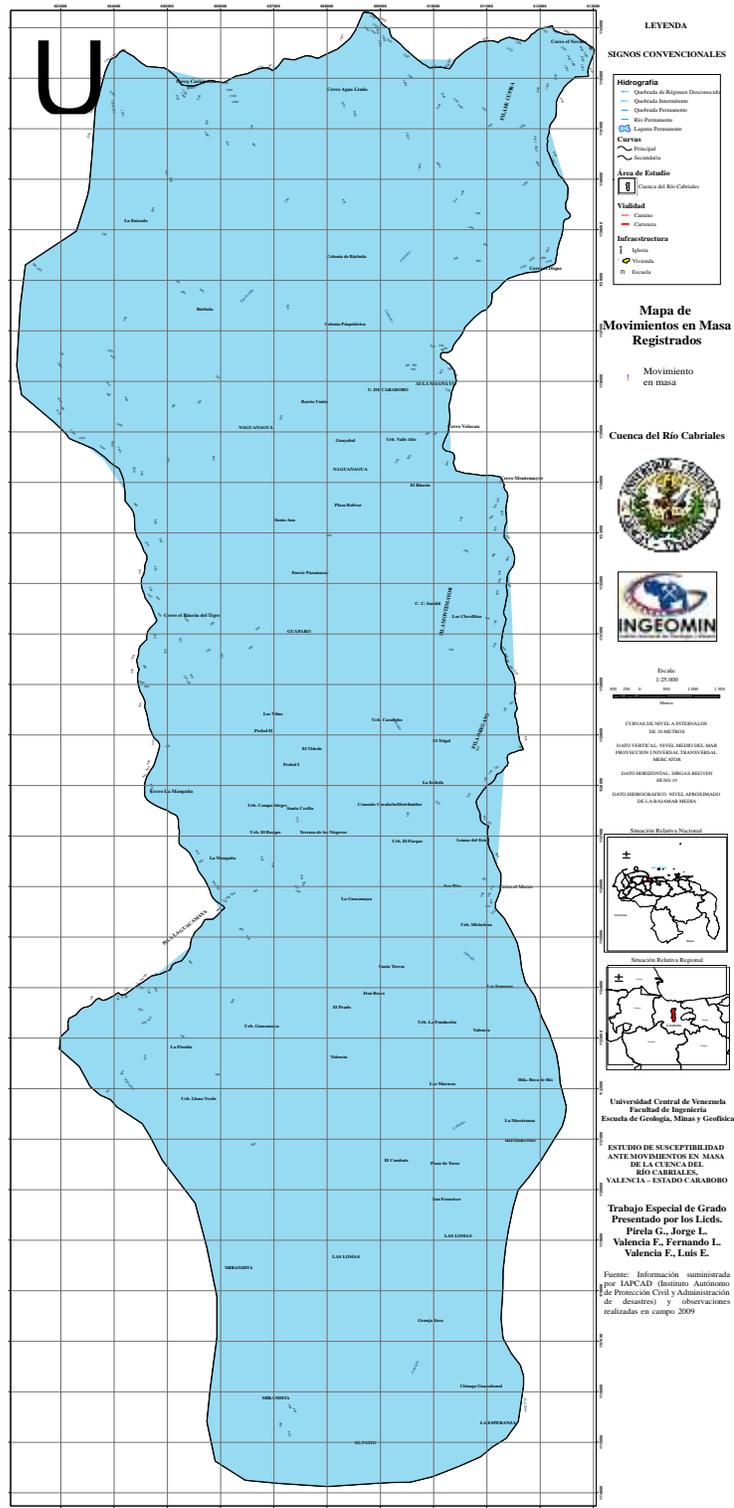


Figura 44. Mapa de registros de movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales (modificado de IAPCAD, 2009).



CONCLUSIONES

- La cuenca del Río Cabriales presenta mayoritariamente zonas de muy baja, baja y moderada susceptibilidad ante movimientos en masa.
- Las zonas de alta y muy alta susceptibilidad ante movimientos en masa se encuentran generalmente en las regiones de mayor altura de las montañas y colinas que conforman la cuenca del Río Cabriales, en donde se hallan pendientes mayores al 100 % y/o litologías de carácter inestable.
- Los sectores Cerro Cariaprima, Cerro La Manguita, Fila Orégano, Polígono de Tiro de Valencia, Cerro el Café, Fila Montemayor, Fila La Guacamaya y Cerro el Morro representan las zonas de mayor susceptibilidad ante movimientos en masa.
- Los sectores localizados a lo largo de la planicie del Valle de Valencia no muestran susceptibilidades relevantes ante los movimientos en masa.
- El mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales permite identificar espacial y temporalmente (en forma temprana) la susceptibilidad de los terrenos y puede ser utilizado como herramienta en el proceso de toma de decisiones para disminuir el riesgo por estos fenómenos en la zona.
- El pronóstico temprano de la susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales permitirá orientar acciones de prevención y mitigación de los efectos que puedan ocasionar estos movimientos.
- La construcción del Modelo Digital de Elevación 3D conjuntamente con las observaciones de campo, permiten definir las variables y/o factores geoambientales que influyen protagónicamente en la generación de movimientos en masa.



- La creación de mapas temáticos de factores geoambientales permite visualizar espacialmente el grado de influencia individual que aporta cada factor a la generación de movimientos en masa.
- El análisis estadístico multivariado de los factores y unidades geoambientales presentes en la cuenca estudiada permite obtener una aproximación real y objetiva de las zonas susceptibles a los movimientos en masa.
- La ponderación de los factores geoambientales a través de la Matriz de Análisis Jerárquico de Saaty (1980) permite evaluar de manera objetiva y conjunta la importancia relativa de los distintos geofactores.
- Resulta de vital importancia realizar un levantamiento geológico-estructural detallado para caracterizar la calidad estructural de los macizos rocosos presentes en la cuenca.



RECOMENDACIONES

- Complementar la información generada en el presente trabajo, con la inclusión del estudio de los efectos detonantes de los movimientos en masa (precipitación, sismicidad y acción antrópica), con la finalidad de evaluar la amenaza ante movimientos en masa.
- Realizar estudios a mayor escala (1:10.000, 1:5.000, etc.) que permitan realizar evaluaciones más locales de la susceptibilidad ante movimientos en masa.
- Implementar metodologías para la elaboración del mapa de susceptibilidad distintas a la utilizada en el presente trabajo, de manera de poder comparar los resultados arrojados por las diversas metodologías experimentales.
- Elaborar un mapa de registros de movimientos en masa que diferencie los diversos tipos de movimientos en masa, a fin de caracterizarlos según su naturaleza.
- Crear campañas de concientización ciudadana que permitan a las poblaciones y a sus respectivas autoridades, elaborar proyectos urbanísticos en zonas de baja susceptibilidad terrenal.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguerrevere, S. y G. Zuloaga (1937). Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Bol. Geol. y Min.* (MEM, Caracas), 1(2-4): 8-24
- Aguilera, Z. y D. Vallenilla (1985). Geología de la zona de La Entrada - Naguanagua, Carabobo. UCV, Escuela de Geología, *Trabajo especial de grado*, 316 p.
- Almaguer-Carmenates, Y. (2006) Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento punta gorda. Resumen de tesis doctoral. *Minería y geología* 22 (2).
- Azuaje, L. (1972). Geología de la región de Guatire - Cabo Codera (Resumen). *Bol. Geol.*, Caracas, Public. esp. 5 (3): 1289.
- Barredo, J. (1996). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. Editorial Ra – Ma. Madrid. 264 p.
- Bell, W. (1998). Making People Responsible: the Possible, the Probable, and the Preferable. Yale University.
- Bellizzia, A. y Rodríguez, D. (1968). Consideraciones sobre la Estratigrafía de los Estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. *Bol. de Geol. Ministerio de Minas e Hidrocarburos.*, Caracas., 9 (18): 515-563.
- Bolinaga, F.; Ceballos, P.; Soto, L (1987). Estudio geotécnico de los ríos Cabriales y Retobo.

- Brabb, E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. Fourth International Symposium on Landslides, Canadian Geotechnical Society, 1:307-324.
- Brass, A.; Wadge, G. y Reading, A.J. (1989). Designing a Geographical Information System for the prediction of landsliding potential in the West Indies. *Proced.: Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions*. University College, London, 3-7 April, 13 p.
- Briceño, M.; Brito, Y.; Taberoa, J. (1999). Estudio del impacto urbanístico sobre la escorrentía y la calidad del agua en la cuenca del río Cabriales. Universidad de Carabobo.
- Bryant, E. (2005). *Natural Hazards*. Second Edition, Cambridge University Press, 312 p.
- Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Math. Geology*.15 (1): 403-426.
- Carrara, A., Cardinalli, M., Detti, R., Guzzetti, F., Paqui, V., Reich, P. (1991). GIS techniques models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16:427-445.
- Carrara, A., Cardinalli, M., Guzzetti, F. (1992). Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC journal*, (2):172-183.
- Carrara, A.; Cardinali, M; Guzzetti, F. Y Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. En: Carrara A, Guzzetti F (Eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 135-175.

- Carrara, A., Crosta, G., Frattini, P. (2003). Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28:1125-1142.
- Castellano, N.; Delibero, F.; Shuster, G (1983). Estudio sanitario del río Cabriales. Facultad de Ingeniería, Trabajo Especial de Grado. U.C.
- Clerici, A., Perego, S., Telli, C., Vescovi, P. (2002). A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48:349-364.
- Chung C.F., y Fabbri, A.G. (1993). The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources* 2 (2): 122-139.
- Corominas, J. (1987) Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. *Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental*. IGME, Madrid. 193-201.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, *en* Turner, K., y Schuster, R.L., ed., *Landslides investigation and mitigation: Washington D. C*, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247 (1): 36–75.
- Dai, F., Lee, C. (2002). Landslide characteristic and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42: 213-228.
- Deere, D. U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Felsmechanik und Ingeneturgeologie* 1 (1): 1622 p.



- Dengo, G. (1951). Geología de la región de Caracas. *Bol. Geol.*, Caracas, 1(1): 39-115.
- Dengo, G. (1953). Geology of the Caracas region, Venezuela. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 64(1) 7-40. FUNDACITE (1999). Propuesta de uso turístico sostenible de la Cuenca del Lago de Valencia.
- FONVIS (1991). Alternativas de canalización del Río Cabriales en el sector centro-sur de la ciudad de Valencia. Informe Técnico. Fondo Nacional de Inversión Social.
- Frass, M. (1981). Geología de la región de Valencia - Naguanagua, Carabobo. UCV, Escuela de Geología, *Trabajo especial de grado*, 281 p.
- FUNDACITE (1999). Propuesta de uso turístico sostenible de la Cuenca del Lago de Valencia. CONICIT.
- GEMMA (2007). Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.
- Geólogos Del Mundo. ORG. (2006). Riesgos Geológicos. Publicación especial.
- GOBERNACIÓN DEL ESTADO CARABOBO (1992). Canalización Definitiva del Río Cabriales en el Sector Centro-Sur de la Ciudad de Valencia – Estado Carabobo. Informe Técnico.
- González S., L. (1972). Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro - occidental. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. Esp. 5, 3: 1589-1616.

- González y Lima (2001). Utilización de sistemas de información geográfica vectoriales para generar mapas de susceptibilidad a los deslizamientos y métodos de validación de la cartografía. Dpto. de Explotación y Prospección de Minas. Area de Cartografía, Geodesia y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. España.
- Goodman, R.E., y Bray, J.W. (1976). Toppling of rock slopes, *en* Memorias, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes, Boulder: Boulder, Colorado, 201–234.
- Gorsevski, P. (2001). Statistical modeling of landslide hazard using GIS. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, March 25 to 29, Reno Nevada. XI :103-109.
- Guevara, E. y Carrasco, M. (2001). Modelación estocástica de DBO y OD, caso estudio rio Cabriales. CDCH-W y Programa de Maestría de Ingeniería Ambiental. Universidad de Carabobo.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinalli, M., Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. *Geomorphology*, 31:181- 216
- Hansen, A. (1984). Landslide hazard analysis. En: D. Brundsen and D.B. Prior (Editors), *Slope Stability*. John Wiley and Sons, 523-602.
- Hartlén, J. y Viberg, L. (1988). Evaluation of landslide hazard. En: Ch. Bonnard (Ed): 5th. International Congress on Landslides. Lausanne. 1 (2): 1037-1057.

- Heckerman, D. (1986). Probabilistic interpretation of MYCIN's certainty factors. En: L.N. Kanal and J.F. Lemmer (editors) *Uncertainty in Artificial Intelligence*. Elsevier, 167-196.
- Holmquist y Ponce (1986). Propiedades geotécnicas del subsuelo y estudio de las soluciones de fundación comúnmente usadas en el Área Metropolitana de la Ciudad de Valencia y sus alrededores: (zona industrial y Valle de San Diego.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N. (2001). Review of the classification of landslides of the flow type: *Environmental and Engineering Geoscience*, 7 (1): 22–238.
- Hungr, O. (2005). Classification and terminology, *en* Jakob, M., y Hungr, O., ed., *Debris flow hazard and related phenomena*: Chichester, Springer-Praxis, 9–23.
- Hutchinson, J.N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, *en* *Memorias, 5th International Conference on Landslides, Lausanne*, 3–35.
- IAPCAD (2009). Informe de registros de movimientos en masa en la cuenca del Río Cabriales. Instituto Autónomo de Protección Civil y Administración de Desastres – Carabobo.
- IDEAM (2001). Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del río Magdalena (sector Barrancabermeja – Bocas de ceniza).
- IDEAM (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión 2002.



- INGEOMIN (2008). Evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa para el desarrollo habitacional del proyecto: Ciudad Camino de Los Indios, ubicado entre el límite del Distrito Metropolitano de Caracas y el Estado Vargas.
- INGEOMINAS (2002). Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento de los barrios El Espino y Cerros del Diamante, Ciudad Bolívar-Bogotá D.C.
- INOS (1981). Plan Rector Básico de Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia. Informe Técnico. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.
- INOS (1981). Proyecto Drenajes Primarios de la Zona suroeste de Valencia. Informe Técnico. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.
- Irigaray, C. (2002). Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. En: F.J. Ayala y J. Corominas (eds.). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España, 21-36.
- Jacoby, D. (2001.) Vulnerabilidad del sector urbano de la Reina frente a desbordes de la Quebrada San Ramón. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- Jones, F.O.; Embody, D.R. y Peterson, W.C. (1961). Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 367, 98. 1961.
- Larsen, M. y Torres-Sánchez, A. (1998). The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology*, 24: 309-331.



- Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environmental Management*, 34(2):223-232.
- Leroi, E. (1996). Landslide hazard-Risk mapsx at different scales: objectives, tools and developments. *Proc. 7th. Int. Symp. on Landslices, Trondheim, v.1*, 35-51.
- LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA- PDVSA (1997). WEB (Consulta 2009, Septiembre).
- Linares, V. (1964). El río Cabriales y su lago. Ediciones del Ejecutivo del estado Carabobo Secretaría de Educación y Cultura.
- López, V. (1942). Geología del valle de Valencia. *Rev. Fomento*, Caracas, 4(45-46): 47-72. Ostos, M., 1981. Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas - La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila, D.F. UCV, Escuela de Geología, *Trabajo de ascenso*, 279 p.
- Lorente, A., García-Ruiz, J., Santiago-Beguería, Arnáez, J. (2002). Factors explaining the spatial distribution of hillslope debris flows. A case study in the flysch sector of the central Spanish Pyrennees. *Mountain Research and Development*, 22(1): 32-39.
- Lucini, P. (1973). The potential landslides forecasting of the Argille Varicolori Scagliose complex in IGM 174 IV SE Map, Saviano di Puglia (Compania). *Geol. Appl. Idrogeol.*, 8 (1): 311-316.
- Mahdavifar, M.R. (2000). Fuzzy information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System. En: A.E. Bromhead, N. Dixon

- and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 2 (1): 993-998.
- MARNR (1986). Canalización y Mejoras del Río Cabriales, Valencia-Carabobo. Informe Técnico. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables.
- Martínez, A. y Rodríguez, J. (1986). Estudio sanitario del río Cabriales. Facultad de Ingeniería, Trabajo Especial de Grado. U.C.
- Menéndez V. de V., A. 1966. Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 8(15): 116-119.
- MINAMB (2003). Proyecto Mapa de vegetación de Venezuela 1:2.000.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.
- Morgan, B. W. (1968). An introduction to Bayesian statistical decision process. Ed. Prentice-Hall, New York. 116 p.
- Morgan, B., 1969. Geología de la región de Valencia, Carabobo, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 10(20): 4-136.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A., Khire, M. (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bull Eng Geol Env*, 58: 275-287.
- Neuland, H. (1976). A prediction model for landslips. *Catena*. 3 (1): 215-230.
- Núñez, S. y Villacorta, S. (2006). Susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca Chancay y Lambayeque – (Lambayeque-Cajamarca). XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.

- Ostos, M. (1981). Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas - La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Avila, D.F. UCV, Escuela de Geología, *Trabajo de ascenso*, 279 p.
- Padrón, C. y Mota, J. (1982). Estimación del efecto del urbanismo sobre la escorrentía directa del río Cabriales, Valencia – estado Carabobo. Trabajo Especial de grado. Universidad de Carabobo.
- Remondo, J., González-Díez, A., Díaz de Terán, J., Cendrero, A. (2003). Landslide susceptibility models utilising spatial data analysis techniques. A case study from the lower Deba Valley, Guipúzcoa (Spain). *Natural Hazards*, 30:267-279.
- Rowe, W. (1977). *An anatomy of risk*. New York, Wiley.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill.
- Saaty, T. (1997). *Toma de decisiones para líderes: El proceso analítico jerárquico en la toma de decisiones en un mundo complejo*. Traducción de M. Escudey, E. Martínez y L. Vargas. RWS publications, Pittsburg.
- Santacana, N., Baeza Baeza, Corominas, J., De Paz, A., Marturía, J. (2003). GIS-Based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Poblá de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*, 30:281-295.
- Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princenton University Press, Princenton N.J. 297 p.

- Soeters, R., Van Westen, C. (1996). Slope instability recognition analysis, and zonation. Turner and Schuster Eds, Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report 176:11-33.
- Suarez, J. (2009). Deslizamientos – Análisis Geotécnico. Capítulo 13 (Libro).
- Suzanne, A. y Leroy, G. (2006). From natural hazard to environmental catastrophe: Past and present. *Quaternary International*, (158): 4-12.
- Urbani, F., (1972). Geología del Granito de Guaremal y rocas asociadas, estado Carabobo. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. Esp. 5, 4: 2340-2374.
- Urbani, F., O. Contreras y G. Ugueto, (1988). Geología de la región de Mariara - Maracay, Carabobo y Aragua (Resumen). *Acta Científica Venezolana*, 39 (1): 41.
- Urbani, F. (1988). El Gneis de Cabriales, Carabobo (Resumen). *Acta Científica Venezolana*, 30 (1): 41.
- Urbani, F. (1989). El Gneis de Cabriales, Carabobo, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, (29): 276-277.
- Urbani, F., Contreras, O. y Barrios, F. (1989). Geología de dos geotransversales de la Cordillera de la Costa. Parte 4. Geología de la región de El Palito - Valencia - Mariara, Carabobo. *Bol. Geociencias*, UCV, Caracas, (16): 1-128. Incluye 13 mapas geológicos a escala 1:25.000.
- Urbani, F. y Ostos, M. (1989). El Complejo Ávila, Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, (29): 205-217.

- Urbani, F. y Quesada, A. (1972). Migmatitas y rocas asociadas del área de La Sabana. Cordillera de la Costa. *Bol. Geol.*, M.E.M., Caracas, Publ. Esp. 5 (4): 2375-2400.
- Van Westen, C.J. (1993). Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation. ITC- Publications n° 15 ITC, Enschede. 45 p.
- Van Westen, C. y Leroy, G. (2006). From natural haard to environmental catastrophe: Past and present. *Bull Engineering Geology Environment*, (65): 167-184.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, *en* Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176 (1): 9–33.
- Varnes, D. (1984). Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, *Natural Hazards*, (3): 61.
- Villacorta, S.; Chambi, G.; Carlotto; V.; Fídel, L. (2006). Atlas ambiental de Lima metropolitana: mapas de susceptibilidad en el ordenamiento territorial. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.
- Voogd, H. (1983). Multicriteria Evaluation for urban and regional planning. Londres Pion. Primera edición. 355p.
- Ward, T.J.; Ruh-Ming, L. y Simons, D.B. (1982) Mapping landslide hazards in forest watershed. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Proc. of the American Society of Civil Engineers, 108 (GT2), 319-324.
- Werhmann, M (1972). Geología de la región de Guatire-Colonia Tovar. Congreso. Geológico. Venezolano., Caracas, 4 (1): 2093-2121.



Wolcott, P. (1943). Fossils from metamorphic rocks of the Coast Range of Venezuela. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 27 (1): 1632.



APÉNDICE-1



**ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA
DE LA CUENCA DEL RÍO CABRIALES, VALENCIA – ESTADO CARABOBO**



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 5	ALTITUD	561 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1131005	AGUAS :	ARR	<input checked="" type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/>
	E:	606616	MARGEN:	IZQ	<input checked="" type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de Las Mercedes	
COLOR F.:	Gris Oscuro	COLOR M.: Marrón roizo
DESCRIPCION:	Afloramiento de Esquisto Las Mercedes (Esquisto calcáreo grafitoso) que se halla completamente meteorizado. Este talud se encuentra en las adyacencias del Polígono de Tiro de Valencia-Carabobo, a unos 110 m de las canchas de tiro.	

MUESTRA 1:	---	ORIENTACIÓN:	---	SEGÚN:	---
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input checked="" type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN S45W	INCLINACIÓN ≈ 79 °
LADERA	<input type="checkbox"/>	ALTURA 4m	LONGITUD ≈ 5m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION RUMBO N04E BUZAMIENTO 15 S

FALLA RUMBO --- BUZAMIENTO ---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N42E	38 S	1:2	≈40cm	≈ 2m	≈2mm	E.L.	---
Plano 2	N01W	88 S	1:3	≈30cm	≈ 35cm	≈3mm	E.L.	---
Plano 3	N29W	62 N	1:7	≈16cm	≈ 1m	≈2mm	E.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N59E	Foto del afloramiento.
02	N62E	Diaclasamiento en la Fm. Las Mercedes



Figura 45. Toma de datos en la estación 5.



Figura 46. Diaclasamiento en el Esquisto Las Mercedes de la estación 5.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 6	ALTITUD	501 m.s.n.m		
COORDENADAS:	N:	1129689	AGUAS :	ARR	<input type="checkbox"/>	ABA	<input checked="" type="checkbox"/>
	E:	607778	MARGEN:	IZQ	<input checked="" type="checkbox"/>	DER	<input type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de Las Brisas		
COLOR F.:	Verde blancuzco	COLOR M.:	Amarillo rojizo
DESCRIPCION:	Afloramiento de Esquisto Las Brisas (Esquisto cuarzo-micáceo) que se halla considerablemente diaclasado y contiene pequeños lentes de mármol. Esta ladera se encuentra en las adyacencias de la Av. Uslar, a unos 100 m de la redoma este de dicha avenida en Valencia-Carabobo.		

MUESTRA 1:	---	ORIENTACIÓN:	---	SEGÚN:	---
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input checked="" type="checkbox"/>	ORIENTACION	E-W	INCLINACION	≈ 87 °
LADERA	<input type="checkbox"/>	ALTURA	4,6 m	LONGITUD	≈ 50 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/>	INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N64E	BUZAMIENTO	49 S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N16E	57 N	1:4	≈27cm	≈ 2 m	≈10mm	E.L.	qz-cal
Plano 2	N04W	85 S	1:6	≈15cm	≈ 55cm	≈3mm	E.L.	---
Plano 3	N34W	72 N	1:4	≈25cm	≈ 1 m	≈2mm	E.R.	cuarzo
Plano 4	N85E	31 N	1:10	≈10cm	≈ 2,5 m	≈2mm	E.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N-S	Foto lateral del afloramiento.
02	N02W	Foto frontal del afloramiento.



Figura 47. Vista lateral de la estación 6.



Figura 48. Vista frontal de la estación 6.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 7	ALTITUD	495 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1126366	AGUAS:	ARR	ABA <input checked="" type="checkbox"/>
	E:	605769	MARGEN:	IZQ <input checked="" type="checkbox"/>	DER <input type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA: Esquisto de Las Brisas

COLOR F.: Verde blancuzco COLOR M.: Marrón rojizo

DESCRIPCION: Afloramiento de Esquisto Las Brisas (Esquisto cuarzo-micáceo) que se halla considerablemente diaclasado y foliado. Esta ladera se encuentra en las adyacencias de la Av. Paseo Cuatricentenario en Valencia-Carabobo.

MUESTRA 1:	---	ORIENTACIÓN:	---	SEGÚN:	---
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD ORIENTACIÓN N80E INCLINACIÓN ≈ 69°

LADERA ALTURA 7 m LONGITUD ≈ 20 m

TERRAPLEN TOMADO DESDE ZONA: SUPERIOR INFERIOR

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION RUMBO N05W BUZAMIENTO 41 N

FALLA RUMBO --- BUZAMIENTO ---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N15W	89 S	1:10	≈10cm	≈ 60cm	≈2mm	E.L.	---
Plano 2	N26W	57 N	1:7	≈15cm	≈ 56cm	≈2mm	E.L.	---
Plano 3	N20W	70 S	1:3	≈30cm	≈ 80cm	≈2mm	E.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N06W	Foto del afloramiento.
02	N08W	Foto del afloramiento.



Figura 49. Afloramiento de Esquisto las Brisas que muestra alto grado de meteorización.



Figura 50. Meteorización biológica en la estación 7.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 10	ALTITUD	492 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1127708		AGUAS:	ARR <input type="checkbox"/> ABA <input checked="" type="checkbox"/>
	E:	609606		MARGEN:	IZQ <input type="checkbox"/> DER <input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de Las Mercedes		
COLOR F.:	Gris blancuzco	COLOR M.:	Marrón amarillento
DESCRIPCION:	Afloramiento de Esquisto Las Mercedes (Esquisto calcáreo) que se halla fuertemente diaclasado y foliado. Este talud se encuentra diagonal al afloramiento donde está el contacto del Mármol y Esquisto Las Mercedes en la Calle 120.		

MUESTRA 1:	---	ORIENTACIÓN:	---	SEGÚN:	---
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input checked="" type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN N40E	INCLINACIÓN $\approx 89^\circ$
LADERA	<input type="checkbox"/>	ALTURA 17 m	LONGITUD ≈ 23 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.		DEFORESTADA PARA CULTIVO	
	VEG. ESCASA		VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE			

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N85E	BUZAMIENTO	66 S
FALLA	RUMBO	---	BUZAMIENTO	---

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N16W	89 N	1:8	≈ 12 cm	≈ 4 m	≈ 4 mm	E.R.	---
Plano 2	N32W	68 S	1:3	≈ 35 cm	≈ 2 m	≈ 4 mm	E.L.	---
Plano 3	N46W	17 N	1:4	≈ 25 cm	≈ 1 m	≈ 2 mm	E.R.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N72W	Foto del afloramiento.
02	S12E	Foto del afloramiento.



Figura 51. Vista panorámica de la estación 10.



Figura 52. Derrumbes asociados al diaclasamiento en la estación 10.



FECHA:	29/08/2009	ESTACION:	N° 11	ALTITUD	473 m.s.n.m		
COORDENADAS:	N:	1127185	AGUAS :	ARR	<input type="checkbox"/>	ABA	<input checked="" type="checkbox"/>
	E:	609648	MARGEN:	IZQ	<input type="checkbox"/>	DER	<input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto de Las Mercedes		
COLOR F.:	Gris claro	COLOR M.:	Amarillo rojizo a negro
DESCRIPCION:	Afloramiento de esquisto calcáreo fuertemente foliado y diaclasado, que presenta vetas de cuarzo y calcita como relleno de sus fracturas. Este talud se encuentra adyacente a la Av. La Encima en la Urb. Lomas del Este, Valencia – Estado Carabobo.		

MUESTRA 1:	---	ORIENTACIÓN:	---	SEGÚN:	---
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input checked="" type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN	S85W	INCLINACION	≈ 82 °
LADERA	<input type="checkbox"/>	ALTURA	8 m	LONGITUD	≈ 120 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/>	INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION RUMBO BUZAMIENTO

FALLA RUMBO BUZAMIENTO

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N06W	60 S	1:5	≈20cm	≈ 1 m	≈4mm	E.L.	---
Plano 2	N21W	70 S	1:3	≈30m	≈ 1,2 m	≈4mm	E.L.	---
Plano 3	N08E	71 S	1:4	≈25cm	≈ 1 m	≈3mm	E.L.	---

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N33E	Foto del afloramiento.
02	N02E	Foto del afloramiento.



Figura 53. Vista oblicua de la estación 11.



Figura 54. Fuerte diaclasamiento en la estación 11.



FECHA:	04/08/2009	ESTACION:	N° 12	ALTITUD	476 m.s.n.m
COORDENADAS:	N:	1127283	AGUAS :	ARR	ABA <input checked="" type="checkbox"/>
	E:	610073	MARGEN:	IZQ	DER <input checked="" type="checkbox"/>

UNIDAD LITODEMICA:	Esquisto Las Mercedes	
COLOR F.:	Gris claro	COLOR M.: Amarillo rojizo a negro
DESCRIPCION:	Afloramiento de esquisto calcáreo considerablemente foliado y diaclasado. Se halla medianamente meteorizado y presenta vetas de calcita y cuarzo como relleno en las fracturas. Este talud se encuentra adyacente a la Av. Rotaria en la Urb. Lomas del Este. Valencia-Carabobo.	

MUESTRA 1:	CRC-30	ORIENTACIÓN:	N16E	SEGÚN:	Carretera
MUESTRA 2:		ORIENTACIÓN:		SEGÚN:	

TALUD	<input checked="" type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN N36E	INCLINACIÓN ≈ 86 °
LADERA	<input type="checkbox"/>	ALTURA 6,5 m	LONGITUD ≈ 69 m
TERRAPLEN	<input type="checkbox"/>	TOMADO DESDE ZONA:	SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input checked="" type="checkbox"/>

VEGETACIÓN	DESPROVISTA DE VEG.	<input type="checkbox"/>	DEFORESTADA PARA CULTIVO	<input type="checkbox"/>
	VEG. ESCASA	<input type="checkbox"/>	VEG MODERADA	<input checked="" type="checkbox"/>
	VEG. ABUNDANTE	<input type="checkbox"/>		

METEORIZACIÓN: F L.A. M.A. A.A. C.A. S.R.

RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. M.B. B. M. D. M.D. E.D.

FOLIACION	RUMBO	N68E	BUZAMIENTO	48 S
FALLA	RUMBO	NS	BUZAMIENTO	40 N

DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	Frecuencia	Separación	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno
Plano 1	N28W	71 S	1:4	≈25cm	≈ 1,5 m	≈4 mm	E.L.	---
Plano 2	N18W	64 S	1.6	≈15cm	≈ 1 m	≈3 mm	E.L.	calcita
Plano 3	N02E	75 S	1:3	≈35cm	≈ 1,8 m	≈3 mm	E.L.	qz-cal

Foto	Rumbo	Descripción de la foto
01	N33E	Foto del talud.
02	N09W	Foto de la posible falla.
03	N10W	Foto general del afloramiento.



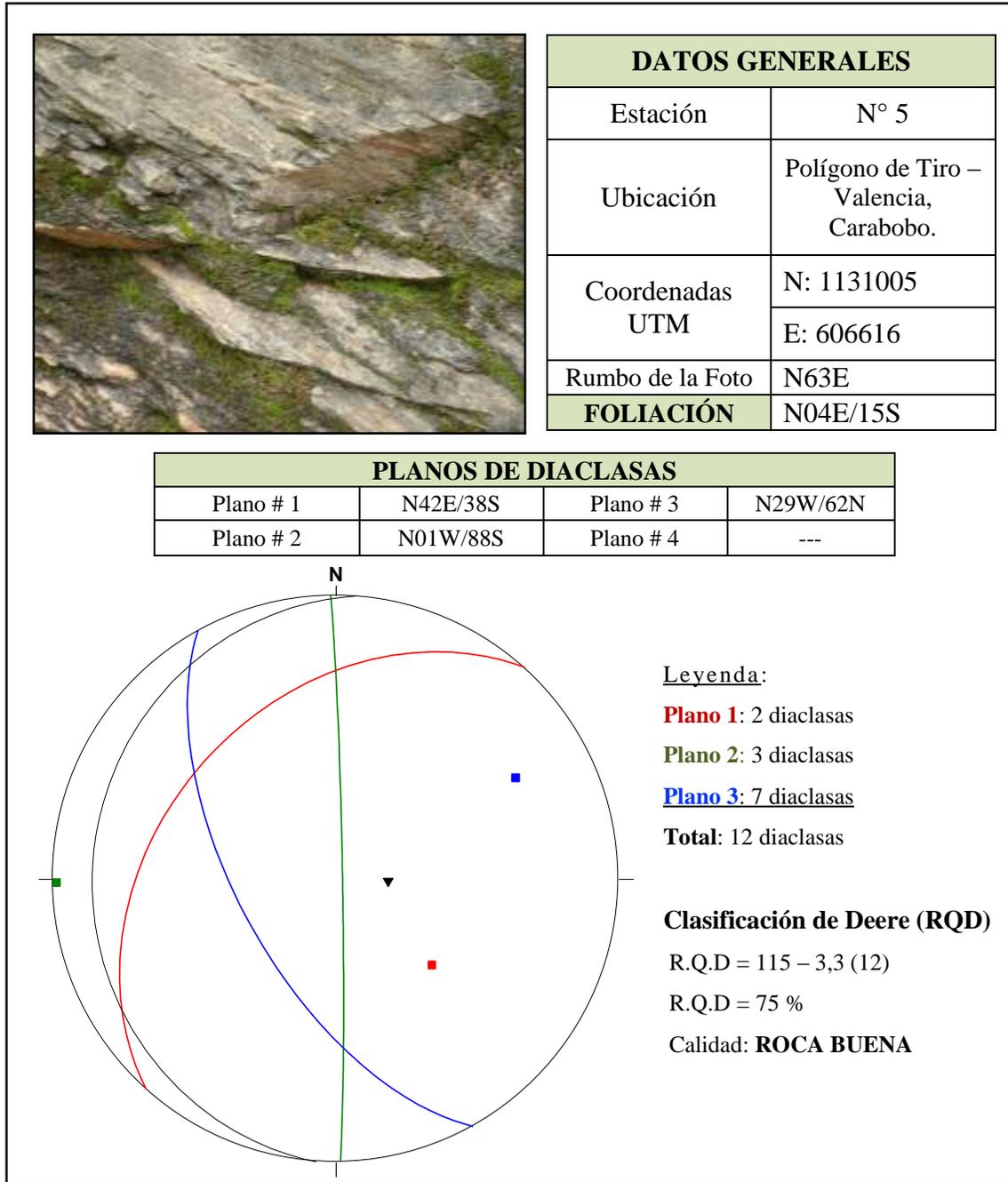
Figura 55. Vista panorámica de la foliación en la estación 12 .

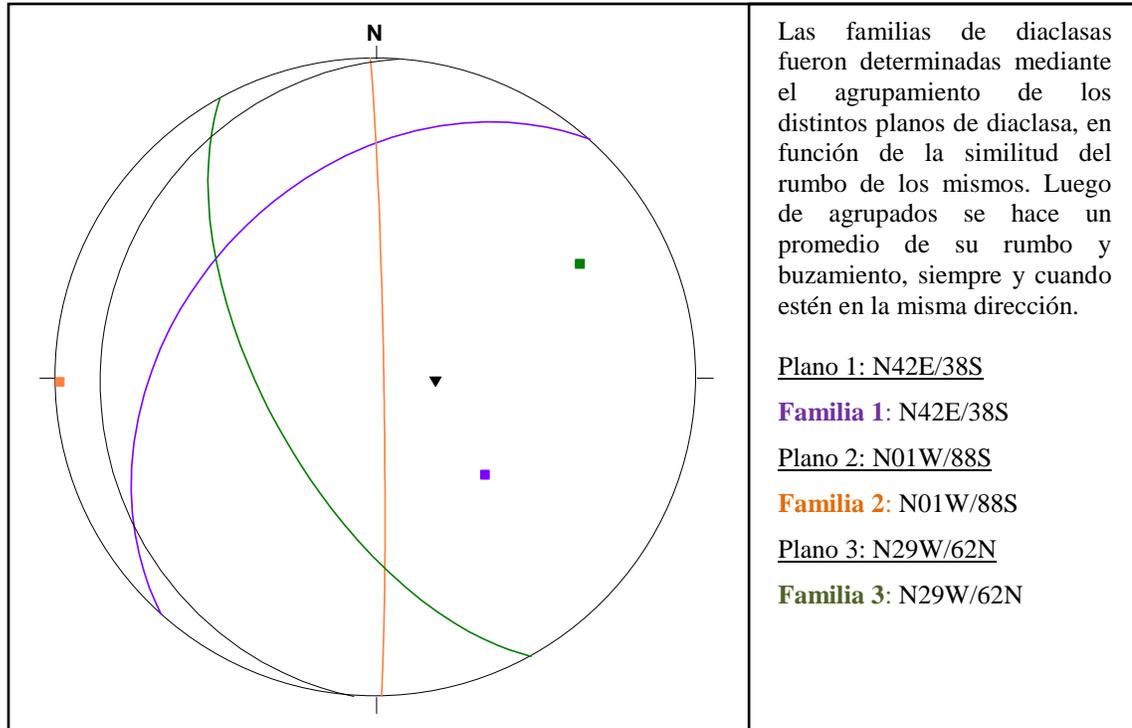


Figura 56. Caracterización de diaclasas en la estación 12.



APÉNDICE-2





ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N31E, con una inclinación de 77°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N01W, con una inclinación de 89°.

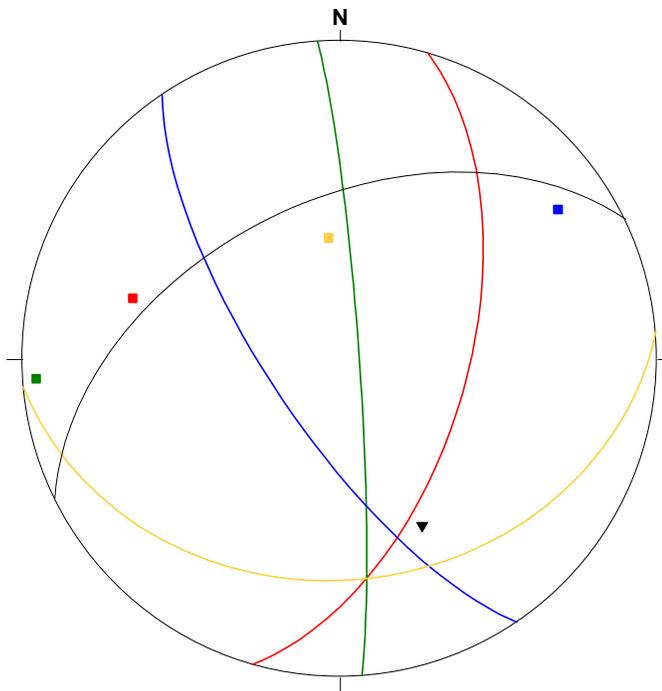
Dirección del plano común (foliación-familia3) = N34W, con una inclinación de 81°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 6
Ubicación	Av. Uslar, a unos 100 m de la redoma este, Valencia.
Coordenadas UTM	N: 1129689
	E: 607778
Rumbo de la Foto	N02W
FOLIACIÓN	N64E/49S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N16E/57N	Plano # 3	N34W/72N
Plano # 2	N04W/85S	Plano # 4	N85E/31N



Leyenda:

Plano 1: 4 diaclasas

Plano 2: 6 diaclasas

Plano 3: 4 diaclasas

Plano 4: 10 diaclasas

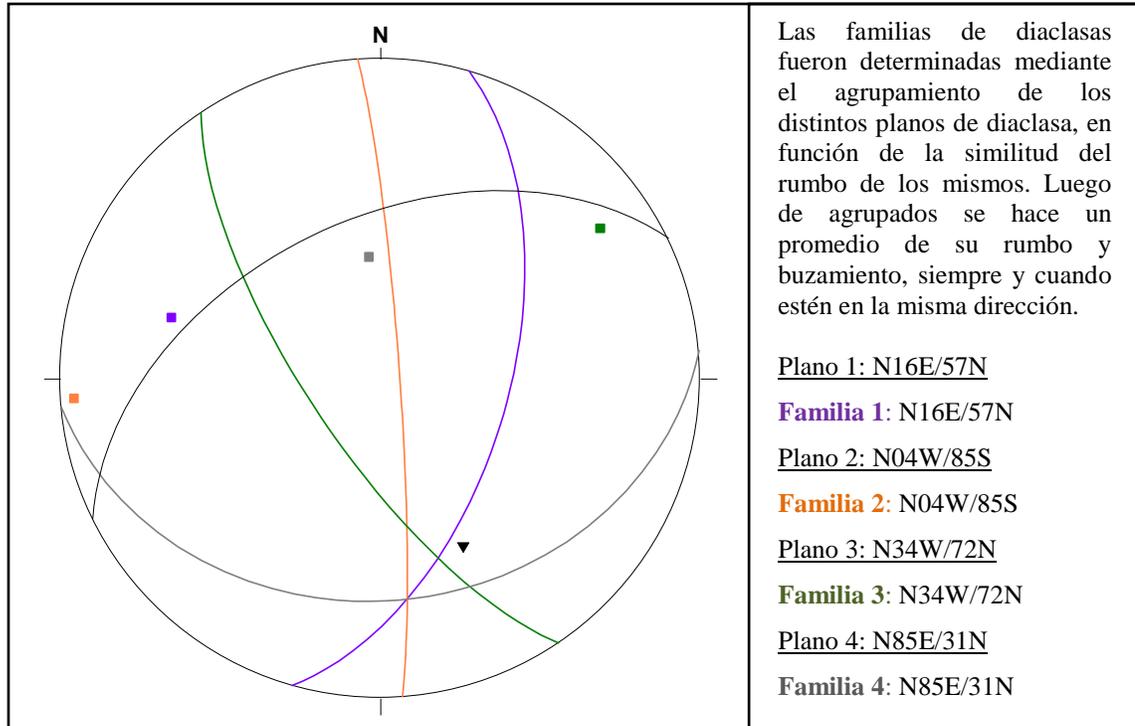
Total: 24 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

R.Q.D = $115 - 3,3 (24)$

R.Q.D = 36 %

Calidad: **ROCA MALA**



ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

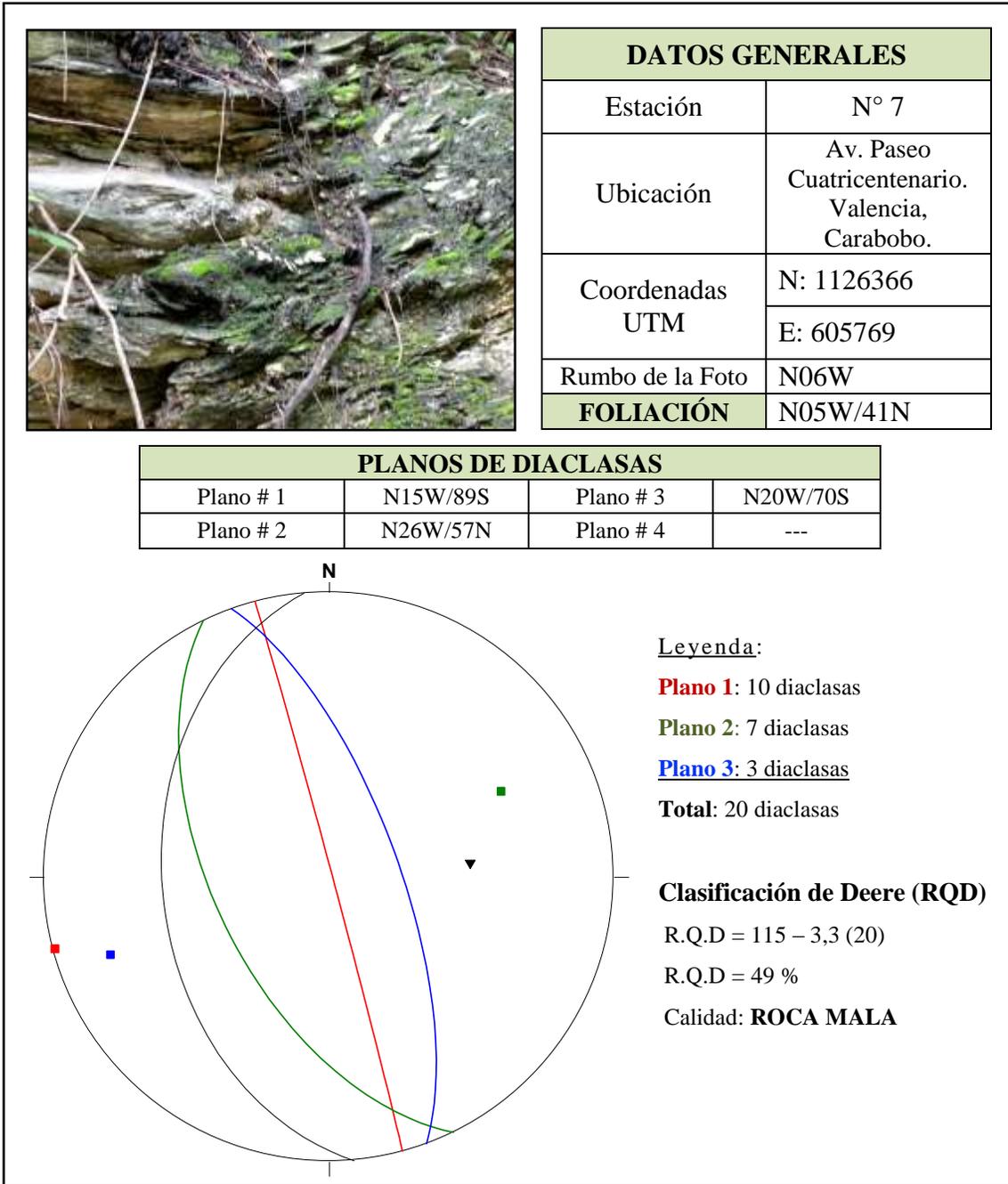
Dirección del plano común (foliación-familia1) = N54E, con una inclinación de 62°.

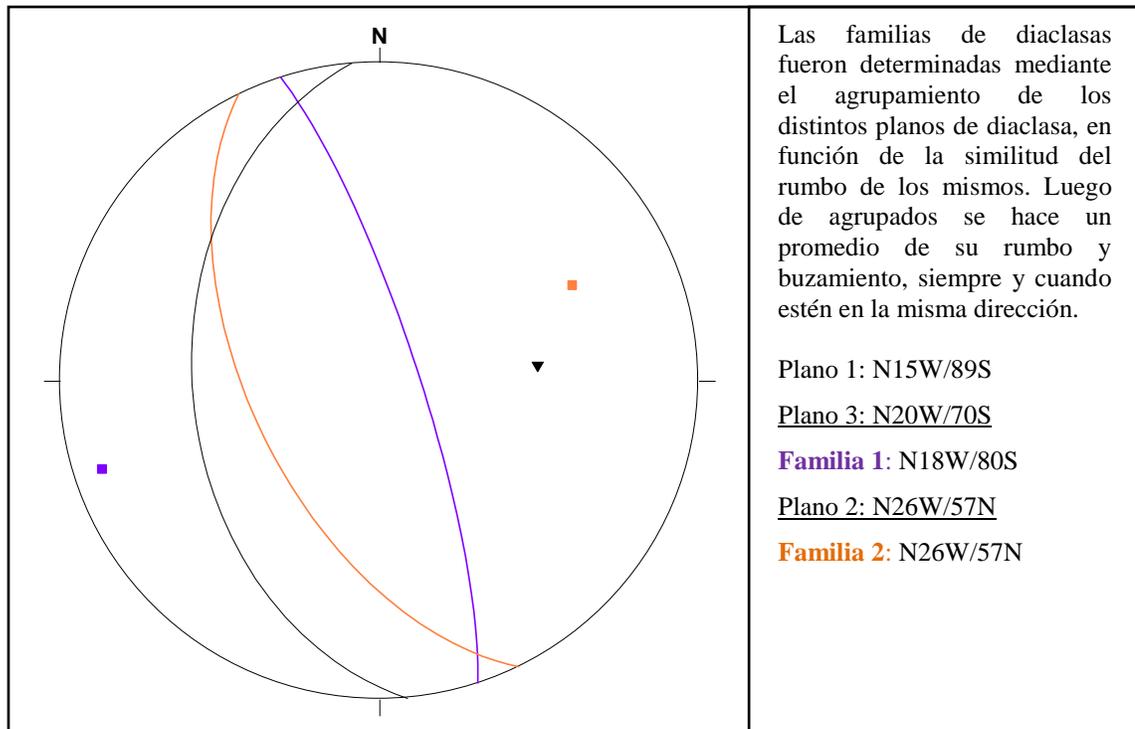
Dirección del plano común (foliación-familia2) = N89W, con una inclinación de 44°.

Dirección del plano común (foliación-familia3) = N53E, con una inclinación de 44°.

Dirección del plano común (foliación-familia3) = N19E, con una inclinación de 81°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.





ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N16W, con una inclinación de 81°.

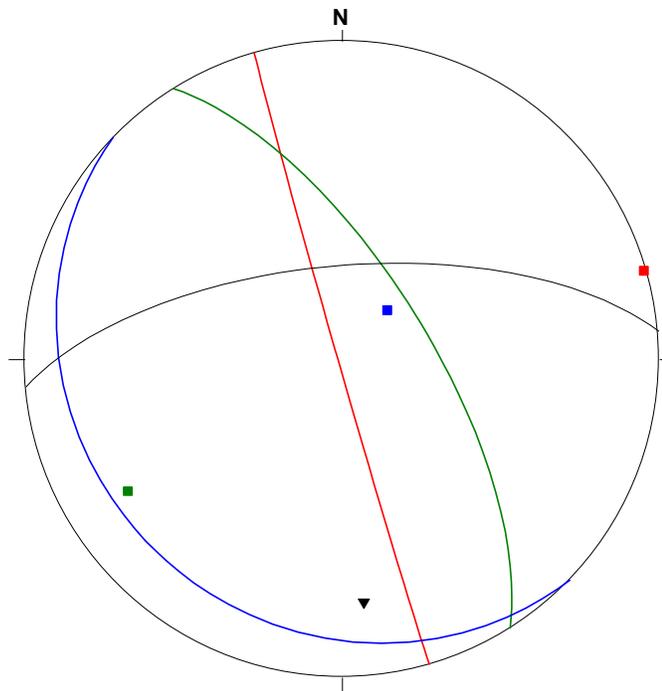
Dirección del plano común (foliación-familia2) = N40W, con una inclinación de 59°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 10
Ubicación	Diagonal al afloramiento 9 en la Calle 120. Valencia
Coordenadas UTM	N: 1127708
	E: 609606
Rumbo de la Foto	N72W
FOLIACIÓN	N85E/66S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N16W/89N	Plano # 3	N46W/17N
Plano # 2	N32W/68S	Plano # 4	---



Leyenda:

Plano 1: 8 diaclasas

Plano 2: 3 diaclasas

Plano 3: 4 diaclasas

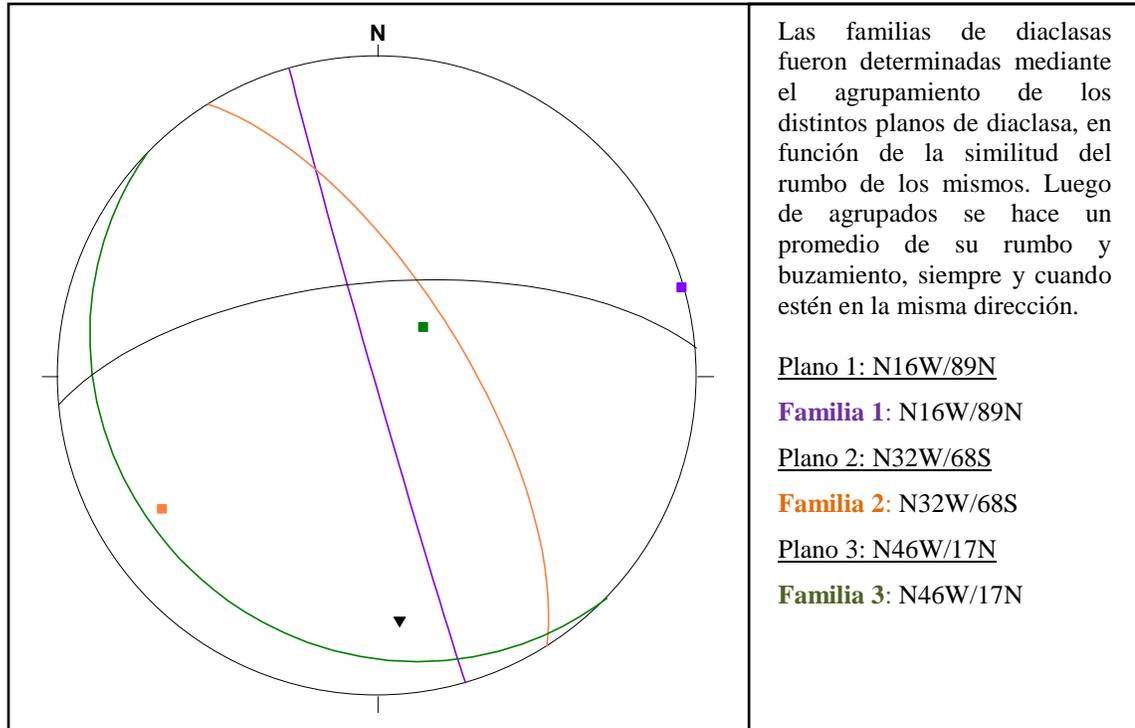
Total: 15 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

R.Q.D = $115 - 3,3 (15)$

R.Q.D = 66 %

Calidad: **ROCA REGULAR**



Las familias de diaclasas fueron determinadas mediante el agrupamiento de los distintos planos de diaclasa, en función de la similitud del rumbo de los mismos. Luego de agrupados se hace un promedio de su rumbo y buzamiento, siempre y cuando estén en la misma dirección.

Plano 1: N16W/89N

Familia 1: N16W/89N

Plano 2: N32W/68S

Familia 2: N32W/68S

Plano 3: N46W/17N

Familia 3: N46W/17N

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N18W, con una inclinación de 25°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N67W, con una inclinación de 27°.

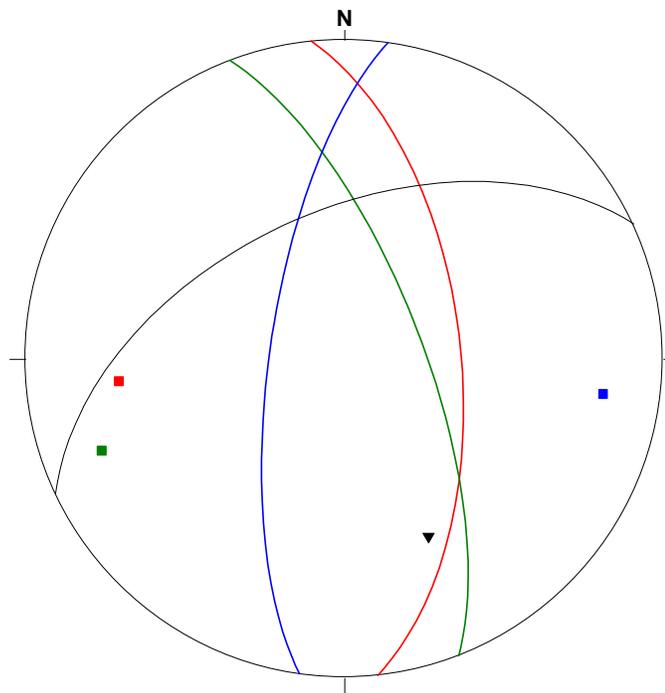
Dirección del plano común (foliación-familia3) = N89W, con una inclinación de 78°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 11
Ubicación	Av. La Encima en la Urb. Lomas del Este, Valencia.
Coordenadas UTM	N: 1127185
	E: 609648
Rumbo de la Foto	N02E
FOLIACIÓN	N65E/52S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N06W/60S	Plano # 3	N08E/71S
Plano # 2	N21W/70S	Plano # 4	---



Leyenda:

Plano 1: 5 diaclasas

Plano 2: 3 diaclasas

Plano 3: 4 diaclasas

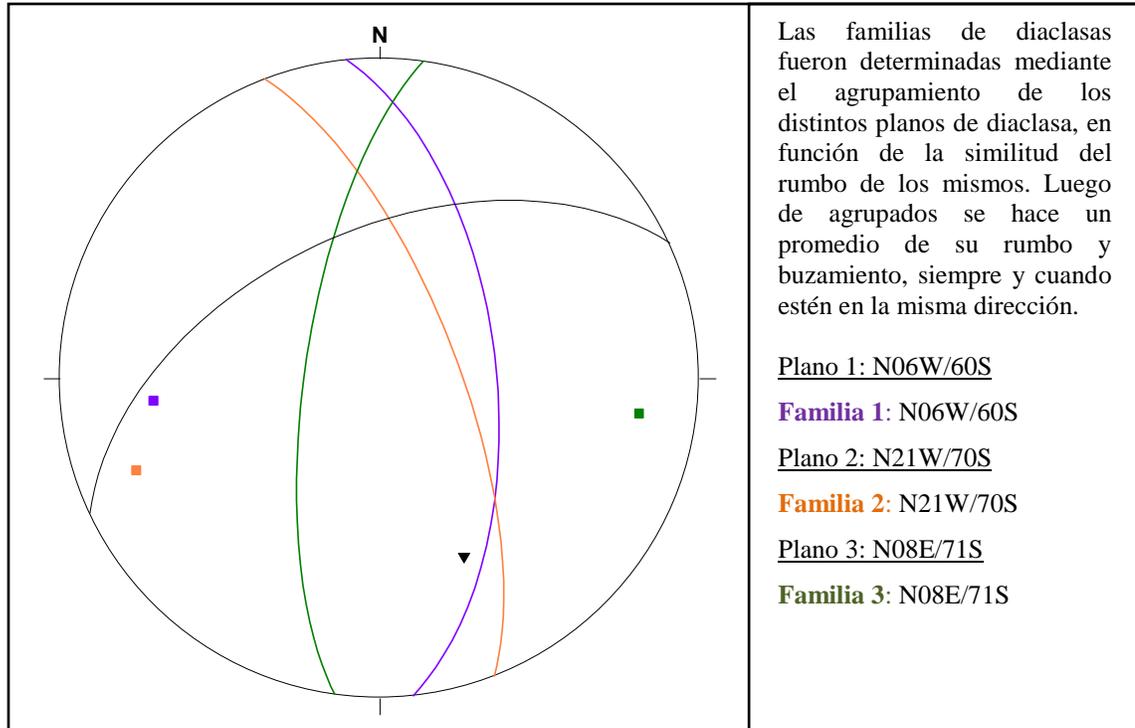
Total: 12 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

R.Q.D = $115 - 3,3 (12)$

R.Q.D = 75 %

Calidad: **ROCA BUENA**



ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N67W, con una inclinación de 49°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N87W, con una inclinación de 41°.

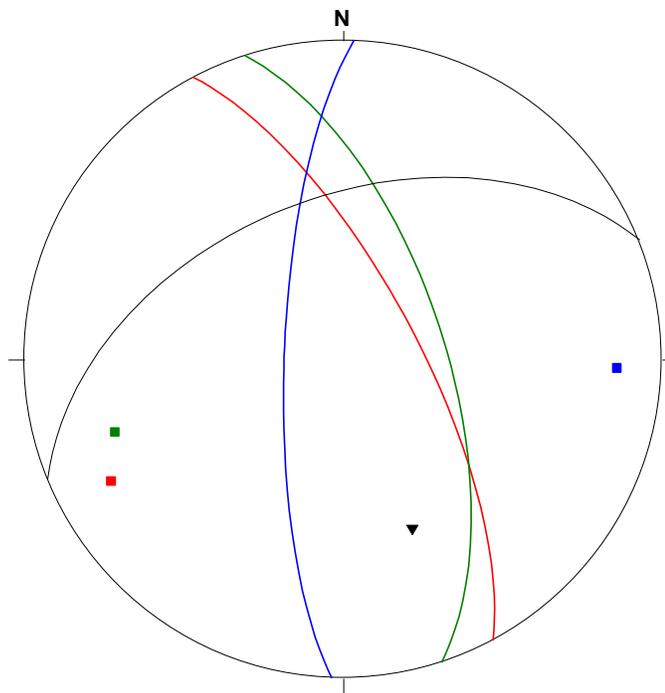
Dirección del plano común (foliación-familia3) = N18E, con una inclinación de 38°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



DATOS GENERALES	
Estación	N° 12
Ubicación	Adyacente a la Av. Rotaria, Urb. Lomas del Este, Valencia.
Coordenadas UTM	N: 1127283
	E: 610073
Rumbo de la Foto	N09W
FOLIACIÓN	N68E/48S

PLANOS DE DIACLASAS			
Plano # 1	N28W/71S	Plano # 3	N02E/75S
Plano # 2	N18W/64S	Plano # 4	---



Leyenda:

Plano 1: 4 diaclasas

Plano 2: 6 diaclasas

Plano 3: 3 diaclasas

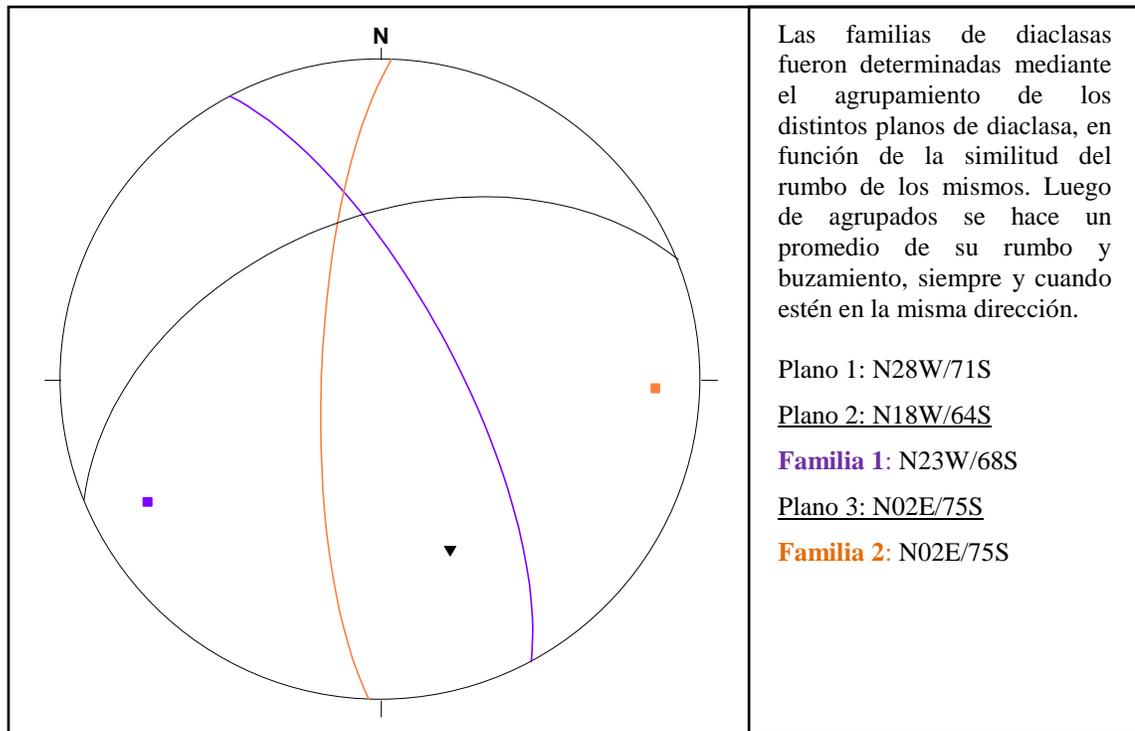
Total: 13 diaclasas

Clasificación de Deere (RQD)

$$R.Q.D = 115 - 3,3 (13)$$

$$R.Q.D = 72 \%$$

Calidad: **ROCA REGULAR**



ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

Del estereograma obtenido se puede visualizar una rotura tipo cuña, que es producto de la intersección de los planos de debilidad presentes.

Al interpretar esta intersección de planos se obtienen los valores del ángulo y dirección del plano común que forman (cuña):

Dirección del plano común (foliación-familia1) = N06W, con una inclinación de 43°.

Dirección del plano común (foliación-familia2) = N15E, con una inclinación de 42°.

Estas direcciones son las orientaciones que seguirán los bloques de roca para deslizarse con mayor facilidad, en busca de una condición de estabilidad o como respuesta ante la acción de un fenómeno geológico.



APÉNDICE-3



Figura 57. Deslizamiento activo cercano a la estación 11.



Figura 58. Vista lateral del deslizamiento cercano a la estación 11.



Figura 59. Derrumbe adyacente a la estación 8.



Figura 60. Derrumbe asociado al mármol de la calle 120.



Figura 61. Cantos del Gneis del Cabrales desprendidos de la estación 2.



Figura 62. Bloques erráticos de mármol y esquistos cercanos al distribuidor Cemento-Carabobo.