

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y PROPIEDADES INGENIERO GEOLÓGICAS A TRAVÉS DE MÉTODO GEOMECÁNICO A DEPÓSITOS DE ARENAS VOLCÁNICAS DEL SUROESTE DE CERRO MOTASTEPE

Ingeniero Tupak Ernesto Obando Rivera, geólogo-investigador. Estudio de Doctorado del Programa Interuniversitario de Doctorado y Master Universitario (Maestría) en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Mineros. Teléfono de contacto (505) 2803022 tobando_geologic@yahoo.com

Resumen.- Este Estudio realizado al Suroeste de Cerro Motastepe (Managua) tuvo como propósito analizar las características, propiedades y comportamiento geológico de las arenas volcánicas de interés ingenieril por la industria destinada a la construcción de infraestructura de transporte, y edificación urbana, industrial y de servicios del lugar. Para esto se compiló y analizó la información documental, y modelos cartográficos actuales disponible a escalas varias en el país (instituciones académicas, centros de investigación y organización de trabajo). Se realizaron consultas a especialistas nicaragüenses e internacionales. Se aplicaron instrumentos de adquisición de datos (formato de geomecánica ISRM para uso en campo). Se realizó la observación y medición de datos de campo apoyado de equipos electrónicos. Se aplicaron técnicas estadísticas e iconográficas, software SPSS V.10, STATS TM V.2 y ArcGis 9.3, y modelos numéricos específicos $\{MF = J + R + S + T + U + V/100; M = (N + 1)/ 2; CZ = (D_{30})^2/D_{60} \times D_{10}; EL = PT/NT; X = \sum x_n/N; s = [\sum (x - X)^2 / N]^{1/2}$ y otros}. Se prepararon y usaron instrumentos de recolección de datos (matriz de variables), y curvas granulométricas de uso en laboratorio. Se tomaron datos granulométricos a través de ensayos de laboratorio apoyado de equipos de medición especializados, y técnica de cribado mecánico **Bureau of Standards** y Escalograma de LIKERT. Finalmente, se elaboró documento final del Doctorado en Geología y Gestión Ambiental de Recursos Minerales de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) en España. Con esto se obtuvo la cartografía de tenacidad mecánica, consistencia y densidad de suelos locales a escala 1:20,000. Se adquirió la iconografía pormenorizada de características geomecánica in situ. A su vez, se clasificaron los productos arenosos volcánicos como arenas medio a grueso bien graduado y heterogéneo con diámetro de partícula entre 0,425 mm y 4,75 mm. Mediante la metodología, cribado mecánico, se reconocieron arenas finas capaces de pasar en su totalidad por mallas No 3/8', No 4, No 50 y No 100, recibiendo denominaciones en ocasiones de limo o lodo medio y fino con diámetro entre 0,053mm y 0,074mm. Por otro lado, las propiedades geo-mecánica de algunos ejemplares de suelo anotaron valores máximos de 300kgrs/cm² en estado seco, y de 197kgrs/cm² en estado húmedo obtenido a profundidades significativas. Las valoraciones de tenacidad mecánica varía de 0.025 – 0.25MPa; la densidad de suelos oscila 0 – 100% ; y la consistencia de material superficial varía ente 0.25 – 2 kg/cm². Esto sugiere condiciones física diferentes del subsuelo local. Con el empleo de la escalograma LIKERT se obtuvieron puntuaciones altas medidas en 62,5% con carácter positivo sobre actitudes de muestras evaluadas al ingresar por abertura de tamices No 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200. Por último, se obtienen diámetro efectivo de grano de 0,075mm; coeficiente de uniformidad entre 2,25 a 6,25; y Coeficiente de Curvatura entre 1,12 a 2,4336. Estos parámetros citados corroboran, aún más, los datos presentados en todo el desarrollo de este resumen.

Palabras Claves.- Geomecánica, granulometría, curvas granulométricas, y Nicaragua

I.- INTRODUCCIÓN

Esta investigación se enmarca en una superficie de terreno (**Ilustración 1**), de 80 km² al Suroeste de Cerro Motastepe cuyo objetivo es determinar la realidad geomecánica de los depósitos de arenas volcánicas para su uso por la industria de construcción de red vial y edilicia local. Algunos especialistas (**Rodríguez D., 2008**), consideran la zona un excelente yacimiento minero no metálico. Este constituye un área de fácil acceso físico, contiene reservas de interés económico y cerámico, próxima al mercado potencial de Managua, amplia distribución geográfica, facilidad de usufructo

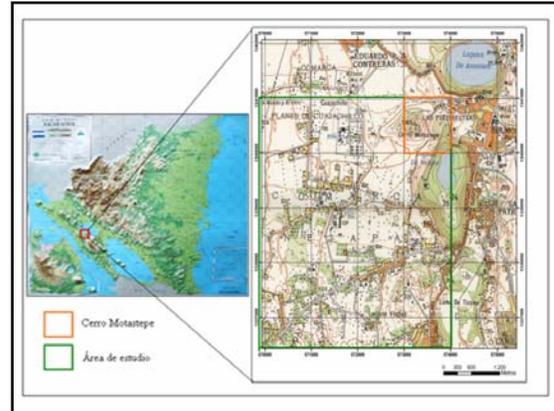


Ilustración 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA ESTUDIADA.

II. MATERIAL Y MÉTODO

En esta investigación tipo analítico-cuantitativo con enfoque retrospectivo y corte transversal, se aplicó técnica y equipos especializados de laboratorio, procedimientos geo-estadístico para la representación visual de resultados apoyados de programas informáticos (STATS TM V.2; SPSS V.13 y ArcGis 9.3), técnicas iconográfica, geotécnicos con una perspectiva cuantitativa, pero con información descriptiva e interpretativa y observación y medición de campo. Se aplicaron modelos cartográficos a escalas varias, y matemáticos específicos $\{M = (N + 1) / 2; X = \sum x_n / N; s = [\sum (x - X)^2 / N]^{1/2}$ y otros} apoyados de equipos de medición electrónica. La accesibilidad al lugar (**Ilustración 2**), su proximidad a centro urbano de Managua y la disponibilidad de datos técnicos fue uno de varios criterios para seleccionar el área de interés. Para obtener la información se procedió de la siguiente manera:



Ilustración 2. VISTA AÉREA DEPÓSITO DE ARENAS ESTUDIADAS

2.1. ETAPA ORGANIZATIVA

Se revisaron y analizaron información documental y cartográfica disponible en el país (instituciones académicas, centros de investigación y organización de trabajo) y consultas a especialistas nicaragüenses e internacionales en la materia. Se empleó mapa topográfico que engloba el área estudiada de 80km², editado por el Instituto Nicaragüense de Estudio Territoriales (INETER) a escala 1:50,000 del año 1986, que corresponde a las hojas topográficas de Managua con código 2951-III, y Mateare con código 2952-IV. De acuerdo con mapa citado, el territorio de interés se ubica al Noreste de la ciudad capital Managua

2.1.1.- Equipo de Oficina.

Los instrumentos empleados en tarea de oficina fueron borrador, lápices de colores, lápiz, mapas temáticos (topográfico, geológico y otros a escala varias); informes técnicos; uso e impresiones en computadora en centros de servicios (por ejemplo, bibliotecas).

2.2. ETAPA DE CAMPO

Se realizó la observación y medición de indicadores de resistencia geomecánica en campo. Se tomaron en jornadas reiteradas al sitio datos de densidad y consistencia de suelos locales (**Ilustración 3**) usando los criterios (cuantitativo y atributivos-interpretativo) y las clasificaciones estándar de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), recogidos en la publicación “Ingeniería geológica”, de **González Vallejos (2004)**. Los cuantiosos datos cuantificables y susceptibles de ser modelizados fueron obtenidos en afloramientos rocosos y cortes de caminos aprovechando la accesibilidad del área. Con esto, se reconocieron en el terreno evidencias de las condiciones físicas de rocas y suelos del lugar transformados de una u otra forma por la incidencia directa de la minería de ese territorio. Permitiendo la elaboración de mapas temáticos a escala 1:20,000. **Esta actividad comienza a realizarse desde el año 2007 aprovechando días de fin de semana, y fechas festivas y libres.**



Ilustración 3 DOCUMENTACIÓN ICONOGRÁFICA LOCAL

Hay que destacar, también, que se realizaron múltiples cavidades en el terreno, de cuyo fondo se extrajeron muestras de suelos (inevitablemente con un cierto grado de alteración) para posteriormente investigar las características y propiedades físico-mecánicas del subsuelo en laboratorio.

2.2.1.- Equipo de campo

Algunos instrumentos de campo empleados fueron martillo de geólogo, cinta métrica, lápiz y borrador, libreta de campo, cámara fotográfica, GPS manual marca GARMIN eTrex Summit, y otros. Para comprobar la medición de parámetros y ubicación de elementos de interés geomecánico y geotécnico en sitios puntuales del área investigada se han tomado fotografías con cámara digital de 4.0 mega-píxeles de resolución marca OLYMPUS

2.3. ETAPA DE LABORATORIO

Se valoró y clasificó granulométrica, física y geo-mecánicamente los suelos y rocas in situ usando información geotécnica de la compañía consultora **Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS -1997, Managua)**. Algunos datos derivaron de más de 40 muestras superficiales representativas (más de 8 ensayos experimentales) tomadas del lugar. Por otro lado, se determinó la distribución del tamaños de partículas usando juegos de tamices **U.S. Bureau of Standards**, en el que las muestras evaluadas fueron sigladas con letras mayúsculas (CM = Cerro Motastepe).



Ilustración 4. INSTRUMENTO DE LABORATORIO.

De igual manera, se re-valoraron nuevamente algunas muestras representativas, cuyos datos de laboratorios fueron incongruentes con cálculos realizados. Para ello se emplearon equipos de medición asequibles en laboratorios especializados (**Ilustración 4**), con los cuales se determinaron las parámetros geomecánicas (**Ilustración 5**) y propiedades granulométricas de los materiales del subsuelo.



Ilustración 5. LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE MECÁNICA DE SUELOS, 2007.

2.4. ETAPA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Esta actividad consistió en el tratamiento, análisis estadístico matemático y descriptivo, y presentación (gráficos, diagramas, histogramas, tablas y otros) de los datos granulométrico y/o geomecánico obtenidos para el área estudiada usando métodos gráficos y estadístico apoyado de programas informáticos SPSS versión 10 y **STATS TM V.2 (Ilustración 6)** y Escalograma LIKERT. Se representó visual y numéricamente en unidades porcentuales conjunto de datos cuantitativos y cualitativos con vista describir las características sistémicas locales.

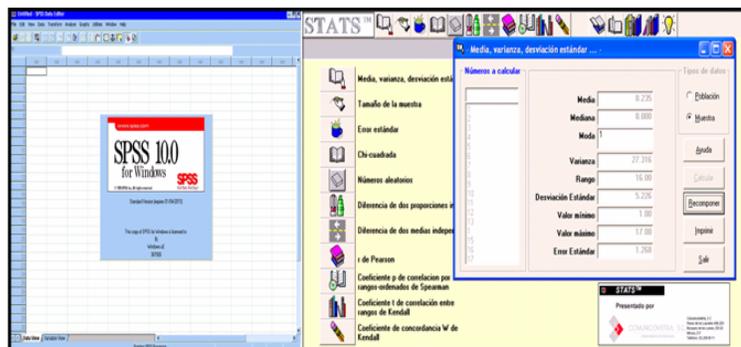


Ilustración 6. VISTA DE SOFTWARE SPSS 10.0 y STATS TM V.2.

Asimismo, se prepararon cartografía de tenacidad mecánica, densidad y consistencia de materiales geológicos usando programa de cómputo ArcGis 9.3 y AutoCad 2007. También, se empleó programas de Microsoft Office (Word y Excel) en la preparación del documento final

Por otro lado, se aplicaron modelos matemáticos (**Ilustración 7**) con calificaciones atributivas – interpretativas, importantes para cálculo de medidas estadísticas (desviación estándar, varianza y otros), y geomecánicas del subsuelo. Estos modelos son:

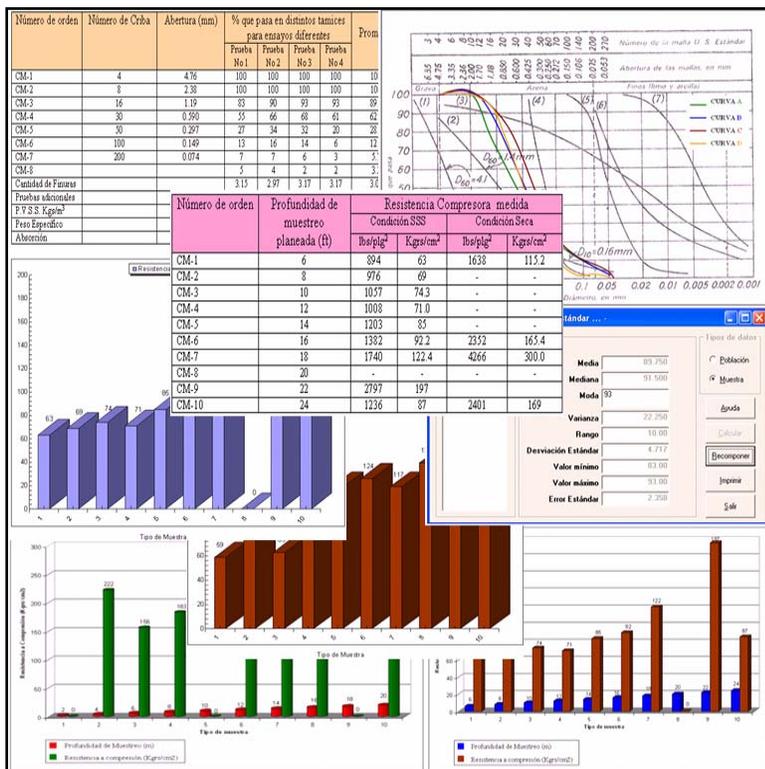


Ilustración 7. MODELOS GRÁFICOS DIVERSOS LOCALES

- MF = $\sum \% \text{ Retenido Acumulado (hasta tamiz N}^\circ 100) / 100$

- MF = $J + R + S + T + U + V / 100$

- Ck = D_{60} / D_{10}

- CZ = $(D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$

- M = $(N + 1) / 2$

- X = $\sum x_n / N$

- s = $\sqrt{\sum (x - X)^2 / N}$

- EL = PT / NT

2.5.– ETAPA DE ELABORACIÓN DEL INFORME

En esta fase se elaboró documento final para Doctorado en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales presentado a la Sede Iberoamericana Santa María La Rábida, Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) de Huelva, España. Este documento contuvo los pasos antes mencionados con sus respectivos recursos ilustrativos (numéricos, cartográficos, descriptivos e interpretativos), análisis de la situación, resultados, conclusiones, recomendaciones y anexos.

III- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del mapa (**Ilustración 8**) de tenacidad mecánica para materiales geológico (suelos y rocas) del área estudiada presenta 4 niveles atributivos específicos de resistencia física con su correspondiente valoración cuantitativa, siendo los mayores valores calculados para llanos volcánicos y zonas adyacentes con superficie de 7km² ocupado por el color Marrón (S₄) con lecturas entre 0.1 – 0.25 MPa, en donde sitúan expresiones topográficas y elementos físicos locales. Todo lo anterior sugiere un área con condiciones físicas adecuadas.

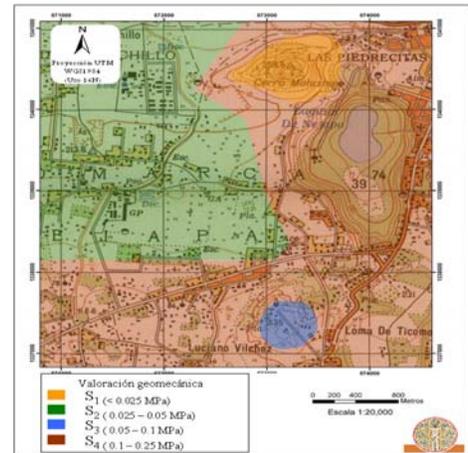
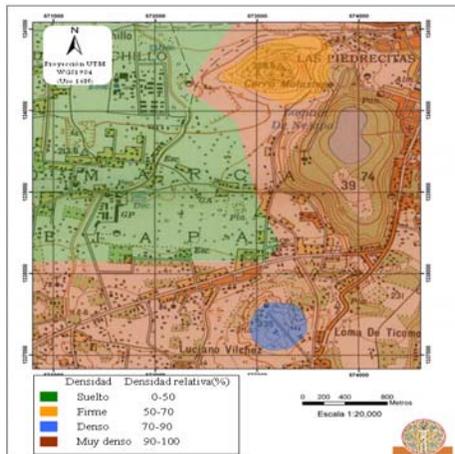


Ilustración 8. GEO-RESISTENCIA DE SUELOS EVALUADOS

De acuerdo con el mapa (**Ilustración 9**) niveles de

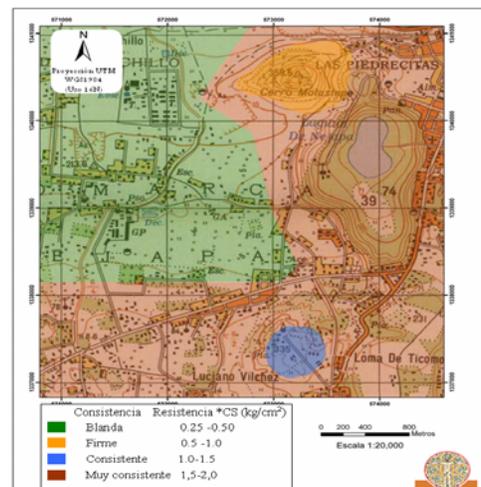


densidad alta entre 90 a 100% para la zona color café ocupando 0,4km² del sitio estudiado. A su vez, se presentan escala de colores con calificaciones desde Bajo (Comarca Nejapa y Cerro Motastepe) hasta Alto (Laguna Nejapa, área rural adyacentes, Loma Vilchez y Loma Ticomo) con valoraciones menores que la mencionada. Es decir, se obtienen calificación atributiva mínima de densidad de Suelto (tono verde), en vista que el material superficial erosionable y flojo hasta Muy Denso (tono Café) debido a condiciones física de suelos. Las demás atributos de densidad con niveles Firme (matiz naranja) y Denso (tonalidad azul), representan valores de situaciones intermedias. La minería suele perjudicar las condiciones

Ilustración 9. CÁLCULOS DE DENSIDAD geomecánica del lugar. DE SUELOS LOCALES

Finalmente, en la **Ilustración 10** se muestran calificaciones desde muy baja hasta alta en los grados de consistencia del suelo, siendo el área del Cerro Motastepe la zona arenosa de color naranja moderadamente resistente a compresión simple entre 0.5 – 1.0 kg/cm² ocupando una superficie de 0,4km², siendo esta zona de priorización extractiva, en vista que representa un sitio importante de aprovechamiento minero. Del mismo modo, se muestran graduaciones de consistencia de suelos de colores con calificaciones desde Blanda (tono verde) hasta Muy Consistente (tono café) con valoraciones distinta que la mencionada.

Ilustración 10. VALORACIÓN DE LA CONSISTENCIA DE SUELOS LOCALES. *Compresión Simple (CS)



NOTA: Todas las cartografías obtenidas, presenta iguales unidades espaciales de color y escala de presentación (1: 20,000) para efectos de comparación de uno u otro parámetro numérico y atributivos, evitar saturación y alcanzar una mejor organización de estos.

IV. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este estudio se pueden establecer las siguientes conclusiones:

a) Los productos arenosos de carácter volcánico muestran tamaño de grano mínimo de 0,425mm, y máximo de 4,75mm, clasificado granulométricamente como Arenas Media a Grueso bien graduadas. **b)** De tres ejemplares estudiado, CM-1; CM-2; y CM-3, se derivaron tamaño de granos de suelos que superan las dimensiones de abertura de las cribas No 4, No 8 y No 16, siendo retenidos en el entramado de este, y clasificándose este material como Arena Media a Gruesa y Grava Gruesa. **c)** La mayoría de las muestras evaluadas, indican el acceso en su totalidad de un material clasificado como arenas finas, particularmente, a través de mallas No 3/8', No 4, No 50 y No 100. Entre los ejemplares valuados que obtienen esta clasificación son las muestras CM-5 y CM-6. **d)** Se clasifican materiales del subsuelo (ejemplares CM-7 y CM-8) como limo o lodo medio y fino con diámetro de sus partículas entre 0,053mm y 0,074mm. **e)** Se determina que las propiedades geo-mecánica (resistencia física) de muestras de suelos estudiados crecen a profundidades no superiores de los 20ft, siendo sus rangos numéricos mínimos de 115,2kgrs/cm² (CM-1), y máximos de 300 kgrs/cm² (CM-7) en condiciones secas. Y en condiciones húmedas adquieren valores mínimos de 63 kgrs/cm² (CM-1) y máximo de 197 kgrs/cm² (CM-9). Las valoraciones de tenacidad mecánica varía de 0.025 – 0.25MPa; la densidad de suelos oscila 0 – 100% ; y la consistencia de material superficial varía ente 0.25 – 2 kg/cm². Esto sugiere condiciones física diferentes del subsuelo local. **f)** Con el empleo de la escala **LIKERT** (PT/NT) se determinaron actitudes sobre el porcentaje de partículas de las muestras CM-1 hasta CM-8 que pasa por conjunto de tamices usados (No 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200) con puntuaciones de 62,5% y calificación atributiva positiva de intensidad alta. **g)** Las 4 curvas típicas (A, B, C y D) de distribución granulométricas obtenidas para el área estudiada concuerda satisfactoriamente con los cálculos realizados. A partir de estas curvas, se desglosan granulometría de partículas heterogéneas con diámetros de grano entre 0,074 a 4,76mm, característica principal de las arenas media a fina. **h)** Finalmente, se determinan valores numéricos para el diámetro efectivo de partículas calculado en 0,075mm oscilando entre la malla No 10 y No 200; Coeficiente de Uniformidad (Cu) entre 2,25 – 6,25; y por último Coeficiente de Curvatura entre 1,12 – 2,4336. Todo lo anterior sugiere, una clasificación del material arenoso como bien graduado con tamaño de grano medio a fino.

VI. AGRADECIMIENTO

A Doctores, **Efraín A. Espinal** (Universidad Agraria, Managua, Nicaragua) y **Encarnación Navarro García** (Universidad de Huelva, Huelva, España), con estudios en Ciencias del Suelo, Ingeniería Geológica y Mecánica de Suelo, cuya experiencia profesional, académica, metodológica y tecnológica permitió el desarrollo de esta investigación.

VII. REFERENCIAS

1).- Cameron I. (2001). *Young volcan Tephra stratigraphy near the Nejapa crater of Managua*, Nicaragua Internal Report, Department o Geosciences, University of Iowa, Iowa City. 30p. **2).**- Obando, T. (2008). *Estudio y modelación cuantitativa del Impacto Ambiental generado por la Explotación Minera en los Depósitos de Arenas Volcánica al Suroeste del Cerro Motastepe, Managua-Nicaragua. Tesis* (Maestría en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales). Huelva, UNIA/Sede Iberoamericana Santa María La Rábida. (s.p.). 189p. **3).**- Ortiz, F y Alfaro, A. (2005). *Evaluación ambiental de la extracción minera No Metálica, en el Cerro Motastepe y sus alrededores: Municipio de Ciudad Sandino*. Editorial Centro Alexander Von Humboldt y Amigos de la Tierra Internacional. Managua, Nicaragua.