

Memoria resumen de Investigación Doctoral

Autoría: Tupak Obando, Doctor en Geología, y Gestión Ambiental de Recursos Mineros por la Universidad Internacional de Andalucía (Huelva, España).
Sede Iberoamericana Santa María La Rábida.

Director/Supervisor: Adolfo Torres Romero, Doctor en Ingeniería Sísmica, y Dinámica Estructural. Especialista en Ingeniería Civil, y Dinámica de suelos. Por la Universidad Internacional de Andalucía (Huelva, España)

2009

1.- Tema de Investigación de Doctorado

Modelación geo-mecánica y temporal de la licuefacción en suelos de minas no metálicas.
Estudio de Caso: Ciudad de Managua, Nicaragua

2.- Introducción

El territorio investigado se enmarcó en llano volcánico y sedimentario de la Ciudad de Managua con pendientes del terreno menor de los 10% rodeados por altozanos y depresiones volcánicas importantes y distintivas.

Este Estudio abarcó terrenos urbanos ocupados por múltiples obras de ingeniería tales como edificaciones industriales, residenciales, educacionales y comerciales.

El área comprendió superficie de terreno de *544 km² dentro de desarrollo urbano constituido por barrios y comunidades rurales y urbanas de la municipalidad, en donde se desarrollan proyectos de construcción de edificaciones industriales, residenciales, educacionales y comerciales. Las coordenadas geográficas del área son *N12°09'00" – E86°16'00".

La investigación tuvo por objetivo la determinación del potencial de licuación del suelo en el área de la ciudad de Managua para la ordenanza territorial, planificación física y constructiva dentro esta región del pacífico de Nicaragua. O bien para usos por la industria de construcción de infraestructura de transporte y edificación urbana; empresas y normativas constructivas estatal o privada; el desarrollo de la cultura de protección civil; la gestión del riesgo; los proyectos de inversión económica; la generación de conocimientos actualizados provechosos por académicos e investigadores de universidades, instituto politécnicos, centro de investigación, entre otros

El sitio con forma cuadriforme, se seleccionó por la disponibilidad de datos técnicos, es un área de fácil acceso, zona de interés comercial e industrial, con amplio desarrollo geográfico. Managua, con *1,850,000 habitantes aproximadamente (tasa alta de densidad poblacional), es considerado por el **GSHAP** (Global Seismic Hazard Assesment Program, 1999) como una zona con alta amenaza sísmica, que se incrementa por las condiciones locales del suelo y características dinámica de los sismos acompañada de poco más o menos 10 fallas geológicas activas.

3.- Hipótesis y objetivos

Objetivos:

Compilar y evaluar los datos geotécnicos existentes en el área de estudio que justifique la realización de mapa de suelos licuables.

Reconocer en el terreno evidencias geológicas y físicas superficiales de licuación del suelo.

Proponer un método para el análisis de licuación potencial del suelo basado en correlaciones numéricas y gráficas reales de las propiedades dinámicas de los suelos considerando mediciones resultantes de ensayos SPT

Verificación del método propuesto en un caso real, como la ciudad de Managua, en el cual el autor de esta investigación estuvo involucrado.

Hipótesis:

- Muchos de los daños en las obras de ingeniería bajo condiciones reales muestran vulnerabilidad en sus cimientos con la licuefacción del suelo por la dificultad de observar el mecanismo evolutivo de tal proceso geológico durante sismos importantes.
- La variabilidad de la carga sísmica induce en la fase suelo estructura comportamiento no lineal e histórico que conlleva a la degradación mecánica del suelo
- Los mecanismos de rotura y deformación condicionan el ensayo analítico, siendo contrario en caso de las pruebas en campo

4.- Grado de innovación previsto

Se presentan las aportaciones originales generadas de esta tesis doctoral como la forma de aplicación de la metodología para valoración cuantitativa y atributiva de los parámetros y propiedades dinámicas condicionante de la licuación del subsuelo en la ciudad de Managua; la propuesta de umbrales de velocidad de onda de corte, tipificación de suelos y períodos fundamentales de vibración del suelo, teniendo en cuenta **artículo 25** relativo a la *Influencia del Suelo y Períodos del Edificio* recogidos en acápite de “Normas Mínimas para Determinar la Carga debida a Sismos” del Reglamento Nacional de la Construcción hasta la fecha vigente; la propuesta de clasificación y descripción de valores de módulo cortante y densidad relativa a partir de modelación numérica específica. La evaluación de información dinámica y geotécnica de suelos y rocas locales aplicando programa de cómputo SPSS V. 10 y STATS TM V.2. La evaluación de potencial de licuación de suelos, tenacidad mecánica y consistencia de suelos empleando software ArcGis 9.3. Las matrices y diagramas de relación doble para valoración de información cualitativa y numérica obtenida del análisis estadístico-matemático. Para la realización de este trabajo se ha aplicado técnicas de estadísticas descriptivas, iconográfica, escalograma Likert y modelos matemáticos distintivos.

5.- Metodología y diseño experimental

5.1.- Etapa organizativa

Se compiló y analizó la información relevante, y necesaria siguiendo criterios lógicos y adecuados al problema que aquí se aborda basado en fuentes documentales (especialmente, datos geotécnicos de las importantes zonas de la ciudad capital), y modelos cartográficos disponibles en el país (universidades, institutos politécnicos, instituciones académicas, centros de investigación y bibliotecas).

Se realizan consultas a especialistas ingenieros de suelos y sísmicos nicaragüenses e internacionales sobre el tópic abordado en la presente investigación doctoral

Se preparan mapa de ubicación geográfica que englobe el área estudiada a escala 1:180,000 usando fuentes de datos SIG del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales de años anteriores.

El sitio investigado con forma casi paralelogramo ocupó superficie cuadrática de considerable extensión, siendo el tamaño de la muestra representativa el 100% del área estudiada.

En este estudio, se aplicó técnicas geotécnicas e iconográficas, procedimientos geo-estadístico para la representación visual de resultados apoyados de programas informáticos (STATS TM V.2; SPSS V.13, AutoCad, SismoEstruct, Liquiter V. 8, ArcGis 9.3, entre otros), procedimientos de ensayos in situ del SPT. Se aplican modelos matemáticos específicos $\{V_s = 89.8N^{0.341}; G = \text{densidad} * V_s^2; \text{y otros}\}$, entre otros., apoyados de equipos de medición electrónica.

5.2.- Etapa Analítica

Se clasifica y valora las velocidades de ondas de corte para la ciudad de Managua usando criterios técnicos estándares reunidos en la publicación “Análisis del Comportamiento Dinámico de los Suelos durante Sismos en el Área de Managua, Nicaragua”, de **Moore (1990)**, y “Análisis de Espectros de Respuestas en el Área de Managua de la Ciudad de Managua” de **Parrales (2001)**.

Se obtuvo información aprovechando la base de datos geotécnicos de más de 1,220 ensayos experimentales y en campo realizados en esta última década. La información geotécnica procede parte de estudios geotécnicos, e investigaciones de zonación sísmicas realizadas en la Ciudad de Managua. La base de datos contiene mediciones de campo sobre parámetros dinámicos del subsuelo, que resultan de ensayos de penetración estándar (N_{SPT}).

A su vez, se aplica la correlación cuantitativa propuesta por **Imai y Fumoto (1975)** para la obtención de velocidades de ondas de corte y módulo cortante. De esto, se obtuvieron múltiples mapas temáticos a escala detalle.

Hay que enfatizar que los datos de entrada al modelo numérico planteado por **Imai y Fumoto (1975)** se obtuvieron de los estudios de zonificación geotécnica y sísmica realizado en Managua (**Díaz, H., y Téllez, C., 1994; Martínez, B. 1977; Ministerio de Infraestructura y Transporte, 1997; Pérez, V., 1973; Valera, J., 1973; Zapata, R. 1984; y otros**).

No obstante, se determinó por el autor de la presente investigación, modelos matemáticos de velocidad de corte y modulo cortante en función de números de golpes suministrado al subsuelo de Managua. En este estudio doctoral se contó con colaboración **Germán Obando**, Ingeniero Civil, cuyas de interés son ingeniería del Suelo y mecánica estructural.

Es preciso mencionar que aquellas zonas de la ciudad donde se presenta exigua cantidad de medición geotécnica se reforzarán con modelo matemático concretas.

Se zonificó el área de estudio en función de parámetros dinámicos (velocidades de corte, modulo cortante y otros) de igual valor apoyados de herramienta informática ArcGis 9.3, que permitió diferenciar zonas o suelos licuables con diferentes niveles de susceptibilidad.

5.3.- Etapa de Campo

Se reconoció, documentó iconográficamente, dimensionó y geo-localizó evidencias físicas en el terreno sobre características y/o condiciones extrínseco e intrínseca de suelos licuables del área estudiada, aprovechando las condiciones de accesibilidad al mismo. Se identifican estructuras sedimentarias impresas en el subsuelo (indicativo de licuefacción), como huellas de volcanes de arenas, sand blow (arenas movedizas), los diques clásticos y los sill clásticos. Se realizan mapas temáticos a escala detalle apoyado de ArcGis 9. Se obtuvo datos usando criterios y clasificaciones estándares de la Ingeniería Geológica

5.4.- Etapa de procesamiento e interpretación de datos

Se dio tratamiento, análisis estadístico matemático y descriptivo, y presentación (gráficos, diagramas, histogramas, tablas y otros) de los datos geológico y geotécnico (especialmente, parámetros dinámicos influyentes) para determinar el potencial de licuación del terreno sometidos a movimientos sísmicos usando métodos gráficos y estadístico apoyado de programas informáticos SPSS versión 10 , FLAC, y STATS TM V.2 y Escalograma LIKERT. Se representó visual y numéricamente en unidades porcentuales conjunto de datos cuantitativos y cualitativos con vista describir las características sistémicas locales.

5.5.- Etapa de Oficina

Por último 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 plasma las etapas del proceso investigativo con sus respectivos recursos ilustrativos (numéricos, cartográficos, descriptivos e interpretativos), análisis de la situación, resultados, conclusiones, recomendaciones y anexos.

6- Resultados Obtenidos

En esta sección parte se plantean los producto del análisis y el tratamiento de datos. Asimismo, se representan los hallazgos encontrados de este presente estudio doctoral a través de tablas, gráficas, diagramas, cuadros y mapas.

A partir de la metodología propuesta apoyada de múltiples técnicas modernas, se permite obtener los siguientes productos:

- ✚ Mapa de área de licuación en Managua resultante del análisis de datos procedentes de ensayos geotécnicos in situ, y en laboratorio.
- ✚ Memoria de cálculos sobre la ingeniería geotécnica, geológica y sísmica de la estructura del subsuelo local.
- ✚ Mapa de efectos de licuación en suelos capitalinos. Según datos aportados por el presente Estudio, los sitios propensos a licuarse ocupan la zona costera del lago Xolotlán en la región Norte de Managua (por ejemplo, el Teatro Rubén Darío, Linda Vista, Julio Martínez, Edificio Silvio Mayorga, San Isidro, Altos de Santo Domingo, Altagracia, UNAN-RURD). Sugiriendo un comportamiento dinámico distinto a otros lugares de la ciudad, en que es notorio las evidencias física en superficie del proceso de licuación por sismos importantes. Este resultado es corroborado con estudios realizados por Moore (1,990), y Parrales et. al. (2001).
- ✚ Propuesta de un Modelo conceptual sobre la determinación del potencial de licuación del suelo basado en correlaciones analíticas, y parámetros dinámicos del subsuelo de Managua.

- ✚ Mapa del potencial de licuación en el área de la Ciudad de Managua. Se indican las zonas susceptibles de Managua a procesos licuables, en que se muestra un desarrollo preferente al Noroeste y Sur del territorio investigado.
- ✚ Productos cartográficos, numéricos, interpretativos y conceptuales.

7- Breve reseña bibliográfica

- **B. Nuhfer, E. et. al. (1997).** Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos. Editado por L. Suárez & M. Regueiro. Ilustre Colegio Oficial de Geólogo de España. Madrid. 196p.
- **Badillo, J y Rodríguez, R. (2006).** Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Editorial LUMUSA. México. 644p.
- **Barrantes, R. (2000).** Investigación. Un camino al conocimiento: Un enfoque Cuantitativo y Cualitativo. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). San José. 264p.
- **Berry, M., y Reid, D. (1993).** Mecánica de suelos. Editorial McGraw-Hill. Bogotá, 415p.
- **Bozorgnia, Y. & V. Bertero, Vitelmo.-editor (2004).** Earthquake engineering: from engineering seismology to performance-based engineering. CRC Press LLC/Internacional Code Council. United State of America.
- **Byrne, P. (2003).** Earthquake Induced Damage Mitigation from Soil Liquefaction. <http://www.civil.ubc.ca/liquefaction/>
- **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
- **Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1971).** Geología y Levantamiento de Suelos de

la **Región** Pacífica de Nicaragua: Descripción de suelos. Volumen II. Managua. 592p.

- **Chen, W.-editor (1999).** Structural Engineering Handbook. CRC Press LLC. United State of America.
- **Chen, W. & Scawthorn, C.-editor (2002).** Earthquake Engineering Handbook. Hawai University. United State of America.
- **Dashkó, R., y Kagán, A. (1980).** Mecánica de suelos en la práctica de la geología aplicada a la ingeniería. Editorial MIR-Moscú. Moscú, 257p.
- **Davis, M., y Masten, S. (2005).** Ingeniería y Ciencias ambientales. Editorial McGraw Hill. México. 750p.
- **Fernández, A. y Crumley, A. (2000).** Estudio del Riesgo de Licuación para Represa de Río Blanco: Comparación entre Metodologías existentes. Geotechnical Engineers (Geoconsult, Inc.). San Juan, 12p.
- **González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Otero, C. (2002).** Ingeniería Geológica. Editorial PEARSON EDUCACIÓN. Madrid. 744p.
- **Henríquez, C. (2007).** Mejora de terrenos potencialmente licuables con inyecciones de compactación. *Tesis Doctoral*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Camino, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 691p.
- **Hodgson, G. (2000).** Geología Regional de Nicaragua: Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN, Managua). Managua. 184p.
- **Hradecky P., Hayliceck P., Navarro M., Novak Z., Stanik E., y Sebesta J. (1997).** Estudio para el Reconocimiento de la Amenaza Geológica en el Área de Managua, Nicaragua CGU/INETER. Praga-Managua.230p
- **Instituto Tecnológico Geominero de España (2000).** Reducción de Riesgos Geológicos en España. Editorial Instituto Tecnológico Geominero de España / Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 202p.
- **López, S. (2005).** Modelización geomecánica de los procesos de densificación, licuefacción y movilidad cíclica de suelos granulares sometidos a sollicitaciones dinámicas. *Tesis Doctoral*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Camino, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real. 271p.
- **López, S. (2007).** Back-analysis of liquefaction in the 2006 Mozambique earthquake. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. Taylor & Francis. London. 14p
- **López, S. (2008).** Application of numerical tools for the modelling of granular soil behaviour under earthquakes: the state-of-the-art. Nova Science Publishers. In: Earthquake Engineering: New Research. 41p.
- **Kayen, R. et al (2004).** Global Shear Wave Velocity Database for Probabilistic Assessment Initiation of Seismic-Soil Liquefaction. DRAFT for 11th International Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Berkeley, CA 7p.

- **Moore, F. (1990).** Análisis del comportamiento dinámico de los suelos durante sismos en el área de Managua. Facultad de Ciencias. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. San José. 102p.
- **Obando, T. (2008).** Valoración del Impacto ambiental generado por la explotación minera a arenas volcánicas al Suroeste de Cerro Motastepe, Managua-Nicaragua. Tesis de Maestría. Universidad Internacional de Andalucía. Editorial Common Creative/ Huelva. 159p.
- **Parrales, R., y Picado, M. (2001).** Análisis de Espectro de Respuesta en el área de la Ciudad de Managua. Facultad de Tecnología de Construcción. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. 192p.
- **Parra, D. (2000).** “Licuación del Suelo y Resistencia Cíclica”. Asociado FIC-UNI, Ingeniero de Proyectos Vector Perú S.A.C.
- **Peck, R., Hanson, W., y Thornburn, T. (1991).** Ingeniería de Cimentaciones. Editorial LIMUSA. Quinta edición. México. 557p.
- **Rennat, E. y Miller, S. (1997).** Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de Minas. Ministerio de Energía y Minas de Perú. Perú.
- **Rico, A. y Del Castillo, H. (1988).** Ingeniería de Suelos en las vías terrestres Vol. 1. Editorial LIMUSA. México, 459p.
- **Sampieri, R.H., Collado, C.F., y Lucio, P. B. (2006).** Metodología de la Investigación. 4^{ta} edición. Editorial McGrawHill Interamericana. México.850p.
- **Sauter, F. (1989).** Fundamento de Ingeniería Sísmica: Introducción a la Sismología. 1^{ra} edición Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. 269p.
- **Segura, F. (2008).** *Zona de Subducción y Sismicidad: análisis de su comportamiento entre 1992 y 2008.* Revista Tierra edición N° 12. Páginas 08 - 12.
- **Youd, T. (1977).** Packing Changes and Liquefaction Susceptibility. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 103: GT8, 918 / 922

Observación.

- Detalles sobre la tesis doctoral completa, y editada por la Universidad Internacional de Andalucía (Huelva, España) dirigirse con el autor de trabajo doctoral, o bien, con autoridades académicas de la Universidad. Correo electrónico: tobando_geologic@yahoo.com
- El tratado doctoral contiene más 900 páginas, sin incluir sus recursos ilustrativos, y anexos.