



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA (UNIA)

**SEDE IBEROAMERICANA SANTA MARÍA LA RÁBIDA
HUELVA, ESPAÑA**

**PROGRAMA INTERUNIVERSITARIO DE DOCTORADO Y MÁTER
UNIVERSITARIO (MAESTRÍA) EN GEOLOGÍA Y GESTIÓN
AMBIENTAL DE LOS RECURSOS MINEROS**

TESIS DOCTORAL

**Estudio y modelación cuantitativa y descriptiva de la licuefacción
de suelos Vulcano-Sedimentario sujetos a sollicitaciones dinámica
Estudio de Caso: Ciudad de Managua**

Tupak Obando R., Geólogo

**Huelva, España
2010**



INTRODUCCIÓN

Este Estudio se enmarca en llano volcánico y sedimentario del área de la Ciudad de Managua con relieve bajo y plano pendientes menores de 10% rodeados por altozanos y depresiones volcánicas distintivas en el lugar.

El área comprende superficie del terreno de 544 km² dentro de desarrollo urbano constituido por barrios y comunidades rurales y urbano de la municipalidad, en donde se desarrollan proyectos de construcción de edificaciones industriales, residenciales, educacionales y comerciales.

La investigación tiene como objetivo determinar el potencial de licuación del suelo en el área de la ciudad de Managua para ordenanza territorial, planificación física y constructiva de 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.

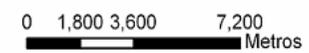
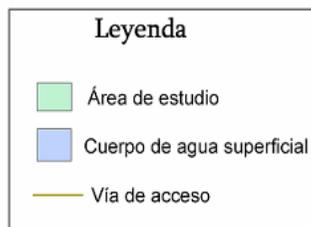
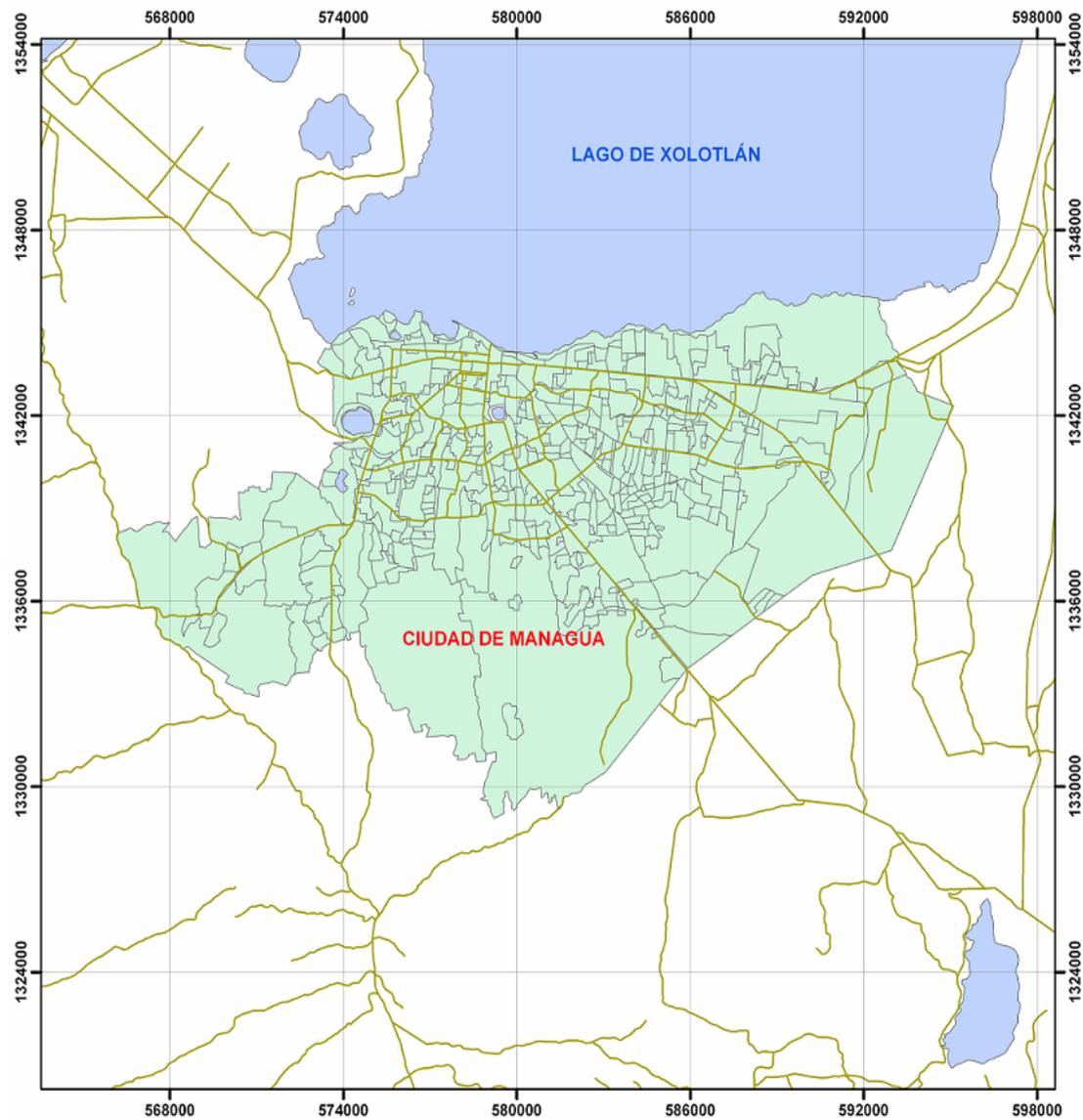
El sitio investigado con forma cuadriforme seleccionado por la disponibilidad de datos técnicos, área de fácil acceso, zona de interés comercial e industrial, con amplio desarrollo turístico, económico y constructivo, en cuyos alrededores se emplazan obras de ingeniería importantes.

Managua, con un millón y medio de habitantes (tasa alta de densidad poblacional), es considerado por el GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program, 1999) como una zona con alta amenaza sísmica, que se incrementa por las condiciones locales del suelo, características dinámica de los sismos y la presencia de numerosas fallas geológicas activas.

Este trabajo contribuye con la planificación física, ordenanza sísmica y geológica, el mejoramiento y actualización del Reglamento Nacional de la Construcción vigente, insumos para la elaboración de espectro elásticos de diseño, cálculos de coeficientes sísmicos en estructuras, períodos fundamentales de vibración de edificios, entre otros. La investigación permite 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, institutos politécnicos, entre otros.

Localización geográfica

Escala 1:180,000



Escala 1:180,000



OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar las características, propiedades y comportamiento dinámico de suelos vulcano-sedimentario ante procesos de licuefacción en la ciudad de Managua con vista a su ordenanza territorial, gestión urbana y la reducción de riesgos en la planificación del desarrollo urbano de la municipalidad.

Objetivos Específicos

- Compilar y evaluar los datos geotécnicos existentes en el área de estudio que justifique la realización de mapa de potencialidad a la licuefacción en los suelos.
- 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.



METODOLOGÍA

Etapa Organizativa

- ❑ **Compilación, análisis y ordenación de la información** documental y cartográfica relevante del área disponibles en universidades, institutos politécnicos, instituciones académicas, centros de investigación y bibliotecas.
- ❑ **Visita a laboratorios de geotecnia** privados y/o públicos confiables establecidos en Managua
- ❑ **Consultas a especialistas ingenieros de suelos y sísmicos** nicaragüenses sobre la materia.
- ❑ **Utilización de motores de búsqueda** en Internet (Yahoo, Google, Alta Vista y otros), directorios, páginas de expertos en nuestro tema (muchas veces de instituciones educativas como Universidad de Castilla-La Mancha, y Universidad Politécnica de Madrid).



- ❑ **Preparación de mapa de ubicación geográfica** que engloba 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** ocupa superficie cuadrática de considerable extensión, siendo el tamaño de la muestra representativa el 100% del área estudiada.
- ❑ **Aplicación de técnicas geotécnicas e iconográficas**, procedimientos geo-estadístico apoyados de programas informáticos (STATS TM V.2; SPSS V.13 y ArcGis 9.3), procedimientos de ensayos in situ del SPT.
- ❑ **Proposición de modelos** matemáticos específicos. Obtención de datos cuantitativos apoyados de equipos de medición electrónica.
- ❑ **Los instrumentos empleados** fueron accesorios de oficina; documentación técnica; uso e impresiones computarizadas en centros de servicios (por ejemplo, bibliotecas) y otros.

COMPUTADOR Y SUS ACCESORIOS



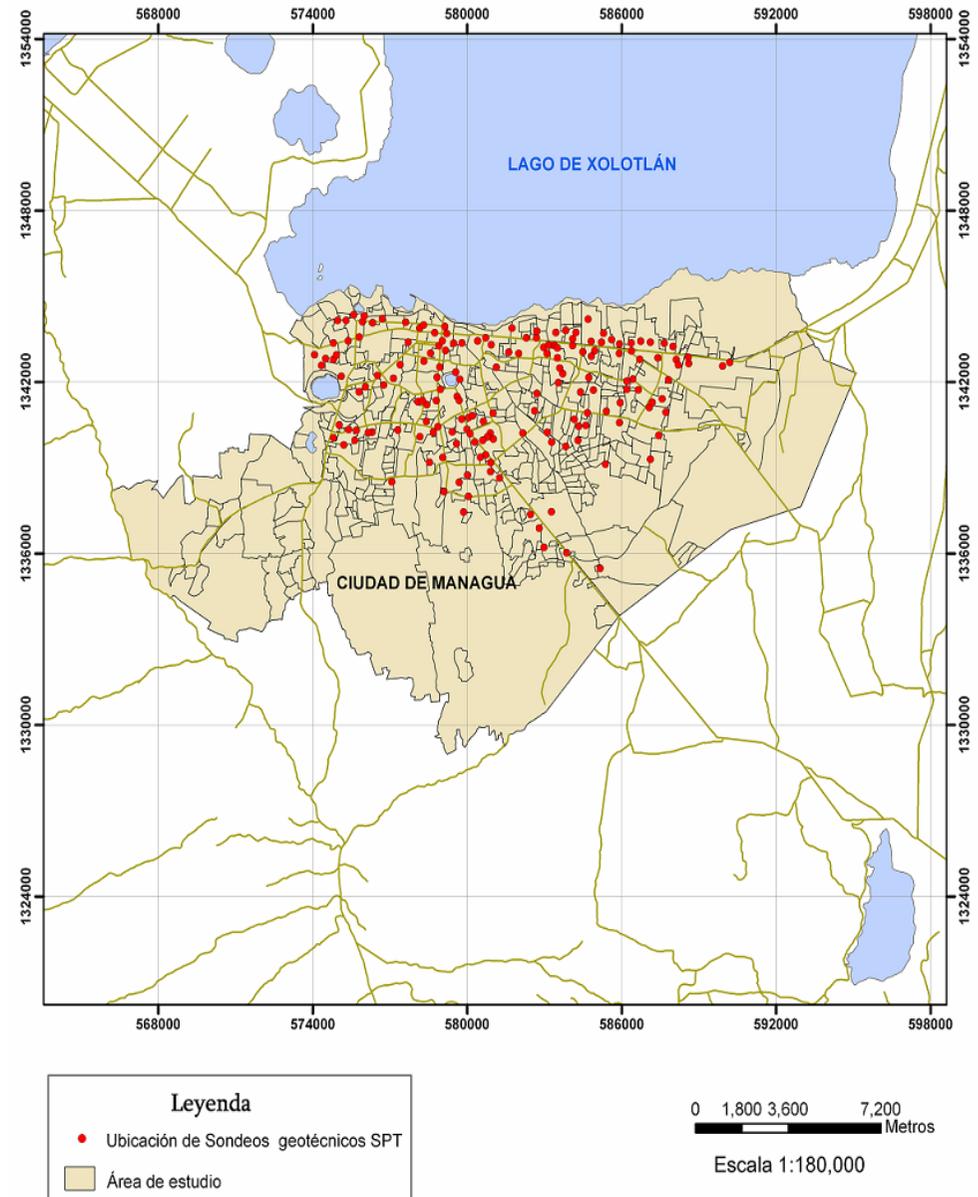
Etapa Analítica

❑ **Clasificación y valoración de velocidades de ondas de corte** para 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).

❑ **Obtención de base de datos geotécnicos** de más de 1,220 ensayos experimentales y en el terreno tipo SPT

❑ **Proposición de modelos numéricos para obtención de velocidades de ondas de corte y módulo cortante.** Obtención de mapas temáticos a escala detalle.

❑ **Localización, densidad y distribución espacial de sitios de medición** en Managua



❑ Los puntos medidos se codificaron con letras mayúsculas (CM = Ciudad de Managua) y la información se plasmó en Tabla adjunta.

❑ Zonación del área de estudio en función de parámetros dinámicos (velocidades de corte, modulo cortante y otros) de igual valor apoyados de ArcGis 9.3, que permitieron diferenciar zonas o suelos licuables con diferentes niveles de propensidad

Tabla 1. SIGNATURA DE PUNTOS DE MUESTREO PROPUESTOS PARA EL ÁREA ESTUDIADA (CM = CIUDAD DE MANAGUA)

| Número de orden | Posición cartográfica | | Locación geográfica | Velocidad de Onda de Corte (Vs) | Espesor de capa sobre basamento rocoso (H) | Períodos fundamentales del suelo |
|--------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|
| | X _{UTM} | Y _{UTM} | | | | |
| CM ₁ | | | | | | |
| CM ₂ | | | | | | |
| CM ₃ | | | | | | |
| CM ₄ | | | | | | |
| CM ₅ | | | | | | |
| CM ₆ | | | | | | |
| Hasta CM ₁₂₂₅ | | | | | | |

Etapa de Campo

- ❑ **Reconocimiento, documentación iconográfica,** dimensionalidad y geo-localización de evidencias físicas en el terreno sobre características y/o condiciones extrínseca e intrínseca de suelos licuables del área estudiada, aprovechando las condiciones de accesibilidad al mismo. Obtención de algunos datos usando criterios y clasificaciones estándares recogidos en la publicación “Ingeniería Geológica”, de González Vallejos (2002)
- ❑ **Visitas reiteradas al lugar para la identificación y medición** de diversas 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. Permitiendo la elaboración de mapas temáticos a escala detalle apoyado de ArcGis 9.
- ❑ **Algunos instrumentos de campo** empleados fueron martillo de geólogo, cinta métrica, GPS manual marca GARMIN eTrex Summit, y otros. Para comprobar la medición de parámetros y ubicación de elementos de interés técnico, en sitios puntuales del área investigada se han tomado fotografía con cámara digital de 4.0 mega-píxeles de resolución marca OLYMPUS.



INSTRUMENTOS DE CAMPO

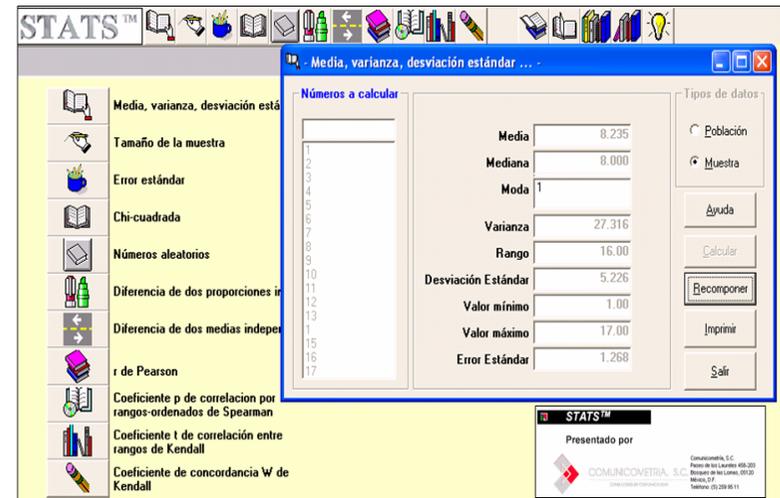
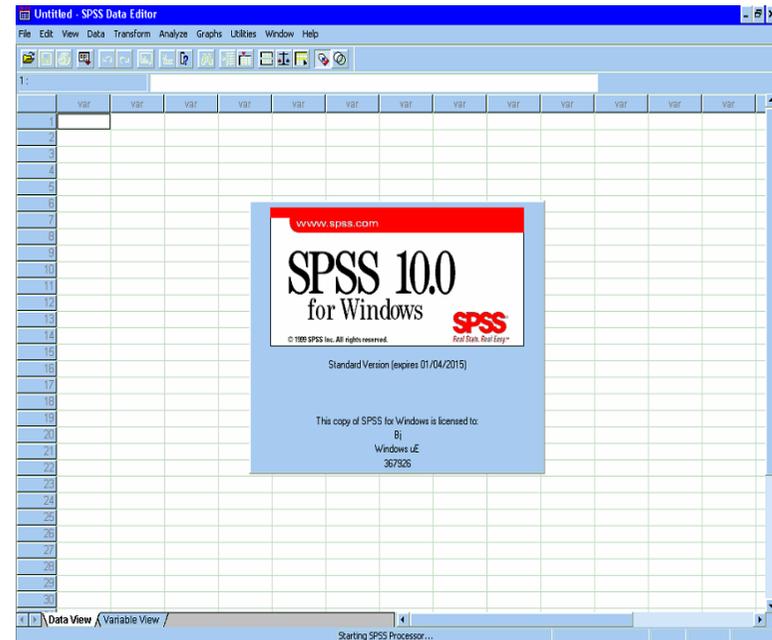
Etapa de Interpretación de Datos

❑ **Tratamiento, análisis estadístico matemático y descriptivo**, 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 (Figura 58). y STATS TM V.2 y Escalograma LIKERT.

❑ **Representación visual y numérica en unidades porcentuales** de datos con vista describir las características sistémicas locales.

❑ **Elaboración de mapa de iso-valores de velocidades de corte, modulo cortante** y otros usando programa de cómputo ArcGis 9.3. Aplicación de programas de Microsoft Office (Word y Excel) para la preparación del documento final. Este incluye gráficos, diagramas, histogramas, y tablas.

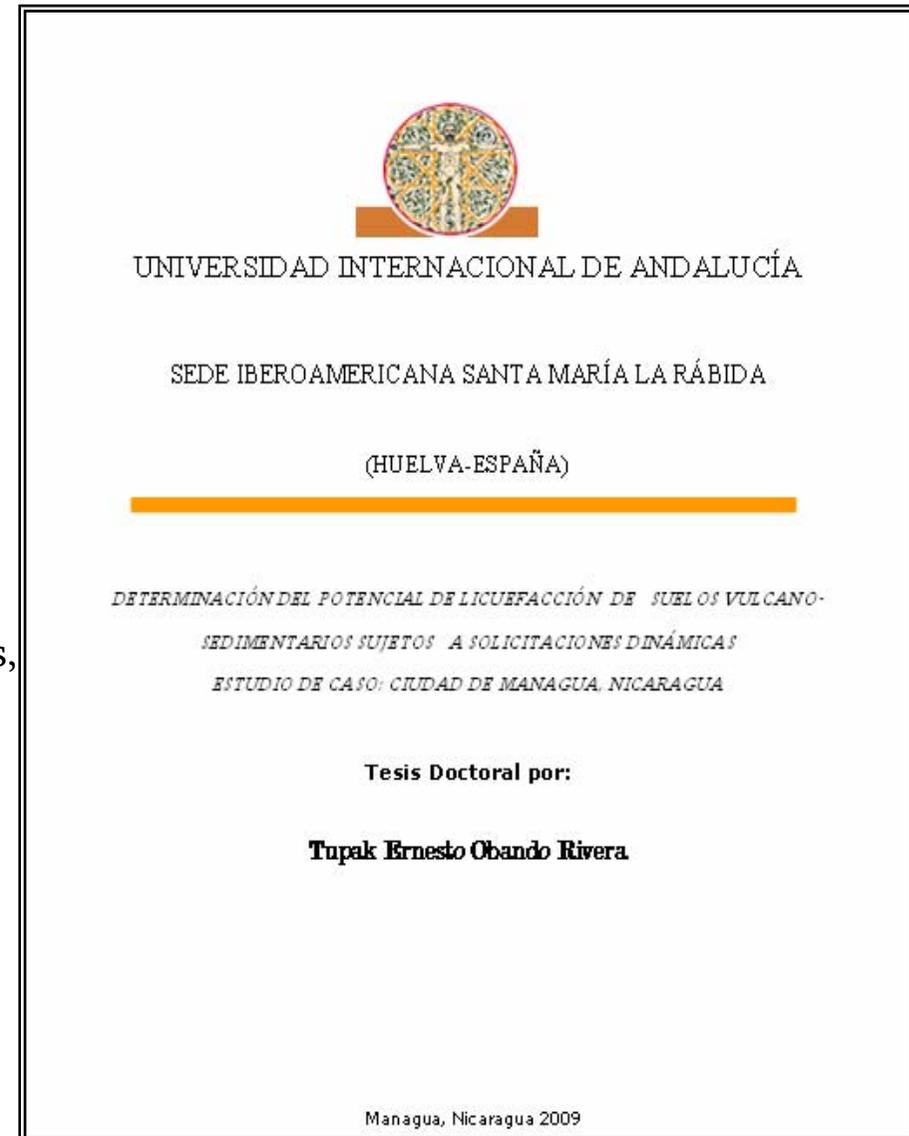
❑ **Modelación matemática propuesta para cálculo de propiedades** dinámicas y medidas estadísticas del subsuelo (desviación estándar, varianza y otros).



VISTA DE LOS DATOS EN SPSS 10 y
STATS TM V.2

Etapa de Elaboración del Informe Final

- ❑ **Elaboración de un documento final** para obtención del Título de Doctor en la Sede Iberoamericana Santa María La Rábida, Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) de Huelva, España.
- ❑ **Documentación conteniendo las fases del proceso investigativo** realizado, en el que se incluye múltiples recursos ilustrativos (numéricos, cartográficos, descriptivos e interpretativos), análisis de la situación, resultados, conclusiones y recomendaciones.





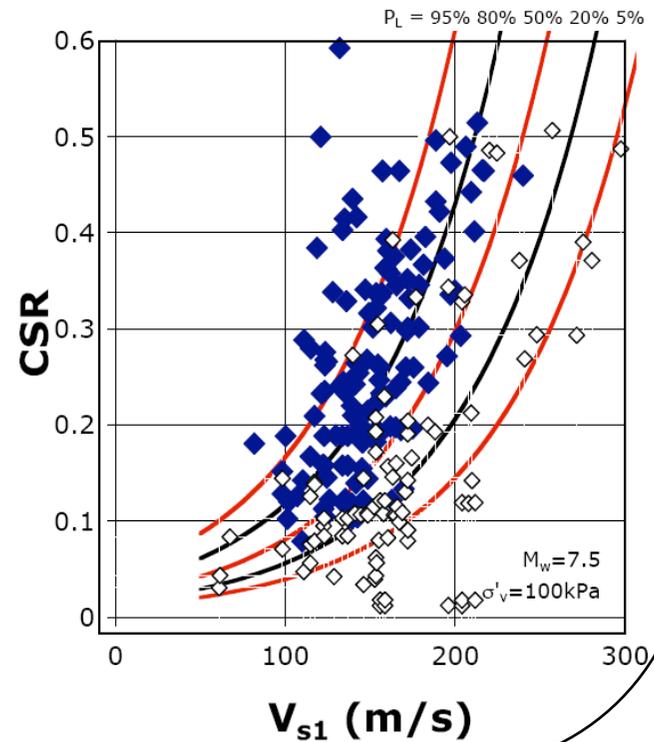
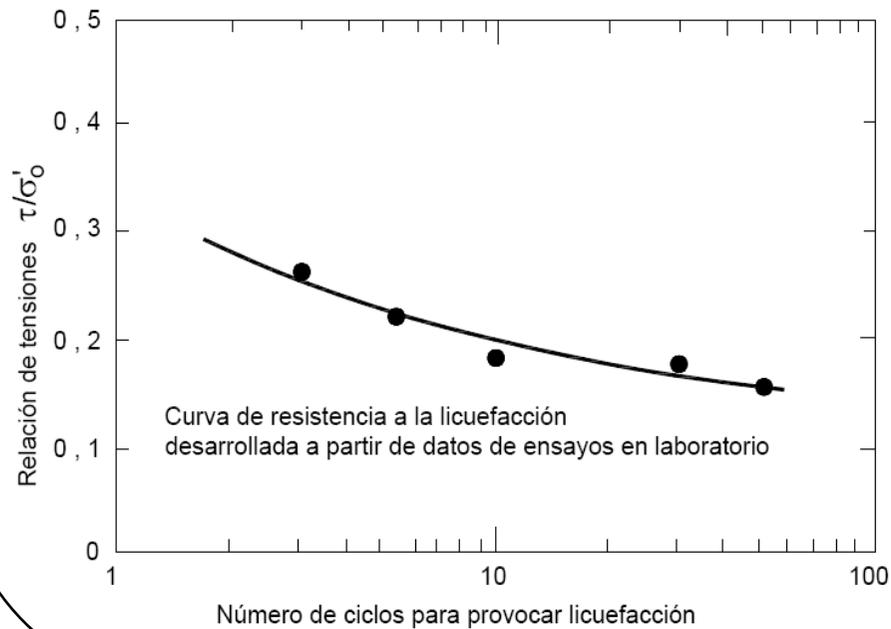
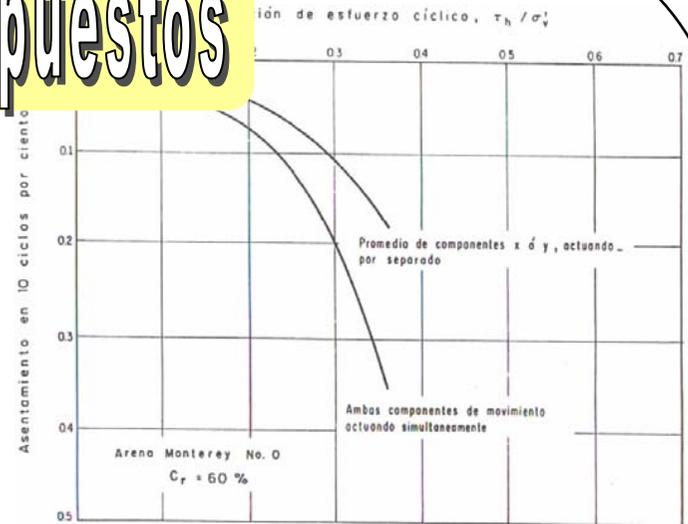
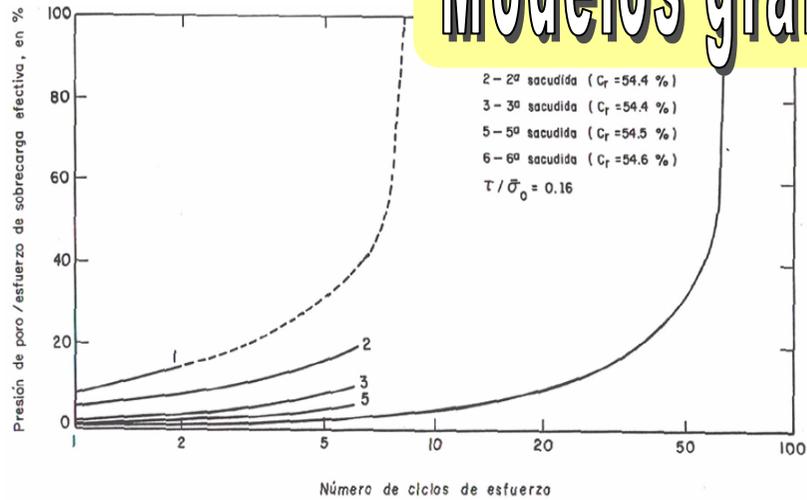
Particularidades Conexas

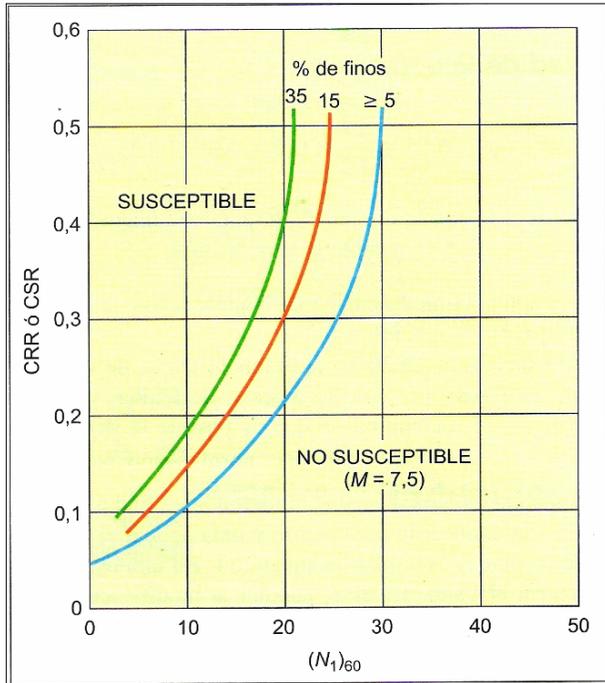


Recursos Ilustrativos

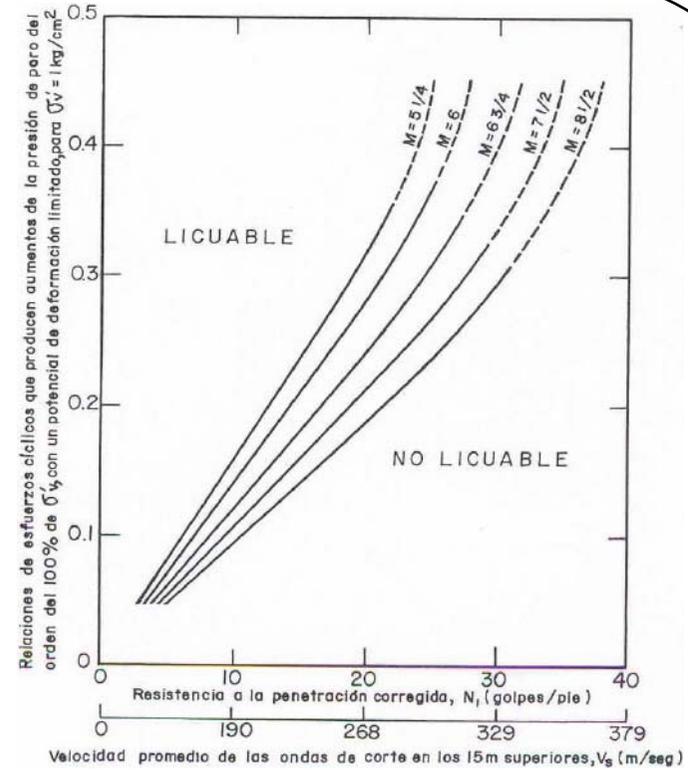


Modelos gráficos propuestos

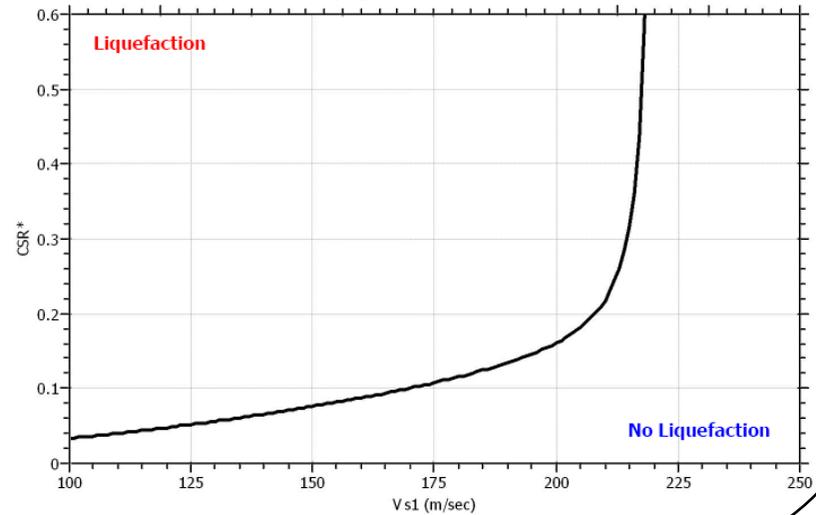
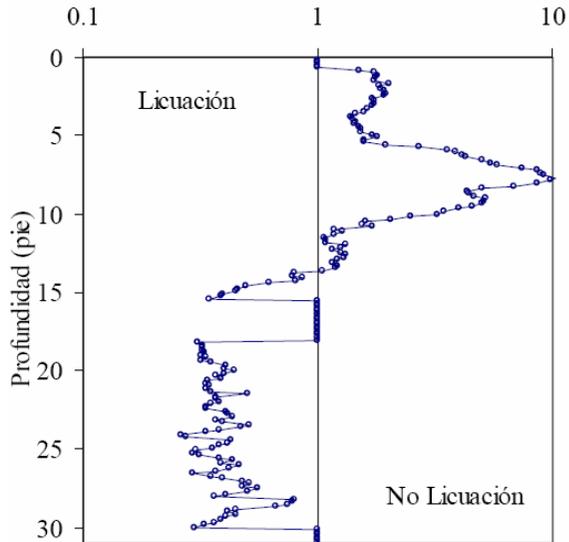




Factor de Seguridad a la Licuación



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma'_v=1$ atm base curve



Modelos numéricos propuestos

- a) $V_s = 89.8N^{0.341}$ Velocidad de Onda de Corte (propuesta No 1)
- b) $G = \text{densidad} * V_s^2$ Módulo Cortante
- c) $G_o = 1200N^{0.8}$ Módulo de Corte Inicial
- d) $FS = CRR / CSR$ Seguridad del terreno a la licuefacción
- e) $N = 15 + [N' - 15]/2$ Número de golpes corregidos
- f) $\%c = G_o/G - G_o$ Estado de degradación de rigidez del suelo
- g) $V_s \text{ (m/seg)} = 56 (N)^{1/2}$ Velocidad de Onda de Corte (Propuesta No 2)
- h) $C_N = 1 - 1.25 \log \sigma'v/\sigma'v1$ Factor de corrección de esfuerzos cíclicos
- i) $N1 = C_N * NSPT$ Valor NSPT Normalizado
- j) $CRR = \frac{1}{34-N} + \frac{N}{13.5} + \frac{50}{[10N+45]^2} - \frac{1}{200}$ Coeficiente de Resistencia Cíclica

$$\mathbf{k) CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}}$$

Coeficiente de Esfuerzo Cíclico

$$\mathbf{l) FS = CRR/CSR}$$

Factor de Seguridad a la licuefacción

$$\mathbf{m) M = (N + 1)/ 2}$$

Mediana para medición estadística

$$\mathbf{n) \bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + X_k)/N}$$

Promedio aritmetico de valores medidos

$$\mathbf{o) s = [\sum(x - \bar{X})^2 /N]^{1/2}$$

Desviación estándar

$$\mathbf{p) PT/NT}$$

Relación de valores en la Escala LIKERT

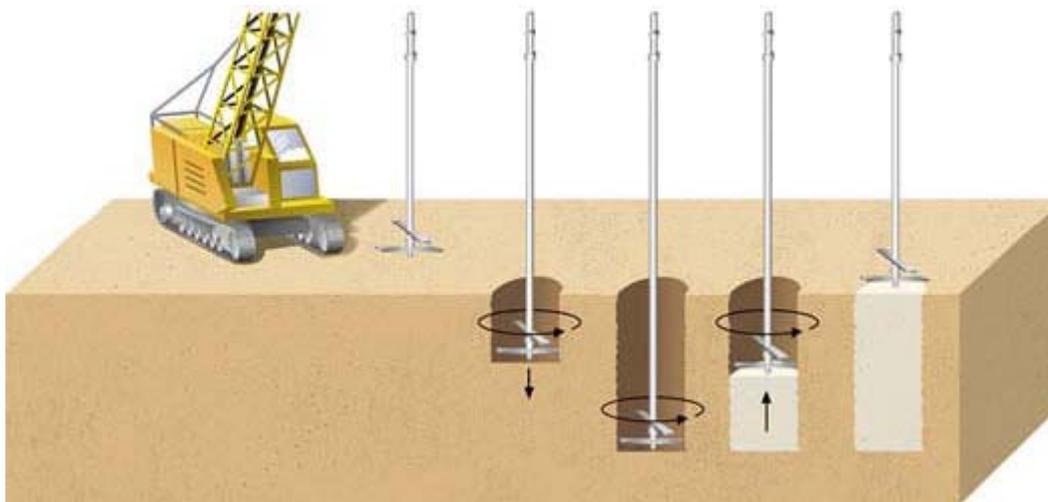
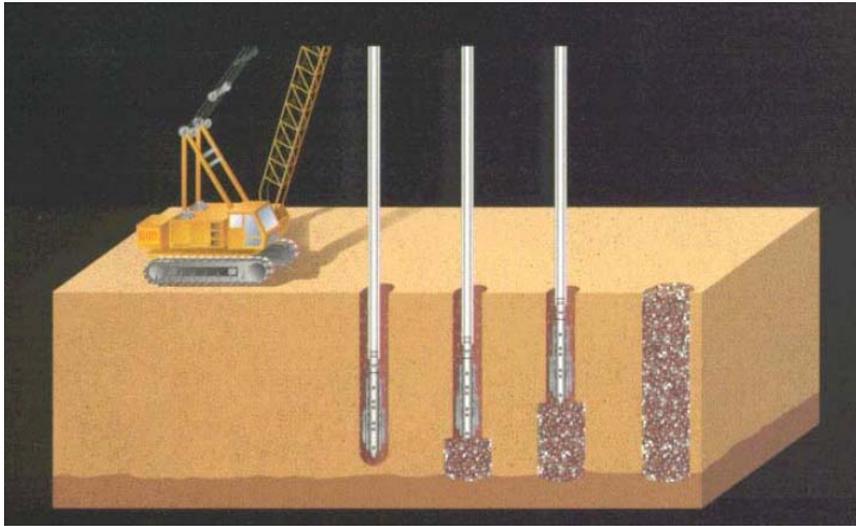
$$\mathbf{q) V_s = 11.247N + 99.315}$$

Velocidad de Corte calculada para Managua

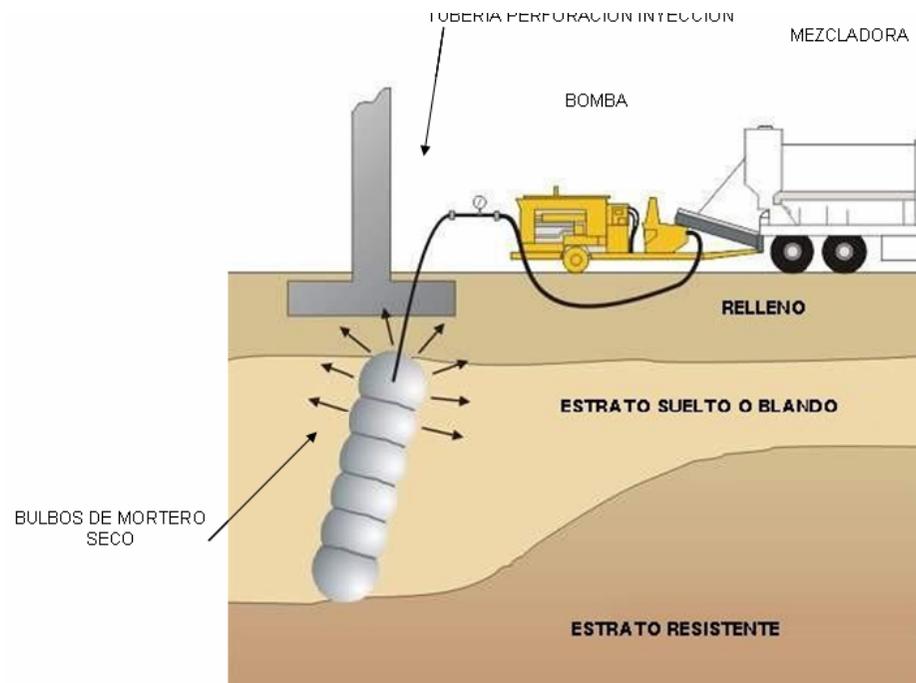
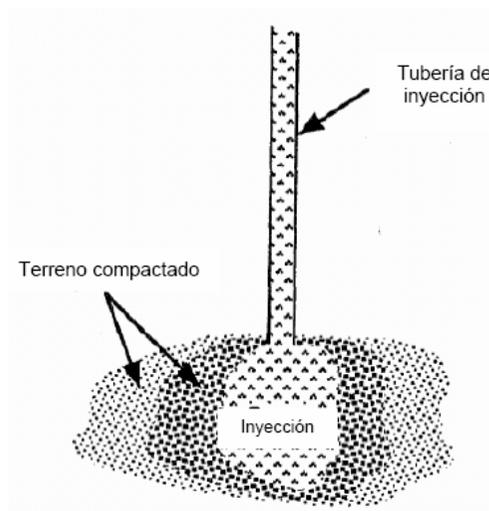
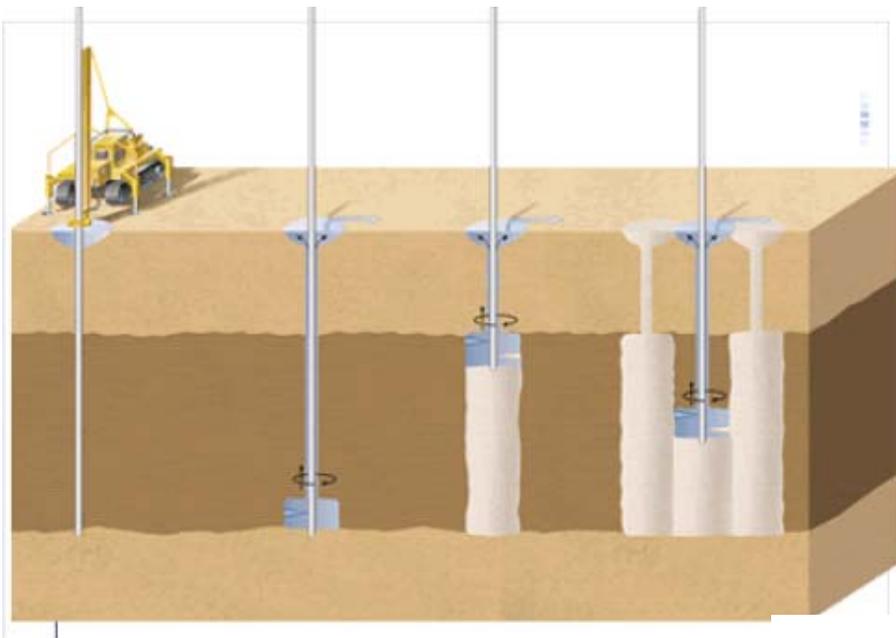
$$\mathbf{r) G = 1030.5N^{0.6703}}$$

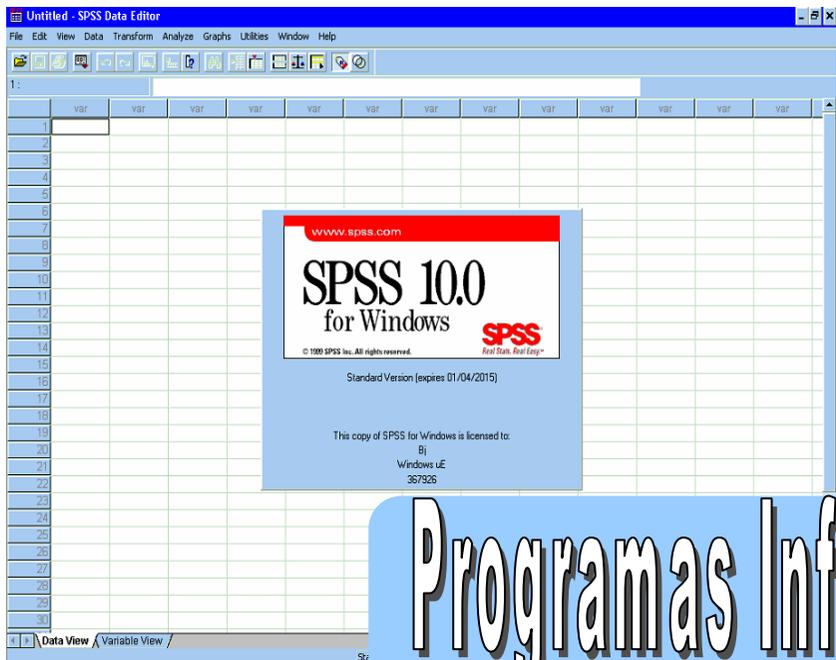
Módulo cortante determinado para Managua

Modelos de Soluciones de Ingeniería propuestos



Modelos de Soluciones de Ingeniería propuestos





Programas Informáticos empleados

VISTA DE LOS
DATOS EN SPSS Y
STATS TM V.2 Y

Media, varianza, desviación estándar ...

Números a calcular

| |
|----|
| 1 |
| 2 |
| 3 |
| 4 |
| 5 |
| 6 |
| 7 |
| 8 |
| 9 |
| 10 |
| 11 |
| 12 |
| 13 |
| 14 |
| 15 |
| 16 |
| 17 |

| | |
|---------------------|--------|
| Media | 8.235 |
| Mediana | 8.000 |
| Moda | 1 |
| Varianza | 27.316 |
| Rango | 16.00 |
| Desviación Estándar | 5.226 |
| Valor mínimo | 1.00 |
| Valor máximo | 17.00 |
| Error Estándar | 1.268 |

Tipos de datos

Población

Muestra

Ayuda

Calcular

Recomponer

Imprimir

Salir

Presentado por

COMUNICOMETRIA, S.C.
Carretera de los Leones 455-203
Bosques de los Leones, 09120
Mexico, DF
Teléfono: (52) 299 9511

¡Muchas Gracias!