

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

---

# FENÓMENO DE LICUACIÓN Y OCURRENCIAS EN EL MUNDO

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado

[www.jorgealvahurtado.com](http://www.jorgealvahurtado.com)

[www.red-acelerografica-peru.com](http://www.red-acelerografica-peru.com)

---

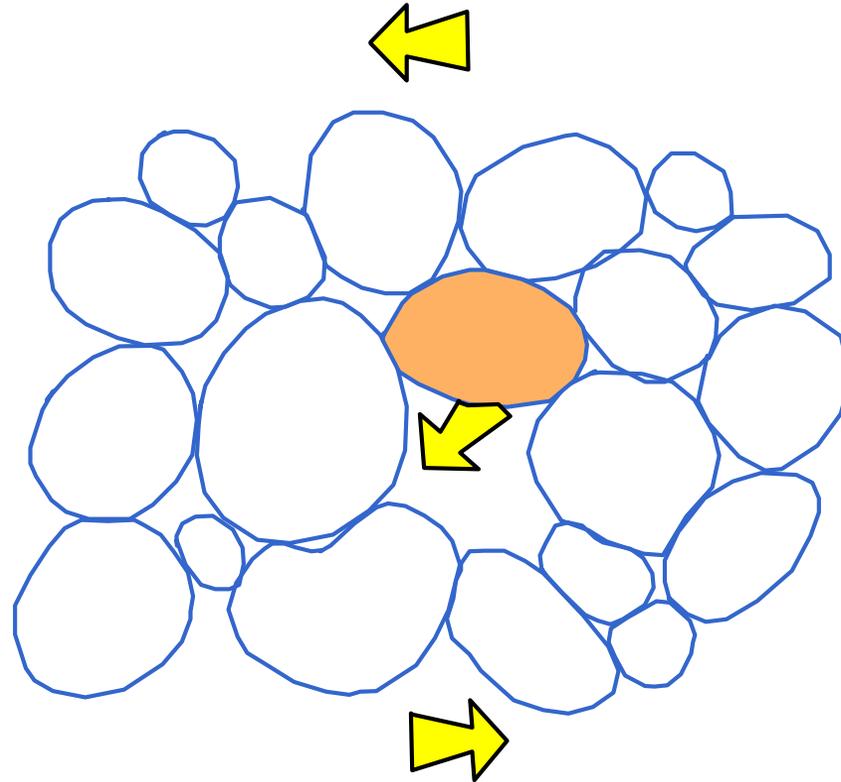


**VOLCANES DE ARENA**



**EYECCIÓN DE AGUA**

# PROCESO DE LICUACIÓN DE SUELOS



ESQUEMA DE UN PAQUETE DE GRANOS DE ARENA SATURADA. LA DEFORMACIÓN POR CORTE ESTÁ INDICADA POR LAS FLECHAS HORIZONTALES. ÉSTA OCASIONA EL COLAPSO DE LA PARTÍCULA SEÑALADA POR LA FLECHA INCLINADA. (YOUD, 1992)

# OSCILACIÓN DEL TERRENO

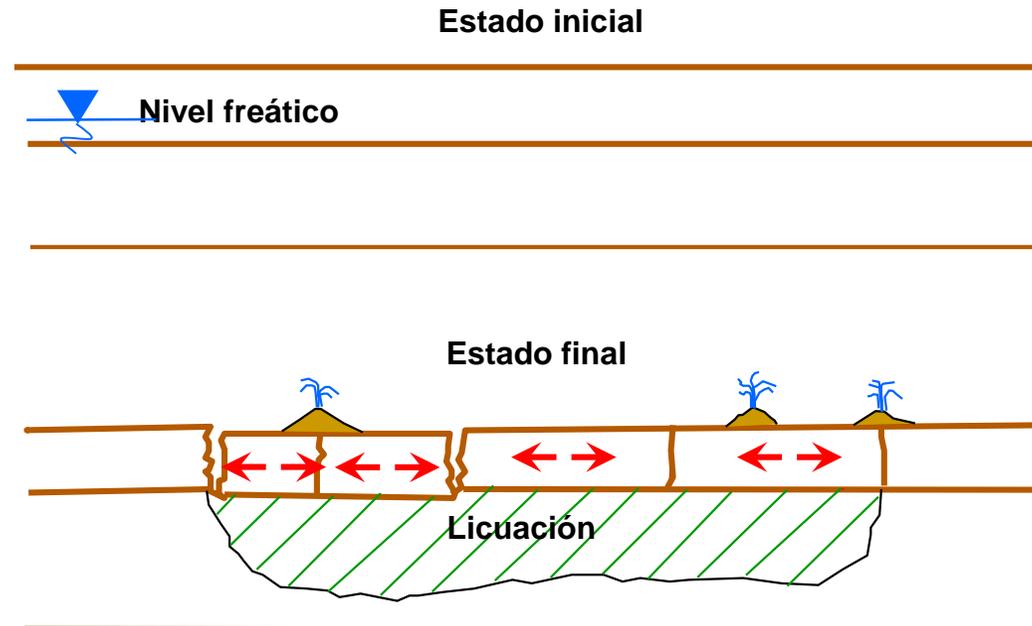


DIAGRAMA DE OSCILACIÓN POR LICUACIÓN EN LA ZONA ACHURADA. ÉSTA OCASIONA EL DESACOPLE DE LAS CAPAS DE SUELO. LA CAPA DESACOPLADA OSCILA DE MODO DIFERENTE AL SUELO VECINO, CAUSANDO AGRIETAMIENTOS. (YOUD, 1992)

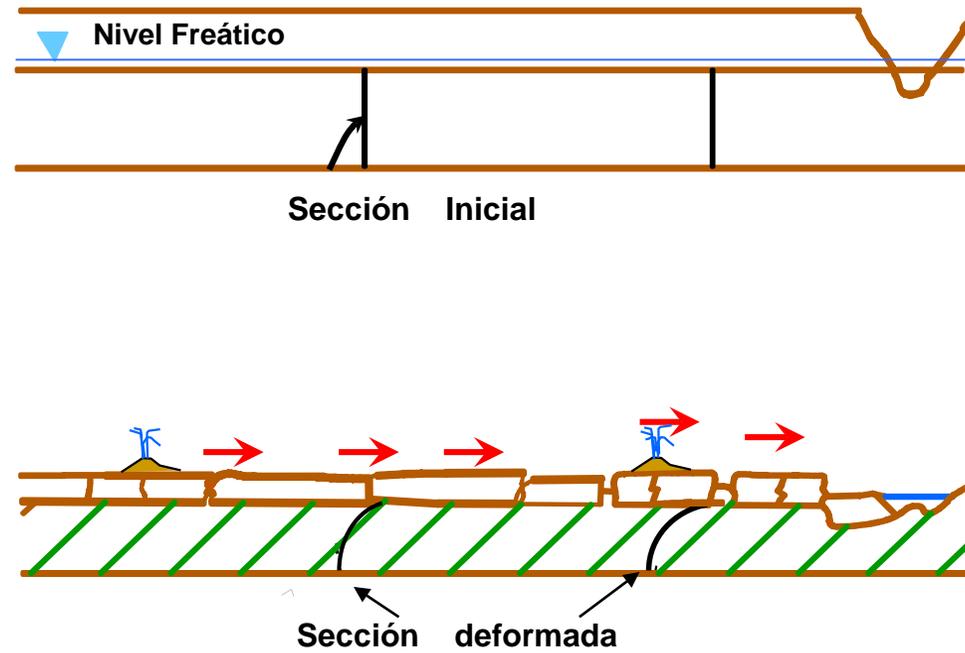


**LINEA DE VOLCANES DE ARENA Y FISURAS EN EL TERRENO CAUSADOS POR LA LICUACIÓN DE SUELOS DURANTE EL SISMO DE NIIGATA, EL 16 DE JUNIO DE 1964**



**SISMO DE CHRISTCHURCH, NUEVA  
ZELANDA**

# DESPLAZAMIENTO LATERAL



ESQUEMA DE LO QUE OCURRE CON UN DESPLAZAMIENTO O CORRIMIENTO LATERAL.  
(YOUNG, 1992)



**COLAPSO DEL PUENTE SHOWA DURANTE EL SISMO DE NIIGATA, 1964. APARENTEMENTE LA LICUACIÓN DE SUELOS OCASIONÓ EL MOVIMIENTO LATERAL DE LA BASE DE LOS PILARES LO QUE ORIGINÓ LA PÉRDIDA DE CARGA Y EL COLAPSO**



**DESPLAZAMIENTO LATERAL DEL MURO DE RETENCIÓN DEBIDO A LICUACIÓN DE SUELOS DURANTE EL SISMO DE KOBE DE 1995. DEBIDO A QUE EL MURO DE RETENCIÓN FUE MOVIDO HACIA AFUERA, LA SUPERFICIE DEL TERRENO SE HUNDIÓ**



**COLAPSO DE UN TRAMO DEL PUENTE NISHIHOMIYA, DEBIDO AL DESPLAZAMIENTO LATERAL DE LOS MUROS DE APOYO DURANTE EL SISMO DE KOBE, 1995**



**FISURAS ORIGINADAS POR  
DESPLAZAMIENTO LATERAL A  
CAUSA DE LA LICUACIÓN DE  
SUELOS, SISMO DE BORAH PEAK,  
IDAHO, 1983**



**DESPLAZAMIENTO LATERAL DEBIDO A LICUACIÓN DE SUELOS. OCACIONÓ EL HUNDIMIENTO DE 1.2 – 2.00 METROS DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO Y FLUJO LOCAL. SISMO DE KOBE, 1995**

# FALLA POR FLUJO

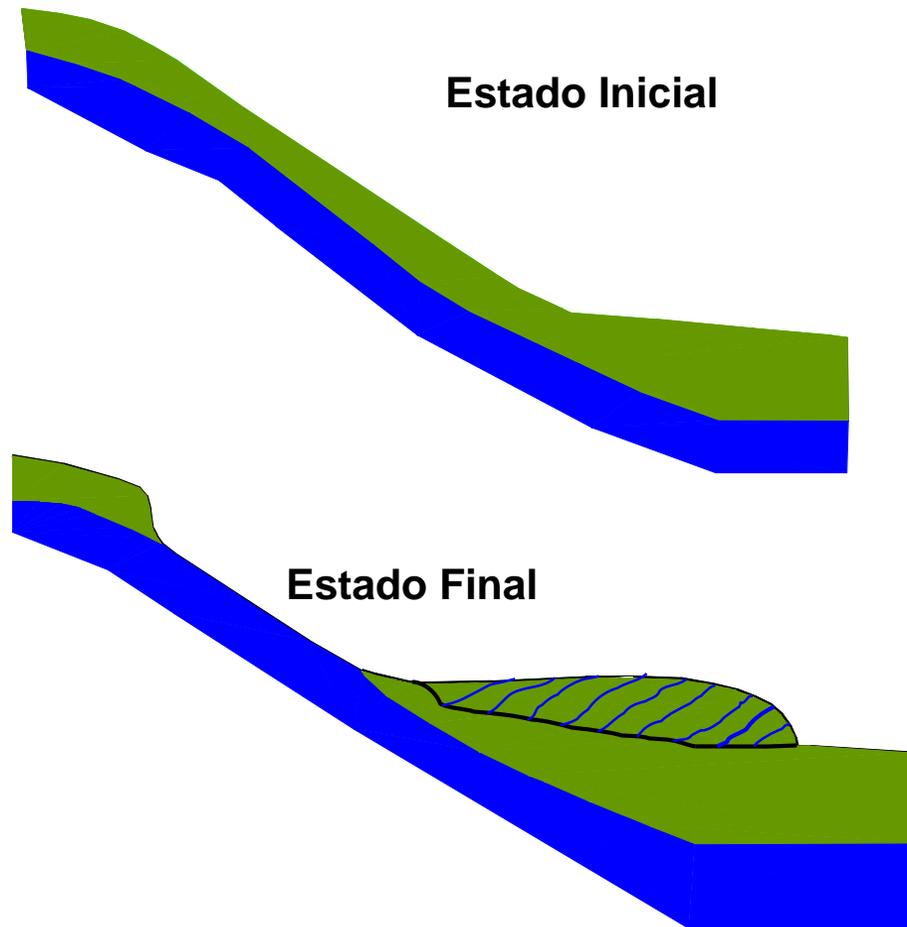


DIAGRAMA DE UN DESLIZAMIENTO CAUSADO POR LICUACIÓN DE SUELOS EN UNA PENDIENTE PRONUNCIADA. LA PÉRDIDA DE RESISTENCIA OCASIONA INESTABILIDAD Y EL DESLIZAMIENTO POR LA LADERA. (YOU, 1992)



**DESLIZAMIENTO POR FLUJO DE LA PRESA SAN FERNANDO. CAUSADO POR EL SISMO DE SAN FERNANDO DEL 9 DE FEBRERO DE 1971. LA PRINCIPAL FALLA POR FLUJO ESTÁ LOCALIZADA AL ESTE DE LA PRESA**



**LA PRESA SHEFFIELD SUFRIÓ UNA FALLA POR FLUJO PROVOCADO POR EL TERREMOTO DE SANTA BÁRBARA EN 1925. UNA SECCIÓN DE 90 METROS (DE LOS 220 METROS DE LONGITUD DE LA PRESA) SE DESPLAZÓ MÁS DE 30 METROS. LA PRESA CONSISTÍA PRINCIPALMENTE DE ARENAS LIMOSAS Y LIMOS ARENOSOS COMPACTADOS SOBRE EL RELLENO**



**DESLIZAMIENTO EN TURNAGAIN HEIGHTS EN ANCHORAGE, DEBIDO A LICUACIÓN DE SUELOS OCACIONADA POR EL SISMO DE ALASKA DE 1964**



**EL 27 DE MARZO DE 1964, UN GRAN TERREMOTO DE MAGNITUD  $M=9.2$  GOLPEÓ PRINCE WILLIAM SOUND EN ALASKA Y CAUSÓ SEVEROS DAÑOS EN FORMA DE DESPRENDIMIENTO DE TIERRA Y LICUACIÓN**



**SISMO DE SAN FERNANDO DE 1971 (FOTO : CALIFORNIA DWR)**

# PERDIDA DE CAPACIDAD PORTANTE

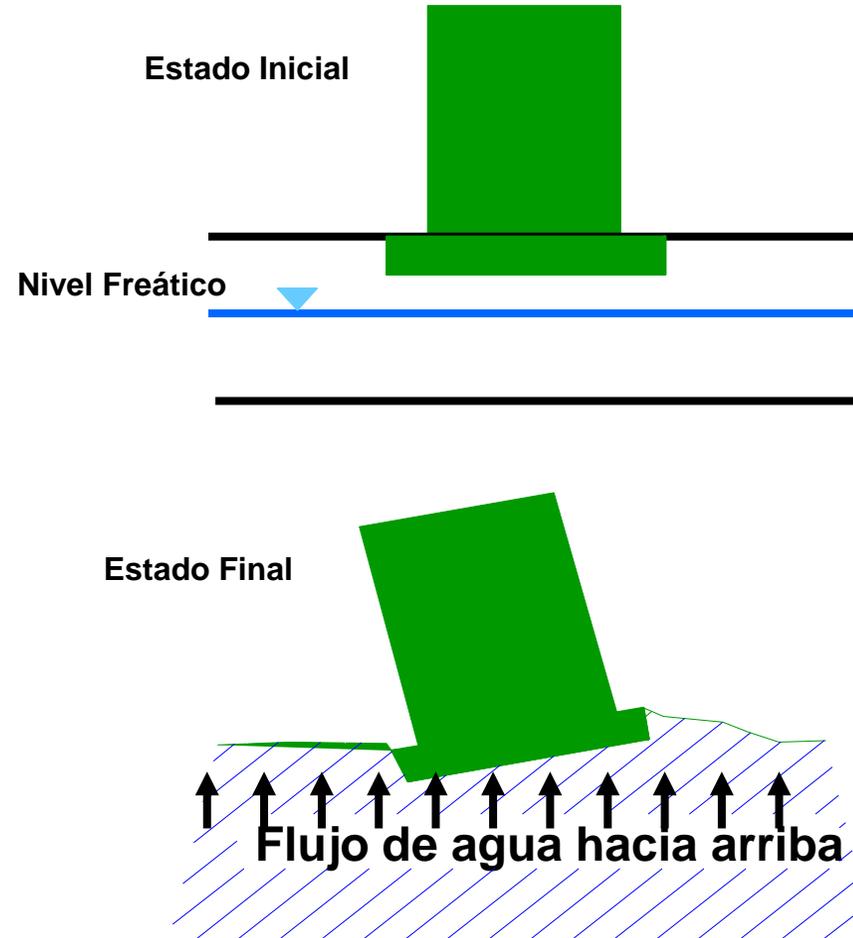


DIAGRAMA DE UNA ESTRUCTURA INCLINADA COMO CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE CAPACIDAD PORTANTE. LA LICUACIÓN DEBILITA AL SUELO, REDUCE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y PERMITE QUE LAS ESTRUCTURAS SE ASIENTEN E INCLINEN. (YOUUD, 1992)



**EFFECTOS DE LICUACIÓN DE SUELOS DESPUÉS DEL SISMO DE NIIGATA EN 1964**



**VISTA DEL FONDO DEL EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS KAWAGISHI-CHO LOCALIZADO EN NIIGATA, JAPÓN. EL EDIFICIO SUFRIÓ FALLA POR CAPACIDAD DE CARGA INDUCIDA POR LA LICUACIÓN DURANTE EL SISMO DE NIIGATA DEL 16 DE JUNIO DE 1964**



**ASENTAMIENTO E INCLINACIÓN DE EDIFICIO  
OCASIONADO POR LICUACIÓN DE SUELOS. SISMO DE  
NIIGATA, JAPÓN. 16 DE JUNIO DE 1964**



**SISMO DE NIIGATA, 1964. (Foto NISEE)**



**SISMO DE KOCAELI EQ, 1999. (Foto J. Bray)**

# MÉTODOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE UN DEPÓSITO DE SUELO

## MÉTODOS SIMPLIFICADOS

Los esfuerzos cortantes cíclicos inducidos en un depósito de suelo y el número de ciclos significativos y su distribución con el tiempo se calculan con métodos simplificados.

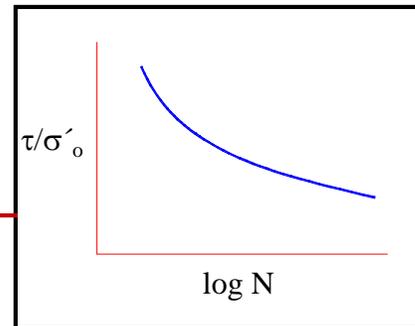
## ANÁLISIS DE RESPUESTA

Métodos donde los esfuerzos cíclicos inducidos en un depósito de suelo se calculan mediante el análisis de respuesta del terreno.

## MÉTODOS BASADOS EN COMPORTAMIENTO PASADO

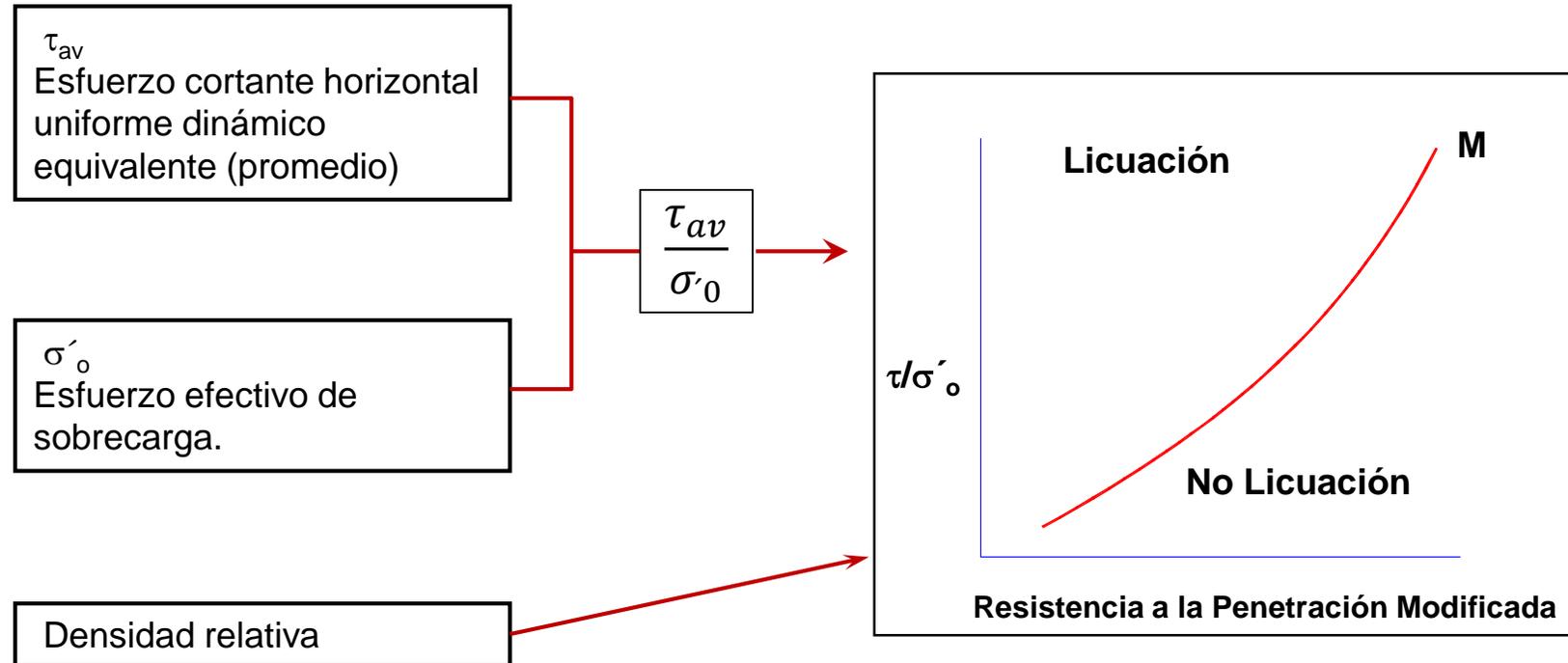
Métodos empíricos basados en la comparación de lugares donde haya ocurrido o no la licuación en terremotos pasados.

Datos de ensayos de laboratorio sobre los esfuerzos cíclicos requeridos para desarrollar licuación o deformaciones cíclicas significativas en muestras representativas de suelos in-situ.



Valores de N in-situ.

# MÉTODOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL DE LICUACIÓN EN BASE AL COMPORTAMIENTO PASADO DURANTE TERREMOTOS



# **MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE SUELOS**

- Método de Seed - Idriss
- Método de Tokimatsu - Yoshimi
- Método de Iwasaki - Tatsuoka

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

- Métodos Simplificados, en base a ensayos SPT, CPT y  $V_s$ .
- Correcciones para tomar en consideraciones efectos de sobrecarga, nivel del terreno y magnitud sísmica  $K_s$  ,  $K_a$  y  $K_m$

# MÉTODO SIMPLIFICADO DE SEED-IDRISS

## FACTOR DE SEGURIDAD A LA LICUACIÓN

$$FL = \frac{\tau_l / \bar{\sigma}_o}{\tau_d / \bar{\sigma}_o}$$

**Si  $FL > 1$  no se producirá licuación**

**Si  $FL \leq 1$  se producirá licuación**

## ESFUERZO CORTANTE APLICADO

$$\frac{\tau_l}{\sigma_o} = 0.65 a_{max} * \frac{a_{max}}{g} * \frac{\sigma_o}{\sigma_o} * r_d$$

$\tau_d$  = esfuerzo cortante promedio inducido

$a_{max}$  = aceleración máxima en superficie

$g$  = aceleración de la gravedad

$\sigma_o$  = esfuerzo total vertical

$\overline{\sigma_o}$  = esfuerzo efectivo vertical

$r_d$  = factor de reducción

1,0 ----- en la superficie

0.9 ----- a 10m de prof.

## ESFUERZO CORTANTE RESISTENTE

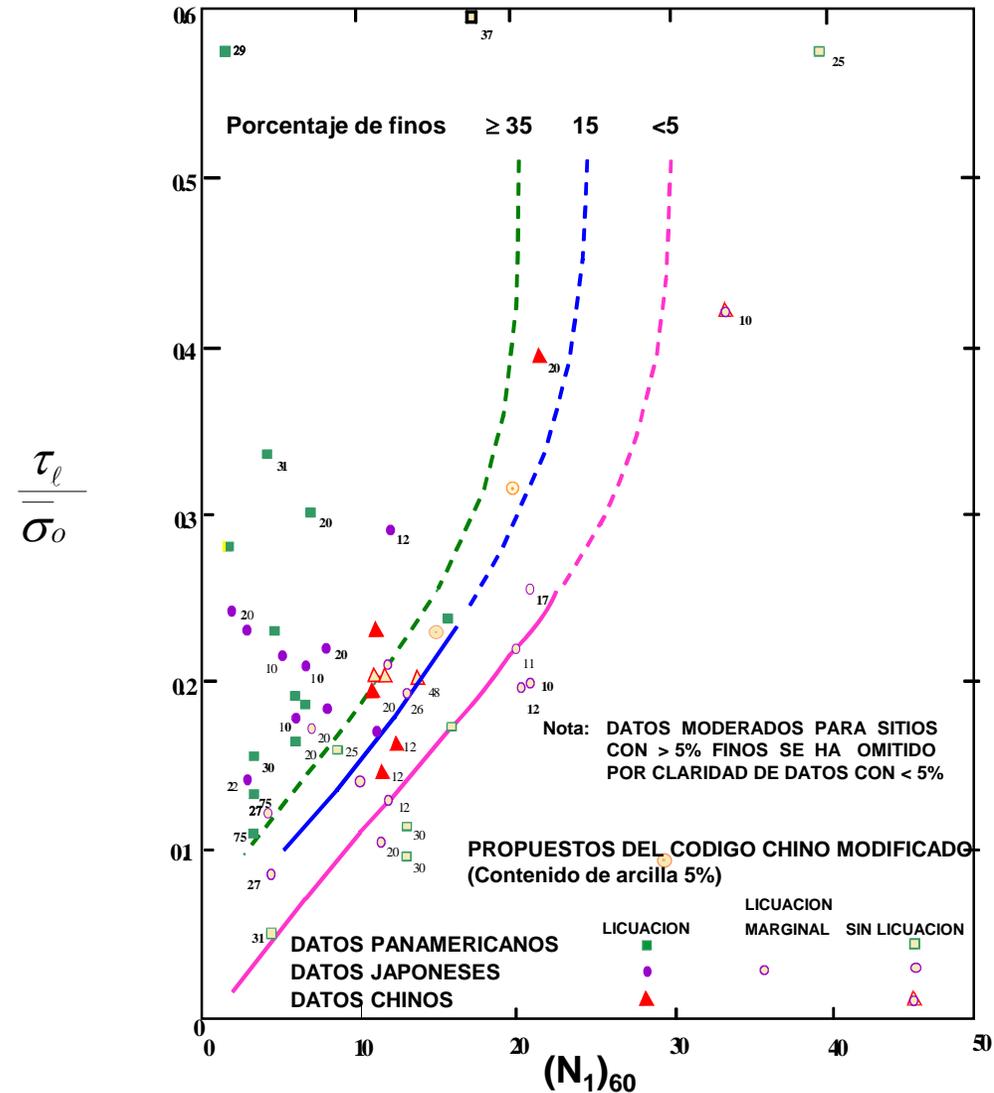
$\frac{\tau_l}{\sigma_0}$  Del gráfico para  $M_s = 7.5$   
y distinto contenido de finos

$(N_1)_{60}$  Valor de N corregido a una sobrecarga  
de  $1 \text{ kg/cm}^2$  y 60% de eficiencia.

$$(N_1)_{60} = C_N (N)_{60}$$

$C_N$  Factor de corrección =  $\sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_o}} < 2, \bar{\sigma}_o \text{ en } \text{kg/cm}^2$

# RELACIÓN ENTRE VALORES DE ESFUERZO QUE CAUSAN LICUACIÓN Y VALORES DE $N_1$ PARA SISMOS DE $M= 7.5$ (Ref. Seed et al., 1984)



# MÉTODO DE TOKIMATSU Y YOSHIMI

## ESFUERZO CÍCLICO INDUCIDO POR EL TERREMOTO

$$\frac{\tau_d}{\sigma_o} = 0.1*(M-1) \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_o}{\bar{\sigma}_o} r_d$$

$\tau_d$  = esfuerzo cortante promedio inducido

M = magnitud del sismo

$a_{max}$  = aceleración máxima en la superficie

g = aceleración de la gravedad

$\sigma_o$  = esfuerzo total vertical

$\bar{\sigma}_o$  = esfuerzo efectivo vertical

$r_d$  = factor de reducción =  $1-0.015z$ , z en metros

## RELACIÓN DE ESFUERZOS CÍCLICOS RESISTENTES

$$\frac{\tau_1}{\bar{\sigma}_o}$$

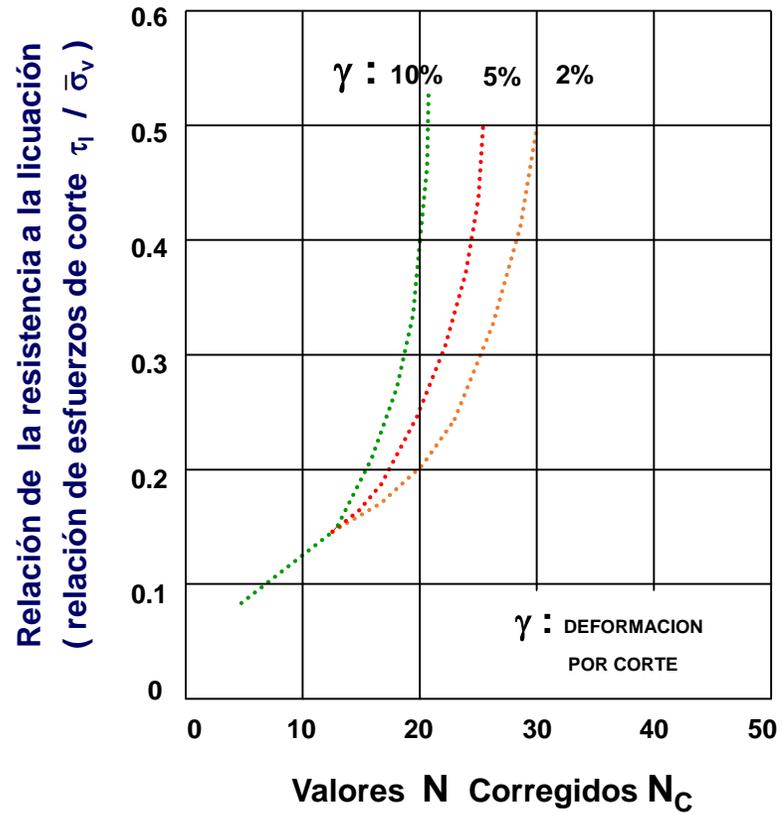
Del gráfico con  $N_c$  y porcentaje de deformación cortante

$$N_c = N_1 + \Delta N_f = \text{Valor de } N \text{ corregido a una sobrecarga de } 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ y por contenido de finos}$$

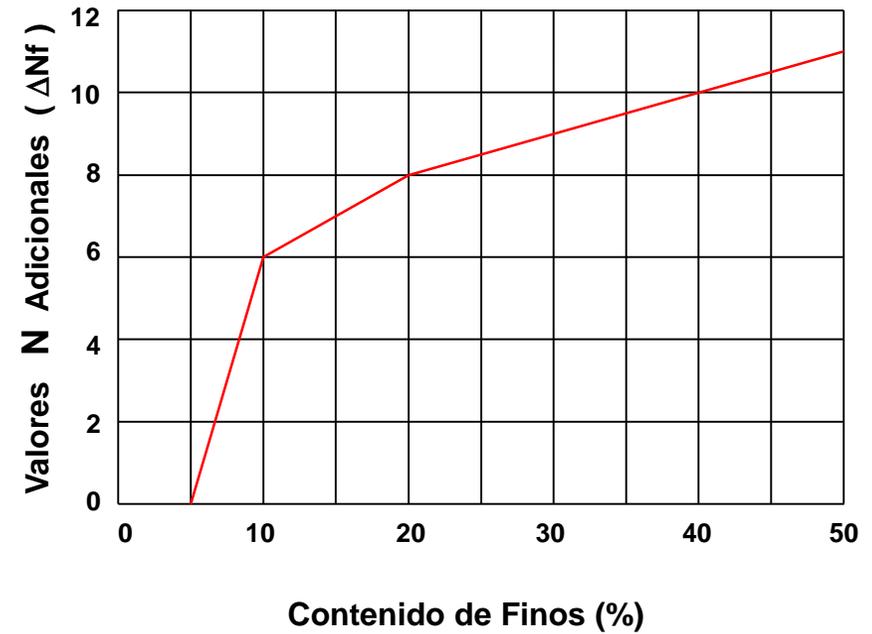
$$N_1 = C_N N$$

$$\frac{1}{\bar{\sigma}_o} = C_N \quad (\text{Factor de corrección}) < 2 \quad \sigma_o \text{ en kg/cm}^2$$

## Relación entre la resistencia a la licuación y valores de N corregidos



## Relación entre valores N adicionales y contenido de finos



$$N_C = N_1 + \Delta N_f$$

# MÉTODO DE IWASAKI Y TATSUOKA

## A) Relación de Esfuerzos Cíclicos Actuales (RECA)

$$RECA = a_{max} * \frac{\sigma_v}{g} * \frac{r_d}{\bar{\sigma}_v}$$

Donde :

$\sigma_v$  = esfuerzo total vertical a la profundidad considerada

$\bar{\sigma}_v$  = esfuerzo efectivo vertical a la profundidad considerada

$$r_d = 1 - 0.015 * z, \quad z \text{ en metros.}$$

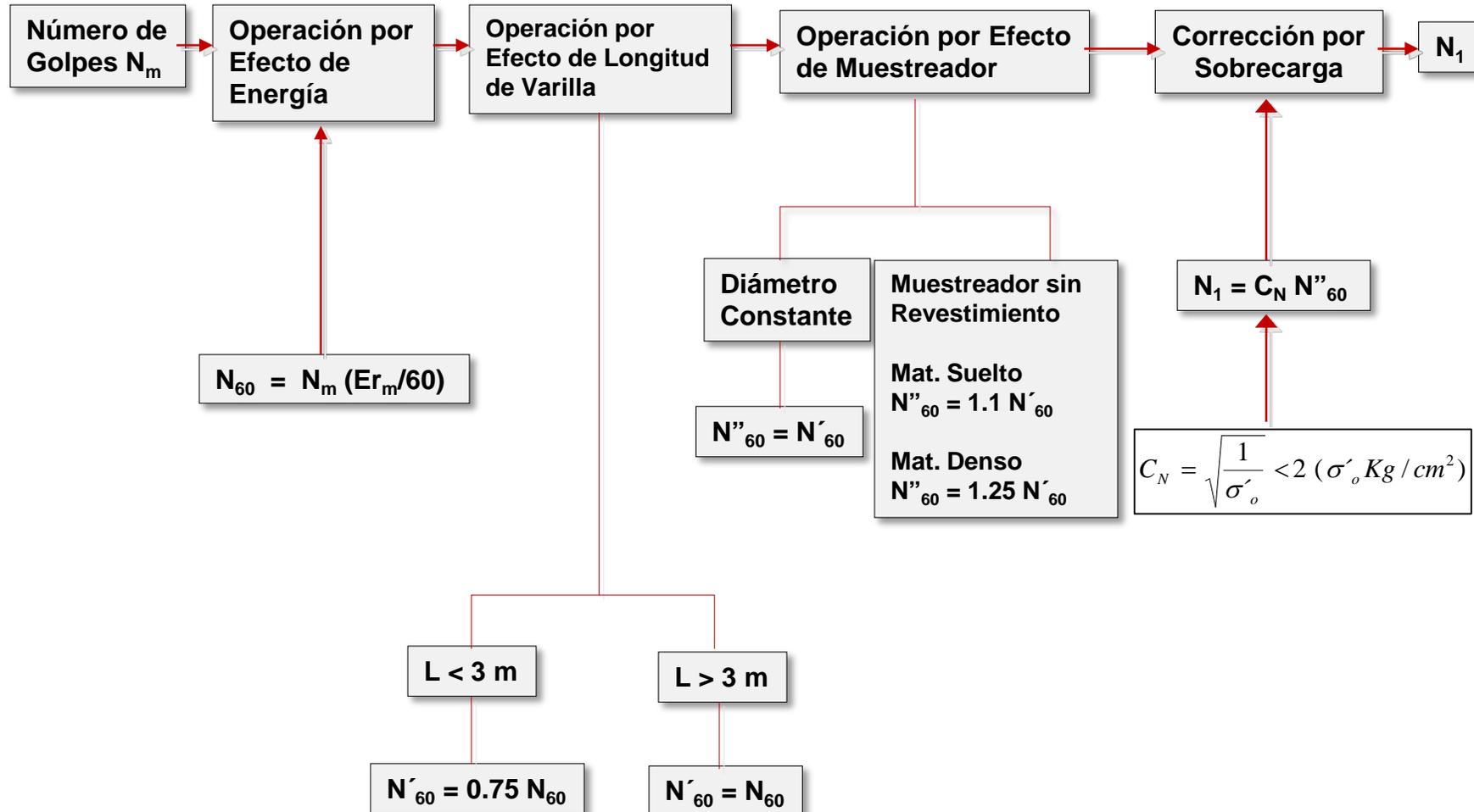
## B) Relación de Esfuerzos Cíclicos Resistentes (RECR)

$$RECR = \frac{\tau_l}{\sigma_v} = 0.0882 * \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}_v + 0.7}} + 0.225 \log\left(\frac{0.35}{D_{50}}\right), \quad 0.02 \text{mm} \leq D_{50} \leq 0.6 \text{mm}$$

$$RECR = \frac{\tau_l}{\sigma_v} = 0.0882 * \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}_v + 0.7}} + 0.225 \log\left(\frac{0.35}{D_{50}}\right), \quad 0.02 \text{mm} \leq D_{50} \leq 2 \text{mm}$$

# CORRECCIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

## CORRECCIÓN DE VALORES DE N-SPT PARA ESTUDIOS DINÁMICOS



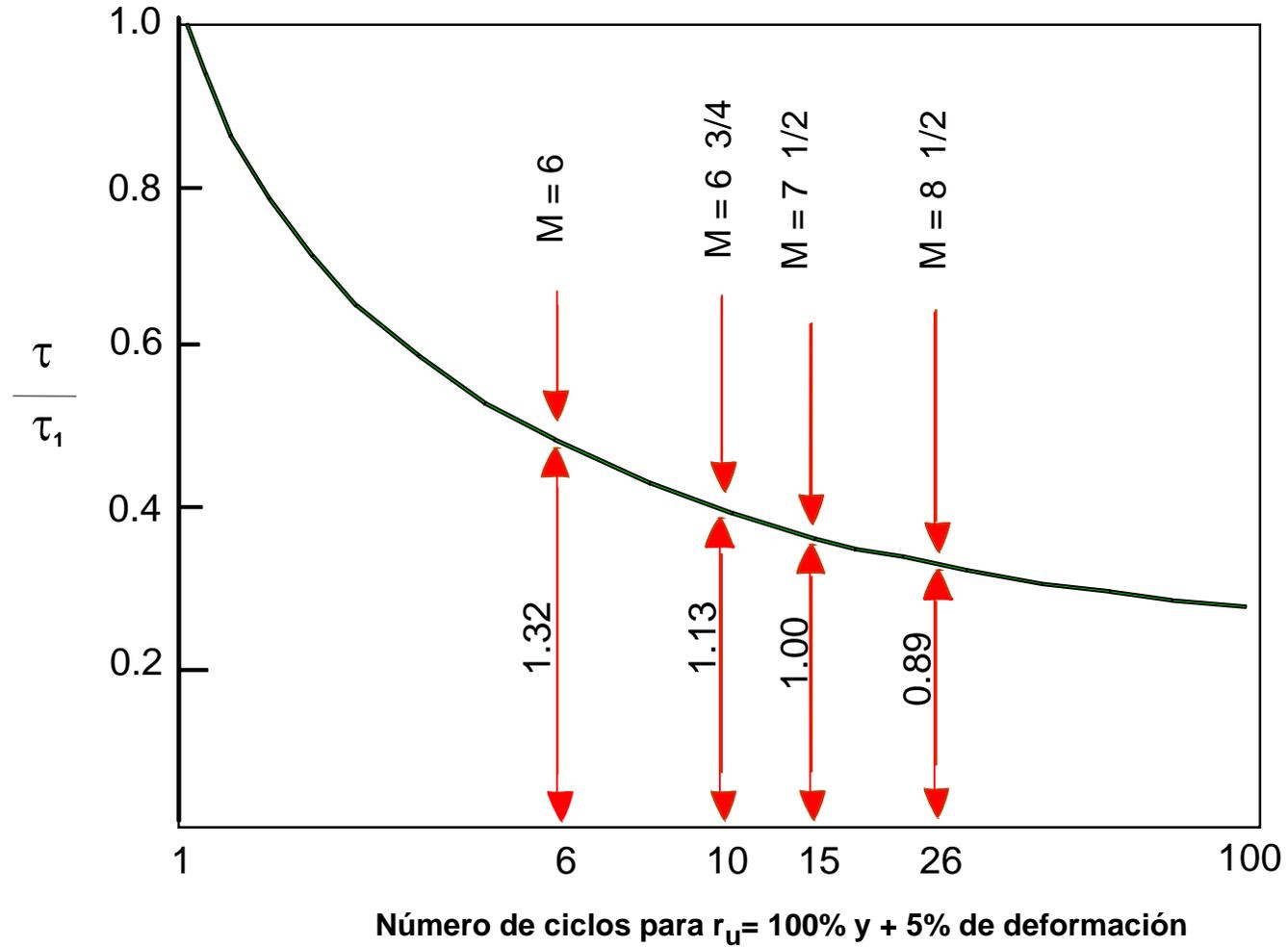
## FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TERREMOTOS DE DIFERENTES MAGNITUDES

Magnitud	Factores de Corrección $K_m$
8 1/2	0.89
7 1/2	1.00
6 3/4	1.13
6	1.32
5 1/4	1.50

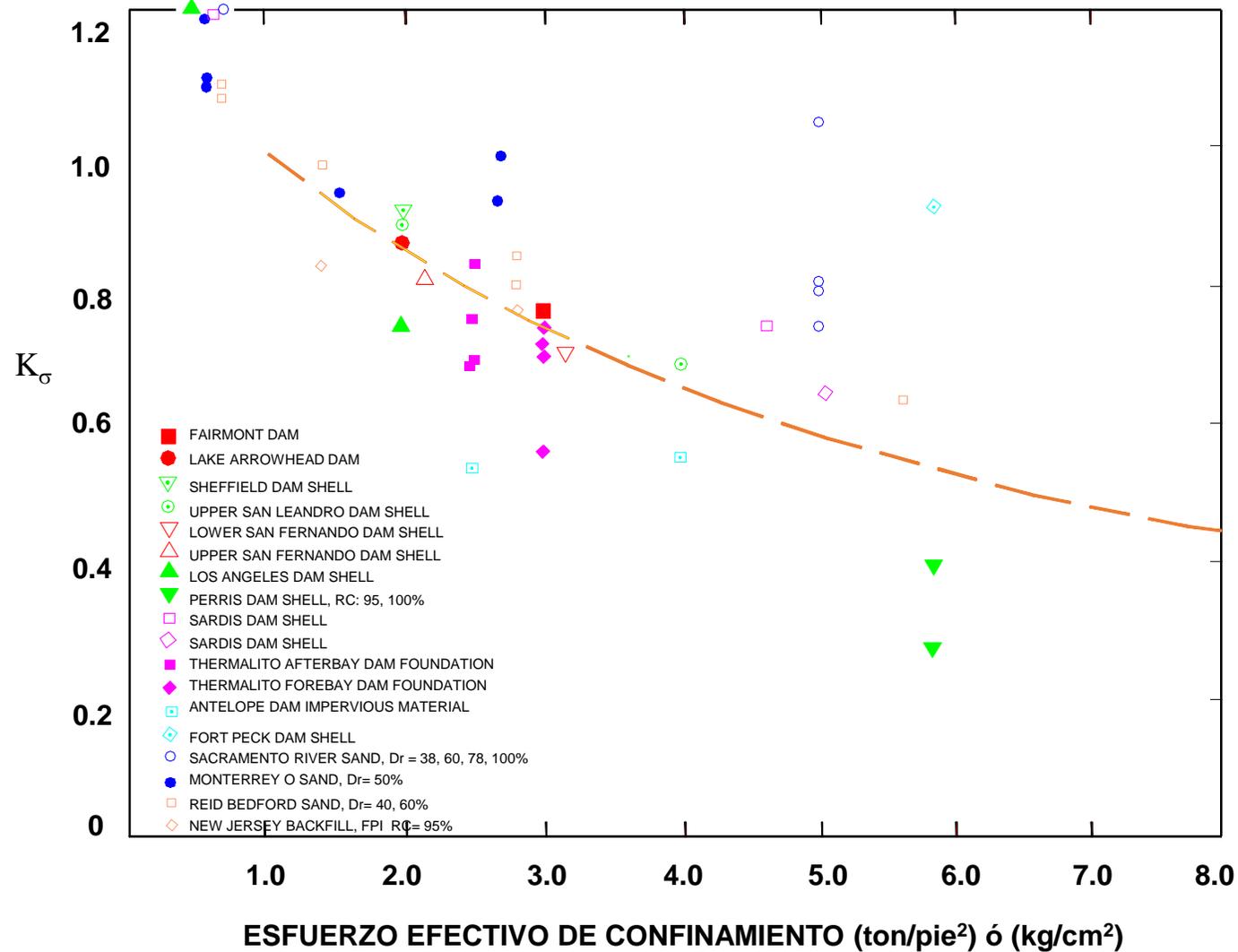
## NÚMERO DE CICLOS REPRESENTATIVOS DE TERREMOTOS DE DIFERENTES MAGNITUDES

Magnitud	Número de ciclos representativos en $0.65 \tau_{\max}$
8 1/2	26
7 1/2	15
6 3/4	10
6	5 - 6
5 1/4	2 - 3

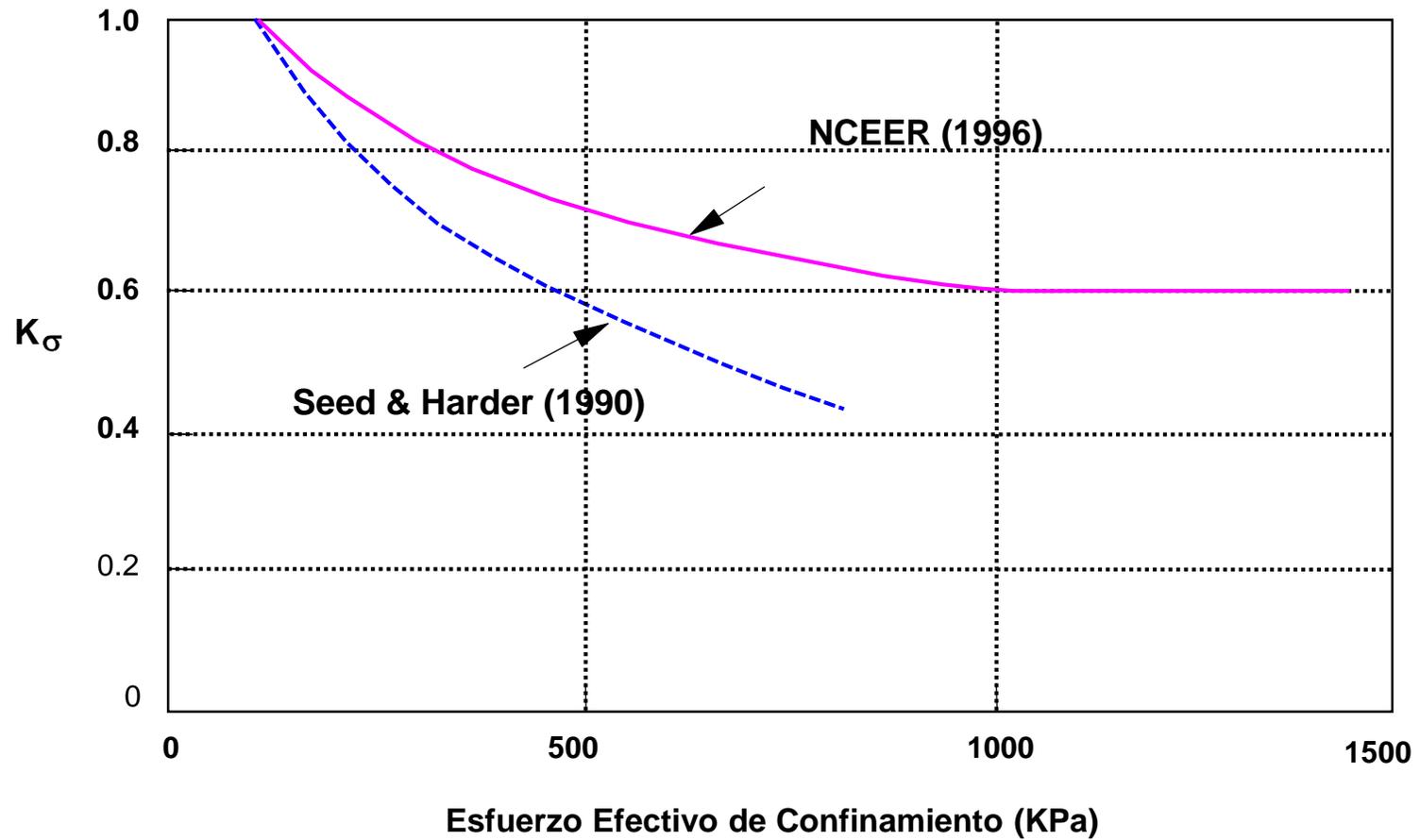
## CORRECCIÓN POR MAGNITUD (SEED E IDRISS, 1982)



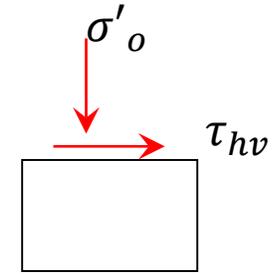
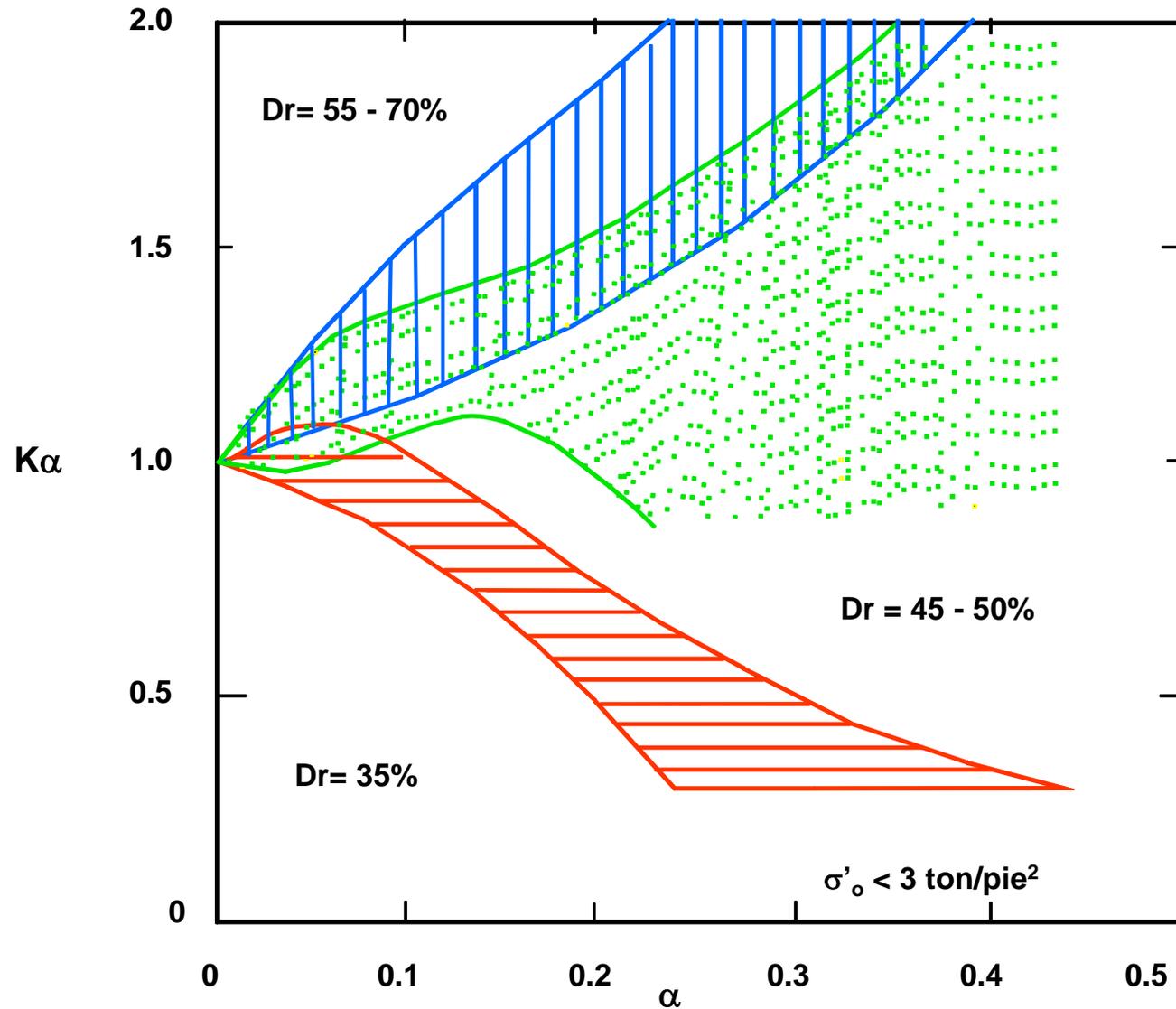
# RELACIÓN ENTRE ESFUERZO EFECTIVO VERTICAL ( $\bar{\sigma}_0$ ) Y $K_\sigma$



# CORRECCIÓN POR SOBRECARGA SEED Y HARDER, 1990



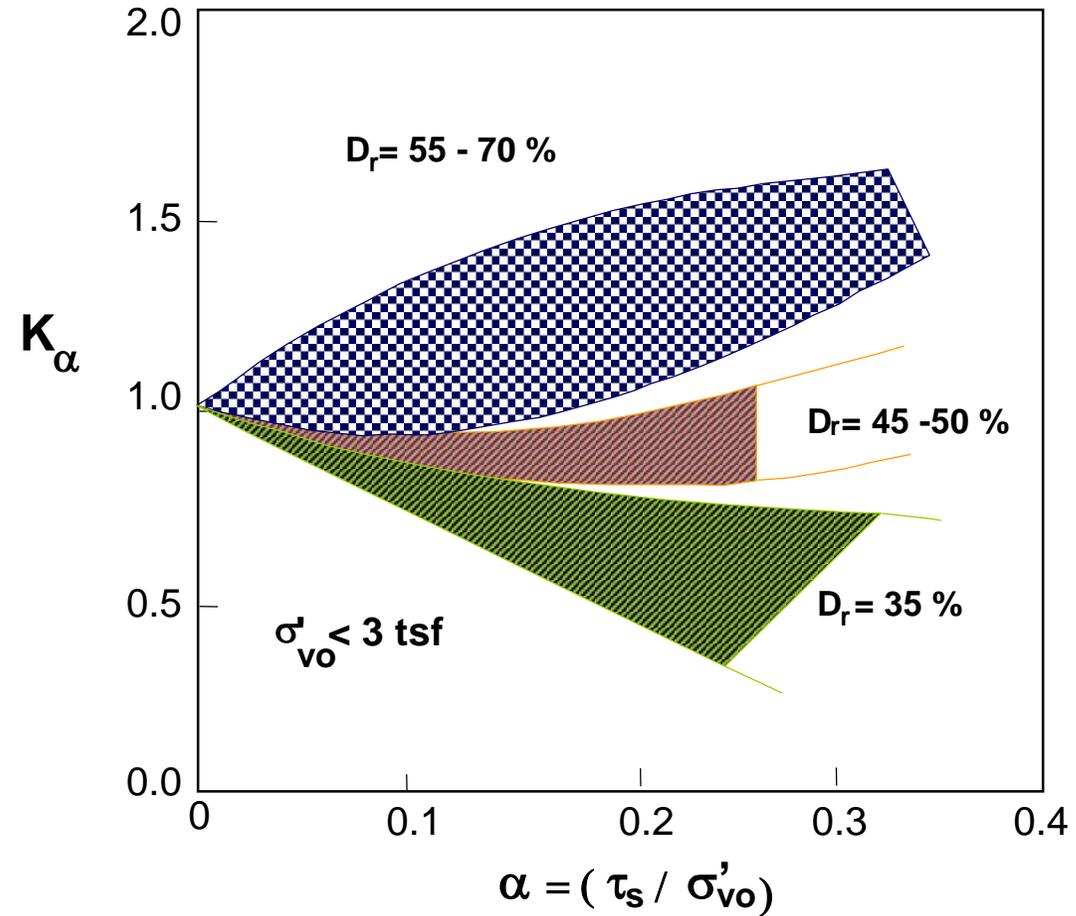
# CORRECCIÓN POR ESFUERZO DE CORTE INICIAL



$$\alpha = \left[ \frac{\tau_{hv}}{\sigma_v} \right]$$

RELACIÓN ENTRE  $\alpha$  Y  $K\alpha$  Ref. (Seed y Harder, 1990)

# CORRECCIÓN POR ESFUERZO CORTANTE BOULANGER ET AL., 1991



## **CRITERIOS PARA EVALUAR LOS EFECTOS DEL DAÑO INDUCIDO POR LICUACIÓN EN EL TERRENO**

- Índice del Potencial de Licuación (Iwasaki y Tokimatsu, 1982)
- Espesor del Estrato Licuable (Ishihara, 1985)

## CRITERIO : ÍNDICE DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN (PL)

- Cuantifica el grado de peligro que existe al ocurrir licuación.
- Se define como :

$$P_L = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

Donde :

$z$  = profundidad en metros

$F(z) = 1 - F_L(z)$  , para  $F_L(z) \leq 1.0$

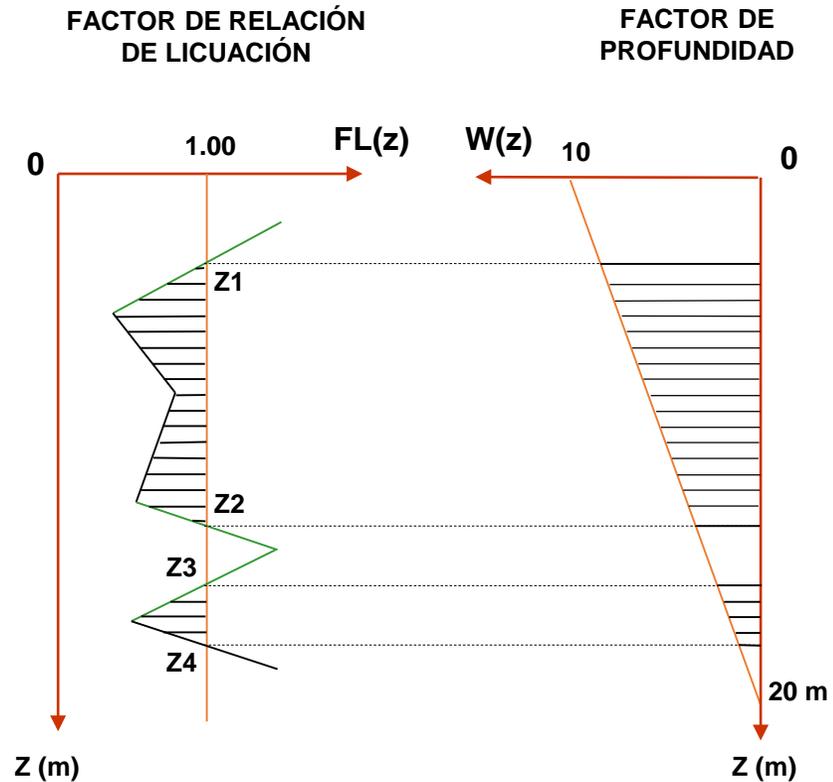
$F(z) = 0$  , para  $F_L(z) \geq 1.0$

Además :

$W(z) = 10 - 0.5z$  , para  $z \leq 20$  m

$W(z) = 0$  , para  $z > 20$  m

$F_L(z)$  = Factor de Resistencia a la Licuación



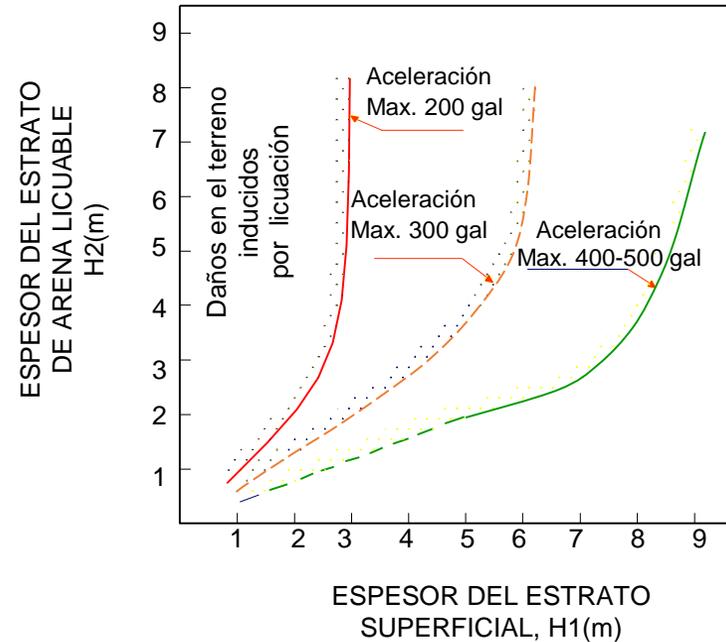
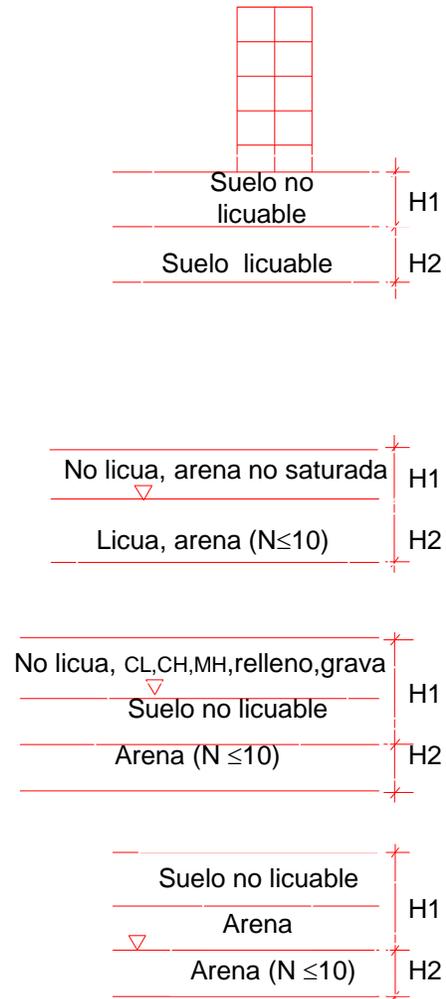
## RESULTADOS

- PL = 0 ----> SUELOS NO LICUABLES.
- 0 < PL ≤ 5 ----> NO HAY EFECTOS DE LICUACIÓN.
- 5 < PL ≤ 15 ----> PUEDE EXISTIR EFECTOS SEVEROS DE LICUACIÓN.
- 15 < PL < 100 ----> EFECTOS SEVEROS DE LICUACIÓN
- PL = 100 ----> SUELOS ALTAMENTE LICUABLES

$$PL = \int_{Z1}^{Z2} [1 - FL(z)] \cdot W(z) \cdot dz + \int_{Z3}^{Z4} [1 - FL(z)] \cdot W(z) \cdot dz$$

# CRITERIO: ESPESOR DEL ESTRATO LICUABLE, (H2)

Compara el espesor del estrato licuable con el espesor del estrato no licuable



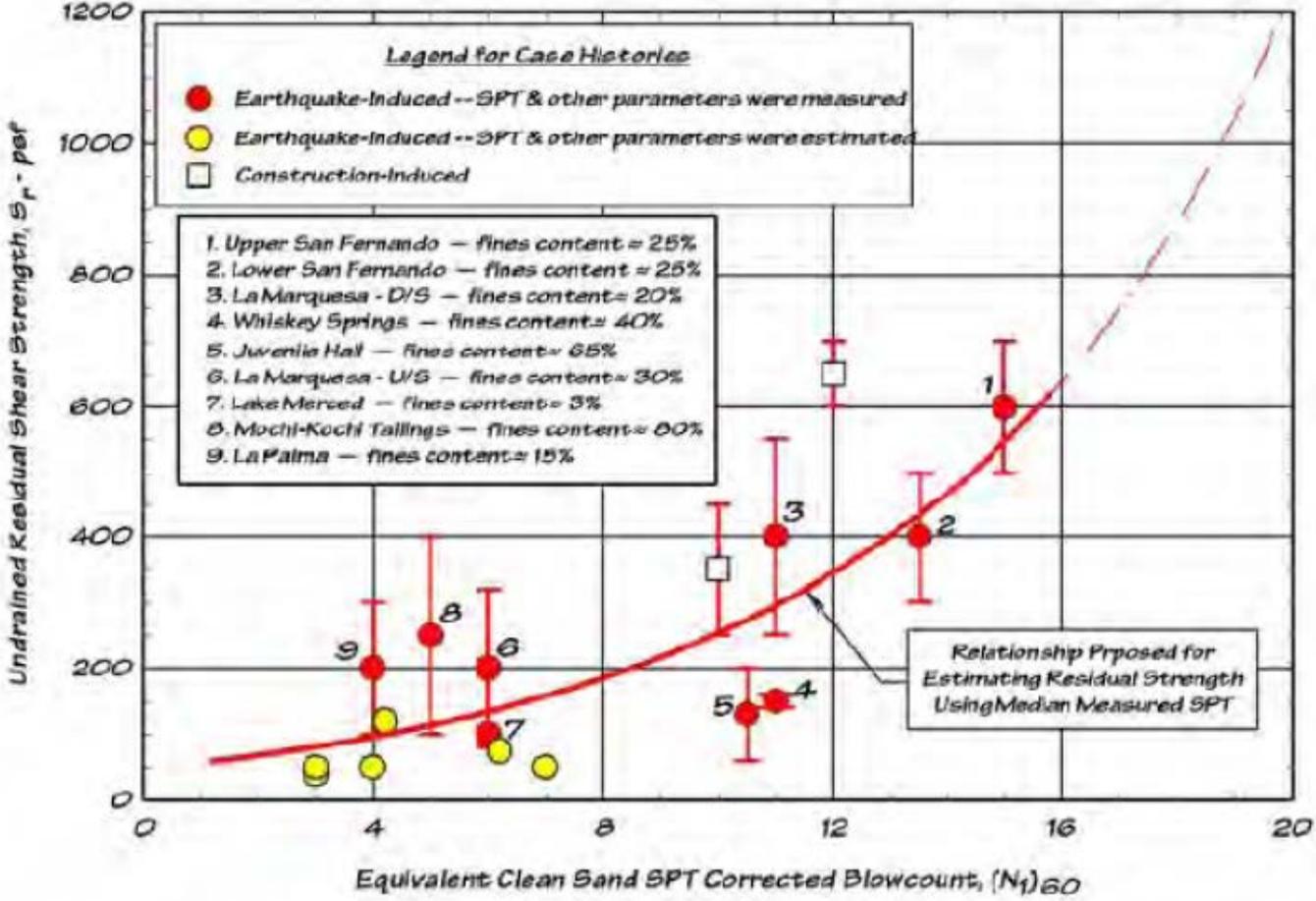
Si en la gráfica, el punto ( $H_1$ ,  $H_2$ ) se encuentra POR ENCIMA de la curva correspondiente a la aceleración del sismo de diseño, entonces EXISTIRÁ DAÑO POR LICUACIÓN

# **RESISTENCIA RESIDUAL DE SUELOS QUE SUFREN LICUACIÓN**

La ocurrencia de la licuación a menudo reduce la resistencia al corte de un suelo tanto como para inducir desplazamientos dañinos y potencialmente catastróficos (por ejemplo, deslizamiento de flujo) y fallas en la capacidad portante. El valor asignado a la resistencia al corte para grandes deformaciones del suelo posterior al desencadenamiento de la licuación (resistencia al corte residual) es a menudo el factor decisivo para determinar si sus consecuencias son aceptables o si es necesario remediarlas.

Debido a la dificultad de reproducir las condiciones de campo en el laboratorio, las estimaciones de la resistencia residual generalmente se basan en retro análisis de casos históricos de desplazamiento lateral y deslizamiento de flujos. Varios investigadores han propuesto correlaciones entre la resistencia residual y la resistencia del ensayo de penetración estándar (SPT) o el ensayo de penetración de cono (CPT).

# IDRISS (1998)



Estimación de la Resistencia Residual a partir de la resistencia SPT (Idriss, 1998)

La estimación de la resistencia residual con el método de Idriss puede ser realizada en los siguientes pasos:

- a) Identificar el espesor del suelo que se espera licue
- b) Dividir la región licuable en zonas de valores de SPT aproximadamente constantes
- c) Determinar el contenido de promedio de finos para cada de zona licuable
- d) Corregir la resistencia SPT por el contenido de finos

$$(N_1)_{60,cs} = (N_1)_{60} + \Delta N$$

$(N_1)_{60}$  = Número de golpes de ensayo SPT corregido por las condiciones de exploración de campo y esfuerzo efectivo

$\Delta N$  = corrección por cantidad de finos obtenida del siguiente cuadro:

**Variación de la corrección por contenido de finos en función del porcentaje de Finos (Seed y Harder, 1990)**

FC (%)	0	10	25	50	75
$\Delta N$	0	1	2	4	5

- e) Determinar el valor medio  $(N_1)_{60,cs}$  para cada zona
- f) Calcular la resistencia residual usando el valor medio SPT del paso anterior.

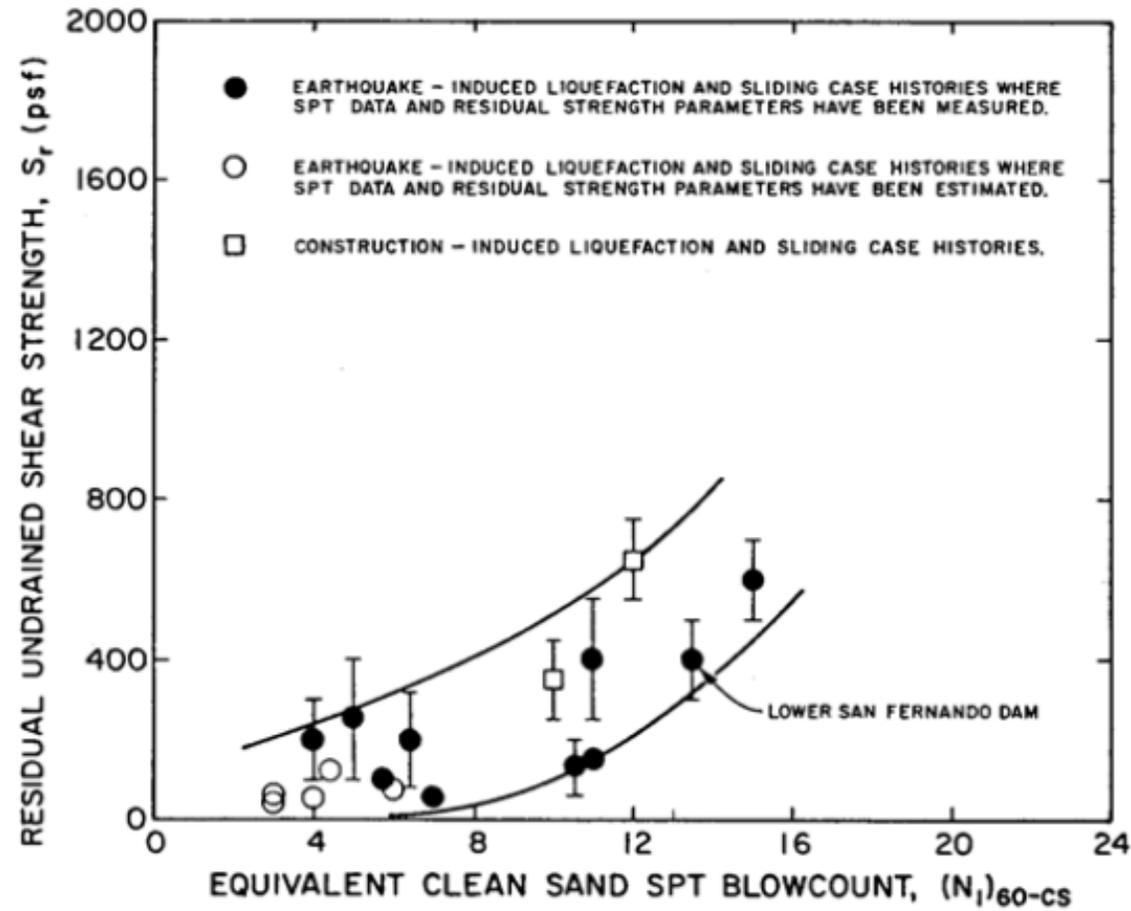
Para el modelo de Idriss:

$$S_r = 0.0239 \exp[0.16 (N_1)_{60,cs}] \leq 0.5$$

$S_r$  = Resistencia residual en atm

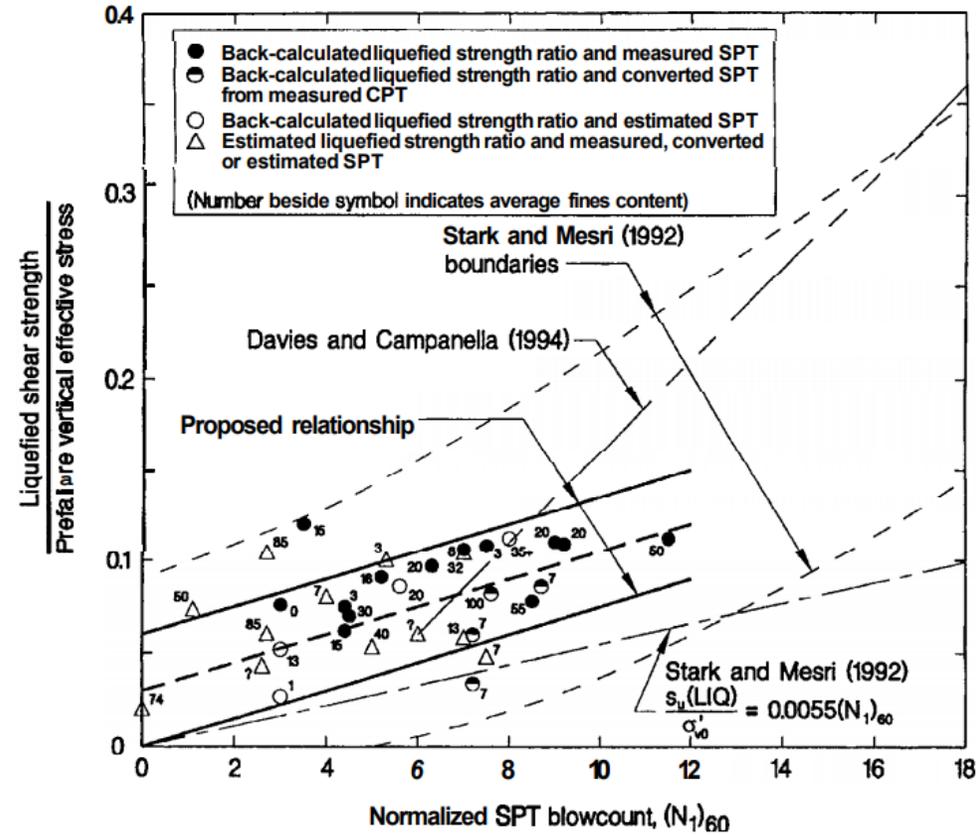
$(N_1)_{60,cs}$  = Valor de  $(N_1)_{60}$  corregido por cantidad de finos

## SEED Y HARDER (1990)



Estimación de la Resistencia Residual a partir de la resistencia SPT (Seed y Harder, 1990)

# OLSON Y STARK (2002)



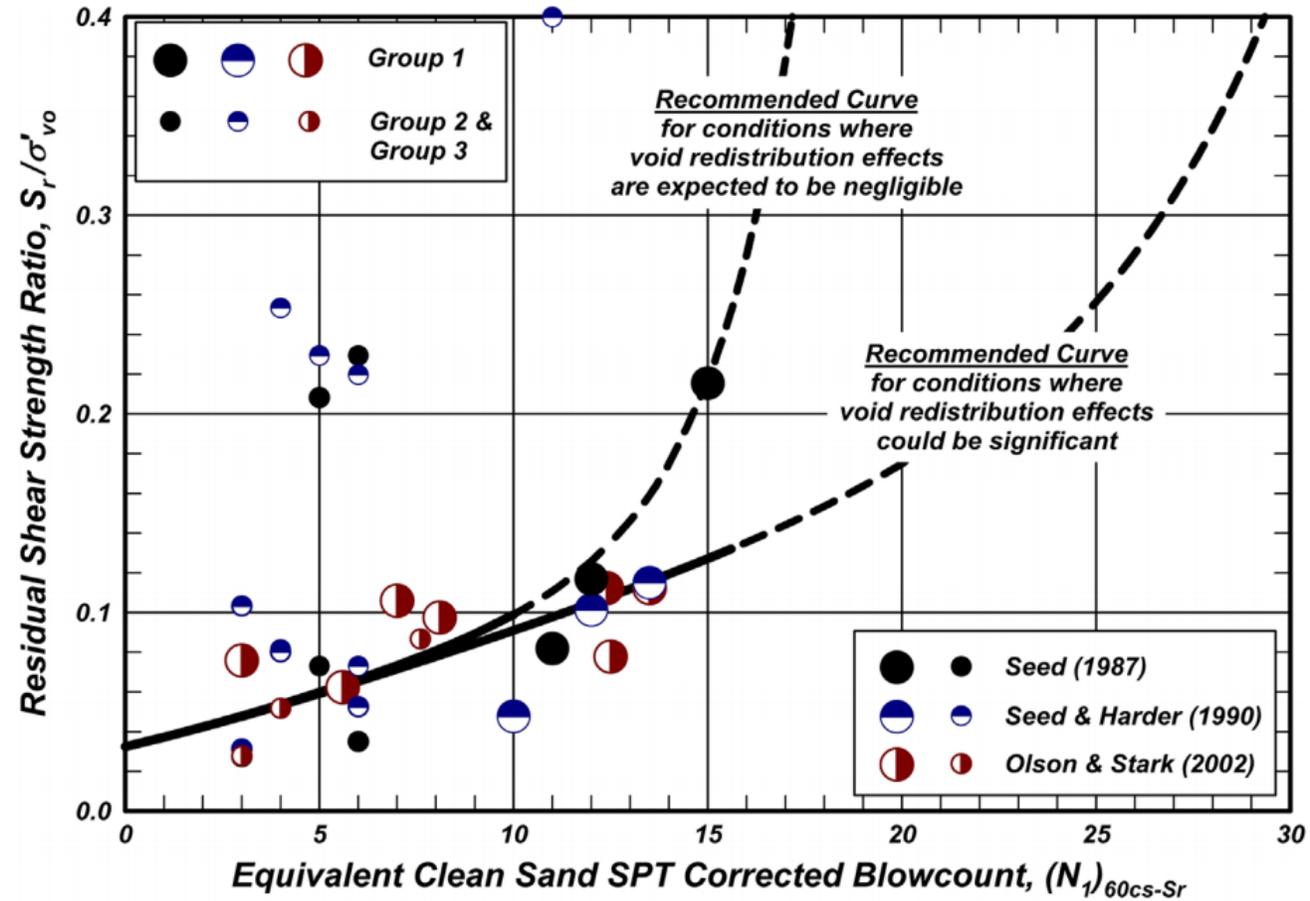
Estimación de la Razón de Resistencia Residual a partir de la resistencia SPT (Olson y Stark, 2002)

$$S_r = \sigma'_{v0} [0.03 + 0.0075(N_1)_{60}]$$

$S_r$  = Resistencia residual en atm

$\sigma'_{v0}$  = Esfuerzo vertical efectivo (atm)

# IDRISS Y BOULANGER (2007)



Estimación de la Razón de Resistencia Residual a partir de la resistencia SPT (Idriss y Boulanger, 2007)

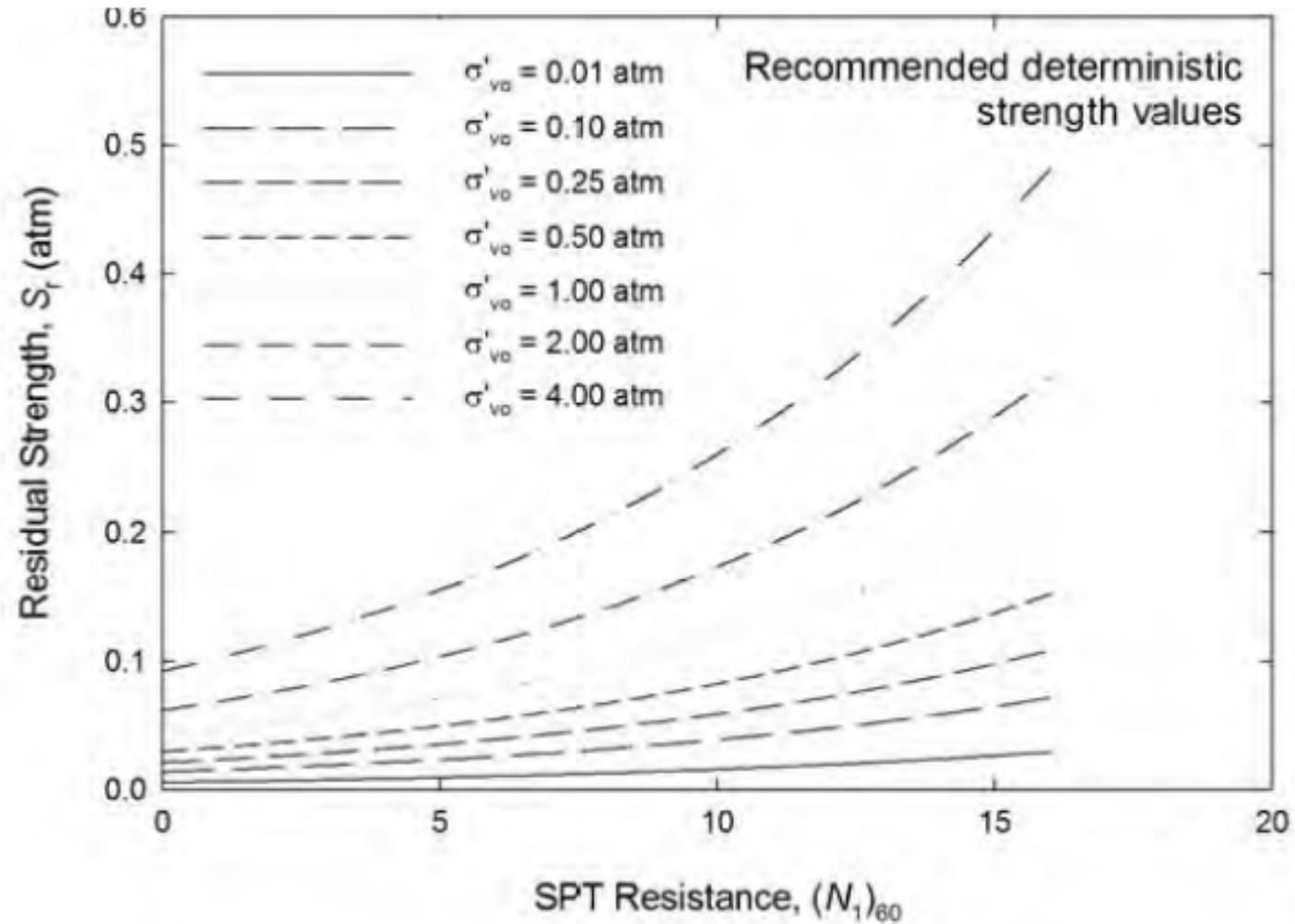
Para el caso donde no se espera que el efecto de la redistribución de vacíos sea significativa:

$$\frac{S_r}{\sigma'_{vo}} = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60,cs}}{16} + \left( \frac{(N_1)_{60,cs} - 16}{21.2} \right)^3 - 3.0 \right] \cdot \left[ 1 + \exp \left( \frac{(N_1)_{60,cs}}{2.4} - 6.6 \right) \right] \leq \tan \phi'$$

Para el caso donde se espera que el efecto de la redistribución de vacíos sea significativa:

$$\frac{S_r}{\sigma'_{vo}} = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60,cs}}{16} + \left( \frac{(N_1)_{60,cs} - 16}{21.2} \right)^3 - 3.0 \right] \leq \tan \phi'$$

## KRAMER Y WANG (2015)



Variación de la Razón de Resistencia Residual con la Resistencia SPT y el Esfuerzo Efectivo Vertical Inicial (Kramer y Wang, 2015)

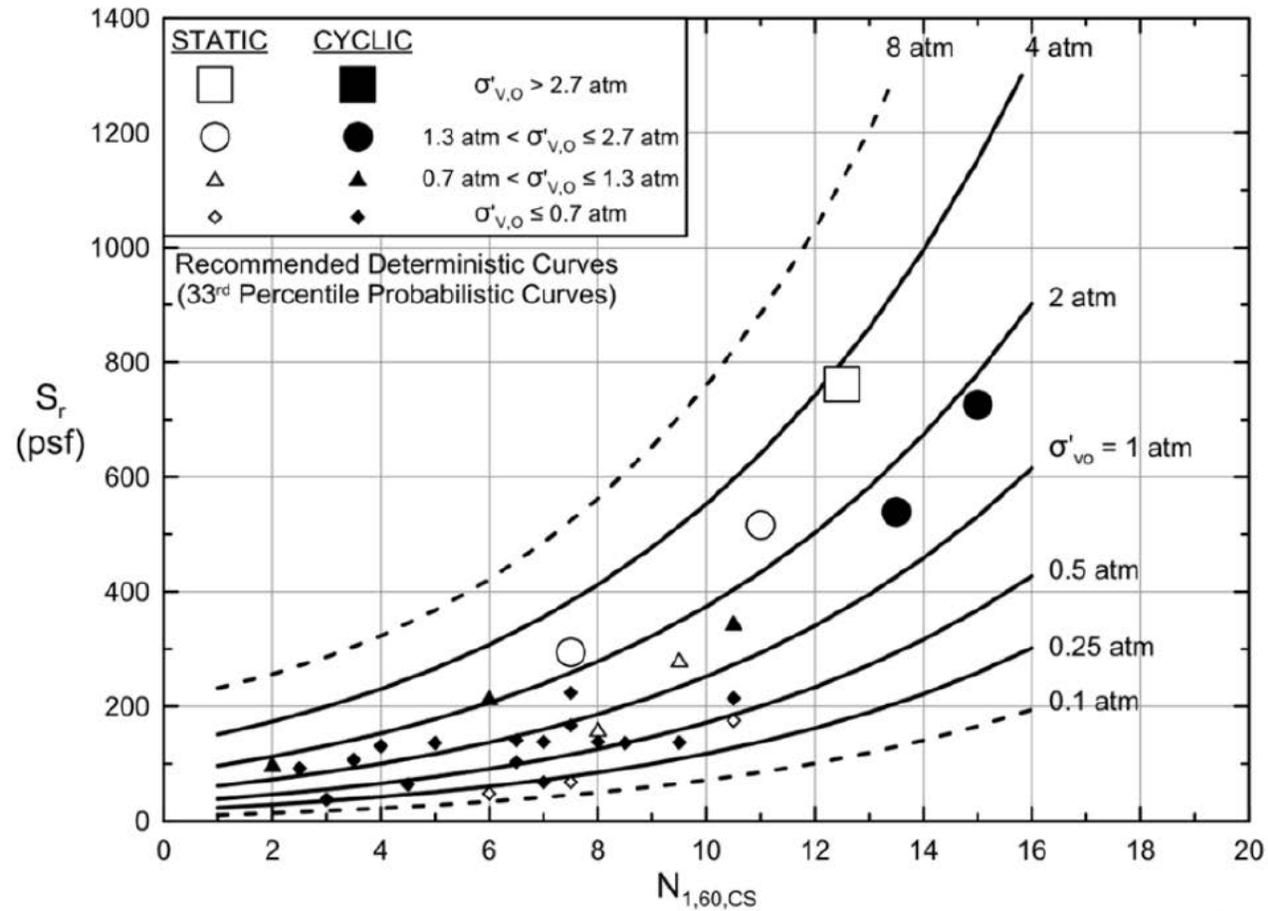
$$S_r = \exp[-8.444 + 0.109\bar{N} + 5.379\bar{S}^{0.1} - 0.253\sigma_m]$$

$\bar{N}$  = Valor promedio de  $(N_1)_{60}$

$\bar{S}$  = esfuerzo vertical efectivo promedio (en atm), y

$$\sigma_m = \sqrt{1.627 + 0.000796\bar{N}^2 + 0.0194\bar{N}\bar{S}^{0.1} - 3.099\bar{S}^{0.1} + 1.635\bar{S}^{0.2}}$$

# WEBER (2015)



Correlación entre la Resistencia Residual en función del confinamiento y el  $N_{1,60,CS}$  (Weber, 2015)

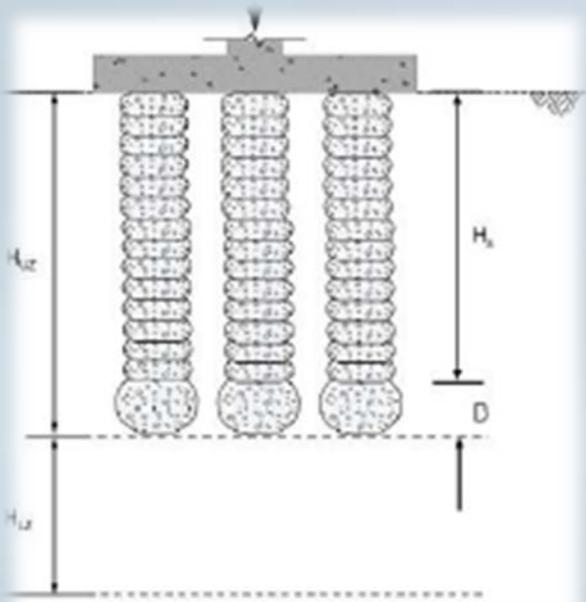
# MITIGACIÓN DE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS

Principalmente se tienen:

- Vibrosustitución con grava
- Vibrocompactación
- Inclusiones rígidas
- Compactación dinámica
- Deep soil mixing y Jet grouting
- Drenes verticales



## VIBROSUSTITUCIÓN CON GRAVA



## VIBROSUSTITUCIÓN CON GRAVA

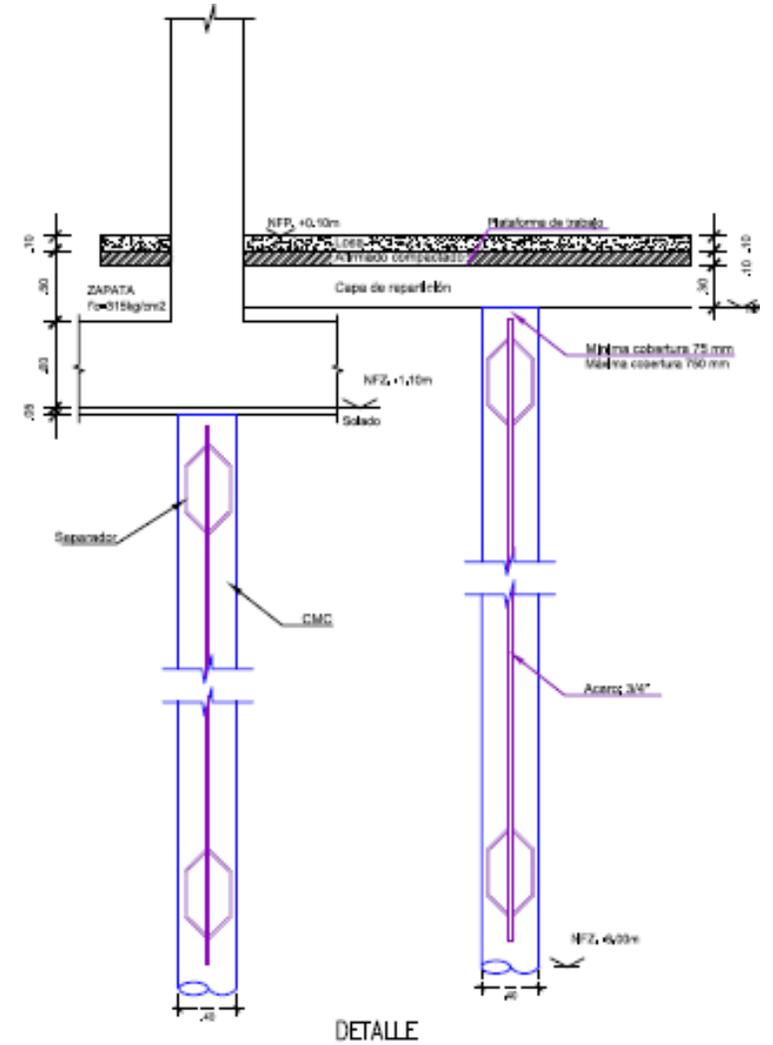


**VIBROCOMPACTACIÓN**

# Centro del Adulto Mayor - Callao



PLANTA  
GENERAL  
ESCALA 1/100



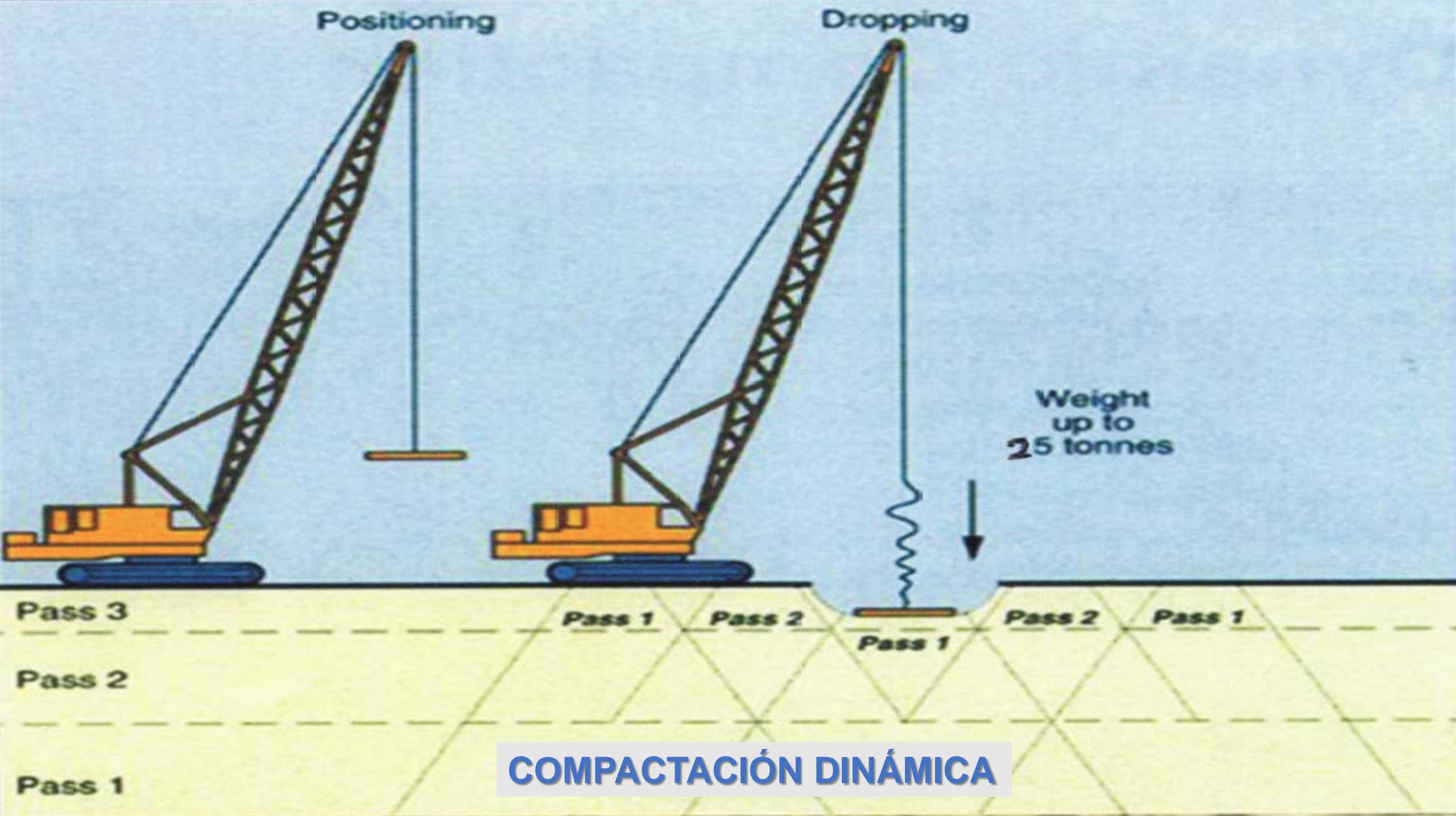
## INCLUSIONES RÍGIDAS



**INCLUSIONES RÍGIDAS**

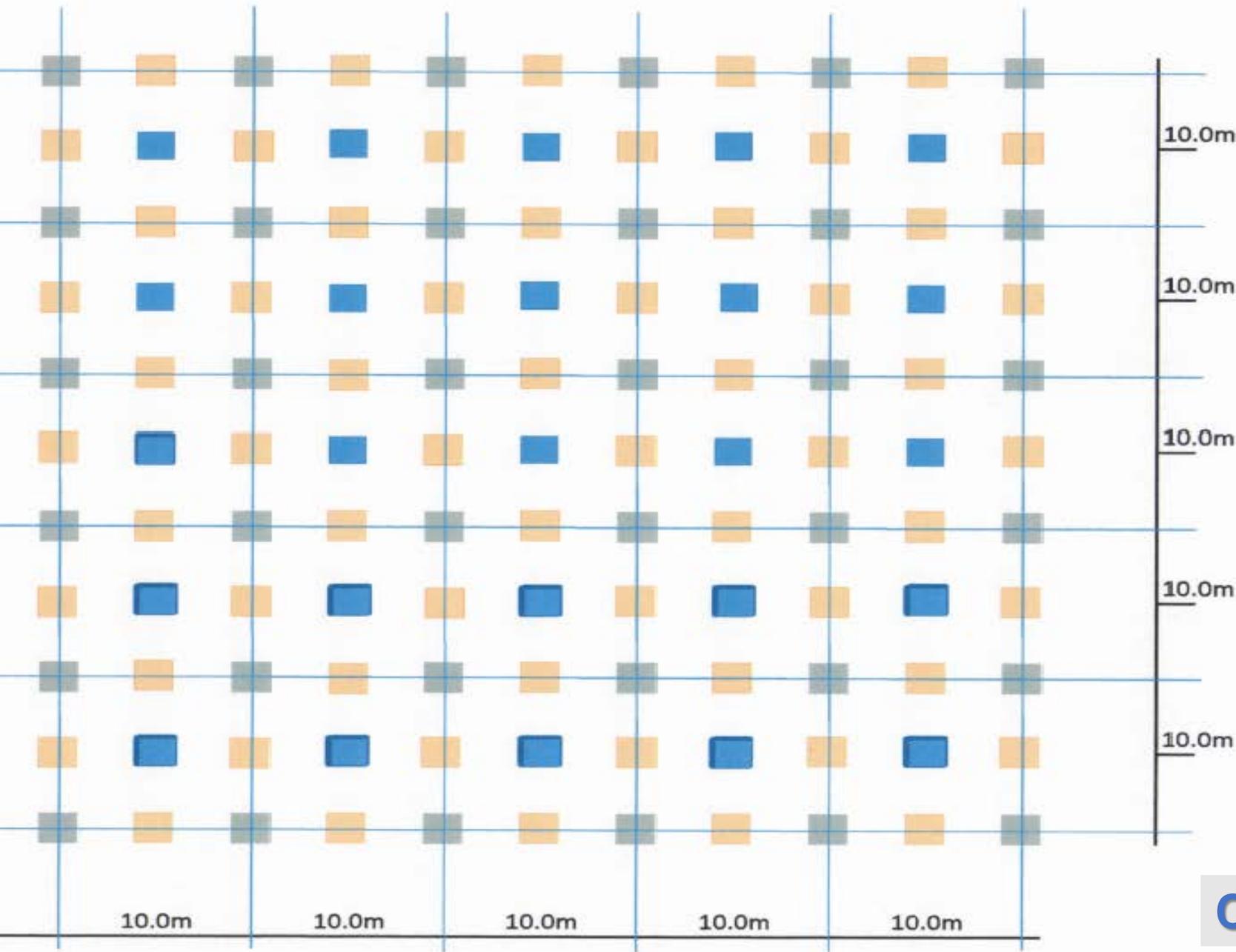


**COMPACTACIÓN DINÁMICA**



**COMPACTACIÓN DINÁMICA**

## PICTORIAL ILLUSTRATION OF PASSES



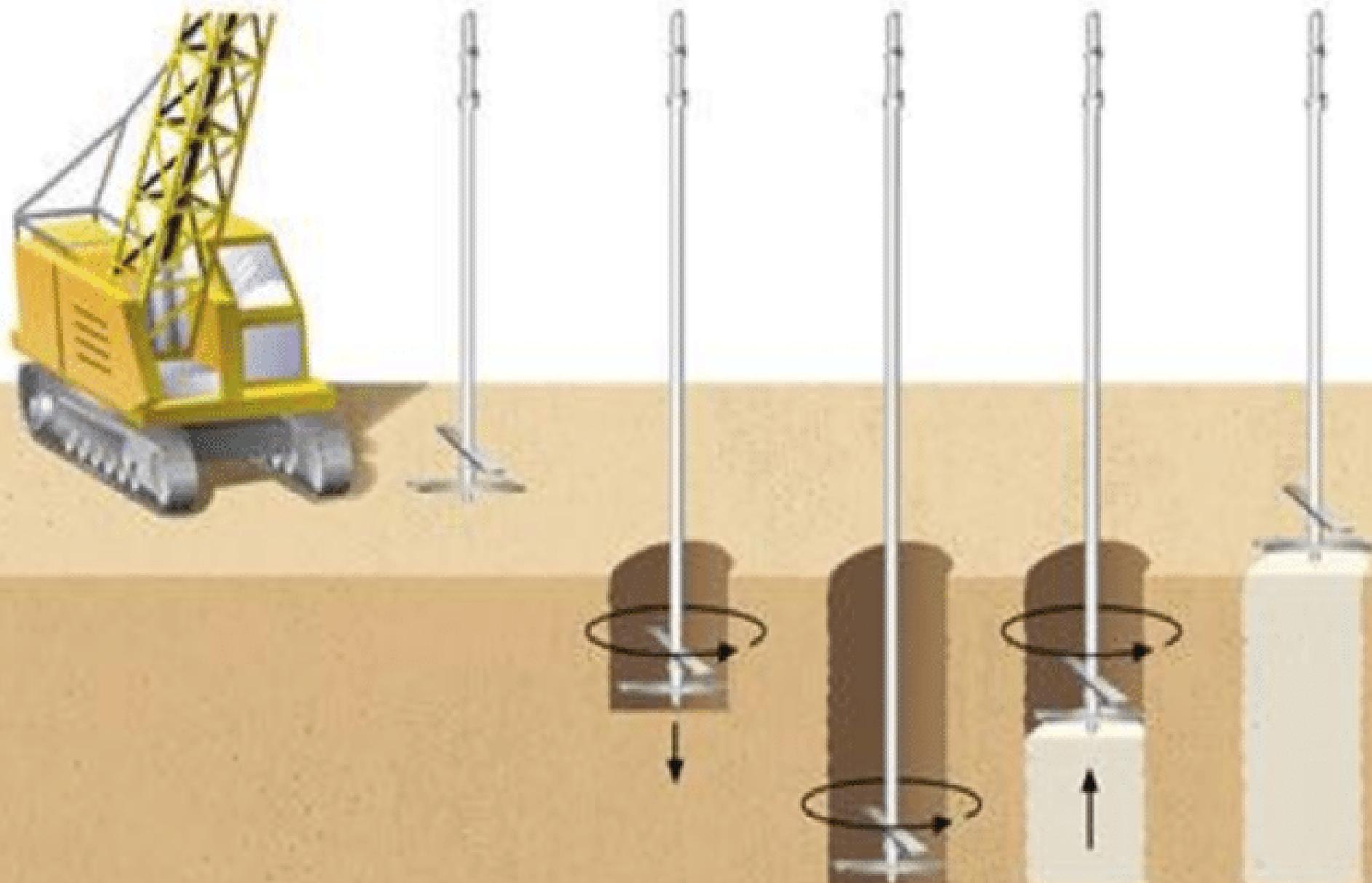
### PASS DETAILS USING A 25 TONNE POUNDER

Pass No.	Drop Ht.	Drop Nos.	Grid Spacing
1	22.0m	15	10.0m x 10.0m
2	22.0m	15	10.0m x 10.0m
3	20.0m	8	7.07m x 7.07m
Ironing	8.0m	1	2.0m x 2.0m

#### KEY

-  Pass 1 locations
-  Pass 2 locations
-  Pass 3 locations

**COMPACTACIÓN DINÁMICA**

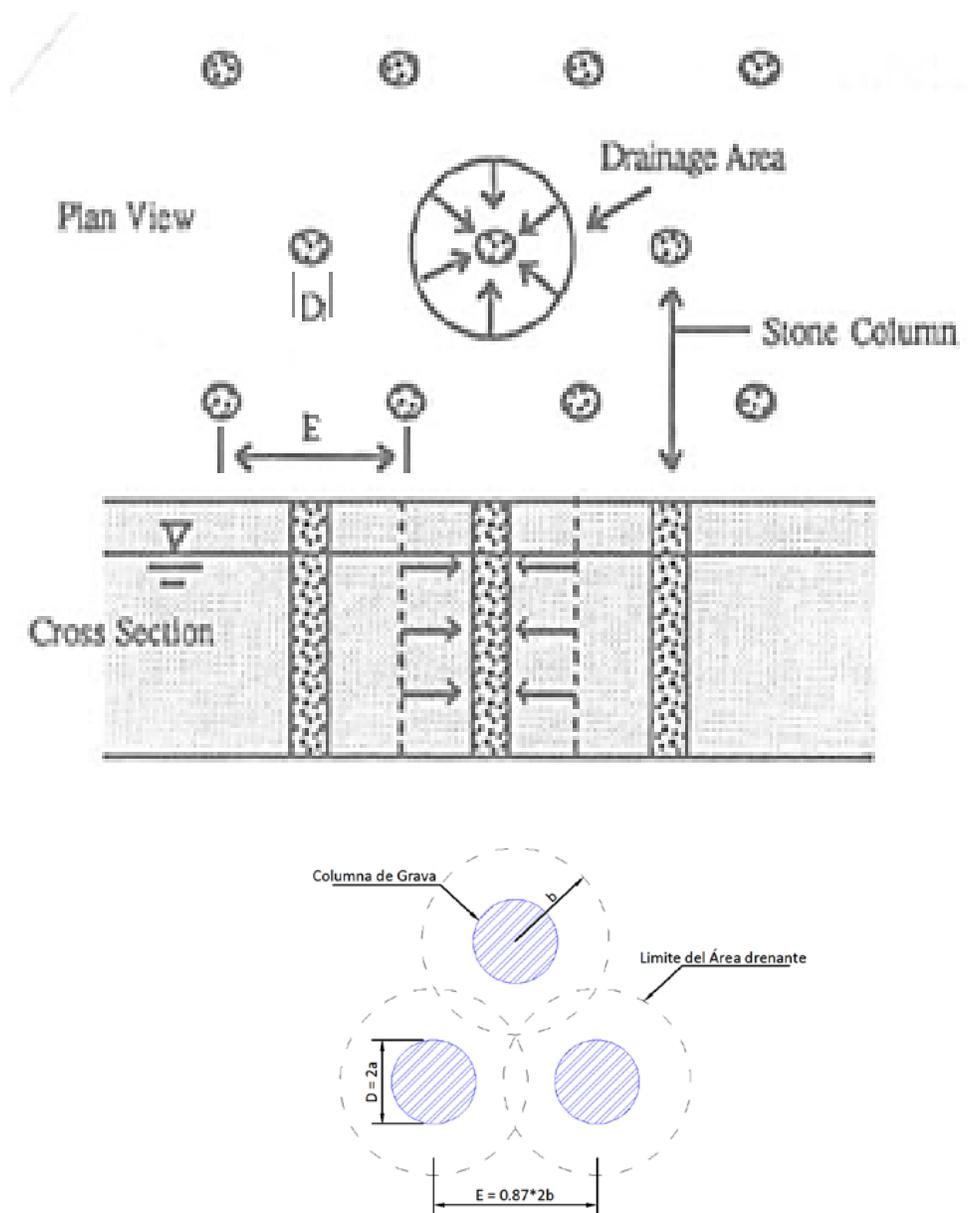
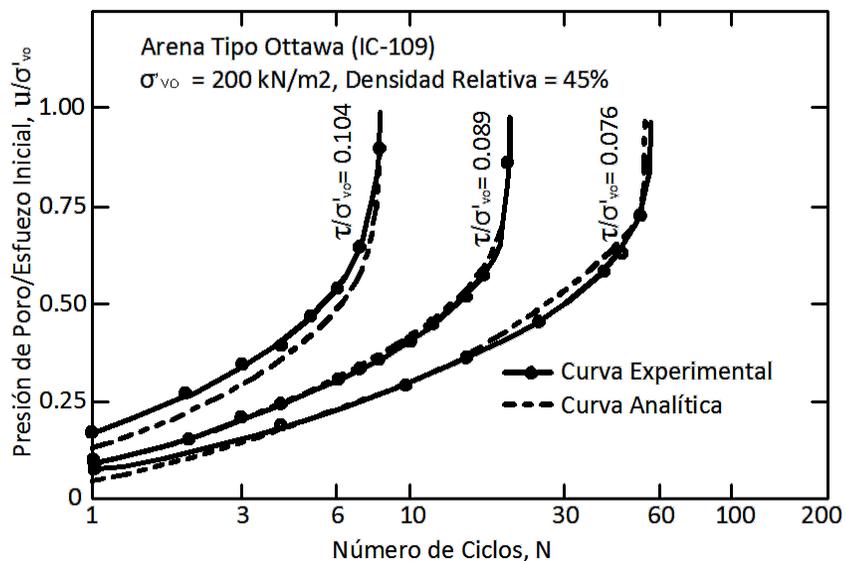


**DEEP SOIL MIXING Y JET GROUTING**

# DRENES VERTICALES

## Seed & Booker (1977)

$$\frac{k_h}{\gamma_w m_v} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{k_v}{\gamma_w m_v} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_g}{\partial t}$$



# REFERENCIAS

# GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING



STEVEN L. KRAMER

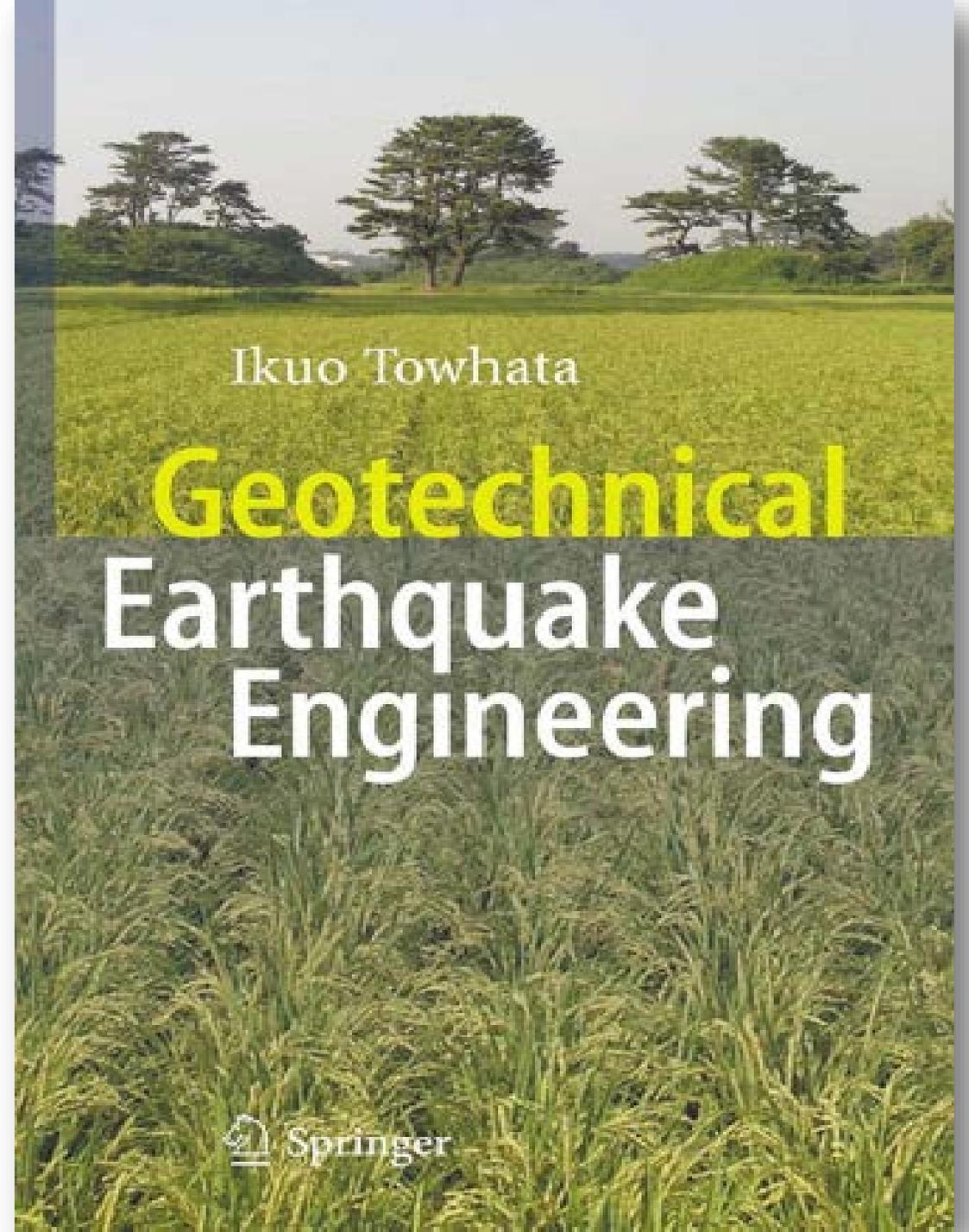
McGraw-Hill **HANDBOOKS**

# GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING HANDBOOK



- Covers field and laboratory testing methods and procedures
- Offers current seismic codes
- Discusses in-depth earthquake engineering analysis as applied to soils

ROBERT W. DAY

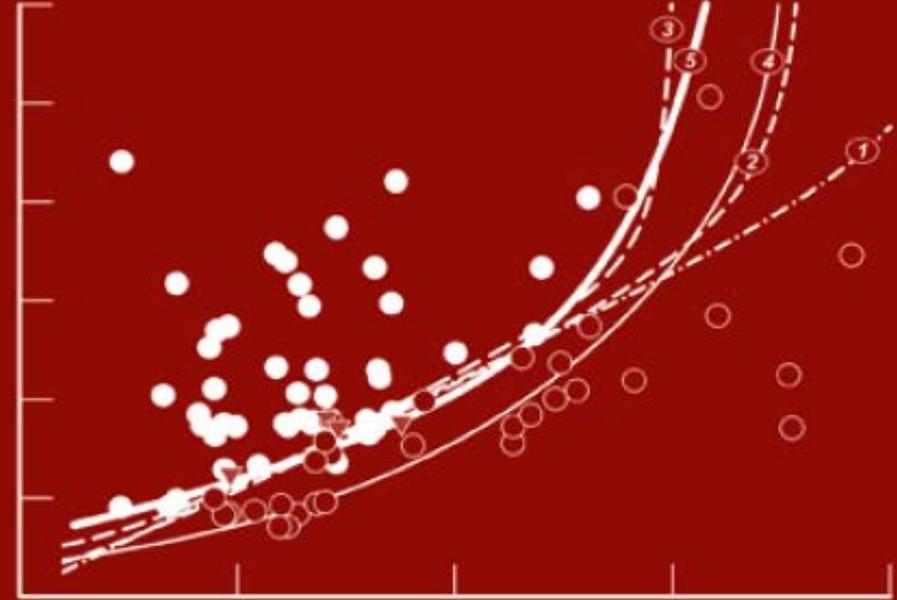


Mike Jefferies

# soil liquefaction

*A critical state approach*

## SOIL LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES



I. M. IDRIS  
R. W. BOULANGER

EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE

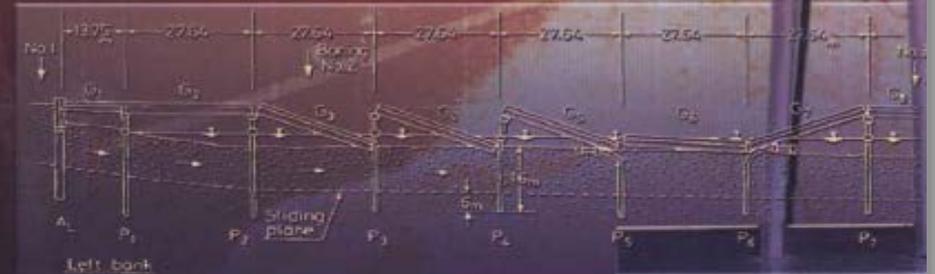
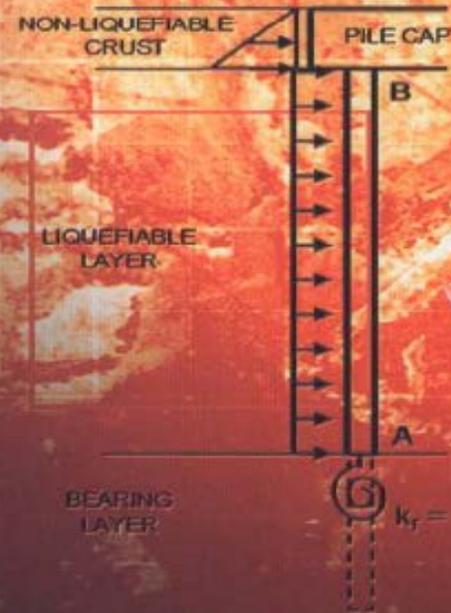


# Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics

KENJI ISHIHARA

OXFORD SCIENCE PUBLICATIONS

# DESIGN OF PILE FOUNDATIONS IN LIQUEFIABLE SOILS



Gopal Madabhushi • Jonathan Knappett • Stuart Haigh

Imperial College Press



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

SECCION DE POST GRADO

**DINAMICA  
DE SUELOS**

*Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado*

Technical Review and Comments:

2008 EERI Monograph

**“SOIL LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES”**

(by I.M. Idriss and R.W. Boulanger)

by

Raymond B. Seed

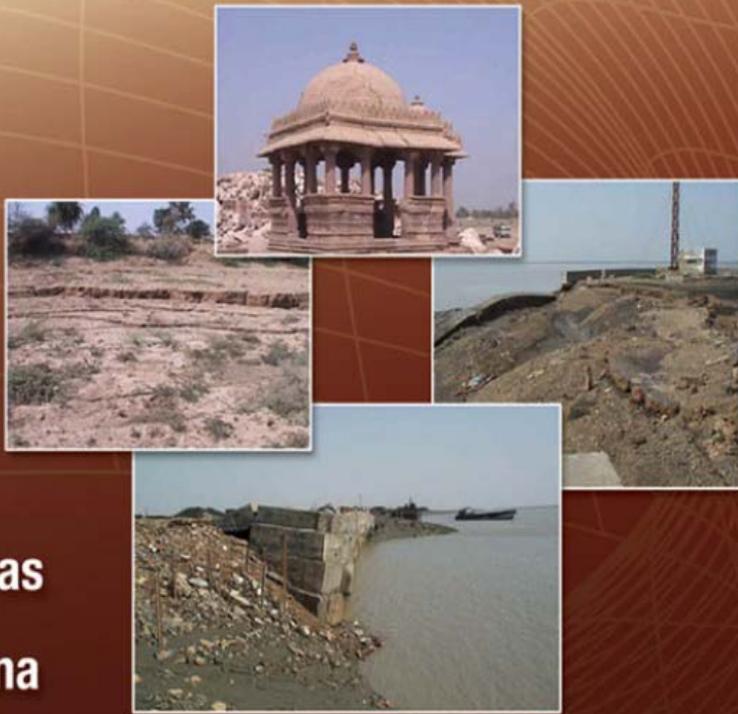
April 2010

Geotechnical Report No. UCB/GT – 2010/01

University of California at Berkeley

Second Edition

# Principles of **SOIL DYNAMICS**



Braja M. Das  
G.V. Ramana

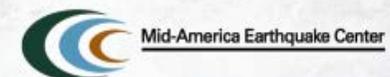
## The Pisco-Chincha Earthquake of August 15, 2007

Seismological, Geotechnical and Structural Assessments



Amr S. Elnashai  
Jorge Alva-Hurtado  
Omar Pineda  
Oh Sung Kwon  
Luis Moran-Yanez  
Guillermo Huaco  
Gregory Pluta

08-15-07  
6:40 PM  
M=8.0±0.1



MAE Center Report No. 08-01



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

---

# **ACTUALIZACIÓN DE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ**

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado

[www.jorgealvahurtado.com](http://www.jorgealvahurtado.com)

[www.red-acelerografica-peru.com](http://www.red-acelerografica-peru.com)

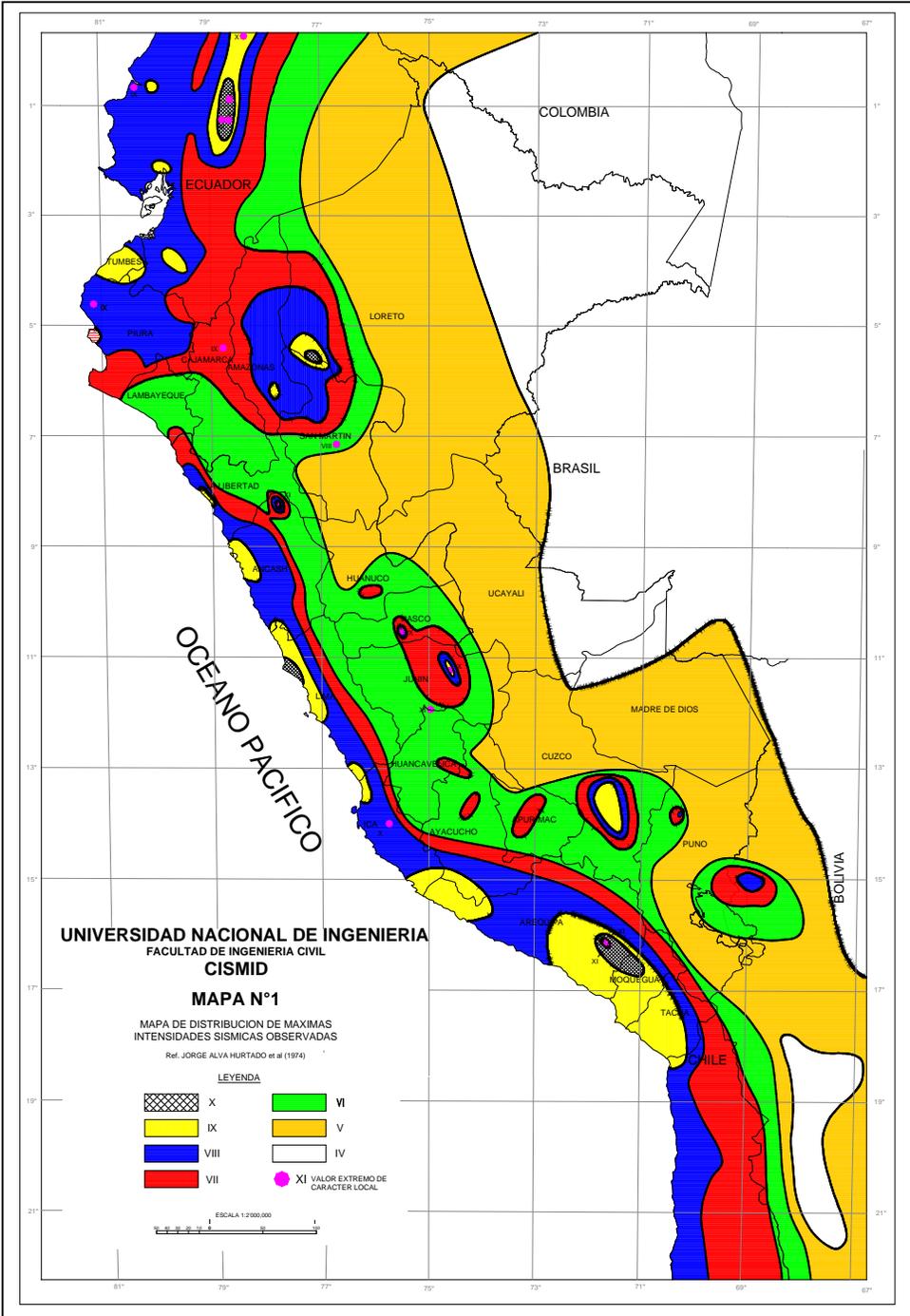
---

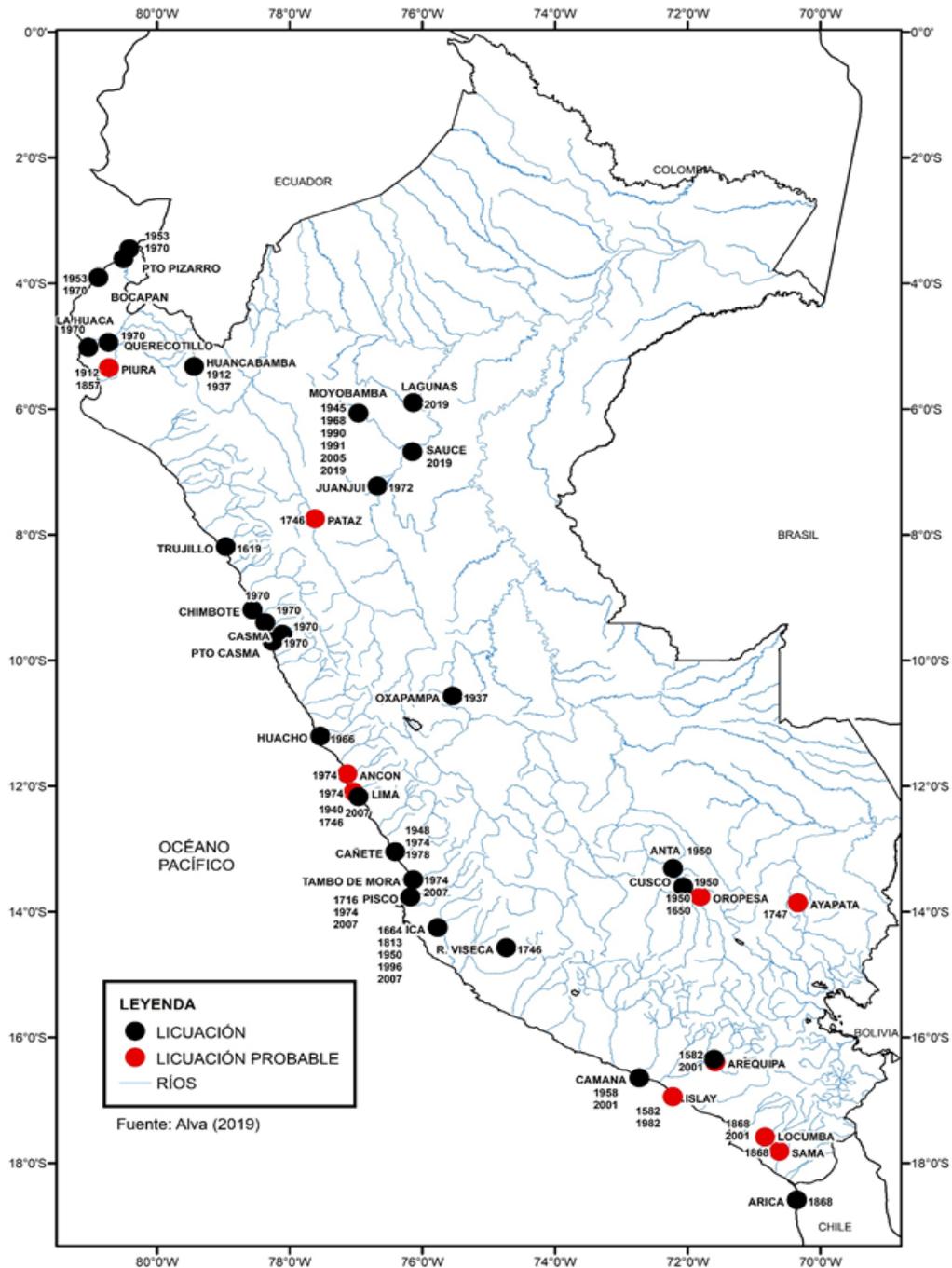
# LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ

- INTRODUCCIÓN.
- MAPA DE INTENSIDADES SÍSMICAS OBSERVADAS Y LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ.
- LICUACIÓN DE SUELOS CAUSADA POR LOS SISMOS DE 1970, 1972, 1974, 1990, 1991, 1996, 2001, 2005, 2007 y 2019.
- CONCLUSIONES.

# DISTRIBUCIÓN DE MÁXIMAS INTENSIDADES SÍSMICAS OBSERVADAS EN EL PERÚ

(Alva et al, 1984)





## MAPA DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ

El mapa de áreas de licuación de suelos está dibujado a la escala 1:5'000,000 y presenta distinciones entre casos de licuación seguros y probables.

## SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970

- Uno de los casos mejor documentados de licuación de suelos en el Perú.
- La ciudad de Chimbote se ubica a 400 km al norte de Lima.
- El sismo fue de subducción con magnitud  $M_s = 7.8$ , profundidad focal de 45 km y ocurrió 50 km costa afuera al oeste de Chimbote.
- La máxima intensidad fue de IX grados en la escala de Mercalli Modificada.
- La máxima aceleración registrada en la estación Parque de la Reserva en Lima fue de  $105 \text{ cm/s}^2$ .
- Desplazamiento lateral del terreno por licuación de depósitos deltaicos y de playa.
- Agrietamiento del terreno y compactación diferencial en el centro de Chimbote
- Volcanes de arena y eyección de agua debido a licuación.
- Posibles asentamientos diferenciales en El Callao debido a licuación de suelos.



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Casa de bloques de concreto afectada por compactación diferencial y desplazamiento lateral de arena de playa licuadas**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Pequeño graven en arena de playa cerca al hotel Chimú formado por licuación y desplazamiento lateral de depósitos de playa**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Inundación de área residencial en el sureste de Chimbote debido al asentamiento y compactación del terreno**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Área de volcanes de arena y agrietamiento del terreno en depósitos aluviales**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Daño a buzones de desagüe debido a licuación**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Subsidencia de relleno adyacente a muelle de planta de acero debido a compactación y desplazamiento lateral del terreno. El muelle estaba en pilotes profundos de concreto**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Asentamientos y fisuramientos de carretera asfaltada debido a compactación y desplazamiento lateral de depósitos lagunares y de playa**



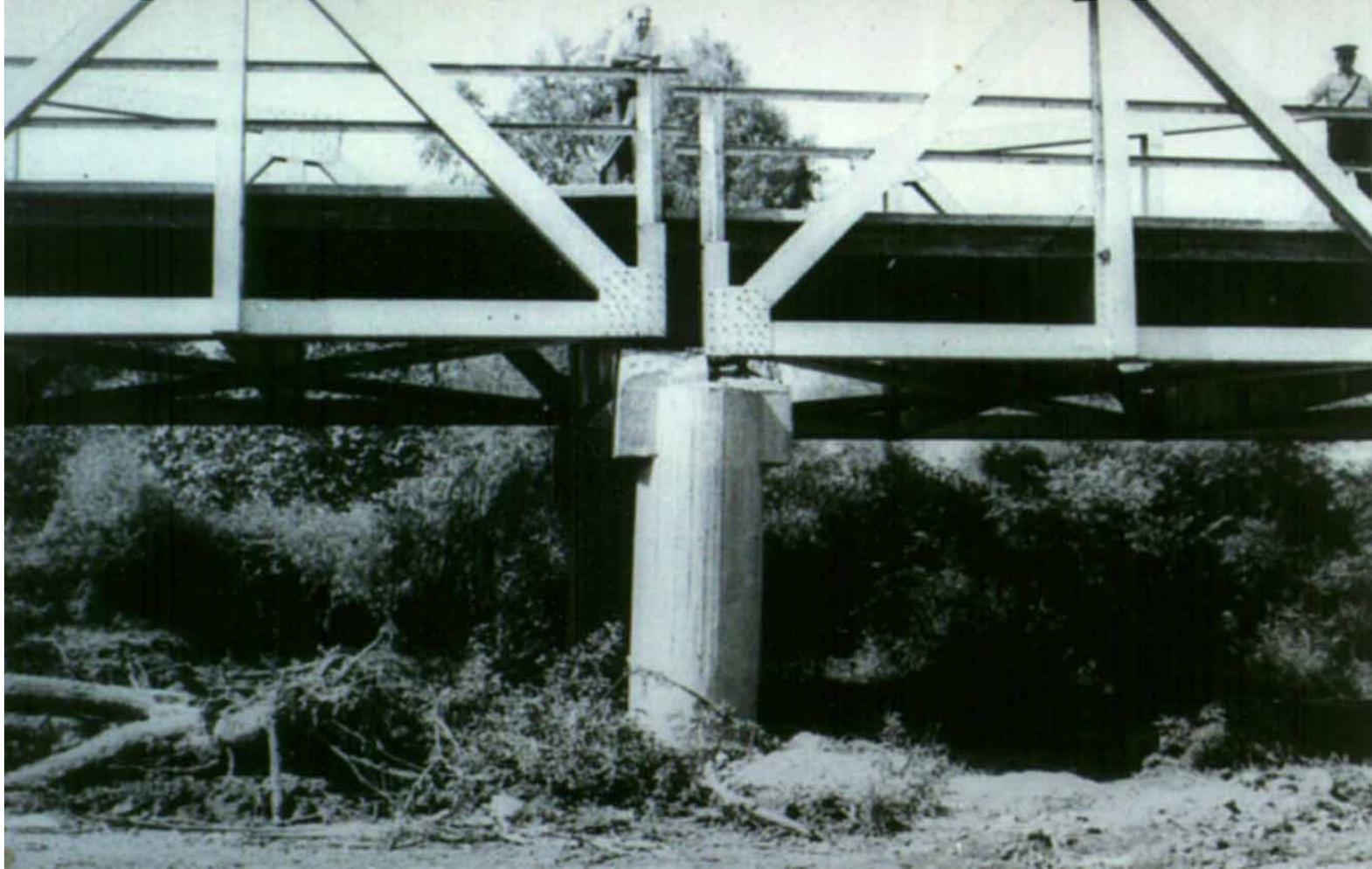
## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

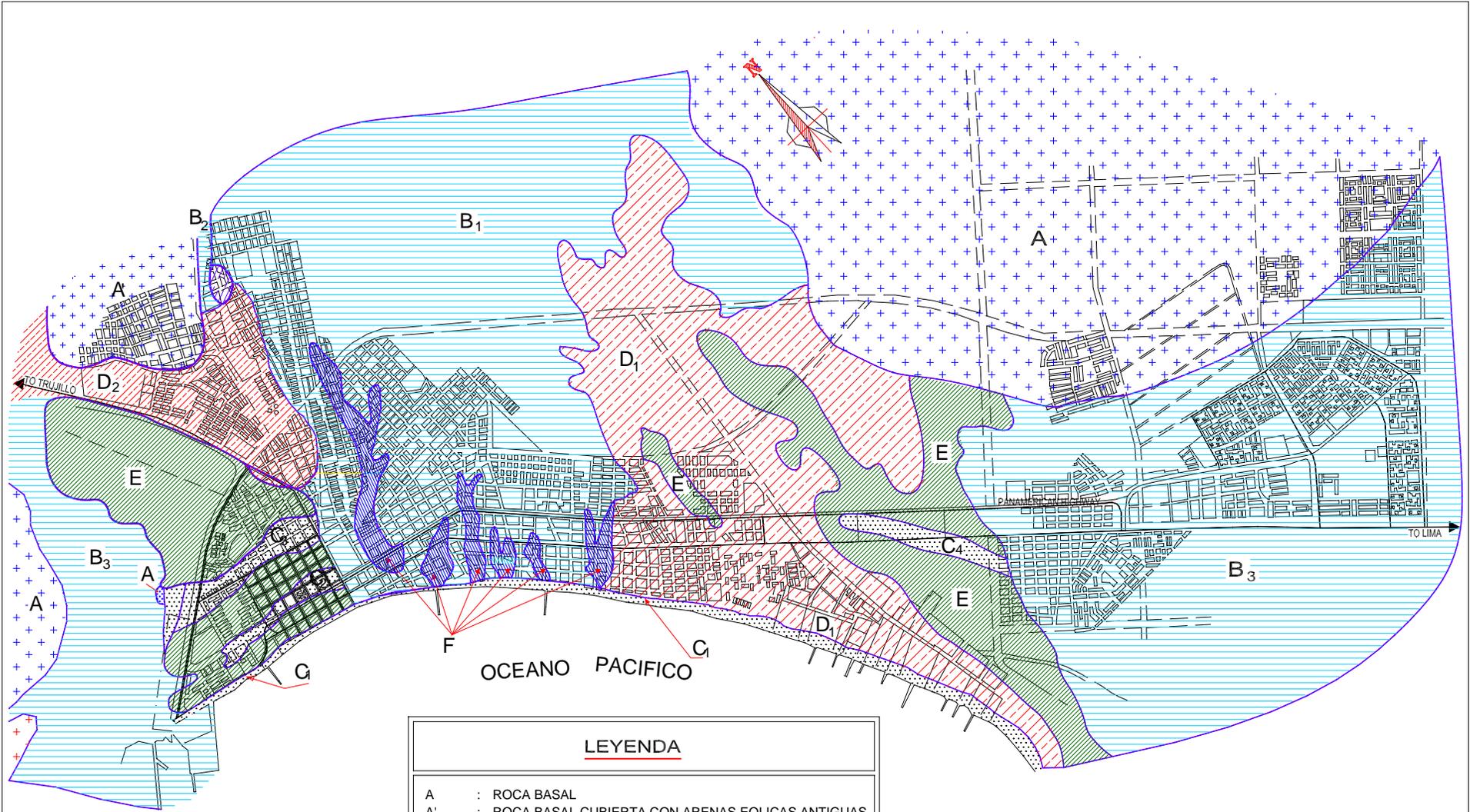
**Daño en la vía férrea Chimbote-Huallanca debido a compactación diferencial y desplazamiento lateral del terreno**



## **SISMO DE CHIMBOTE DEL 31 DE MAYO DE 1970**

**Puente Casma dañado por desplazamiento lateral del estribo izquierdo.**

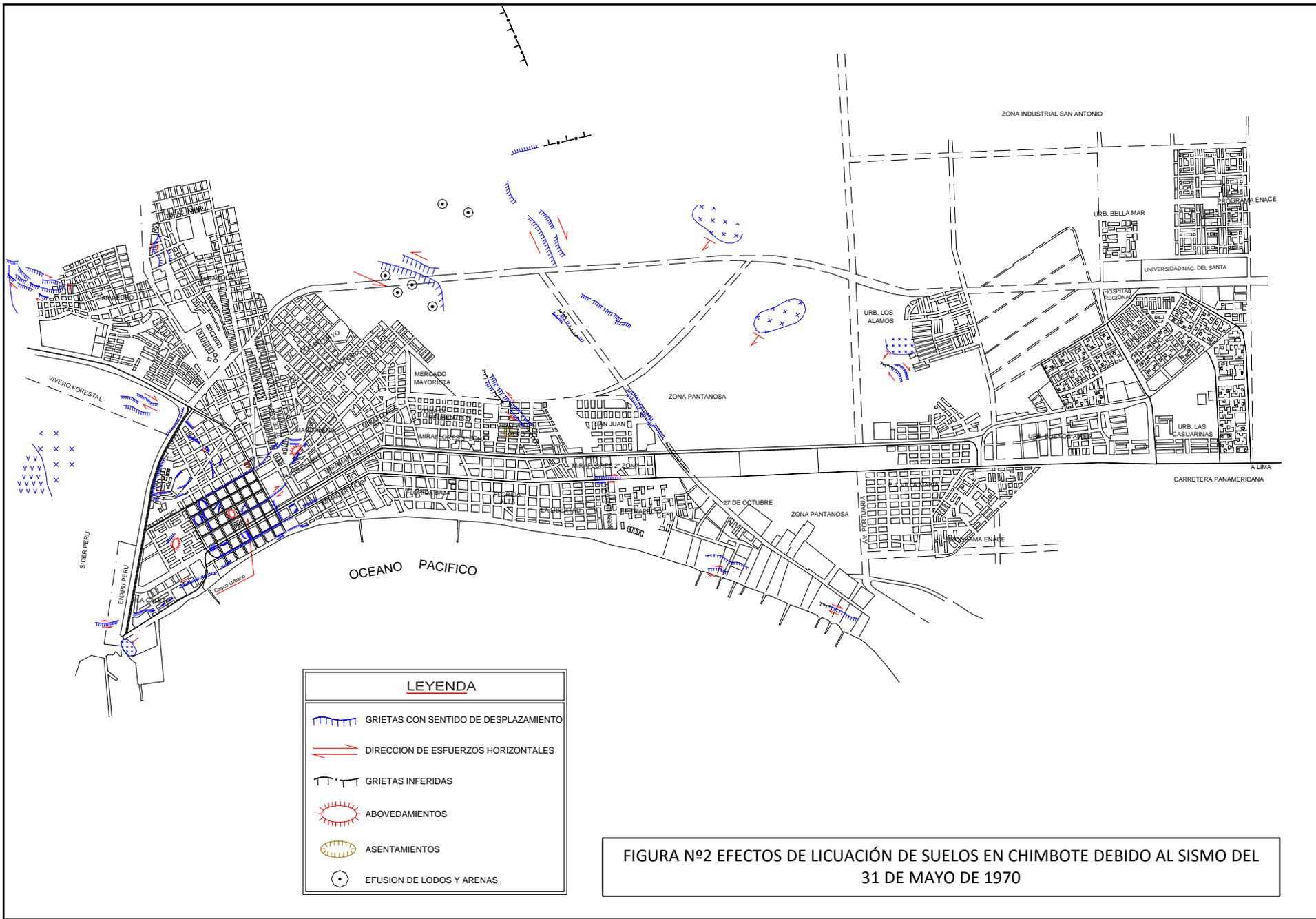


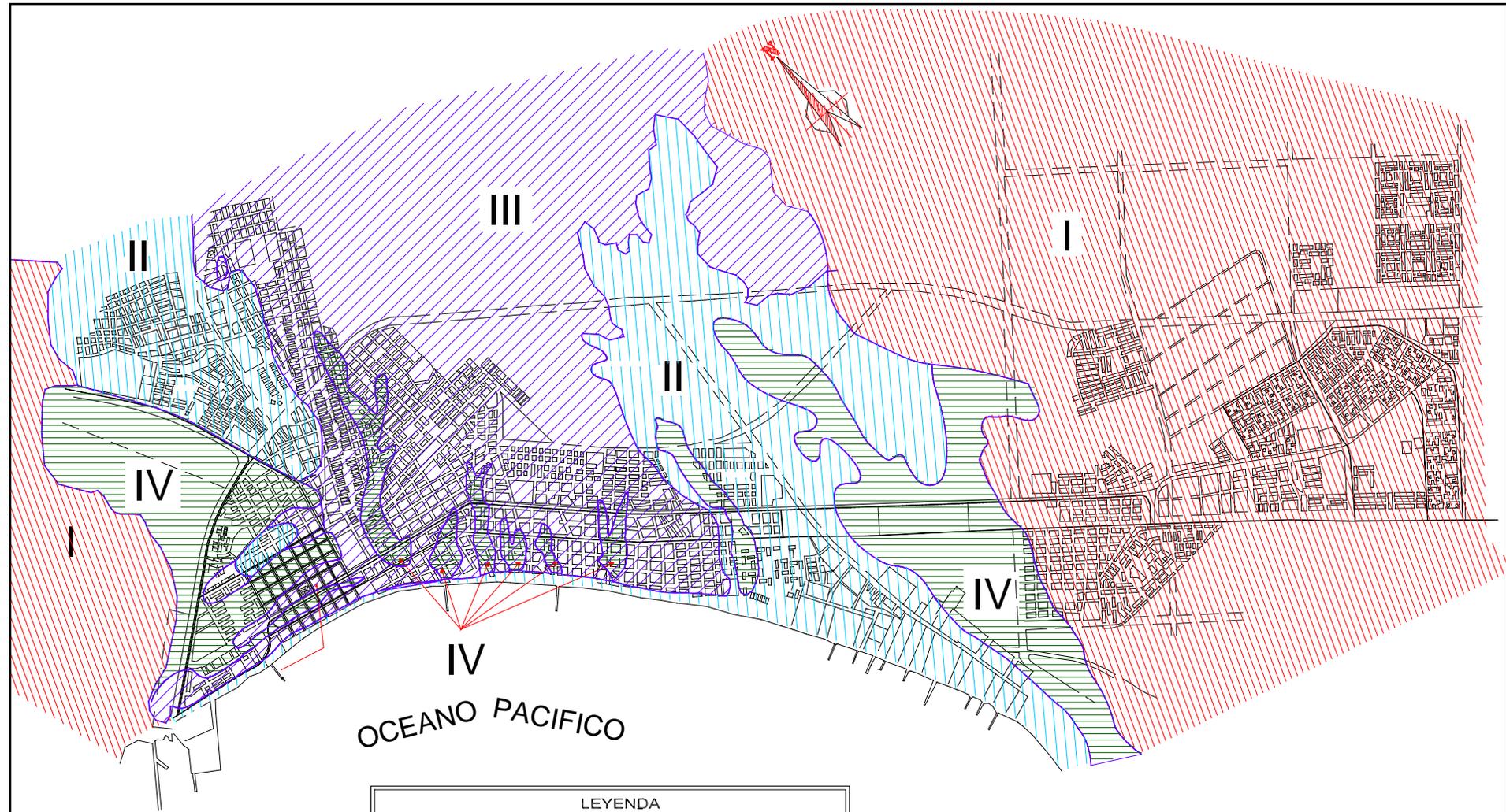


**LEYENDA**

A	: ROCA BASAL
A'	: ROCA BASAL CUBIERTA CON ARENAS EOLICAS ANTIGUAS
B <sub>1</sub>	: DEPOSITOS ALUVIALES DEL RIO LACRAMARCA
B <sub>2</sub>	: REMANENTES DE DEPOSITOS ALUVIALES ANTIGUOS
B <sub>3</sub>	: LLANURAS DE INUNDACION
C <sub>1</sub>	: LINEAS DE PLAYA RECIENTES
C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub>	: LINEAS DE PLAYA ANTIGUAS
D <sub>1</sub>	: ARENAS EOLICAS RECIENTES
D <sub>2</sub>	: ARENAS EOLICAS ANTIGUAS
E	: PANTANOS
F	: TERRENOS DE BAJO NIVEL DIVIDIENDO EL ALUVION

FIGURA Nº1 MAPA GEOLÓGICO DE CHIMBOTE





**LEYENDA**

ZONA I 	SUBSUELO DE GRAVA O ROCA CON AGUA SUBTERRANEA A CERCA DE 10 m. POCAS POSIBILIDADES DE ASENTAMIENTOS. MAYOR EFECTO SISMICO DEBIDO A INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA
ZONA II 	ZONA CUBIERTA POR ARENA SUELTA A SEMIDENSA DE VARIOS METROS DE ESPESOR EN LA MAYOR PARTE EL AGUA A 5 m. SE ESPERAN ASENTAMIENTOS EN LOS BORDES DE LAS DUNAS. DEBERA USARSE PILOTES PARA EDIFICIOS DE MAS DE DOS PISOS
ZONA III 	SUELO ARENOSO CUBIERTO POR TIERRA AGRICOLA. GRAVAS A 10 m. NIVEL FREATICO A POCA PROFUNDIDAD. POSIBLE PRECAUCIONES ESPECIALES
ZONA IV 	ZONA CON NIVEL FREATICO SUPERFICIAL. PANTANOSA. ARENAS CON LIMOS SUPERFICIALES. ASENTAMIENTOS INEVITABLES.

FIGURA N°3 MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CHIMBOTE



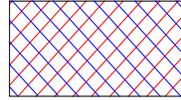
**LEYENDA**

	DAÑO POTENCIAL DE LICUACION DE SUELOS CON SISMO DE 0.30 g. DE ACELERACION MAXIMA.
--	---

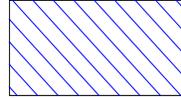
**FIGURA N°4 MAPA DE POTENCIAL DE LICUACIÓN DE SUELOS EN CHIMBOTE**



### LEYENDA



PROBABLE LICUACIÓN PARA SISMOS CON ACELERACIÓN MÁXIMA SUPERFICIAL DE 0.15g



PROBABLE LICUACIÓN PARA SISMOS CON ACELERACIÓN MÁXIMA SUPERFICIAL DE 0.30g



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

PLANO :

POTENCIAL DE LICUACIÓN  
DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE

TESORA:  
Bach. Ricardo Silva C.

REVISADO Y ASESORADO:  
Ing. Denys Parra M.

DEBUCO:  
R.E.S.C.

ESCALA:  
-  
FECHA:  
MAYO 2000

LÁMINA:

P-01

## **SISMO DEL 9 DE DICIEMBRE DE 1970**

- El sismo en el noroeste de Perú fue de magnitud  $M_s = 7.1$
- La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM
- En Querecotillo en la terraza fluvial y aluvial se formó un sistema de grietas en echelón.
- En Tumbes, en las terrazas fluviales, se observó efusión de aguas negras con arena que salieron a la superficie a través de grietas.

## **SISMO DEL 20 DE MARZO DE 1972**

- El sismo en el nororiente de Perú fue de magnitud  $M_s = 6.9$
- La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM.
- En el área urbana de Juanjuí se produjo el fenómeno de licuación de suelos con sumideros alineados de hasta 1 m. de diámetro.
- Se encontraron pozos de agua que al momento de la visita se encontraban secos y taponeados con arena.

## SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974

- El sismo fue de magnitud  $M_s = 7.5$ , en Lima
- La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM.
- La máxima aceleración registrada en la estación Parque de la Reserva en Lima fue de  $190 \text{ cm/s}^2$  componente EO.
- Licuación local en el valle de Cañete, donde el nivel freático es muy superficial.
- Licuación importante en la Cooperativa La Quebrada, en un área de  $30,000 \text{ m}^2$ .
- Licuación generalizada en Tambo de Mora, asociada a una subsidencia o hundimiento.
- Eyecciones de agua en la zona norte con arena a través de volcanes de arena.



## **SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

- Dos sismos moderados en el nororiente peruano.
- El sismo del 29 de Mayo de 1990 tuvo una magnitud de  $m_b = 6.0$  y una máxima intensidad sísmica de VII MM en Rioja.
- El sismo del 4 de Abril de 1991 tuvo una magnitud de  $m_b = 6.5$  y una máxima intensidad de VII MM en Moyobamba.
- Los efectos en el terreno fueron: licuación de suelos, inestabilidad y erosión de suelos en los taludes, asentamientos diferenciales y amplificación de suelos y deslizamientos.
- Todas las viviendas de tapial y algunas de albañilería localizadas en terreno blando colapsaron
- Los sismos fueron producidos por fallas activas.

**SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

**Agrietamiento del terreno en carretera Moyobamba, Puerto Tahuishco**



## **SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

**Agrietamiento del terreno cerca al colegio de Tahuishco debido a licuación de suelos**



## **SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

**Detalles de subsidencia de carretera durante el sismo de 1990**



**SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

**Agrietamiento del terreno y eyección de agua en el colegio de Tahuishco durante el sismo de 1991**



**SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 y 4 DE ABRIL DE 1991**

**Daño a la escuela de Tahuishco debido a asentamiento diferencial y agrietamiento del terreno debido a licuación**



**SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

**Daño a casas de tapial y agrietamiento del terreno debido a desplazamiento lateral en  
Azungue**



## **SISMOS DEL 29 DE MAYO DE 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

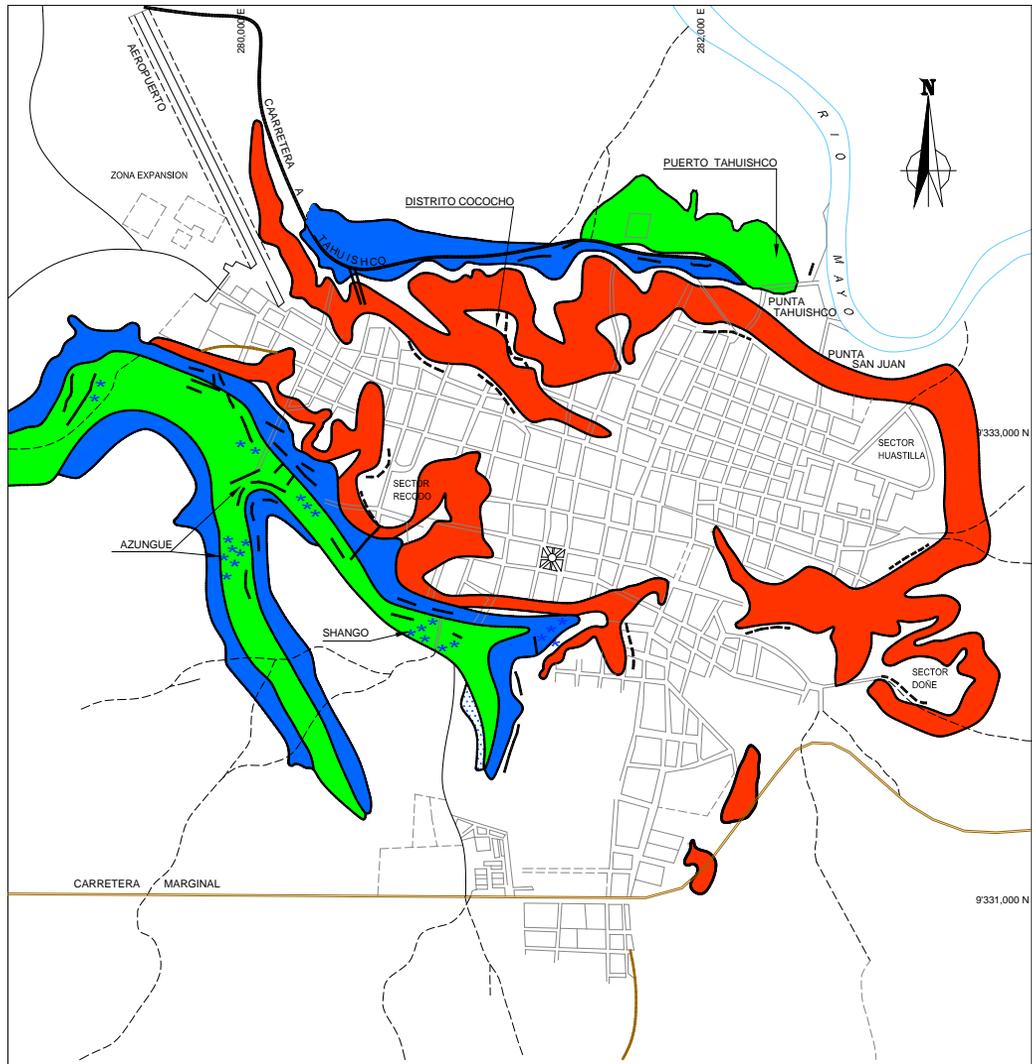
**Agrietamiento del terreno que pasa a través de muro de albañilería en Shango debido a licuación**



## **SISMOS DEL 29 DE MAYO 1990 Y 4 DE ABRIL DE 1991**

### **Licuación de suelos en Moyobamba**



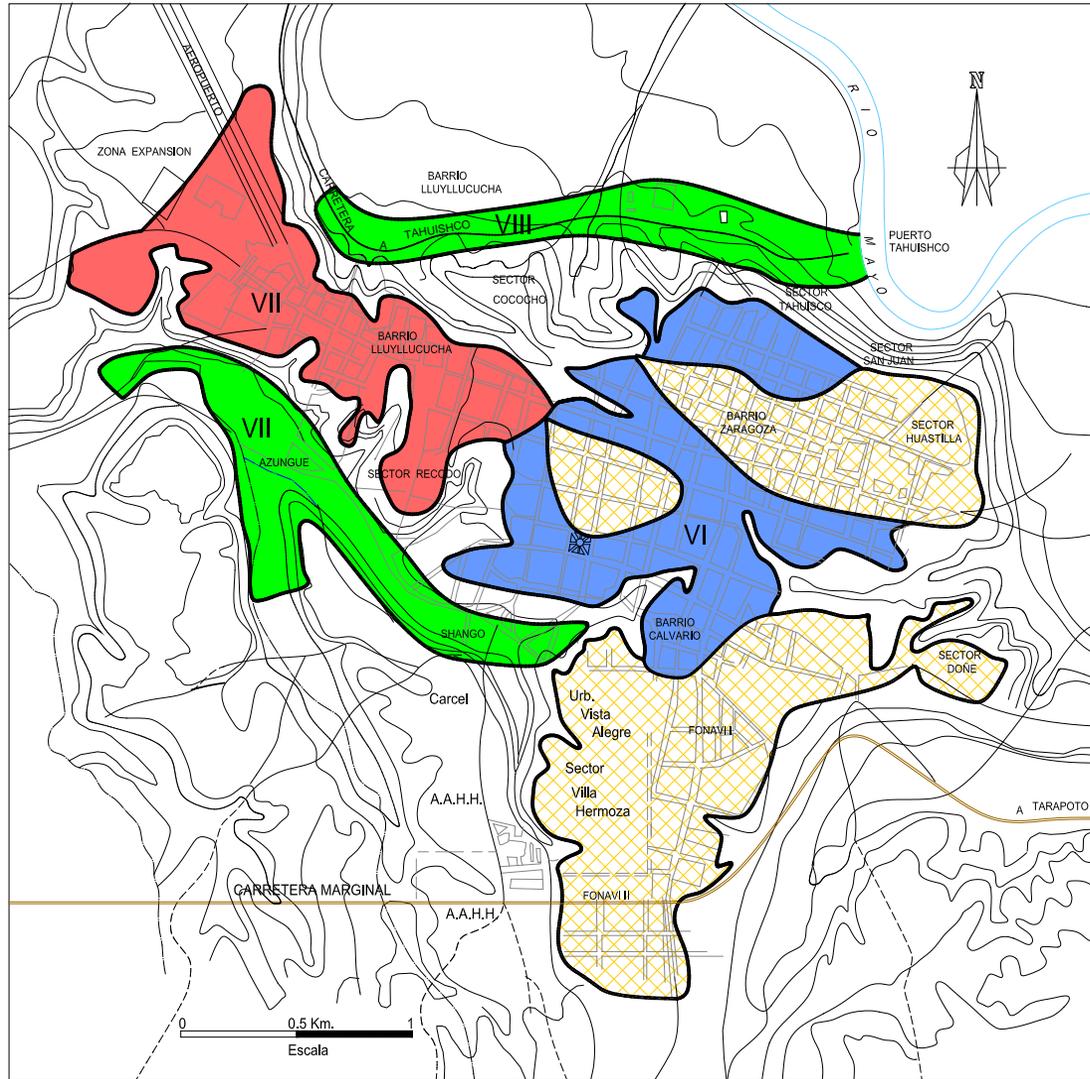


**LEYENDA**

- |   |  |   |                       |
|---|--|---|-----------------------|
|  | ZONA DE LICUACIÓN                      |  | GRIETAS DE TENSIÓN    |
|  | ZONA DE AGRIETAMIENTOS Y ASENTAMIENTOS |  | GRIETAS EN EL TERRENO |
|  | ZONA DE DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES     |  | VOLCANCITOS DE ARENA  |

**PLANO DE ZONAS CRÍTICAS EN MOYOBAMBA**

(Lara y Alva Hurtado, 1992)



## MAPA DE INTENSIDADES SÍSMICAS EN MOYOBAMBA (MMI)

(Lara y Alva Hurtado, 1992)



V



VI



VII



VIII

## **SISMO DE NASCA DEL 12 DE NOVIEMBRE DE 1996**

- La región de Nasca - Acarí, a 450 km al sur de Lima.
- El sismo fue de subducción de magnitud  $M_w = 7.7$ , profundidad focal de 33 km y ocurrió 135 km al suroeste de la ciudad de Nasca. Intensidad de VII MM en Nasca.
- Licuación de suelos en el lecho del río Yauca observándose volcanes de arena, eyección de lodo y agrietamientos.
- Desplazamiento del tablero del puente del río Yauca por licuación de suelos en la cimentación.

## **SISMO DE NASCA DEL 12 DE NOVIEMBRE DE 1996**

**Licuação de suelos en la cimentación del Puente Yauca**



## SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001

- En los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna en Perú.
- El sismo fue de magnitud  $M_w = 8.2$
- La máxima intensidad fue de VII-VIII grados en la escala de Mercalli Modificada.
- La máxima aceleración registrada en la estación Moquegua (CISMID) fue de  $289 \text{ cm/s}^2$  componente EO.
- Licuación de suelos en los valles de los ríos Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmore, Locumba y Sama.
- Semirural Pachacútec, horizontes de arena se licuaron causando severo alabeamiento y colapso de algunos muros de cerco.
- Huaranguillo, efecto de agrietamiento del terreno y la aparición de dos ebullideros.
- Urbanización las Magnolias, efectos de ebullición de agua con arena y agrietamiento del suelo.



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Licuación de suelo arenoso de la margen izquierda del Rio Camaná**



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Volcanes de arena alineados en la ribera del Rio Camaná**



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Fracturas en echelón con eyección de arena**



## SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001

El Chorro, Camaná (2001)



Fuente: Zegarra(2001)

## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Hundimiento del terraplén por desplazamiento lateral del Rio Camaná**



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Grieta de 30 m de largo y 5 m del terraplén del Rio Camaná**



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Desplazamiento lateral del terraplén del Golden Playa Discoteca**



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

Conos de arena por efecto de licuación de suelos en Cerrillos



## **SISMO DE AREQUIPA DEL 23 DE JUNIO DE 2001**

**Muro de contención traccionado en el estribo del puente sobre el Rio Sama**



## SISMO DE MOYOBAMBA DEL 25 DE SETIEMBRE DE 2005

- Afectó la ciudad de Lamas y poblaciones aledañas en el departamento de San Martín.
- Sismo perceptible desde Lima por el Sur hasta Guayaquil, Ecuador, por el Norte.
- El sismo fue de magnitud  $M_w = 7.5$  (NEIC), profundidad focal de 115 km fue sentido en toda la región Norte y Centro del Perú. Intensidad VI MM en Moyobamba.
- La máxima aceleración registrada en la estación Moyobamba en San Martín fue de  $132 \text{ cm/s}^2$  componente EO.
- Se observó la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos en los sectores de Shango y Azungue (Moyobamba),
- En la parte baja de la ciudad de Moyobamba se observó volcanes de arena y agrietamientos del suelo por deslizamientos.



**SISMO DE MOYOBAMBA DEL 25 DE SETIEMBRE DE 2005**  
Licuación de suelos y agrietamientos, ciudad de Moyobamba



## **SISMO DE MOYOBAMBA DEL 25 DE SETIEMBRE DE 2005**

**Volcanes de arena, ciudad de Moyobamba**



## **SISMO DE MOYOBAMBA DEL 25 DE SETIEMBRE DE 2005**

**Volcanes de arena, ciudad de Moyobamba**



## **SISMO DE MOYOBAMBA DEL 25 DE SETIEMBRE DE 2005**

**Agrietamientos, ciudad de Moyobamba**



## SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

- La ciudad de Pisco (Ica) se ubica a 150 km al sureste de Lima.
- El sismo fue de magnitud  $M_w = 8.0$ , profundidad focal de 26 km y ocurrió a 39 km de la ciudad de Pisco. Intensidad VIII MM.
- La máxima aceleración registrada fue en la estación Parcona (IGP) en Ica fue de  $483 \text{ cm/s}^2$ .
- Daños en carreteras, puentes, caída de postes de energía, ruptura de líneas de agua y alcantarillas, avería de las instalaciones del puerto, etc.
- Falla de talud en Jahuay por la licuación en el pie de un talud de pendiente fuerte.
- Desplazamiento lateral en Canchamana por desplazamiento lateral hacia el mar de una terraza marina.
- Fallas de fundaciones superficiales en Tambo de Mora por licuación de suelo.
- Puerto General San Martín, la licuación del relleno produjo conos de arena y desplazamiento lateral con grietas significativas.



## SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

Desplazamiento lateral del terreno asociado a licuación en Canchamana. Mapa Google Earth



## **SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007**

**Falla del talud de 400 m de longitud de la carretera Panamericana Sur**



## **SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007**

**Daños en berma y pavimento de la calzada norte de la carretera Panamericana**



## **SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007**

**Gran cono de arena con finos posiblemente licuados**



## **SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007**

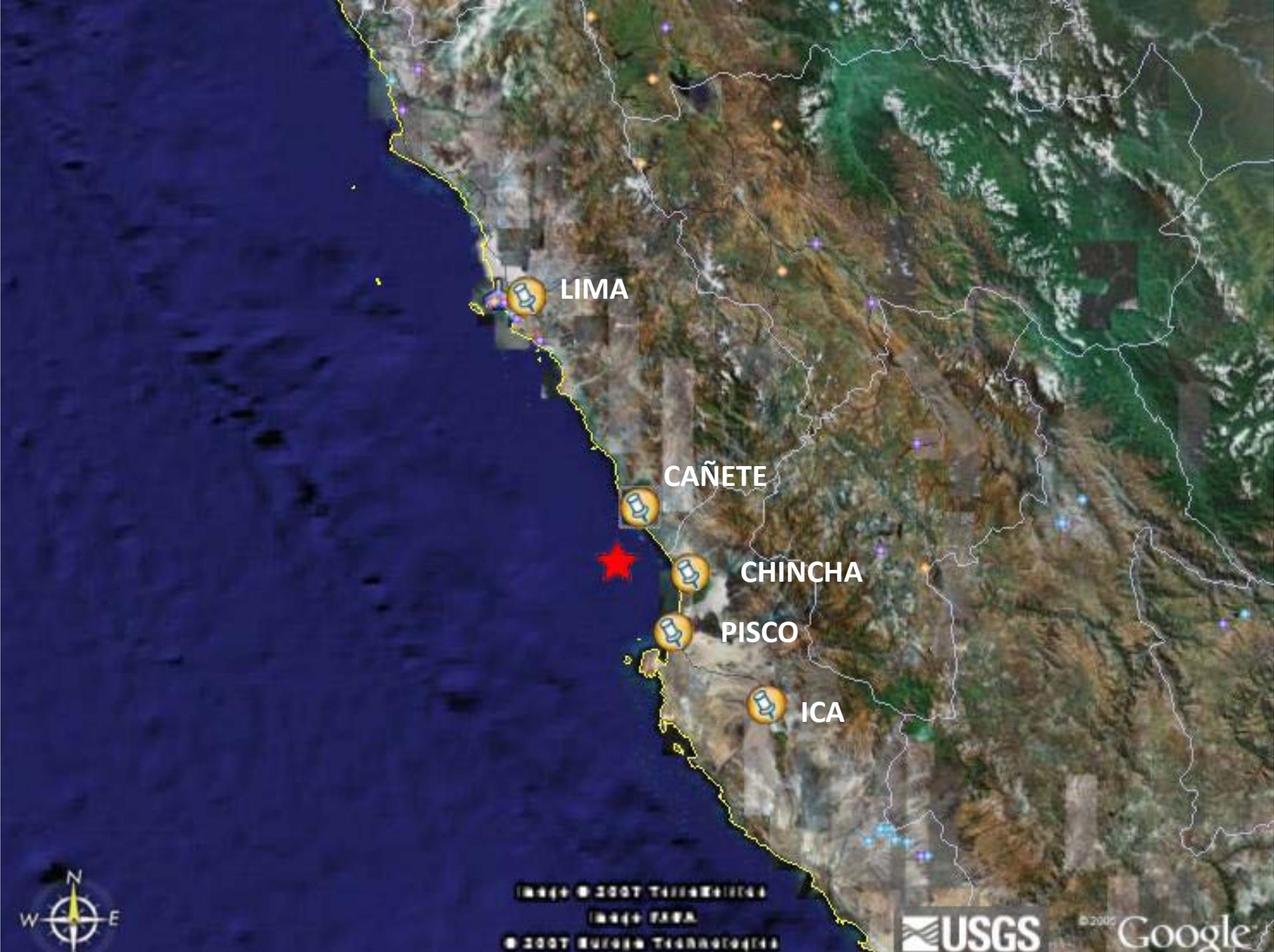
**Falla del talud de 400 m de longitud de la carretera Panamericana**



## **SISMO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007**

**Desplazamiento vertical producto del desplazamiento lateral del terreno en  
Canchamana.**





LIMA

CAÑETE

CHINCHA

PISCO

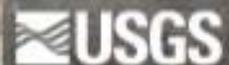
ICA



Image © 2007 TerraMetrics

Image ESA

© 2007 Europa Technologies



# Problemas geotécnicos desde Lima hasta Ica



Ventanilla (No Liquefaction)  
Lima  
Villa  
Las Lagunas (Section 3.5)



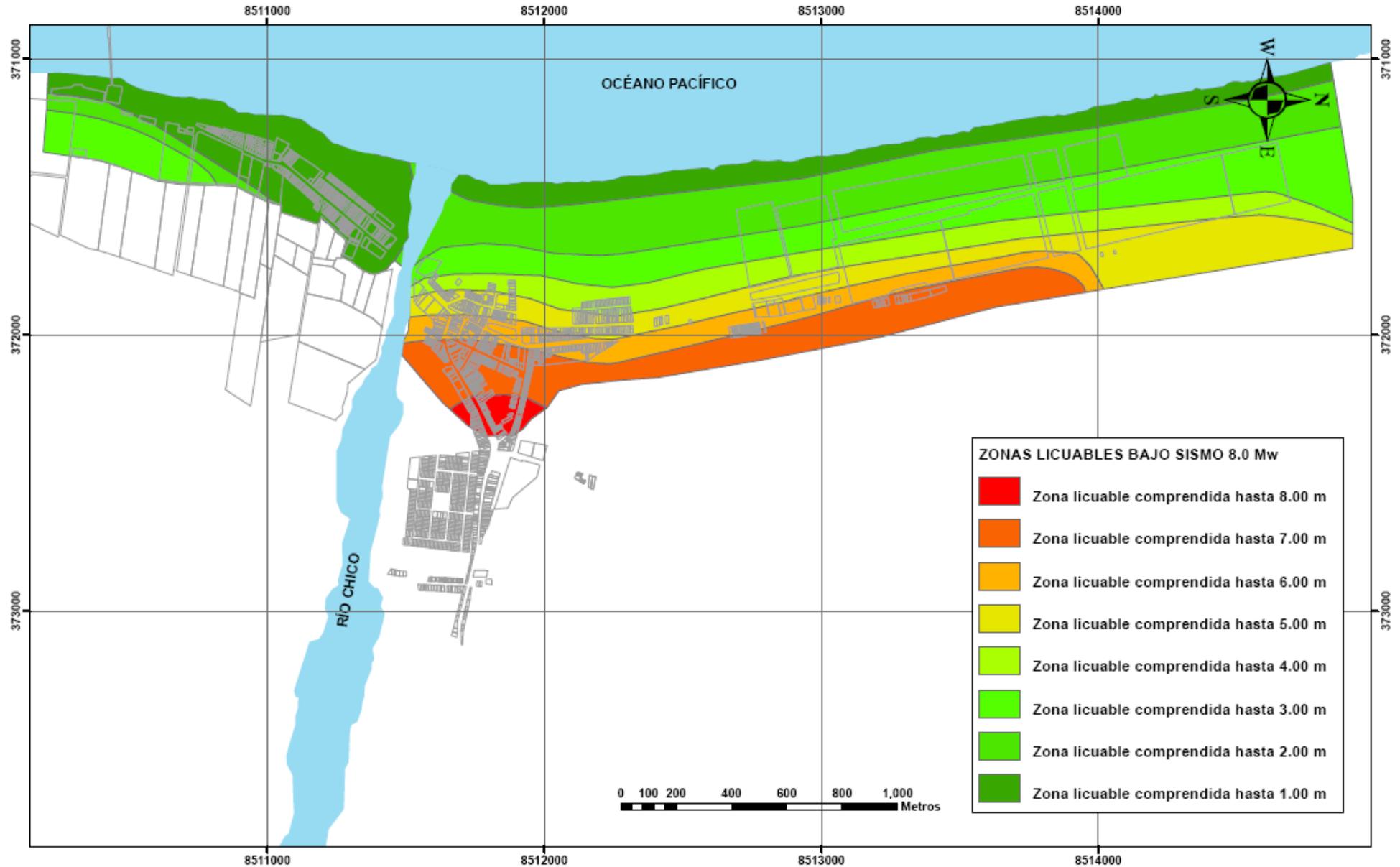
150 km

Image © 2007 TerraMetrics

© 2007 Europa Technologies

© 2007 Google™

# MAPA DE POTENCIAL DE LICUACIÓN DE SUELOS DE LA CIUDAD DE TAMBO DE MORA



## SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO DEL 26 DE MAYO DE 2019

**Mw = 8.0 (IGP), Mw = 8.0 (USGS)**

El día 26 de Mayo de 2019, a las 02 horas, 41 minutos y 12 segundos (hora local), un fuerte terremoto golpeó la zona oriente del Perú de magnitud 8.0 Mw que produjo la destrucción de viviendas principalmente en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín y Cajamarca. Intensidad VI-VII en Lagunas.

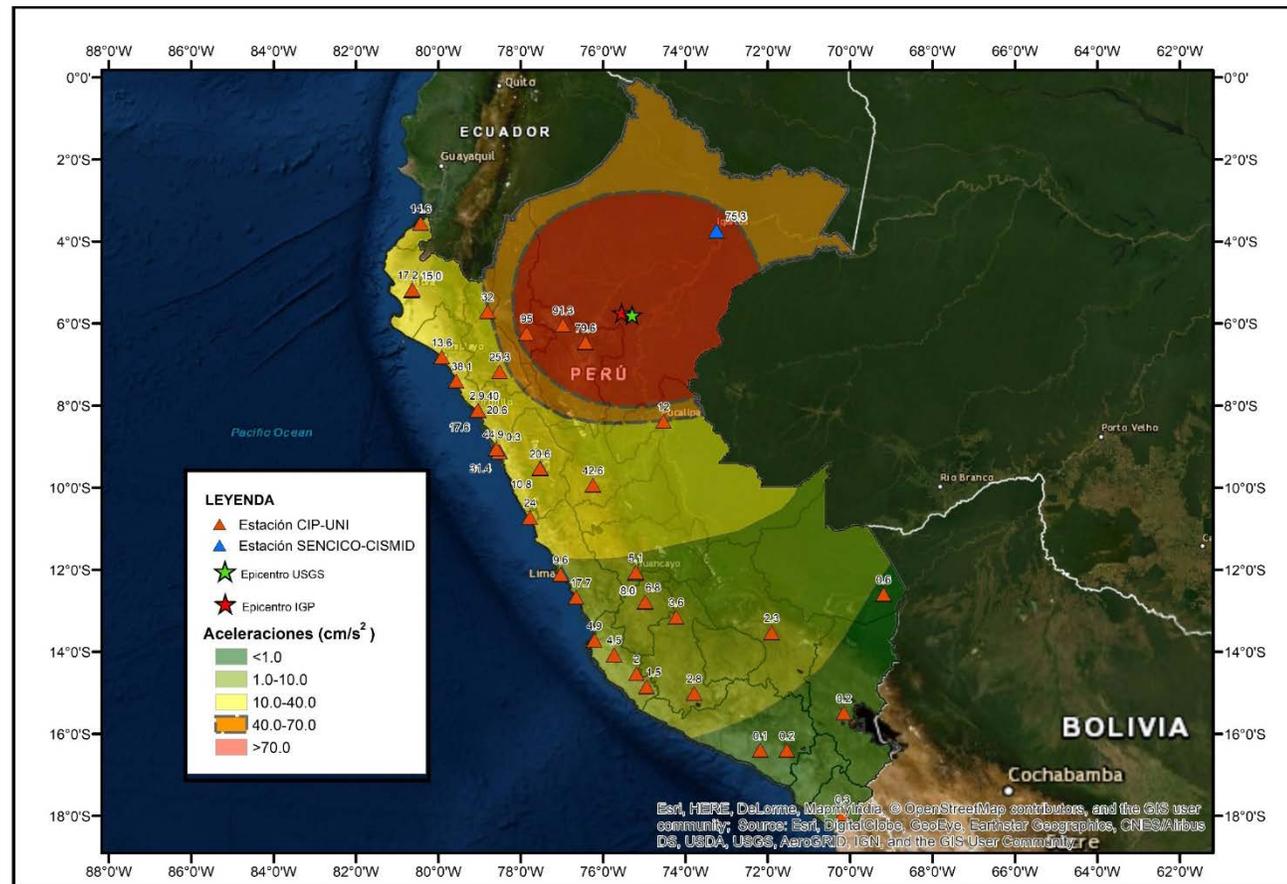
La máximas aceleraciones registradas en Moyobamba y Tarapoto fueron de 91 cm/s<sup>2</sup> y 80 cm/s<sup>2</sup> respectivamente.

Se presentó problemas debido al fenómeno de licuación de suelos, con evidencias de conos de arena encontrados y desplazamientos laterales con grietas en el Malecón del río Huallaga, en el “El Sauce” Resort (San Martín), en el Centro Poblado Tamarate, cerca al distrito de Lagunas y en el Caserío 2 de Mayo en San Martín.



# SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO DEL 26 DE MAYO DE 2019

Mw = 8.0 (IGP), Mw = 8.0 (USGS)



RED ACELEROGRÁFICA CIP - POSGRADO UNI



PLANO:  
MAPA DE ACELERACIONES DEL SISMO DE LAGUNAS, ALTO AMAZONAS LORETO  
DEL 26 DE MAYO DE 2019 (HORA UTC 07:41:12)  
Mw=7.5 (IGP), Mw=8.0 (USGS)

**SISMO DE LAGUNAS – ALTO  
AMAZONAS – LORETO DEL  
26 DE MAYO DE 2019**

**Centro poblado Seis de  
Enero (Distrito de Santa  
Cruz, Provincia de Alto  
Amazonas, Loreto)**



**SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO DEL  
26 DE MAYO DE 2019**

**Centro poblado Seis de Enero (Distrito de Santa Cruz,  
Alto Amazonas, Loreto)**



**SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO**

**26 DE MAYO DE 2019**

**Malecón del río Huallaga (Distrito de Lagunas, Provincia de Alto Amazonas, Loreto)**



# SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO

26 DE MAYO DE 2019

“El Sauce” Resort (San Martín)



# SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO

26 DE MAYO DE 2019

Centro Poblado Tamarate, cerca al Distrito de Lagunas (Rengifo, 2019).



**SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO**

**26 DE MAYO DE 2019**

**Centro Poblado Tamarate, cerca al Distrito de Lagunas (Rengifo, 2019).**



**SISMO DE LAGUNAS – ALTO AMAZONAS – LORETO**

**26 DE MAYO DE 2019**

**Lateral spreading a lo largo del Rio Huallaga en Yurimaguas (Jourdan, 2019).**



## RESUMEN DE ACELERACIONES EN ZONAS CON PRESENCIA DE LIUACIÓN

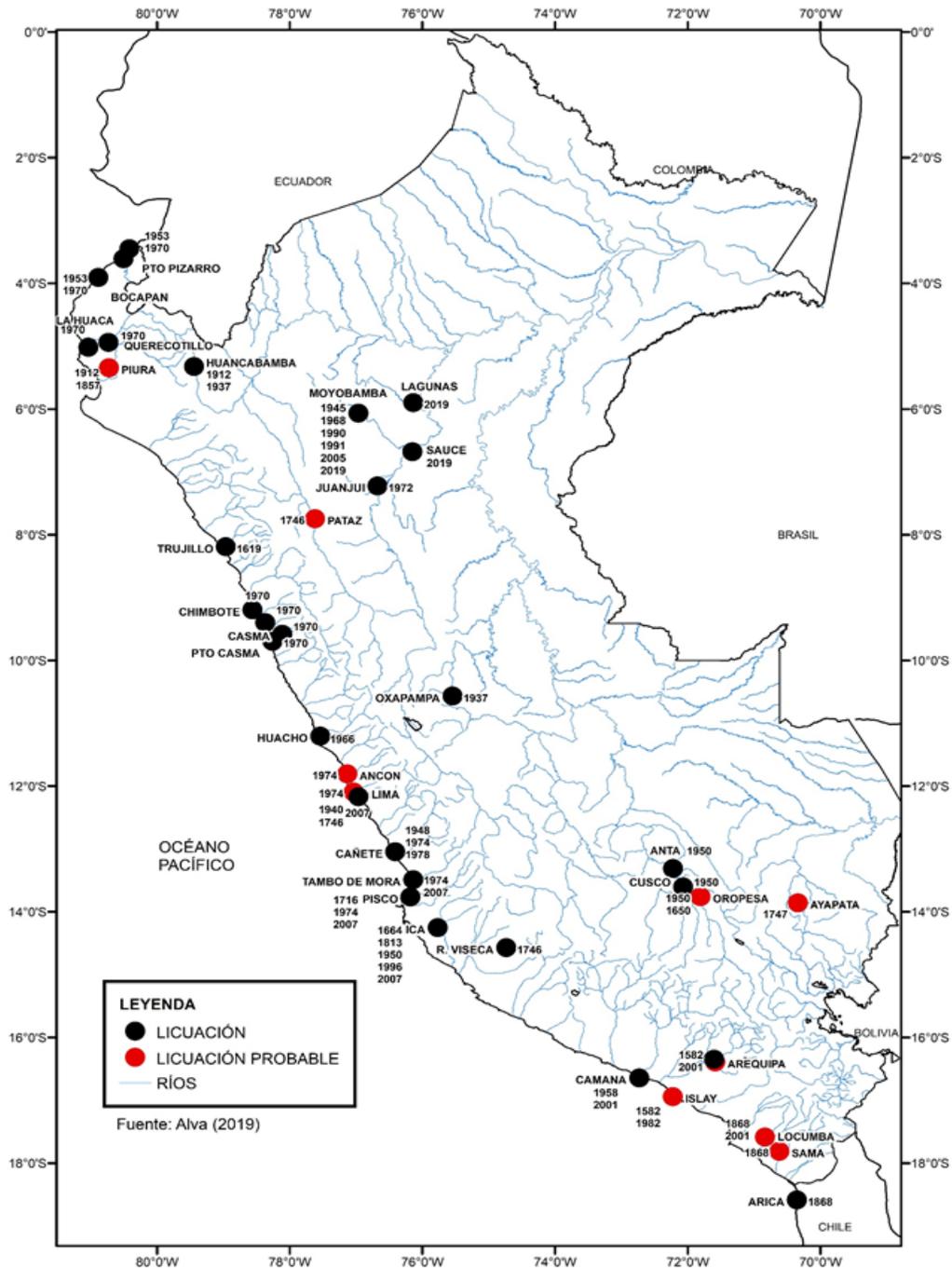
FECHA DEL SISMO	ACELERACIÓN	UBICACIÓN	DATOS HIPOCENTRALES	DISTANCIA (KM)			INFORME DE LICUACIÓN
				Zona de Licuación / Epicentro	Zona de Licuación / Estación	Estación / Epicentro	
5/31/1970	Estación PARQUE DE LA RESERVA  105 cm/s <sup>2</sup>	Chimbote	Epicentro: Chimbote Magnitud: Ms=7.8 Profundidad focal: 45 km Distancia epicentral: 50 km Intensidad MM: IX en Chimbote	37	369	368	Se presentaron agrietamiento del terreno y compactación diferencial en el centro de Chimbote Volcanes de arena y eyección de agua debido a licuación y posibles asentamientos diferenciales en El Callao debido a licuación de suelos.
10/3/1974	Estación PARQUE DE LA RESERVA  190 cm/s <sup>2</sup>	Lima	El epicentro se ubico a 90 km de la ciudad de Lima. Magnitud: Ms=7.5 Intensidad MM: VIII en Lima	220	208	73	Licuación local en el valle de Cañete, donde el nivel freático es muy superficial. Licuación importante en la Cooperativa La Quebrada, en un área de 30,000 m2. Licuación generalizada en Tambo de Mora, asociada a una subsidencia o hundimiento. Eyecciones de agua en la zona norte con arena a través de volcanes de arena.
6/23/2001	Estación CESAR VIZCARRA - CISMID  289 cm/s <sup>2</sup>	Ocoña	El epicentro se ubicó a 82 km de la ciudad de Ocoña. Magnitud: Mw=8.2 Profundidad focal: 33 km Intensidad MM: VII-VIII en Ocoña	128	202	329	Licuación de suelos en los valles de los ríos Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmore, Locumba y Sama. Huaranguillo, efecto de agrietamiento del terreno y la aparición de dos ebullideros. Urbanización las Magnolias, efectos de ebullición de agua con arena y agrietamiento del suelo.
9/25/2005	Estación CASA MOYOBAMBA CISMID  132 cm/s <sup>2</sup>	Moyobamba	El epicentro se ubico a 90 km al Nor Este de Moyobamba. Magnitud: Mw=7.5 Profundidad focal: 155 km Intensidad MM: VI en Moyobamba	90	1	89	Se observo la ocurrencia del fenómeno de Licuación de suelos en los sectores de Shango y Azungue. En la parte baja de la ciudad de Moyobamba se observo volcanes de arena y agrietamientos del suelo por deslizamientos.
8/15/2007	Estación PARCONA - IGP  483 cm/s <sup>2</sup>	Pisco	El epicentro se ubico a 40 km al Nor Oeste de la ciudad de Pisco. Magnitud: Ms=8.0 Profundidad focal: 26 km Intensidad MM: VIII en Pisco	39	81	119	Daños en carreteras, puentes, caída de postes de energía, ruptura de líneas de agua y alcantarillas, avería de las instalaciones del puerto, etc. Falla de talud en Jahuay por la licuación en el pie de un talud de pendiente fuerte. Desplazamiento lateral en Canchamaná por desplazamiento lateral hacia el mar de una terraza marina. Fallas de fundaciones superficiales en Tambo de Mora por licuación de suelo. Puerto General San Martín, la licuación del relleno produjo conos de arena y desplazamiento lateral con grietas significativas.
5/26/2019	Estación CIP MOYOBAMBA  91 cm/s <sup>2</sup>	Lagunas - Loreto	El epicentro se ubica a 70 km al Sur Este de Lagunas, Alto Amazonas Loreto. Magnitud: Mw=8.0 Profundidad focal: 110 km Intensidad MM: VI-VII en Lagunas	71	170	189	Se presentó problemas debido al fenómeno de licuación de suelos, con evidencias de conos de arena encontrados y desplazamientos laterales con grietas en el Malecón del río Huallaga, en el "El Sauce" Resort (San Martín), en el Centro Poblado Tamarate, cerca al distrito de Lagunas y en el Caserío 2 de Mayo en San Martín.

## CONCLUSIONES

- La revisión de la literatura indica que el fenómeno de licuación de suelos se ha producido en la Costa, Sierra y Selva Alta del Perú.
- Existe una mayor incidencia de dicho fenómeno en la Costa que es donde la concentración de la población ha sido mayor y la sismicidad es más alta.
- Durante los últimos años se incrementado la sismicidad en la zona nor oriente, observándose la ocurrencia del fenómeno de licuación.
- Se considera que el mapa de áreas de licuación de suelos presentado puede estar incompleto y no ser totalmente representativo de dicho fenómeno en el Perú.
- Se espera que en el futuro se realicen estudios adicionales que aporten nuevas evidencias sobre la ocurrencia de este fenómeno, que servirán para modificar o completar el mapa propuesto.

## **AGRADECIMIENTO**

Se agradece el apoyo brindado inicialmente por el Centro Regional de Sismología para América del Sur y luego por la Universidad Nacional de Ingeniería para la ejecución de este trabajo.



## MAPA DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ

El mapa de áreas de licuación de suelos está dibujado a la escala 1:5'000,000 y presenta distinciones entre casos de licuación seguros y probables.