

ARCILLAS Y LUTITAS EXPANSIVAS EN EL NORTE Y NORORIENTE PERUANO

Juan J. Rojas Foinquinos ⁽¹⁾
Jorge E. Alva Hurtado ⁽²⁾

RESUMEN

En este artículo se presenta un resumen de las características y propiedades de las arcillas y lutitas expansivas que se encuentran en el norte y nororiente peruano. Los datos presentados han sido recopilados o provienen de ensayos efectuados por los autores.

Se presenta la geología del área en estudio, y la relación existente entre la geología y la ocurrencia de áreas con problemas de expansión de suelos. Las áreas que tienen documentación sobre problemas de expansión son: Canal de Quiroz, Proyecto Chira-Piura y ciudades de Tumbes, Talara, San Lorenzo, Paita, Bayóvar y Chiclayo.

Finalmente se presenta un mapa zonificación de suelos expansivos en el norte y nororiente peruano en base a los casos reportados, geología y ensayos de laboratorio.

INTRODUCCION

En los tiempos recientes el problema de suelos expansivos en el mundo ha alcanzado notoriedad, debido a su extensión y al impacto económico de sus daños. Dicho problema empezó a ser reconocido a fines de los años 30, debido a la utilización de construcciones de albañilería y el agrietamiento producido en dichas construcciones por el efecto del suelo expansivo. También se notó el problema en las construcciones hidráulicas. El incremento de las construcciones en zonas áridas después de la segunda Guerra Mundial ha incrementado considerablemente los daños en estructuras construidas sobre arcillas expansivas.

En el Perú el primer reconocimiento de problemas de suelos expansivos ocurrió durante la construcción del Canal de Quiroz en Piura. Posteriormente se consideró en el diseño del Canal del Proyecto Chira-Piura la existencia de arcillas expansivas. En lo referente a edificaciones, existe documentación sobre la ocurrencia de daños en San Lorenzo, Paita, Talara y Chiclayo y la existencia de arcillas expansivas en Tumbes y Bayóvar.

(1) Profesor Auxiliar, Laboratorio Geotécnico, CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.

(2) Profesor Principal, Sub Director de Investigación, CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.

Algunos ensayos de laboratorio han indicado la posible presencia de arcillas expansivas en Yurimaguas, Chamaya, Corral Quemado y otros lugares del nororiente peruano. Desafortunadamente todavía no existe suficiente información en estas áreas como para poder establecer conclusiones en dichas zonas.

En el presente artículo se recopila la información disponible sobre las características y propiedades de las arcillas y lutitas expansivas, así como los resultados de ensayos de los autores. En base a lo anterior se propone un mapa de zonificación de suelos expansivos en función del conocimiento acumulado sobre el problema en el norte y nororiente peruano.

GEOLOGIA DEL AREA EN ESTUDIO

Se presenta un breve resumen de la geología existente en el norte y nororiente peruano. La geología que se presenta en el Mapa Geológico se extiende desde la latitud 0° hasta la latitud 8° Sur, y desde el Litoral Pacífico hasta la Llanura Amazónica.

En la costa, las rocas más antiguas son del Paleozoico y están constituidas por esquistos, cuarcitas y pizarras, luego siguen calizas, areniscas cuarcíticas y lutitas. Las formaciones que más afloran en la costa norte son del Terciario y son sedimentarias de origen marino, estando constituidas por areniscas, lutitas y conglomerados. En la costa también existe material del cuaternario: pleistocénico que constituye el tablazo (areniscas calcáreas, conglomerados y lutitas) y reciente constituido por depósitos, aluviales, fluviales y eólicos. Las rocas ígneas no están muy generalizadas en la costa norte.

En la sierra existen rocas del Precámbrico que consisten en esquistos, gneises, filitas, migmatitas, ortogneises, paragneises, anfibolitas y granitos alcalinos. También existen rocas del Paleozoico y Triásico, constituidas por areniscas arcillosas, lutitas, calizas, lavas, piroclastos, margas, derrames andesíticos, cuarcitas y conglomerados. Las formaciones que tienen más presencia en esta zona son del Jurásico, Cretáceo y Terciario, que consisten de rocas lutitas, margas, calizas, areniscas, cuarcitas, conglomerados, dolomitas, piroclastos andesíticos, dacíticos, riolíticos y riolíticos. Existen además formaciones del Terciario Superior y del Cuaternario, pero su extensión no es muy significativa. Las rocas ígneas afloran muy poco en la sierra norte.

En la selva mayormente existen formaciones del Terciario y Cuaternario, que consisten en conglomerados, areniscas, arcillitas, limolitas y lutitas intercaladas con calizas y lodolitas. También existen formaciones del Jurásico y Cretáceo, que consisten en lutitas, areniscas, conglomerados, calizas, lodolitas, margas y cuarcitas. También existen rocas más antiguas, pero su presencia no es muy significativa.

Después de revisar la geología del norte y nororiente del Perú y las referencias sobre el fenómeno de expansión de suelos en las obras de ingeniería, tanto del Perú como del Ecuador, se concluye que existe una correspondencia entre la geología y el fenómeno de expansión de suelos.

ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el propósito de preparar el Mapa de Zonificación de Suelos Expansivos del Norte y Nororiente Peruano, se llevó a cabo una revisión de la literatura sobre las características y propiedades de los suelos en el área en estudio. Además, se ejecutaron ensayos de clasificación, de expansión libre, de carga controlada y de consolidación, que se documentan en Rojas (1987).

En la Tabla N° 1 se presentan los valores representativos de propiedades índices y resultados de ensayos de expansión para suelos del norte y nororiente peruano. Se aprecia que localidades de la costa, tales como: Bayóvar, Talara, Punta Arenas, Verdum, Quiroz y Chiclayo presentan valores altos de límite líquido. Solamente se cuenta con valores de límite de contracción para Talara, Verdum y Chiclayo. Además, los contenidos de humedad natural no son elevados.

En referencia a los ensayos de expansión, se aprecia que para los suelos expansivos de la costa no ha sido posible disponer de muchos ensayos; sin embargo, los resultados de Punta Arenas y Verdum indican una carga de expansión elevada, superior a los 5 kg/cm² para las condiciones de humedad ensayadas. El porcentaje de expansión libre es de 92% para Talara, 60% para Punta Arenas y 30% para Chiclayo. Se presentan también valores de Actividad, que son superiores a 7 para suelos de Chiclayo, Punta Arenas y Talara. No existe información sobre la Actividad para otros suelos en el área en estudio.

El suelo de Huancabamba presenta elevado límite líquido y un peso específico relativo bajo, sin embargo no se dispone de valores de ensayos de expansión.

Los suelos de la selva peruana presentan valores de límite líquido relativamente altos. Los límites de contracción disponibles de Yurimaguas y Napo-Putumayo indican potenciales de expansión. También se indica en la Tabla N° 1 que los valores del contenido de humedad natural son altos, por lo que los ensayos disponibles de carga de expansión controlada presentan valores inferiores a 1 kg/cm².

La Tabla N° 2 presenta resultados de ensayos de Difracción de Rayos-X del tipo cuantitativo y cualitativo realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería. Los análisis cuantitativos indican una proporción de 75% de montmorillonita en Punta Arenas y 25% en Yurimaguas. Los análisis cualitativos indican que en Napo-Putumayo y Trompeteros, el principal componente es montmorillonita, mientras que en Chiclayo el contenido de montmorillonita es menor, pero también existe clorita.

Con el propósito de completar la información sobre propiedades, se presentan en las Tablas N° 3 y 4 los resultados de Análisis Químicos y de Solubilidad.

La Figura N° 1 presenta la Carta de Plasticidad, en donde se ubican los límites de Atterberg de los suelos ensayados. Los suelos que presentan un elevado grado de expansión se ubican por

encima de la línea A, con valores de límite líquido e índice plástico altos, por lo que se clasifican como CH. Los suelos de la selva y Chiclayo se agrupan cerca al límite líquido de 50. Los suelos de Bayóvar, Talara y Quiroz, con valores elevados de límite líquido e índice plástico, se ubican en el extremo superior derecho de la carta. El suelo de la ciudad de Piura no muestra características de expansión.

Como parte de este estudio también se realizaron ensayos de consolidación unidimensional en muestras de suelos del norte y nororiente peruano. Los resultados de los Índices de Compresión y Expansión de dichos suelos se presentan en la Tabla N° 5. Además, en la Tabla N° 6 se presentan los valores del Coeficiente de Consolidación, para distintos rangos de carga aplicada. Se aprecia que los suelos más expansivos poseen un valor más elevado del Índice de Expansión.

MAPA DE ZONIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS

En base a la geología y la documentación existente sobre problemas de suelo expansivo y ensayos de laboratorio en el norte y nororiente peruano, se ha preparado un mapa de zonificación de suelos expansivos para dicha area.

En la costa norte se ha establecido una zona en donde las características geológicas y climáticas son favorables para la ocurrencia del fenómeno de expansión de suelos y se han reportado casos de expansión. Esta zona corresponde a la zona costera de los departamentos de Tumbes y Piura y una parte de la ciudad de Chiclayo. En suelos de Tumbes y Piura, procedentes de rocas sedimentarias de origen marino del Terciario se ha determinado la existencia preponderante del mineral montmorillonita. En Chiclayo dicho mineral no es preponderante, pero existe. Las arcillas existentes en Chiclayo son de origen aluvial.

En la sierra norte y en el area de Jaén y Chamaya se ha determinado una zona de características geológicas y climáticas que hacen posible la existencia de suelos expansivos en lugares específicos. La delimitación de esta zona se basa fundamentalmente en el trabajo del Ing. Cesar Landázuri de la Universidad Católica del Ecuador que ha encontrado suelos expansivos en la formación volcánica-sedimentaria del Terciario Inferior y Cretáceo Superior que existe en ambos países. Además se ha reportado suelos con características de expansión en depósitos del Terciario y Cuaternario en Jaén y Chamaya.

En la Selva se ha definido una zona con geología favorable para la existencia de suelos expansivos, pero las condiciones climáticas hacen que los tengan un elevado contenido de humedad todo el tiempo y no se produzcan expansiones del terreno. Los ensayo de laboratorio indican un bajo grado de expansión, sin embargo los suelos contiene porcentajes importantes de montmorillonita. Es importante mencionar que la geología de esta zona consiste en rocas continentales del Terciario y depósitos del Cuaternario. Además existe todavía relativamente poca información disponible en esta zona.

Las zonas en blanco en el Mapa, indican problemas no reportados de suelos expansivos o que

las condiciones de geología y Clima son desfavorables a su ocurrencia. El Mapa propuesto tiene carácter de preliminar, requiriéndose aportes en información para su mejora o modificación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Se han presentado, de manera resumida, las características y propiedades de arcillas y lutitas expansivas del norte y nororiente peruano. Se presentan las referencias de donde provienen dichos valores.
- 2) Se ha determinado que son muchos los factores que intervienen para que un suelo sea expansivo, principalmente su geología de procedencia y el clima imperante en la zona.
- 3) En la costa norte se presentan los mayores problemas de suelos expansivos. Los suelos provienen de rocas sedimentarias marinas del Terciario con alto contenido de montmorillonita, y existen grandes precipitaciones en determinadas épocas causadas por el Fenómeno del Niño. Sin embargo en los suelos de Chiclayo, además de la montmorillonita, existen calcita, muscovita y clorita, pudiendo ser el mecanismo de expansión distinto a los suelos del departamento de Piura.
- 4) En la sierra norte del Perú es posible que ocurra el fenómeno de expansión de suelos en las formaciones volcánico-sedimentarias existentes. Lo anterior se basa fundamentalmente en documentación del problema en el Ecuador, ya que en el lado peruano no existe mayor información.
- 5) Se ha determinado que los suelos de la selva norte poseen cantidades importantes de montmorillonita que los hacen potencialmente expansivos; sin embargo su contenido de humedad es elevado, por lo que su potencial de expansión disminuye. Como la información es limitada en los suelos de la selva norte, se recomienda realizar una investigación más detallada en esta área.
- 6) En el artículo se presentan también resultados de ensayos de consolidación unidimensional de suelos en el área en estudio. Se encontró que la relación de Terzaghi y Peck de índice de compresibilidad versus límite líquido no es muy relevante.
- 7) En base a la geología y la información de campo y de laboratorio se preparó un Mapa de Zonificación de Suelos Expansivos en la Región norte y nororiente peruano. Se concluye que dicho mapa tiene un carácter de preliminar, requiriéndose mayor información en la sierra y selva norte.
- 8) Se tiene conocimiento de la existencia de suelos expansivos en el Sur del Perú, por lo que se recomienda el estudio del fenómeno en dicha región, para completar el mapa de zonificación de suelos expansivos en el Perú.

RECONOCIMIENTO

El artículo presentado se basa en la Tesis de Grado del Ing. Juan J. Rojas Foinquinos, desarrollada en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería bajo el asesoramiento del Dr. Jorge Alva Hurtado.

Se agradece la desinteresada colaboración de las personas e instituciones indicadas en las referencias que proporcionaron sus datos relevantes al problema de expansión de suelos en el Perú.

REFERENCIAS

- 1) Alva Hurtado, Jorge, Setiembre 1985 " Estudio Geotécnico Complementario Sector Aguajal. Carretera Napo-Putumayo" Solicitado por Cesel-Vera y Moreno.
- 2) Atala, César, 1986. Comunicación Personal.
- 3) Carrillo Gil, Arnaldo, Junio 1969." Comportamiento de las Arcillas Expansivas de la Región Norte del Perú" Tesis como requisito para obtener el grado de Magister en Ingeniería UNAM-México.
- 4) Carrillo Gil, Arnaldo, 1980. "Arcillas Expansivas. El problema de las Cimentaciones Livianas".FIC-UNI, Lima.
- 5) CPS de Ingeniería S.A. Agosto 1980. "Informe final del Estudio de Suelos en Punta Arenas- Talara". Informe a Petroperú.
- 6) De La Rosa, Félix, 1987. "Características Geotécnicas de Cimentación de la Ciudad de Chiclayo". V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima.
- 7) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico 1979. "Recomendaciones Geotécnicas para la cimentación del grupo GM 2.5 MW en Verdum-Talara". Trabajo realizado para Electroperú.
- 8) Martínez Vargas A. y Perez Verástegui G. (1980) "Geotecnia de las Arcillas Expansivas en el Proyecto Chira-Piura", III Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Cuzco.
- 9) Montero Pinillos M.(1961)."The Swelling Soils of the Quiroz Canal System", Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris pp. 781-787.

- 10) Ojeda Díaz, Carlos y Arévalo Pardo, César, 1987. "Características Geotécnicas de la Región de Piura". V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones.
- 11) Pontificia Universidad Católica del Perú, 1985. "Aeropuerto de Corrientes". Solicitado por Petroperú. Laboratorio de Mecánica de Suelos.
- 12) Rojas Foinquinos J.J. (1987), "Análisis de las Características y Propiedades de las Arcillas y Lutitas Expansivas del Norte y Nororiente Peruano" Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- 13) Universidad Nacional Agraria La Molina (1977). Riesgo Sísmico-Bayóvar. Solicitado por el Instituto Geofísico del Perú. Laboratorio de Mecánica de Suelos

TABLA N° 1

PROPIEDADES FISICAS DE SUELOS TIPICOS EN LA ZONA EN ESTUDIO

Procedencia	Clas. SUCS	Límites de Consistencia				Peso Específico G _s	% que pasa malla 200	Activ .	Humedad natural %	% de Expo. Libre	Carga de Exp. Controlada (Kg/cm ²)	Referencia
		LL.	LP	IP	LC							
Bayóvar	CH	120	28	92	-	2.77	-	-	24.5	-	-	UNA. (1977)
Talara	CH	115.0	35.0	80	21	2.60	-	8.1	14.0	92.0	-	Carrillo 1980
Punta Arenas	CH	95	37	58	-	2.72	85	7.6	7.5	60	6.0	CPS (1980), Rojas (1987)
Verdum	CL	60	34	26	19.5	2.78	97	-	17	-	5.5	INGEMMET, (1979)
San Lorenzo	CL	49	18	31	-	-	-	-	-	8.4	-	Carrillo, 1969
Quiroz	MH	94	42	52	-	-	-	-	14	28	-	Montero, 1961
Piura	ML	47	29	18	-	-	-	-	19	-	-	Ojeda, 1987
Mochumi	CL	27	17	10	-	2.62	53	-	15	-	-	Rojas, 1987
Ferreñafe	CL	26	18	8	-	2.65	44	-	16	-	-	Rojas, 1987
Chiclayo	CH	59	25	34	10.5	2.74	92	7.5	22	30	-	De la Rosa, 1987
Huancabamba	MH	75	49	26	-	2.15	-	-	-	-	-	Martínez, 1980
Yurimaguas	MH	53	19	34	15	2.56	76	1.95	36.5	-	0.9	Rojas, 1987
Corrientes	CL	42	13	29	-	2.72	88	-	37	-	0.7	PUCP, 1985
Cabalcocha	MH	60	38	22	-	2.51	66	-	36	-	-	Ing. Atala-UNI, 1986
Napo-Putumayo	CH	59	29	30	18	2.70	90	-	38	-	-	J. Alva (1985), Rojas (1987)

TABLA N° 2

RESULTADOS DE ENSAYOS DE DIFRACCION RAYOS-X

1) Punta Arenas, Talara	
Montmorillonita	75%
Cuarzo	10%
Ortosa	5%
Moscovita	5%
Caolinita	3%
Calicita	2%
2) Aeropuerto Yurimaguas	
Cuarzo Alfa	60%
Mantmorillonita	25%
Caolinita	12%
Illita	
3) Carretera Napo-Putumayo (Cualitativo)	
Montmorillonita	
Cuarzo Alfa	
Caolinita	
4) Aeropuerto de Trompeteros (Cualitativo)	
Montmorillonita	
Caolinita	
5) Urb. Guardia Civil, Chiclayo (Cualitativo)	
Cuarzo	
Calcita	
Moscovita	
Plagioclasa	
Montomorillonita	
Clorita	

TABLA N° 3

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

1) Punta Arenas, Talara

Sílice	(Si O ₂)	59.14%
Oxido de Aluminio	(Al ₂ O ₃)	19.35%
Oxido Férrico	(Fe ₂ O ₃)	6.49%
Oxido de Calcio	(CaO)	2.68%
Oxido de Magnesio	(MgO)	0.13%
Oxido de Sodio	(Na ₂ O)	0.62%
Oxido de Potasio	(K ₂ O)	0.05%
Trióxido de Azufre	(SO ₃)	0.34%
Pérdida por Calcinación		10.86%

2) Urb. Guardia Civil, Chiclayo

Sílice	(Si O ₂)	55.04%
Oxido Férrico	(Fe ₂ O ₃)	17.01%
Oxido de Aluminio	(Al ₂ O ₃)	14.25%
Oxido de Calcio	(CaO)	1.10%
Oxido de Magnesio	(MgO)	1.50%
H ₂ O	100° C	5.5%

Nota: La diferencia al 100% corresponde a elementos que son impurezas que no son analizados

TABLA N° 4**RESULTADOS ENSAYOS DE SOLUBILIDAD**

	Chiclayo	Talara
PH ₉ Solubilidad a 25° C	8.25	8.35
Sólidos Solubles	0.65	0.90
Materia Orgánica	0.33	0.16
Sulfatos Totales	0.06	0.41
Carbonatos	0.08	0.20
Sodio	0.07	0.04
Calcio	0.09	0.08
Cloruros	trazos	trazos
Potasio	trazos	trazos
Magnesio	trazos	trazos

Carrillo (1980)

TABLA N° 5**VALORES DEL INDICE DE COMPRESION (C_c) Y DEL INDICE DE EXPANSION (C_s) DETERMINADOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO**

Procedencia	C_c	C_c[*]	C_s
Bayóvar	0.4504	0.6642	0.0841
Punta Arenas	0.5730	0.4050	0.1052
Mochumi	0.0930	0.2154	0.0192
Ferreñafe	0.0996	0.2073	0.0056
Chiclayo (Urb. Guardia Civil)	0.2103	0.4617	0.0319
Yurimaguas	0.0631	0.2754	0.0042
Corrientes	0.1328	0.3402	0.0208
Caballococha	0.2508	0.4860	0.011
Napo-Putumayo	0.2973	0.4455	0.0381

C_c^{*} Estos valores han sido calculados por la fórmula $C_c = 0.009 (LL - 10\%)$ sugerida por Terzaghi y Peck en 1948.

TABLA N° 6

VALORES DEL C_v (cm²/seg) DETERMINADOS EN ESTE ESTUDIO

Muestra	0.25 (kgs/cm²)	0.50 (kgs/cm²)	1.00 (kgs/cm²)	2.00 (kgs/cm²)	4.00 (kgs/cm²)	8.00 (kgs/cm²)
Mochumí	0.0225	0.0010	0.0079	0.0070	0.0051	---
Ferreñafe	0.0020	0.0106	0.0017	0.0051	0.0083	---
Chiclayo	0.0050	0.0026	0.0079	0.0079	0.0068	0.0020
Yurimaguas	0.0092	0.0079	0.0049	0.0126	0.0207	0.0105
Corrientes	0.0010	0.0015	0.0064	0.0011	0.0007	0.0007
Napo-Putumayo	0.0115	0.0297	0.0250	0.0180	0.0130	0.0052

CARTA DE PLASTICIDAD

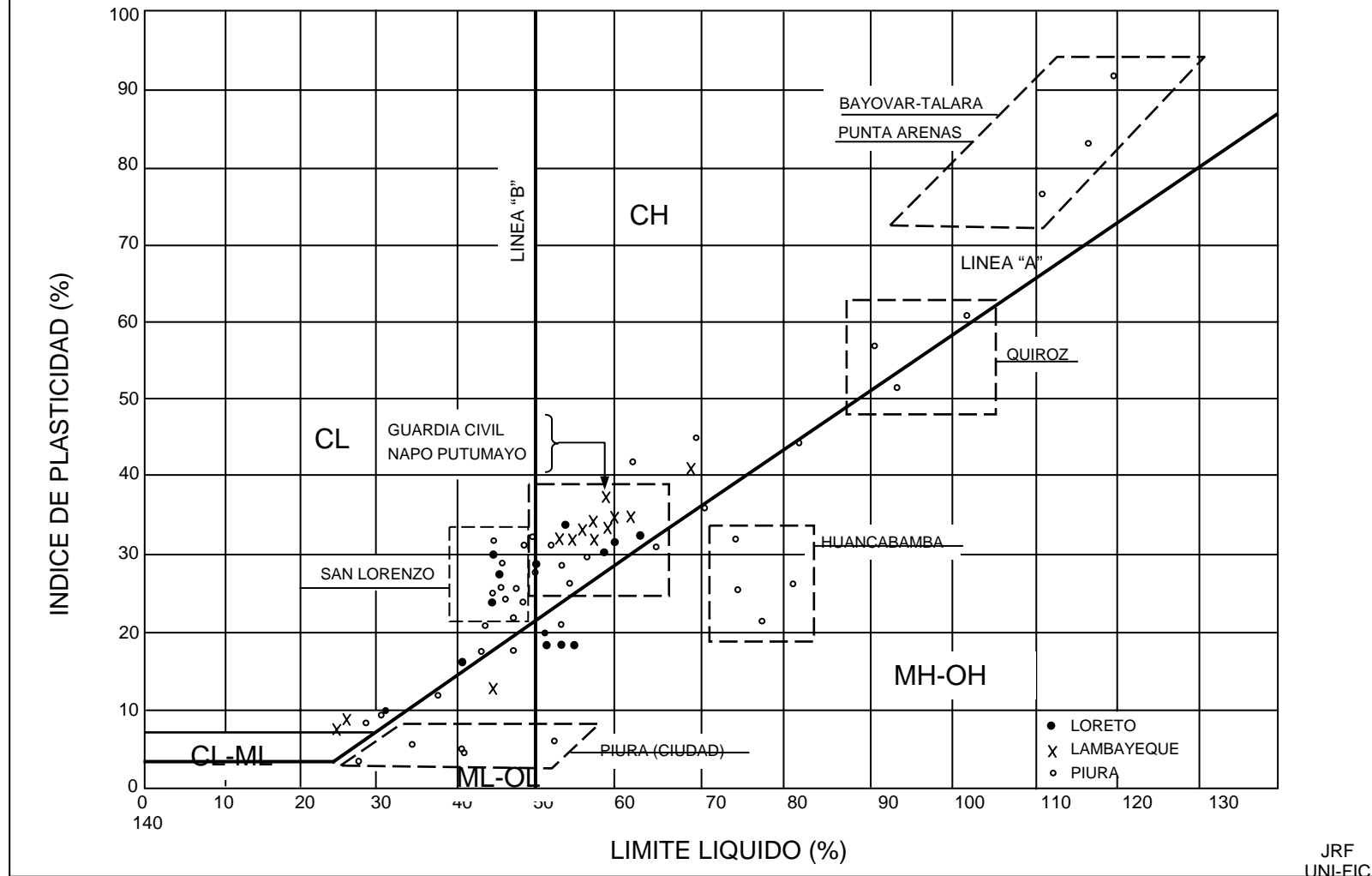
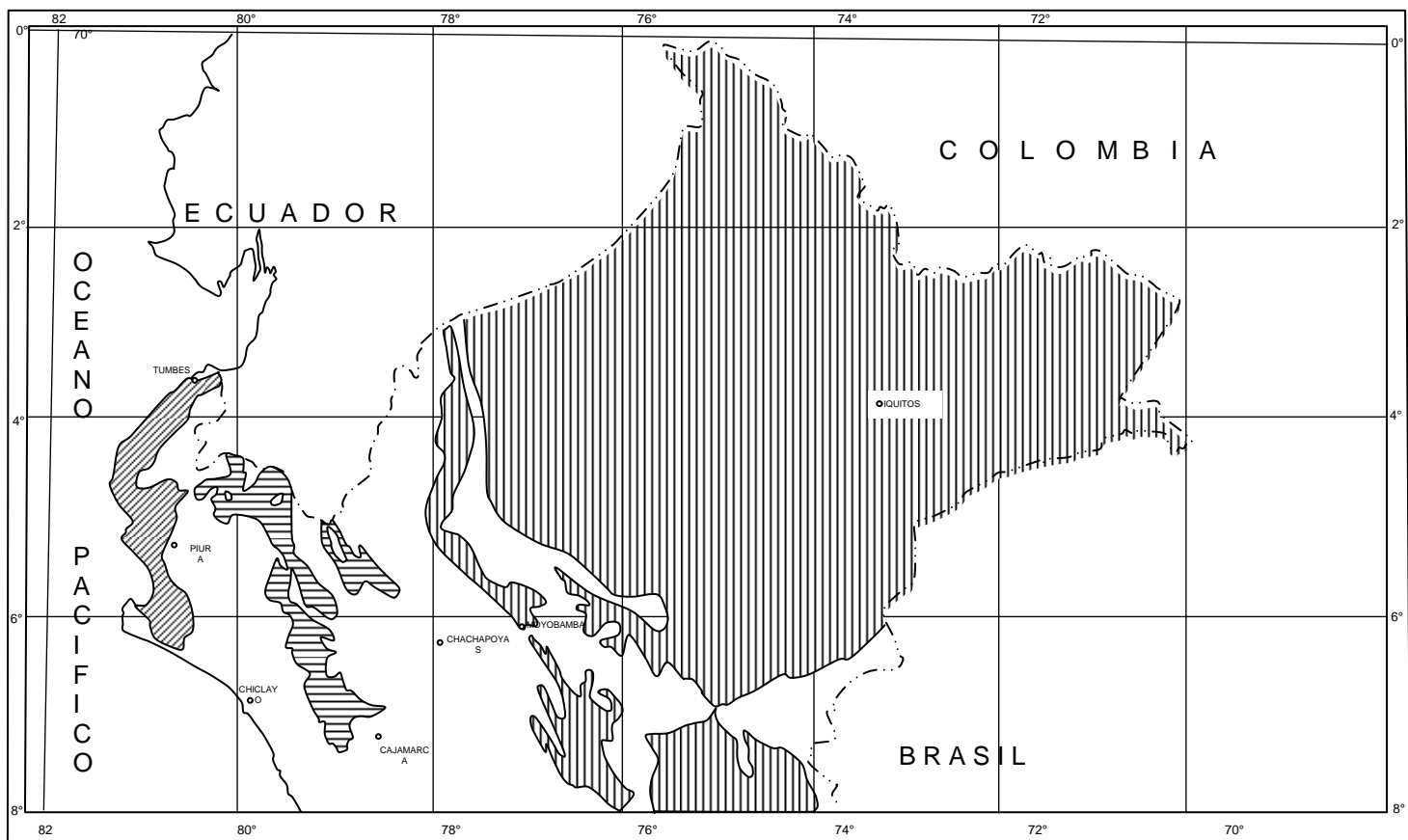




FIGURA Nº 1 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL


JRF
UNI-FIC



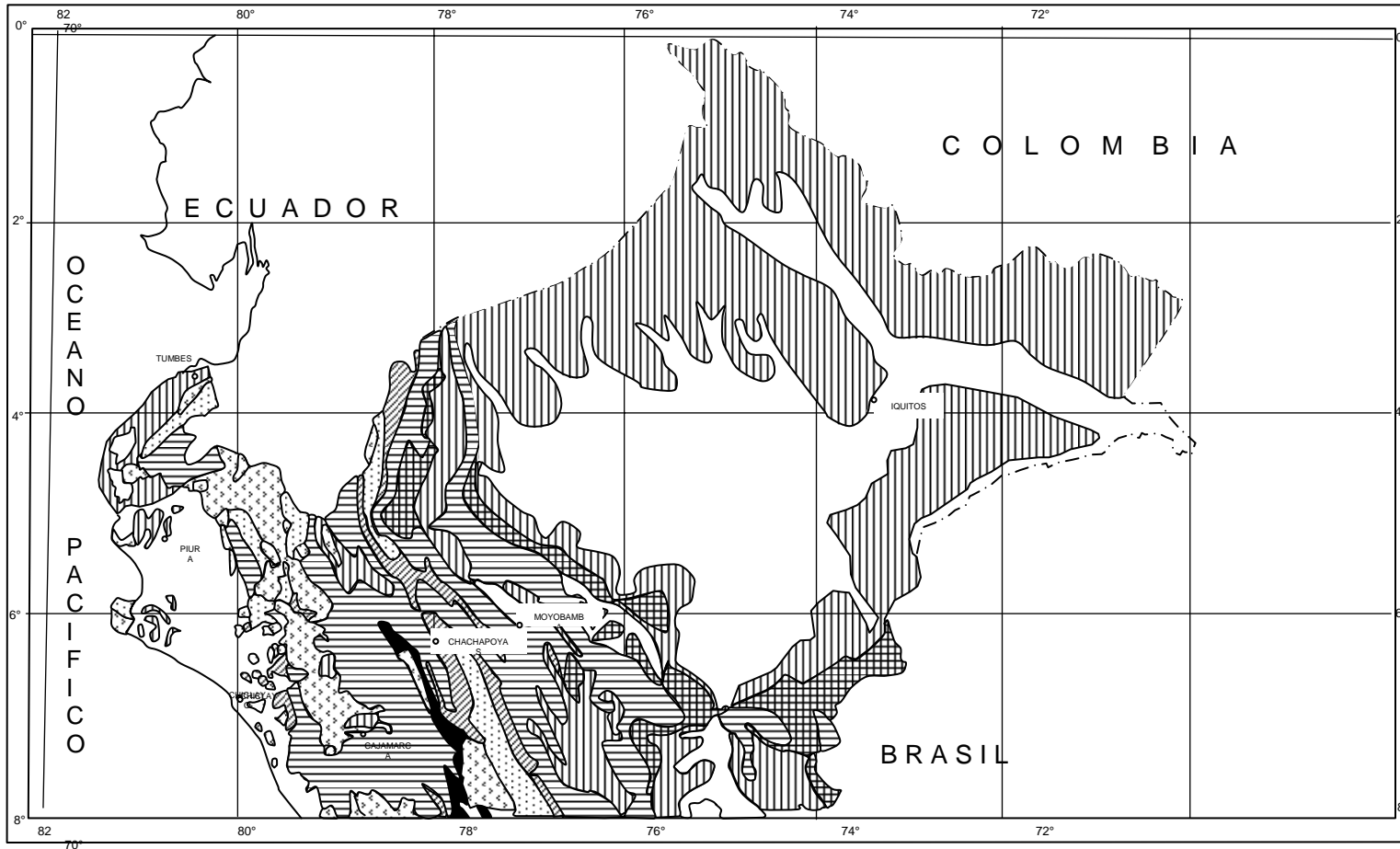
LEYENDA

- 
 ZONA DE CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y CLIMATICAS BFAVORABLES A LA PRESENCIA DE SUELOS EXPANSIVOS. SE HA COMPROBADO SU EXISTENCIA EN ESTA ZONA

- 
 ZONA DE CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y CLIMATICAS QUE HACEN POSIBLE LA OCURRENCIA DE SUELOS EXPANSIVOS EN DETERMINADOS LUGARES. SE HA COMPROBADO SU EXISTENCIA EN EL ECUADOR

- 
 ZONA CON GEOLOGIA FAVORABLE Y CLIMA DESFAVORABLE PARA LA OCURRENCIA DE SUELOS EXPANSIVOS SE NECESITA MAYOR INFORMACION

MAPA DE ZONIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS DE LA REGION NORTE Y NORORIENTE DEL PERU



LEYENDA



MAPA GEOLOGICO DE LA REGION NORTE Y NOR-ORIENTE DEL PERU