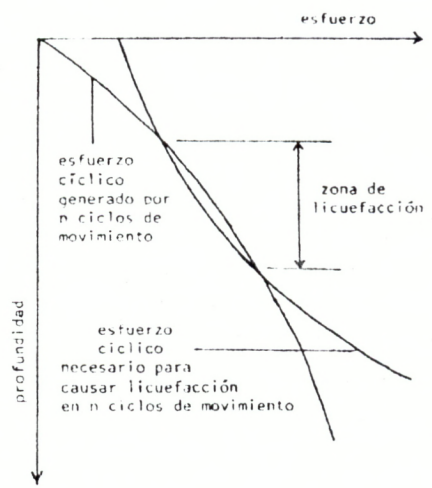
CAPÍTULO 5



ANÁLISIS DE FENÓMENOS DE LICUEFACCIÓN ASOCIADOS A LOS TERREMOTOS DEL 13 DE ENERO Y DEL 13 DE FEBRERO DE 2001

5.1 PARÁMETROS DE ORIGEN DE SISMOS

La precisión con que se puede determinar la ubicación de un sismo dado depende del número de estaciones que lo registran y de la distribución geográfica de estas [Kramer;1996, p.44].

Se examinaron los cálculos de la ubicación de los sismos del 13 de enero y del 13 de febrero de 2001 que proporcionaron el National Earthquake Information Center (NEIC) y el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG). El NEIC contó con 427 registros sismográficos para el cálculo de los parámetros de origen del sismo del 13 de enero de 2001 y con 273 registros para el sismo del 13 de febrero de 2001, obtenidos por estaciones telemétricas distribuidas alrededor del planeta. Por otro lado, el CIG contó solamente con los registros de 16 estaciones distribuidas a nivel nacional. Por esta razón se trabajó con la solución del NEIC. Además se consideró la fuente sismogénica propuesta por Cepeda [2001] en el caso del sismo del 13 de febrero de 2001.

5.1.1 Sismo del 13 de enero de 2001

Según el National Earthquake Information Center (NEIC), este terremoto tuvo origen a las 11:33:32.38 am (hora local de El Salvador); su epicentro fue ubicado frente a las costas salvadoreñas con coordenadas 13.049°N, 88.660°W; la profundidad del foco fue de 60 kilómetros; y se le asignó una magnitud de 7.7 M_w, 7.8 M_s. Este evento pertenece a la zona de subducción.

5.1.2 Sismo del 13 de febrero de 2001

Según el National Earthquake Information Center (NEIC), este evento sísmico tuvo origen a las 8:22:05.82 am (hora local salvadoreña); su epicentro fue ubicado en tierras salvadoreñas con coordenadas 13.671°N, 88.938°W; la profundidad focal fue de 13 kilómetros; y su magnitud fue de 6.6 M_w, 6.5 M_s. Este evento se originó en el sistema de fallas locales ubicada en la cadena volcánica de El Salvador.

Cepeda [2001], supuso un sistema de fallas en la zona epicentral de este evento como el posible origen de este, ya que las características del sistema de fallas antes mencionado coincide con el mecanismo de falla que originó este evento según el NEIC. Los extremos del sistema de fallas vienen dados por los puntos en <latitud norte, longitud oeste>: <13.66°, 89.00°> y <13.658°, 88.88°>.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS FUERTES

En la tabla 3.5 se presentó una recopilación de ecuaciones de atenuación elaboradas por diversos autores para Centroamérica y para otras regiones sísmicas del mundo. Dependiendo de las bases de datos utilizadas para generar estas ecuaciones, algunas son aplicables solo a eventos debidos a la zona de subducción, otras son aplicables solo a eventos en la corteza superior y el resto pueden ser aplicables a ambos tipos de evento (ver tabla 3.6). Como se mencionó en el numeral 2.2.4.1, se debe considerar las limitaciones de aplicabilidad de la ecuación de acuerdo a la base de datos empleada en su derivación; los rangos de magnitudes y parámetros de distancia a la fuente sismogénica empleados en la base de datos para la derivación de estas ecuaciones también se muestran en la tabla 3.5.

Las ecuaciones 11 y 12 de la tabla 3.5, fueron desarrolladas por Cepeda [2001] para el caso del terremoto del 13 de febrero de 2001, la ecuación 11 fue obtenida con las distancias epicentrales a la solución del NEIC, y la ecuación 12 fue desarrollada con distancias a la traza de falla supuesta; para ambos casos se utilizaron los datos registrados del terremoto del 13 de febrero, dejando la magnitud como una constante, por lo que el término C_2M del modelo de atenuación mostrado en la ecuación 2.6, es igual a cero.

La comparación entre las ecuaciones de la tabla 3.5 se hizo a partir de los registros obtenidos por la red de acelerógrafos de la UCA y la red del CIG. La codificación de las estaciones utilizadas en este trabajo se muestra en la tabla 5.1. En la tabla 5.2 se muestra la ubicación geográfica junto con las distancias epicentrales e hipocentrales de las estaciones para cada evento sísmico; además, para el caso del 13 de febrero se muestra la distancia más cercana de cada estación a la falla supuesta por Cepeda [2001].

Unidad de Salud de Armenia, Sonsonate	*UARM*
Hospital San Bartolo, San Salvador	*CSBR*
Unidad de Salud de La Libertad	*ULLB*
Unidad de Salud de San Pedro Nonualco, La Paz	*USPN*
Unidad de Salud de Panchimalco, San Salvador	*UPAN*
Hospital San Rafael, Santa Tecla	*HSRF*
Unidad de Salud de Tonacatepeque, San Salvador	*UTON*
Hospital Santa Gertrudis, San Vicente	*HSGT*
Colegio Externado San José, San Salvador	*ESJO*
Hospital Santa Teresa, Zacatecoluca	*HSTR*

Tabla 5.1 Codificación de estaciones acelerográficas.

Presa 15 de septiembre	QC
San Miguel	MG
Sensuntepeque	SE
Observatorio	OB
Ciudadela Don Bosco	DB
Seminario San José de la Montaña	SS
Relaciones Exteriores (Fondo)	RF
Relaciones Exteriores (Superficie)	RS
Viveros de DUA (Fondo)	VF
Viveros de DUA (Superficie)	VS
Cutuco	CU
Santa Tecla	ST
Acajutla, CEPA	CA
Ahuachapán	AH
Centro de Investigaciones Geotécnicas	CI
Universidad Centroamericana	UC
Presa 15 de septiembre	QC

Tabla 5.1 Codificación de estaciones acelerográficas (continuada).

	Coordenadas		13 de enero		13 de febrero		
Estación	Latitud Norte (grados)	Longitud Oeste (grados)	Distancia epicentral, de (km)	Distancia hipocentral, dh (km)	Distancia epicentral, de (km)	Distancia hipocentral, dh (km)	Distancia a la traza de la falla, df (km)
UARM	13.744	89.501	119.2	133.4	61.3	62.1	54.8
CSBR	13.704	89.106	87.2	105.9	18.5	21.0	12.4
ULLB	13.486	89.327	86.9	105.6	46.7	47.8	40.2
USPN	13.602	88.927	67.8	90.6	---	---	---
UPAN	13.614	89.179	84.1	103.3	26.8	28.6	20.0
HSRF	13.671	89.279	96.1	113.3	36.8	38.1	30.1
UTON	13.778	89.114	94.6	112.0	22.4	24.5	18.0
HSGT	13.642	88.784	---	---	16.9	19.7	10.5
ESJO	13.707	89.207	93.9	111.5	29.3	30.9	22.9
HSTR	13.517	88.869	56.6	82.5	18.6	21.2	15.7
QC	13.616	88.55	64.0	87.8	42.3	43.5	35.9
MG	13.475	88.183	69.9	92.2	---	---	---
SE	13.867	88.663	90.8	108.8	---	---	---
OB	13.681	89.198	---	---	28.1	29.8	21.5
DB	13.733	89.15	92.5	110.3	23.9	25.9	18.1
SS	13.705	89.225	---	---	31.2	32.7	24.8
RF	13.692	89.25	95.7	112.9	33.7	35.2	27.2
RS	13.692	89.25	95.7	112.9	33.7	35.2	27.2

Tabla 5.2 Parámetros de distancia a la fuente sismogénica

Estación	Coordenadas		13 de enero		13 de febrero		
	Latitud Norte (grados)	Longitud Oeste (grados)	Distancia epicentral, de (km)	Distancia hipocentral, dh (km)	Distancia epicentral, de (km)	Distancia hipocentral, dh (km)	Distancia a la traza de la falla, df (km)
VF	13.737	89.209	---	---	30.1	31.7	24.1
VS	13.737	89.209	---	---	30.1	31.7	24.1
CU	13.333	87.817	96.4	113.6	---	---	---
ST	13.675	89.3	---	---	39.0	40.3	32.4
CA	13.567	89.833	139.1	151.5	---	---	---
AH	13.925	89.805	157.3	168.3	---	---	---
CI	13.698	89.173	---	---	25.5	27.4	19.1
UC	13.677	89.236	---	---	32.1	33.7	25.5

Tabla 5.2 Parámetros de distancia a la fuente sismogénica (continuada)

5.2.1 Comparación de ecuaciones de atenuación para caracterizar los movimientos fuertes del terreno en los sitios de estudio debido al sismo del 13 de enero de 2001.

Para este evento se cuenta con los registros de nueve de los acelerógrafos de la red de la UCA, ya que la estación HSGT no fue capaz de registrarlo. De la red de acelerógrafos del CIG solo se muestran los registros publicados hasta la fecha de entrega de este documento.

De las ecuaciones que aplican a un evento de subducción, solo las ecuaciones 1, 5, 9 y 10 tienen entre el rango de magnitudes de la base de datos el valor de la magnitud de este evento sísmico.

La comparación entre estas cuatro ecuaciones se muestra en las tablas 5.3 y 5.4, y se complementa con las gráficas que se muestran desde la figura 5.1 hasta la figura 5.5.

En la tabla 5.3 se muestran los valores de aceleración observados en los registros y los valores predichos por cada ecuación, nótese la consistencia entre los parámetros de aceleración utilizados por las ecuaciones (PAUp) y los parámetros de aceleración observados (PAUo), estos parámetros fueron explicados en el numeral 3.3.2. En esta misma tabla se muestra el valor del coeficiente de correlación, *r*, para las predicciones realizadas por cada ecuación. Un valor de r cercano a 1, representa una buena predicción. Además, se utilizó para calificar a las ecuaciones el parámetro del error promedio, *e*, que representa cuan cerca está el valor de la aceleración predicha del valor observado en un mismo sitio. El error promedio se calculó dejando de lado la estación USPN por estar ubicada en un sitio que presenta efectos de amplificación, es por esto que los valores predichos por las ecuaciones son menores que los observados; de igual forma, no se tomó en cuenta la estación UPAN para el cálculo de el error promedio, ya que se

encuentra en un sitio al fondo de un valle estrec ho con roca como condición de suelo, excepto en la ecuación 5 que posee un factor para diferenciar la condición de suelo donde se desea hacer la predicción.

La figura 5.1 es el lugar geométrico de los valores mostrados en la tabla 5.3, y se superpone la función identidad para efectos de comparación.

En la tabla 5.4 se muestran los valores de PAUp/PAUo, siendo el valor óptimo la unidad.

Las figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5 representan el lugar geométrico de los valores mostrados en la tabla 5.4. Las líneas discontinuas en estas figuras muestran el valor de U de la tabla 3.4 que representa el valor promedio más una desviación estándar, normalizado con respecto al valor promedio; y el valor de U^{-1}, que representa el valor promedio menos una desviación estándar, normalizado con respecto al valor promedio.

	1 (Promedio)		5 (Máxima)		9 (Ambas)		10 (Resultante)	
Estación	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)
UARM	0.5118	0.1073	0.6154	0.2052	0.6154	0.1310	0.7385	0.1894
CSBR	0.1798	0.1470	0.2009	0.2137	0.2009	0.1696	0.2561	0.2614
ULLB	0.8867	0.1474	1.18	0.2139	1.18	0.1700	1.3216	0.2623
USPN	0.5258	0.1797	0.5435	0.2221	0.5435	0.1981	0.7439	0.3262
UPAN	0.1733	0.1517	0.1871	0.1551	0.1871	0.1739	0.2459	0.2705
HSRF	0.5265	0.1343	0.5664	0.2107	0.5664	0.1577	0.7467	0.2378
UTON	0.252	0.1363	0.2838	0.2112	0.2838	0.1596	0.3593	0.2415
ESJO	0.2747	0.1373	0.2817	0.2114	0.2817	0.1605	0.3886	0.2433
HSTR	0.2885	0.2017	0.3177	0.2280	0.3177	0.2158	0.4101	0.3744
QC	0.1693	0.1869	0.1865	0.2240	0.1865	0.2041	0.2407	0.3415
MG	0.128	0.1758	0.1357	0.2211	0.1357	0.1949	0.1815	0.3181
SE	0.0714	0.1417	0.0821	0.2125	0.0821	0.1647	0.1022	0.2515
DB	0.2375	0.1393	0.2499	0.2119	0.2499	0.1623	0.3363	0.2470
RF	0.2083	0.1348	0.2088	0.1522	0.2088	0.1581	0.2946	0.2388
RS	0.3136	0.1348	0.3232	0.2108	0.3232	0.1581	0.4437	0.2388
CU	0.0784	0.1339	0.0791	0.2107	0.0791	0.1574	0.1109	0.2370
CA	0.103	0.0890	0.1083	0.2024	0.1083	0.1117	0.1459	0.1577
AH	0.1799	0.0758	0.2141	0.2014	0.2141	0.0971	0.259	0.1352
	r =	0.08739643	r =	0.16824687	r =	0.06606787	r =	0.07552262
	e (%)=	50.198289	e (%)=	54.662033	e (%)=	49.481152	e (%)=	51.759459

Tabla 5.3 Error promedio de los parámetros de aceleración predichos.

	Ec 1	Ec 5	Ec 9	Ec 10
Estación	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo
UARM	0.2096	0.3334	0.2128	0.2564
CSBR	0.8176	1.0639	0.8440	1.0208
ULLB	0.1663	0.1812	0.1440	0.1985
USPN	0.3418	0.4086	0.3645	0.4385
UPAN	0.8756	0.8291	0.9293	1.0999
HSRF	0.2551	0.3721	0.2784	0.3184
UTON	0.5410	0.7442	0.5625	0.6723
ESJO	0.4998	0.7506	0.5699	0.6262
HSTR	0.6992	0.7176	0.6792	0.9130
QC	1.1041	1.2012	1.0943	1.4187
MG	1.3735	1.6291	1.4362	1.7527
SE	1.9845	2.5881	2.0062	2.4607
DB	0.5864	0.8479	0.6495	0.7344
RF	0.6473	0.7289	0.7573	0.8105
RS	0.4300	0.6524	0.4893	0.5381
CU	1.7077	2.6633	1.9895	2.1374
CA	0.8645	1.8691	1.0314	1.0809
AH	0.4214	0.9407	0.4537	0.5219

Tabla 5.4 Valores de PAUp/PAUo

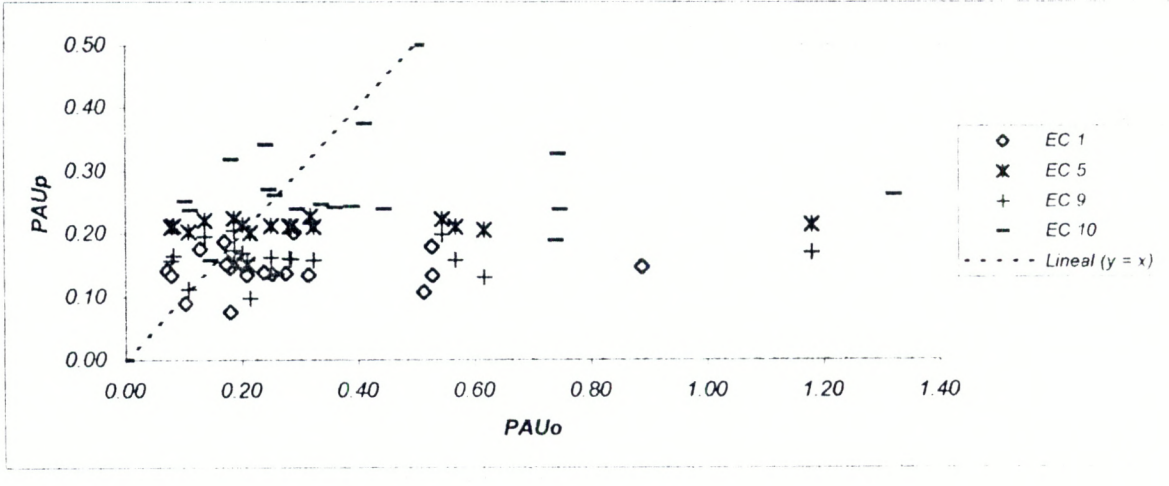


Figura 5.1 PAUp vrs. PAUo

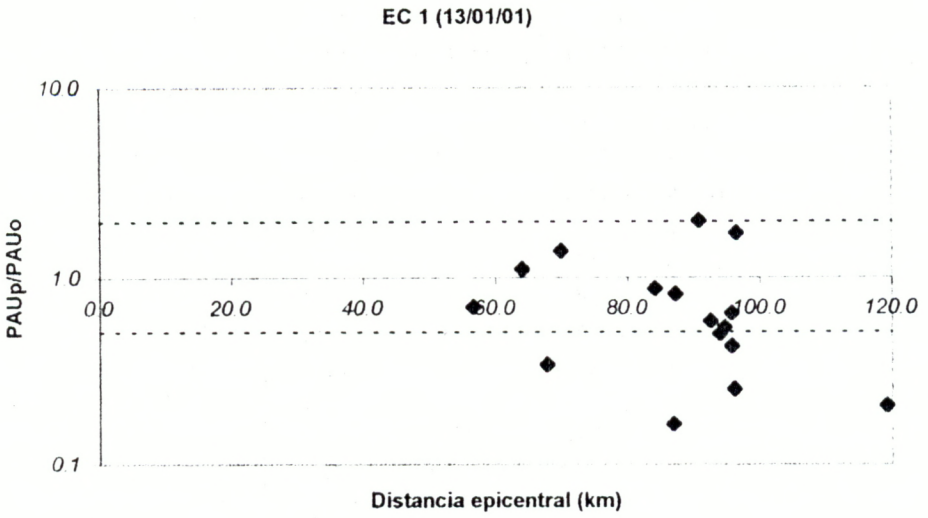


Figura 5.2 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

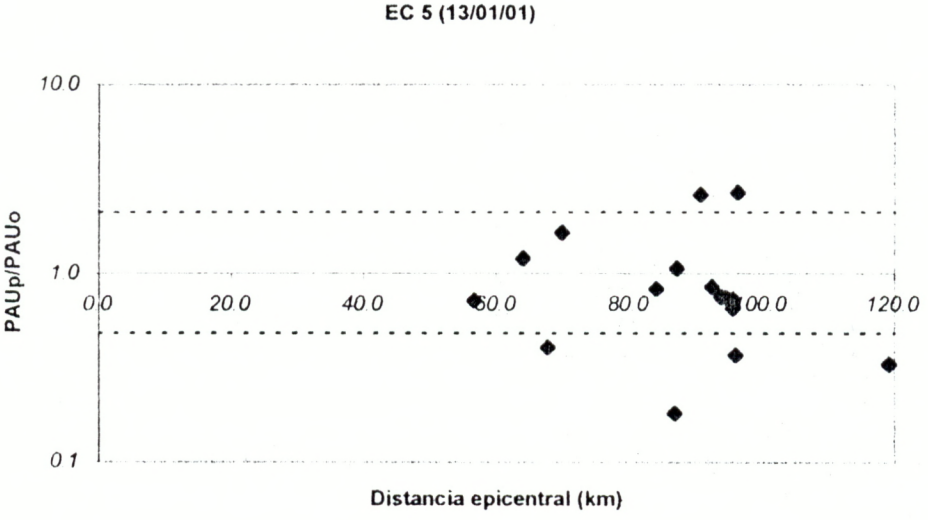


Figura 5.3 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

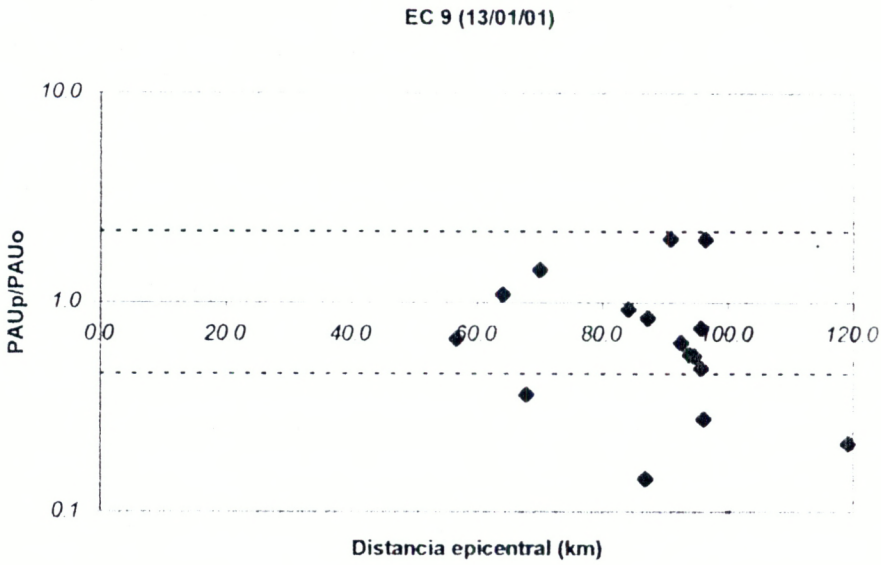


Figura 5.4 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral.

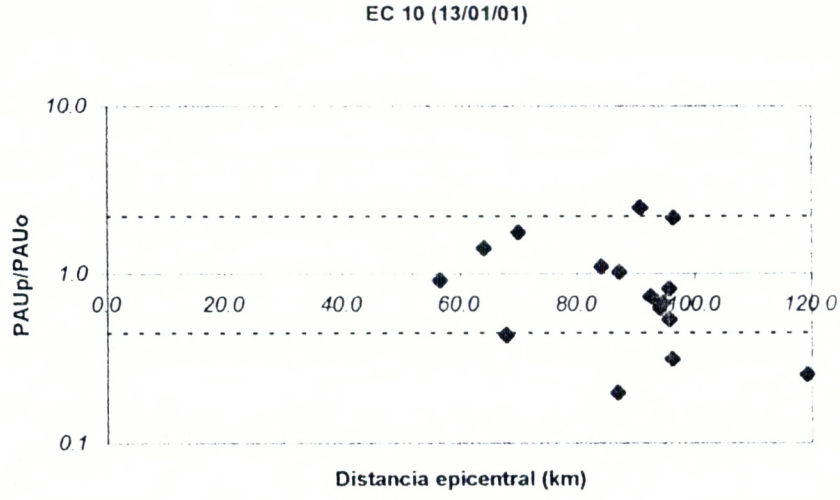


Figura 5.5 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral.

5.2.2 Comparación de ecuaciones de atenuación para caracterizar los movimientos fuertes del terreno en los sitios de estudio debido al sismo del 13 de febrero de 2001.

Para este evento se cuenta con los registros de nueve de los acelerógrafos de la red de la UCA, ya que la estación USPN no fue capaz de registrarlo. De la red de acelerógrafos del CIG sólo se muestran los registros publicados hasta la fecha de entrega de este documento.

De las ecuaciones de la tabla 3.5 que aplican a un evento de la corteza superior, todas son aplicables para este sismo. La comparación entre estas ecuaciones se muestra en las tablas 5.5 y 5.6, y se complementa con las gráficas que se muestran desde la figura 5.6 hasta la figura 5.15. En la tabla 5.5, el error promedio se calculó dejando de lado la estación UPAN, excepto para la ecuación 5, por las razones mencionadas en 5.2.1. Para el caso de la ecuación 2A, no se realizó la predicción de los valores de aceleración máxima en las estaciones UARM, ULLB, HSRF, QC, RF, RS y ST, ya que la distancia epicentral a la que estas se encuentran están fuera del rango de valores de distancias epicentrales incluidas en la base de datos de dicha ecuación.

	1 (Promedio)		2A (Máxima)		3 (Máxima)	
Estación	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)
UARM	0.0328	0.1287	0.0356	---	0.0356	0.1523
CSBR	0.129	0.4032	0.1367	0.4059	0.1367	0.3426
ULLB	0.0904	0.1727	0.0909	---	0.0909	0.1871
UPAN	0.1497	0.2962	0.1933	0.2923	0.1933	0.2744
HSRF	0.0427	0.2199	0.0463	---	0.0463	0.2219
UTON	0.308	0.3459	0.3428	0.3438	0.3428	0.3068
HSGT	0.3327	0.4314	0.4307	0.4377	0.4307	0.3597
ESJO	0.1171	0.2731	0.1375	0.2691	0.1375	0.2590
HSTR	0.3544	0.4016	0.415	0.4041	0.415	0.3416
QC	0.0229	0.1913	0.0264	---	0.0264	0.2011
OB	0.1053	0.2838	0.1064	0.2798	0.1064	0.2664
DB	0.0969	0.3274	0.0999	0.3244	0.0999	0.2950
SS	0.0683	0.2577	0.0712	0.2537	0.0712	0.2482
RF	0.0427	0.2395	0.0427	---	0.0427	0.2356
RS	0.0608	0.2395	0.0634	---	0.0634	0.2356
VF	0.0402	0.2664	0.041	0.2624	0.041	0.2546
VS	0.0683	0.2664	0.0772	0.2624	0.0772	0.2546
ST	0.0401	0.2076	0.0416	---	0.0416	0.2129
CI	0.1042	0.3095	0.1379	0.3059	0.1379	0.2832
	r =0.79		r =0.79		r =0.78	
	e (%)=268.99		e (%)=153.58		e (%)=241.31	

Tabla 5.5 Error promedio de los parámetros de aceleración predichos

	4 (Resultante)		5 (Máxima)		7 (Máxima)	
Estación	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)
UARM	0.0466	0.2059	0.0356	0.1360	0.0356	0.0543
CSBR	0.1828	0.5183	0.1367	0.2149	0.1367	0.2068
ULLB	0.1278	0.2727	0.0909	0.1503	0.0909	0.0722
UPAN	0.2206	0.4348	0.1933	0.1350	0.1933	0.1360
HSRF	0.0604	0.3411	0.0463	0.1649	0.0463	0.0940
UTON	0.4384	0.4583	0.3428	0.2004	0.3428	0.1494
HSGT	0.4905	0.5381	0.4307	0.2217	0.4307	0.2379
ESJO	0.1681	0.4056	0.1375	0.1806	0.1375	0.1204
HSTR	0.5085	0.4851	0.415	0.2145	0.415	0.1685
QC	0.0329	0.2992	0.0264	0.1561	0.0264	0.0800
OB	0.1489	0.4195	0.1064	0.1836	0.1064	0.1274
DB	0.1371	0.4560	0.0999	0.1955	0.0999	0.1486
SS	0.0966	0.3873	0.0712	0.1760	0.0712	0.1120
RF	0.0604	0.3655	0.0427	0.1232	0.0427	0.1030
RS	0.0861	0.3655	0.0634	0.1707	0.0634	0.1030
VF	0.0569	0.3943	0.041	0.1290	0.041	0.1150
VS	0.0974	0.3943	0.0772	0.1787	0.0772	0.1150
ST	0.0567	0.3235	0.0416	0.1611	0.0416	0.0879
CI	0.1549	0.4447	0.1379	0.1907	0.1379	0.1417
	r =0.75		r =0.72		r =0.75	
	e (%)=287.39		e (%)=148.14		e (%)=70.93	

	8 (Resultante)		12 (Máxima)		13 (Máxima)	
Estación	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)	PAUo (g)	PAUp (g)
UARM	0.0466	0.0531	0.0356	0.0346	0.0356	0.0339
CSBR	0.1828	0.1993	0.1367	0.2936	0.1367	0.2578
ULLB	0.1278	0.0709	0.0909	0.0626	0.0909	0.0677
UPAN	0.2206	0.1118	0.1933	0.1689	0.1933	0.1777
HSRF	0.0604	0.0925	0.0463	0.0987	0.0463	0.1094
UTON	0.4384	0.1464	0.3428	0.2226	0.3428	0.1959
HSGT	0.4905	0.2262	0.4307	0.3329	0.4307	0.2835
ESJO	0.1681	0.1185	0.1375	0.1462	0.1375	0.1545
HSTR	0.5085	0.1644	0.415	0.2914	0.415	0.2191
QC	0.0329	0.0787	0.0264	0.0761	0.0264	0.0830
OB	0.1489	0.1253	0.1064	0.1565	0.1064	0.1653
DB	0.1371	0.1457	0.0999	0.2018	0.0999	0.1949
SS	0.0966	0.1103	0.0712	0.1317	0.0712	0.1410
RF	0.0604	0.1015	0.0427	0.1154	0.0427	0.1257
RS	0.0861	0.1015	0.0634	0.1154	0.0634	0.1257
VF	0.0569	0.1132	0.041	0.1398	0.041	0.1458
VS	0.0974	0.1132	0.0772	0.1398	0.0772	0.1458
ST	0.0567	0.0865	0.0416	0.0887	0.0416	0.0980
CI	0.1549	0.1390	0.1379	0.1826	0.1379	0.1857
	r =0.74		r =0.82		r =0.74	
	e (%)=43.20		e (%)=83.23		e (%)=92.33	

Tabla 5.5 Error promedio de los parámetros de aceleración predichos (continuada)

	Ec 1	Ec 2A	Ec 3	Ec 4	Ec 5
Estación	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo
UARM	3.9248	---	4.2784	4.4177	3.8202
CSBR	3.1257	2.9695	2.5062	2.8355	1.5719
ULLB	1.9106	---	2.0584	2.1339	1.6530
UPAN	1.9784	1.5120	1.4198	1.9709	0.6984
HSRF	5.1494	---	4.7933	5.6479	3.5618
UTON	1.1230	1.0029	0.8949	1.0455	0.5846
HSGT	1.2967	1.0163	0.8352	1.0970	0.5146
ESJO	2.3326	1.9570	1.8837	2.4126	1.3131
HSTR	1.1330	0.9737	0.8231	0.9539	0.5168
QC	8.3525	---	7.6163	9.0942	5.9133
OB	2.6950	2.6293	2.5034	2.8170	1.7259
DB	3.3789	3.2473	2.9527	3.3260	1.9575
SS	3.7724	3.5635	3.4864	4.0090	2.4722
RF	5.6086	---	5.5173	6.0506	2.8853
RS	3.9390	---	3.7159	4.2446	2.6922
VF	6.6276	6.4001	6.2086	6.9290	3.1457
VS	3.9009	3.3990	3.2973	4.0479	2.3145
ST	5.1769	---	5.1181	5.7055	3.8726
CI	2.9703	2.2182	2.0535	2.8707	1.3826

	Ec 7	Ec 8	Ec 11	Ec 12
Estación	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo	PAUp/PAUo
UARM	1.5261	1.1396	0.9711	0.9528
CSBR	1.5127	1.0900	2.1478	1.8860
ULLB	0.7940	0.5546	0.6882	0.7442
UPAN	0.7034	0.5070	0.8736	0.9195
HSRF	2.0300	1.5318	2.1317	2.3627
UTON	0.4357	0.3338	0.6492	0.5713
HSGT	0.5523	0.4612	0.7729	0.6582
ESJO	0.8756	0.7047	1.0632	1.1237
HSTR	0.4061	0.3233	0.7021	0.5280
QC	3.0318	2.3920	2.8820	3.1431
OB	1.1976	0.8414	1.4709	1.5536
DB	1.4877	1.0624	2.0202	1.9510
SS	1.5736	1.1417	1.8493	1.9804
RF	2.4133	1.6798	2.7021	2.9431
RS	1.6254	1.1784	1.8199	1.9822
VF	2.8043	1.9889	3.4103	3.5569
VS	1.4893	1.1619	1.8112	1.8890
ST	2.1128	1.5254	2.1330	2.3563
CI	1.0273	0.8975	1.3243	1.3463

Tabla 5.6 Valores de PAUp/PAUo para las ecuaciones de atenuación

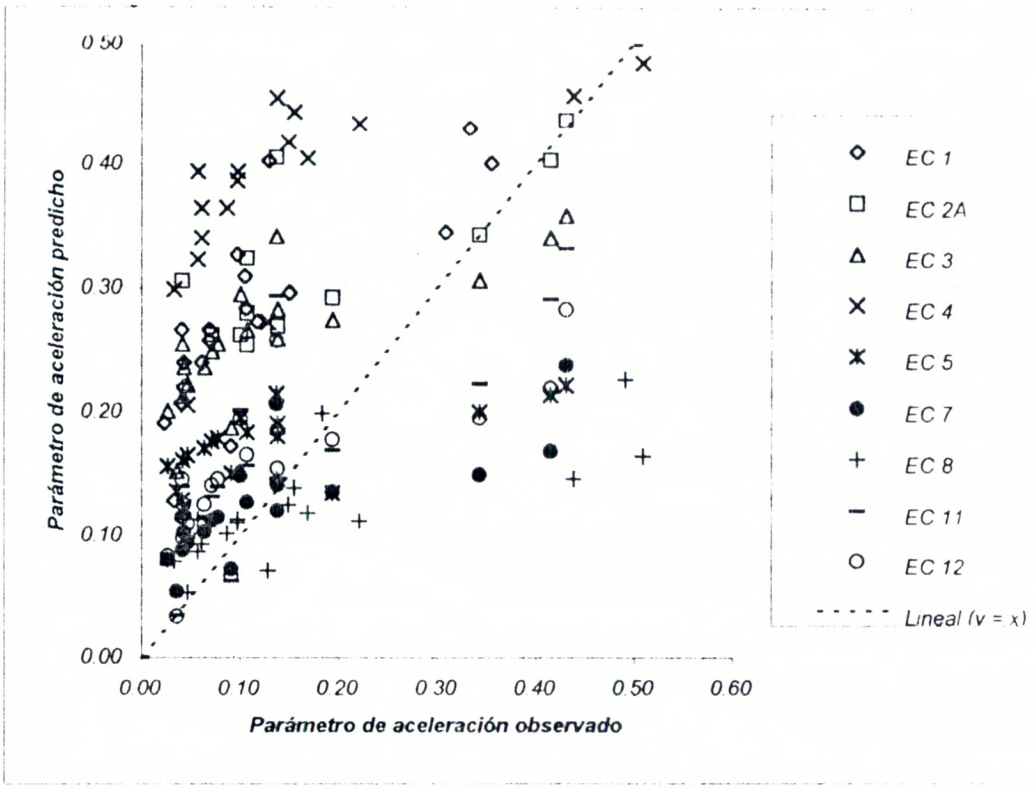


Figura 5 6 PAUp vrs PAUo

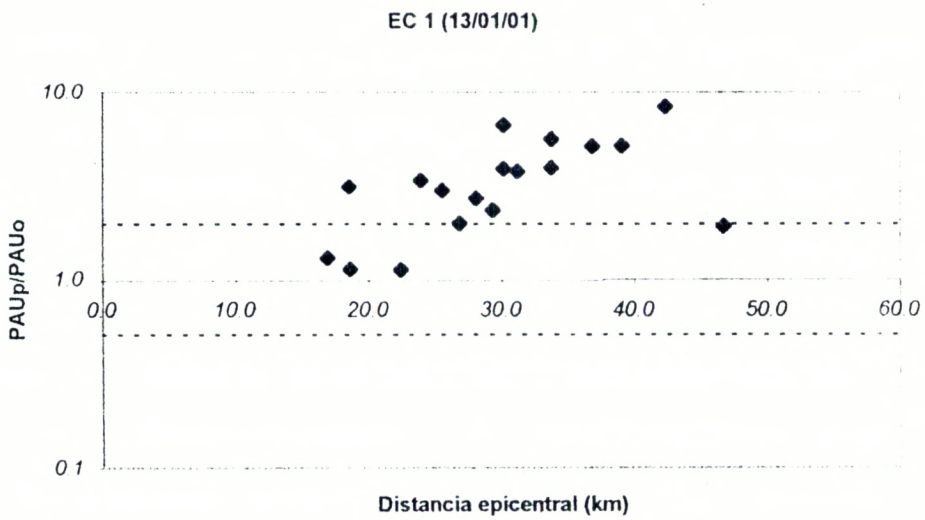


Figura 5 7 PAUp/PAUo vrs distancia epicentral

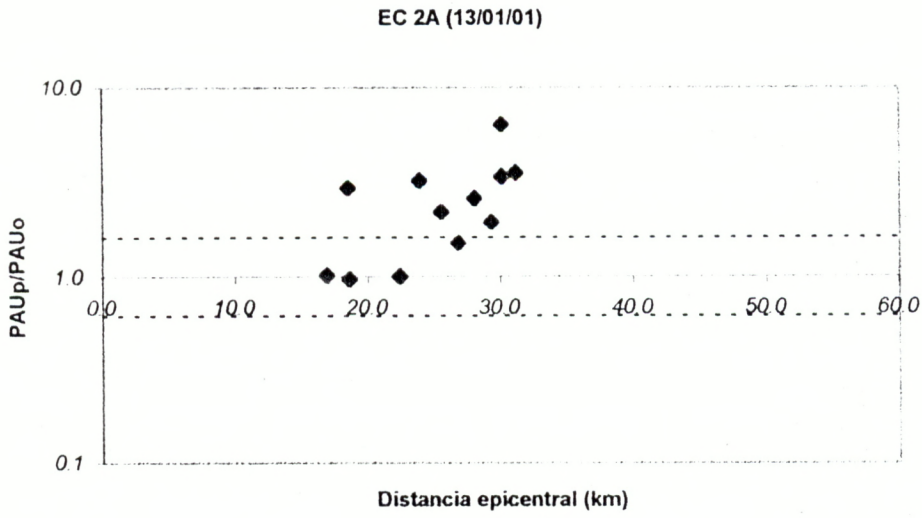


Figura 5.8 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

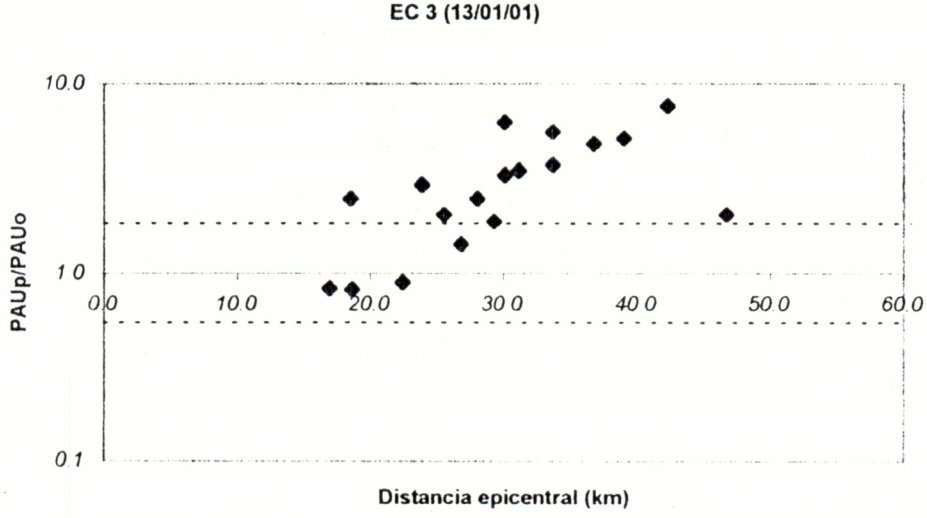


Figura 5.9 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

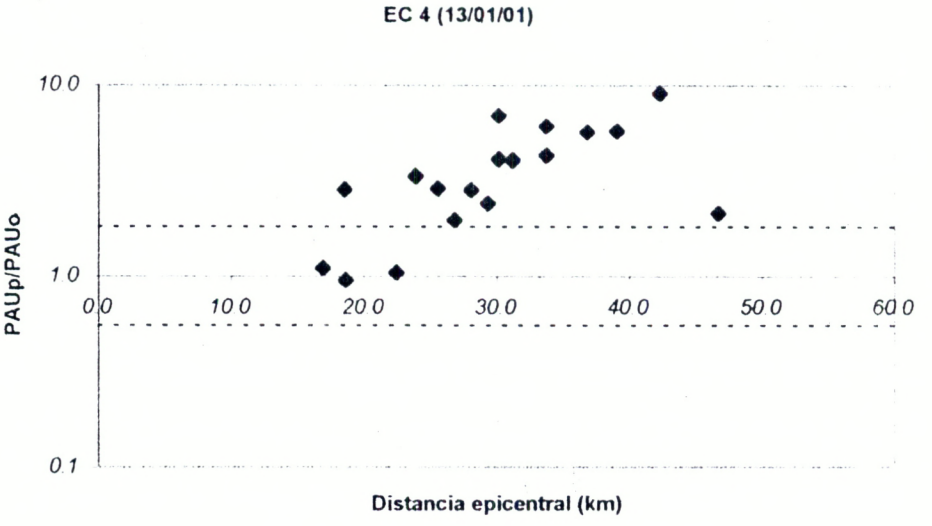


Figura 5.10 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

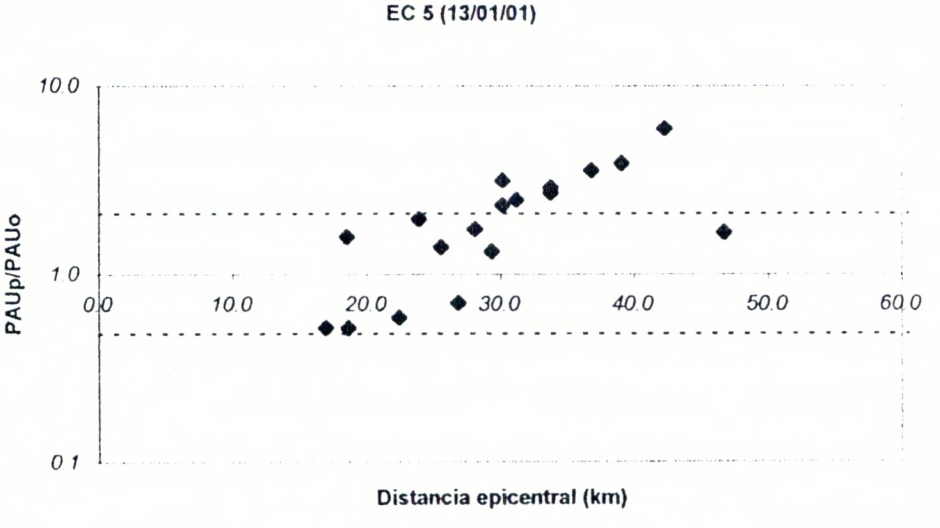


Figura 5.11 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

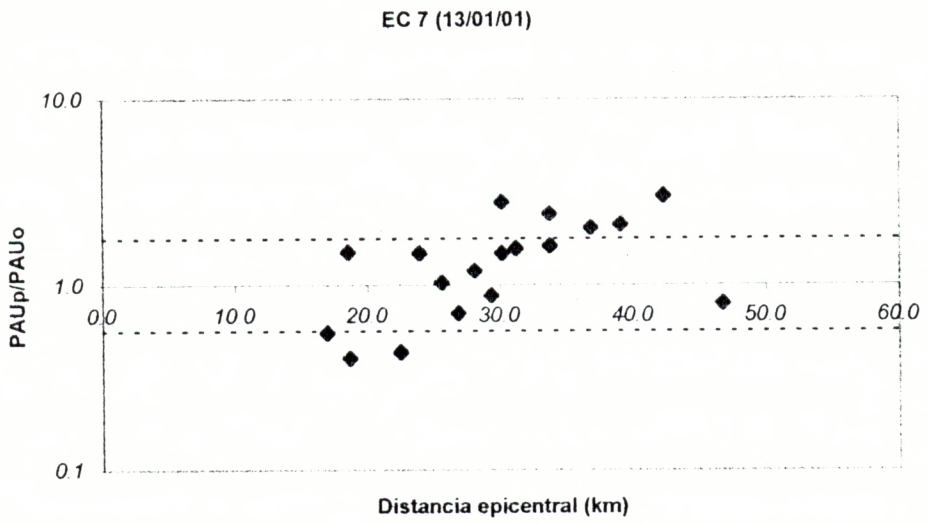


Figura 5.12 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

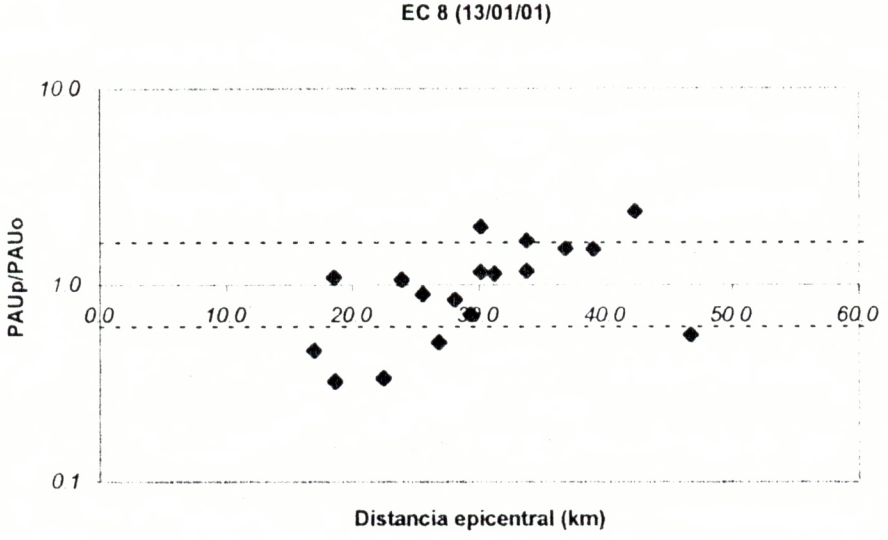


Figura 5.13 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

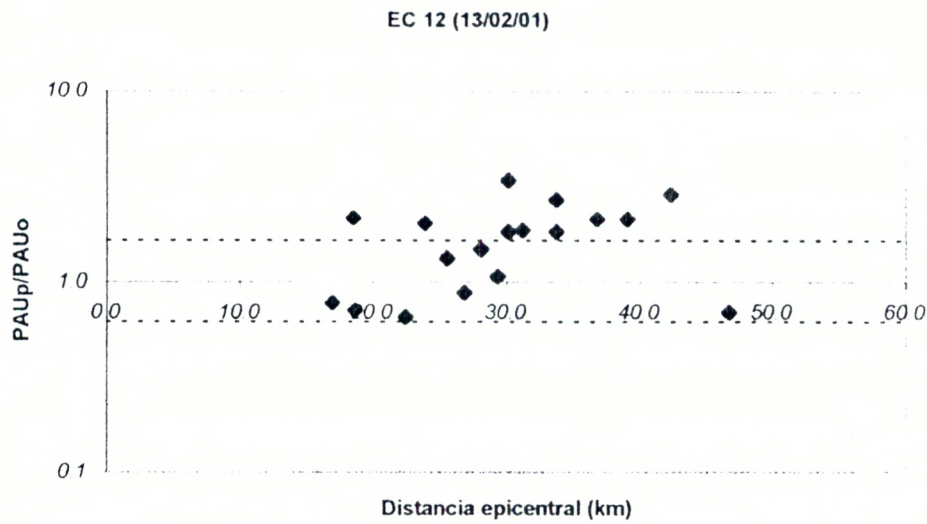


Figura 5.14 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

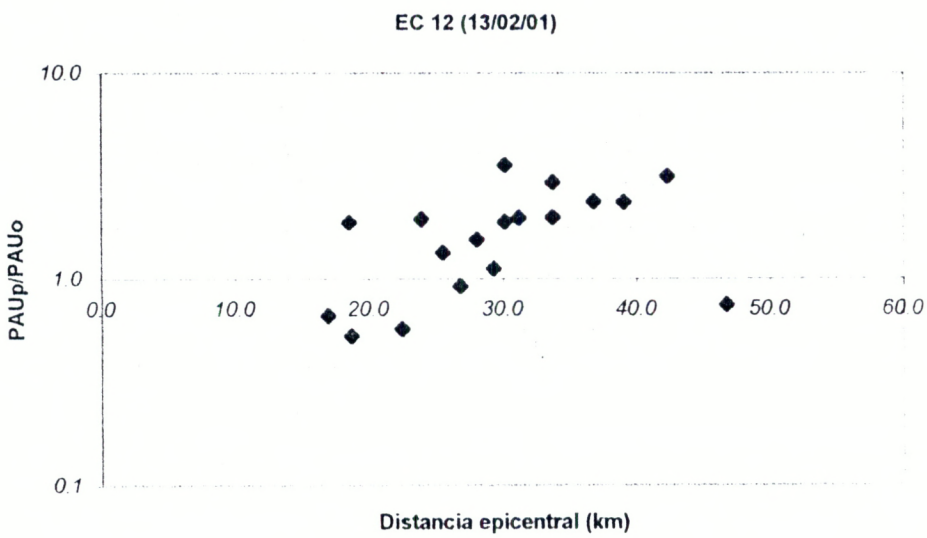


Figura 5.15 PAUp/PAUo vrs. distancia epicentral

5.2.3 Caracterización de los movimientos fuertes en los sitios de estudio debidos al terremoto del 13 de enero de 2001.

La ecuación 9 de la tabla 3.5 es la que presentó el menor error promedio en sus predicciones, por lo que la caracterización de los movimientos fuertes en los sitios de estudio se llevó a cabo con esta ecuación, a excepción de los sitios S10.01 y S11.01 que corresponden a la playa Conchalío y al puerto Cutuco respectivamente, ya que se dispone del registro de las aceleraciones máximas observadas; el análisis en estos sitios se llevó a cabo tomando en cuenta ambos datos de aceleración máxima.

En la tabla 5.7 se muestran los valores de aceleración máxima predichos para cada sitio de estudio por la ecuación 9.

Sitio	*Latitud norte (grados)*	*Longitud Oeste (grados)*	*Distancia hipocentral, dh (km)*	*Aceleración máxima (g)*
S01.01	13.283	88.774	66.5	0.2578
S01.02	13.283	88.774	66.5	0.2578
S02.01	13.273	88.793	66.5	0.2578
S02.02	13.273	88.793	66.5	0.2578
S02.03	13.273	88.793	66.5	0.2578
S03.01	13.666	89.287	113.5	0.1574
S04.01	13.427	88.703	73.4	0.2385
S04.02	13.427	88.703	73.4	0.2385
S05.01	13.698	89.081	104.2	0.1724
S06.01	13.664	89.001	98.1	0.1833
S07.01	13.360	89.025	79.7	0.2225
S07.02	13.317	88.927	72.9	0.2397
S08.01	13.598	89.838	153.3	0.1100
S09.01	13.288	88.759	66.5	0.2579
S10.01	13.486	89.327	105.6	0.1700
S11.01	13.333	87.817	113.5	0.1574
S12.01	13.433	89.050	84.8	0.2105

Tabla 5.7 Predicción de aceleración máxima para los sitios de estudio.

5.2.4 Caracterización de los movimientos fuertes en los sitios de estudio debidos al terremoto del 13 de febrero de 2001.

La ecuación 8 es la que presentó el menor error promedio en sus predicciones, por lo que la caracterización de los movimientos fuertes en los sitios de estudio se llevó a cabo con esta ecuación, a excepción del sitio S10.01 que corresponden a la playa Conchalío, ya que se dispone del registro de la aceleración máxima observada; el análisis en este sitio se llevó a cabo tomando en cuenta ambos datos de aceleración máxima.

En la tabla 5.8 se muestran los valores de aceleración máxima predichos para cada sitio de estudio por la ecuación 8.

Sitio	*Latitud norte (grados)*	*Longitud Oeste (grados)*	*Distancia a la proyección de la traza de la falla en la superficie, df (km)*	*Aceleración máxima (g)*
S01.01	13.283	88.774	43.2	0.1185
S01.02	13.283	88.774	43.2	0.1185
S02.01	13.273	88.793	43.8	0.1170
S02.02	13.273	88.793	43.8	0.1170
S02.03	13.273	88.793	43.8	0.1170
S03.01	13.666	89.287	31.0	0.1610
S04.01	13.427	88.703	32.0	0.1564
S04.02	13.427	88.703	32.0	0.1564
S05.01	13.698	89.081	9.7	0.4278
S06.01	13.664	89.001	0.5	0.8243
S07.01	13.360	89.025	33.4	0.1502
S07.02	13.317	88.927	37.9	0.1336
S08.01	13.598	89.838	90.7	0.0591
S09.01	13.288	88.759	43.1	0.1187
S10.01	13.486	89.327	40.2	0.1265
S11.01	13.333	87.817	120.3	0.0453
S12.01	13.433	89.050	25.8	0.1901

Tabla 5.8 Predicción de aceleración máxima para los sitios de estudio.

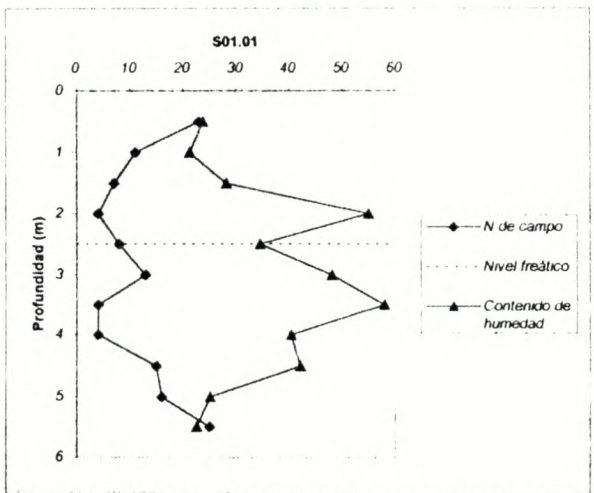
5.3 CARACTERIZACIÓN DE SITIOS

En este numeral se muestran las características de los suelos presentes en los sitios investigados para este trabajo, su clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS, su contenido de humedad y los valores de N correspondientes.

S01.01 (03/05/01)

San Antonio Potrerillos,

San Marcos Lempa, Usulután.

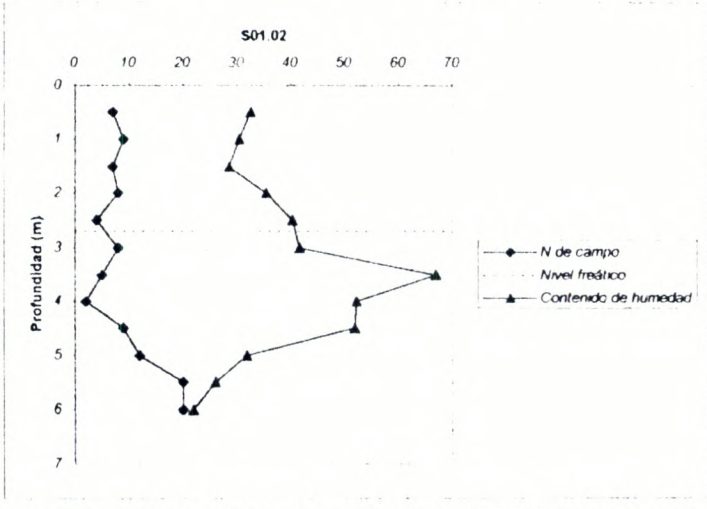


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	23	19.50	9.75	0.00	9.75	3.13	54.07	53.60	23.8
1.0	11	18.50	19.00	0.00	19.00	2.25	18.52	53.60	21.3
1.5	7	17.00	27.50	0.00	27.50	1.87	9.80	53.60	28.2
2.0	4	15.33	35.17	0.00	35.17	1.65	4.95	53.60	55.0
2.5	8	17.38	43.86	0.00	43.86	1.48	8.87	51.40	34.5
3.0	13	19.25	53.48	4.91	48.58	1.40	13.69	59.60	48.0
3.5	4	15.33	61.15	9.81	51.34	1.37	4.10	74.80	57.9
4.0	4	15.33	68.81	14.72	54.09	1.33	3.99	9.40	40.4
4.5	15	20.00	78.81	19.62	59.19	1.27	14.31	10.10	42.1
5.0	16	19.00	88.31	24.53	63.78	1.23	14.71	34.70	25.1
5.5	25	18.05	97.34	29.43	67.91	1.19	22.27	34.70	22.6

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	39.34	0.88	-	-	-	-	-	-	ML
1.0	39.34	0.88	-	-	-	-	-	-	
1.5	39.34	0.88	-	-	-	-	-	-	
2.0	39.34	0.88	-	-	-	-	-	-	
2.5	37.11	3.78	-	-	-	-	-	-	
3.0	42.8	4.10	-	-	-	-	-	-	
3.5	55.3	9.39	-	-	-	-	-	-	MH
4.0	-	-	0.075	0.15	0.22	0.26	1.15	3.4	SP-SM
4.5	-	-	0.075	0.17	0.33	0.42	0.91	5.6	
5.0	-	-	0.14	0.34	0.5	0.63	1.31	4.5	SM
5.5	-	-	0.14	0.34	0.5	0.63	1.31	4.5	

Figura 5.16 Caractenzación de sitio para S01.01

S01.02 (24/05/01)
San Antonio Potrerillos,
San Marcos Lempa, Usulután.

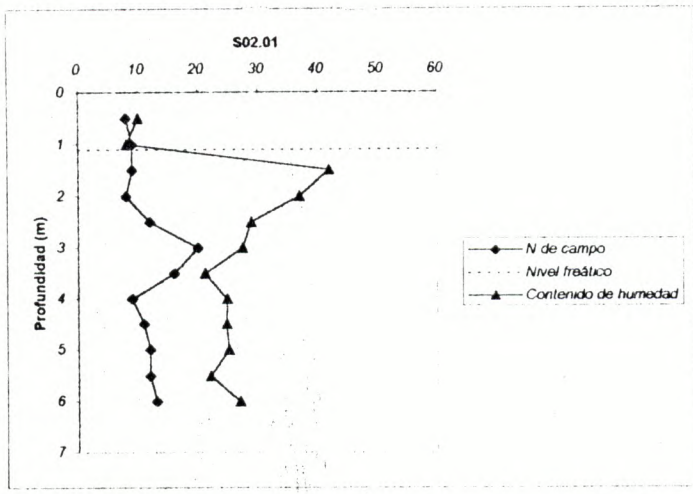


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	7	17.00	8.50	0.00	8.50	3.36	17.62	62.00	32.5
1.0	9	17.75	17.38	0.00	17.38	2.35	15.85	62.00	30.4
1.5	7	17.00	25.88	0.00	25.88	1.92	10.10	62.00	28.5
2.0	8	17.37	34.56	0.00	34.56	1.66	9.99	62.00	35.4
2.5	4	15.33	42.23	0.00	42.23	1.51	4.52	62.00	40.3
3.0	8	17.37	50.91	2.94	47.97	1.41	8.48	64.80	41.6
3.5	5	16.66	59.24	7.85	51.39	1.37	5.12	51.60	66.9
4.0	2	16.00	67.24	12.75	54.49	1.33	1.99	51.60	52.1
4.5	9	17.75	76.12	17.66	58.46	1.28	8.64	25.40	51.9
5.0	12	18.87	85.55	22.56	62.99	1.23	11.10	5.00	31.8
5.5	20	18.43	94.77	27.47	67.30	1.19	17.90	5.00	26.1
6.0	20	18.43	103.98	32.37	71.61	1.16	17.35	5.00	21.9

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	35.22	1.02	-	-	-	-	-	-	
1.0	35.22	1.02	-	-	-	-	-	-	
1.5	35.22	1.02	-	-	-	-	-	-	ML
2.0	35.22	1.02	-	-	-	-	-	-	
2.5	35.22	1.02	-	-	-	-	-	-	
3.0	55.3	9.39	-	-	-	-	-	-	MH
3.5	43	0.58	-	-	-	-	-	-	ML
4.0	43	0.58	-	-	-	-	-	-	
4.5	-	-	-	-	0.13	-	-	-	SM
5.0	-	-	0.1	0.26	0.37	0.45	1.5	4.5	SP
5.5	-	-	0.1	0.26	0.37	0.45	1.5	4.5	
6.0	-	-	0.1	0.26	0.37	0.45	1.5	4.5	

Figura 5.17 Caracterización de sitio para S01.02

S02.01 (14/05/01)
Comunidad Babilonia,
San Marcos Lempa, Usulután.



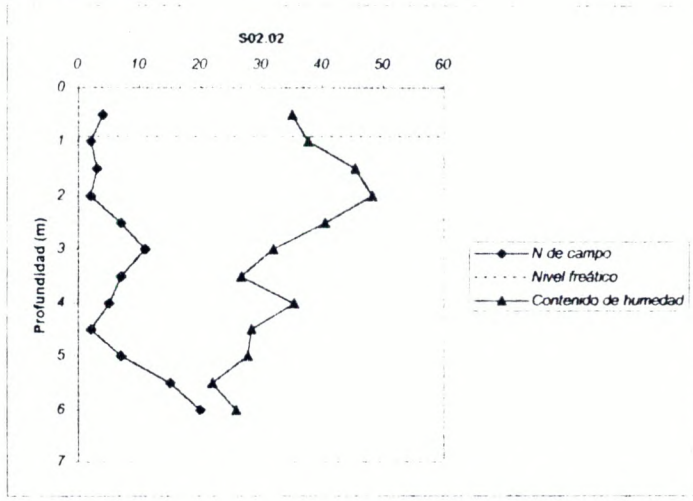
h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	8	17.37	8.69	0.00	8.69	3.32	19.93	7.60	10.0
1.0	9	17.75	17.56	0.00	17.56	2.34	15.76	3.40	8.1
1.5	9	17.75	26.44	3.92	22.52	2.06	13.92	4.80	42.0
2.0	8	17.37	35.12	8.83	26.29	1.91	11.45	4.80	37.0
2.5	12	18.87	44.56	13.73	30.83	1.76	15.87	6.50	28.9
3.0	20	18.43	53.77	18.64	35.13	1.65	24.77	6.50	27.5
3.5	16	17.00	62.27	23.54	38.73	1.57	18.87	6.50	21.1
4.0	9	17.75	71.15	28.45	42.70	1.50	10.11	6.50	24.8
4.5	11	18.50	80.40	33.35	47.05	1.43	11.77	6.50	24.7
5.0	12	18.87	89.83	38.26	51.57	1.36	12.27	6.50	25.1
5.5	12	18.87	99.27	43.16	56.11	1.31	11.76	6.50	22.0
6.0	13	19.25	108.89	48.07	60.82	1.25	12.24	6.50	27.0

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	0.085	0.15	0.2	0.25	1.05	2.94	SP-SM
1.0	-	-	0.12	0.17	0.25	0.28	0.86	2.33	SW
1.5	-	-	0.12	0.19	0.28	0.33	0.91	2.75	
2.0	-	-	0.12	0.19	0.28	0.33	0.91	2.75	
2.5	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	SP-SM
3.0	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	
3.5	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	
4.0	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	
4.5	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	
5.0	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	
5.5	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	
6.0	-	-	0.11	0.26	0.37	0.42	1.46	3.81	

Observación: ocurrió derrumbe a una profundidad de 2.0 m

Figura 5.18 Caracterización de sitio para S02.01

S02.02 (24/05/01)
Comunidad Babilonia,
San Marcos Lempa, Usulután.

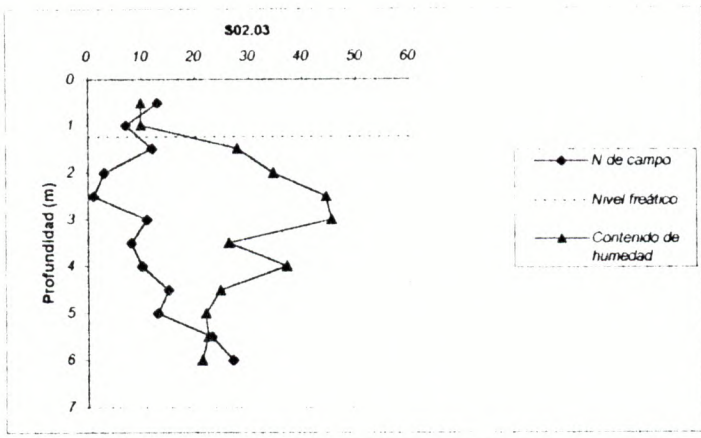


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	4	15.33	7.67	0.00	7.67	3.54	10.61	67.10	35.1
1.0	2	16.00	15.67	0.98	14.69	2.55	3.83	67.10	37.7
1.5	3	14.00	22.67	5.88	16.79	2.39	5.37	24.70	45.4
2.0	2	16.00	30.67	10.79	19.88	2.20	3.29	24.70	48.3
2.5	7	17.00	39.17	15.69	23.48	2.02	10.60	4.80	40.4
3.0	11	18.50	48.42	20.60	27.82	1.86	15.31	4.80	32.0
3.5	7	17.00	56.92	25.50	31.42	1.75	9.17	4.80	26.7
4.0	5	16.66	65.25	30.41	34.84	1.66	6.22	4.80	35.4
4.5	2	16.00	73.25	35.31	37.94	1.59	2.38	4.80	28.4
5.0	7	17.00	81.75	40.22	41.53	1.52	7.97	4.80	27.8
5.5	15	20.00	91.75	45.12	46.63	1.43	16.12	4.80	21.9
6.0	20	18.43	100.96	50.03	50.93	1.37	20.57	4.80	25.8

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	39.65	1.73	-	-	-	-	-	-	ML
1.0	39.65	1.73	-	-	-	-	-	-	
1.5	-	-	-	-	0.14	-	-	-	SP-SM
2.0	-	-	-	-	0.14	-	-	-	
2.5	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	SP
3.0	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	
3.5	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	
4.0	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	
4.5	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	
5.0	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	
5.5	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	
6.0	-	-	0.1	0.2	0.32	0.38	1.05	3.8	

Figura 5.19 Caracterización de sitio para S02.02

S02.03 (13/07/01)
Comunidad Babilonia,
San Marcos Lempa, Usulután.

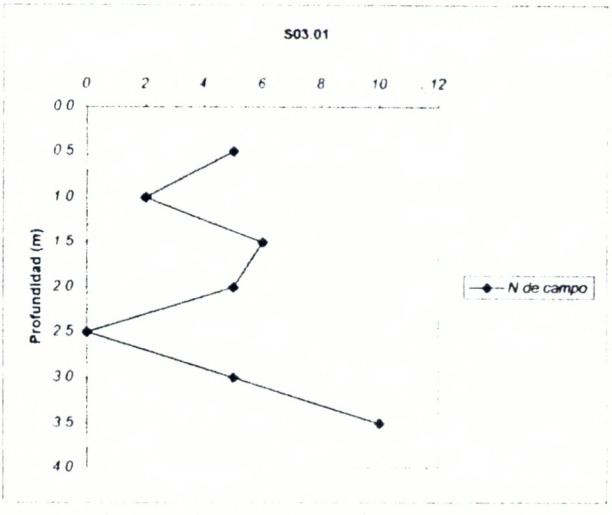


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	13	19.25	9.63	0.00	9.63	3.15	30.76	10.00	9.8
1.0	7	17.00	18.13	0.00	18.13	2.30	12.07	10.00	9.8
1.5	12	18.88	27.56	2.45	25.11	1.95	17.58	10.00	27.9
2.0	3	14.00	34.56	7.36	27.21	1.88	4.22	10.00	34.6
2.5	1	11.00	40.06	12.26	27.80	1.86	1.39	10.00	44.4
3.0	11	18.50	49.31	17.17	32.15	1.73	14.24	6.20	45.5
3.5	8	17.38	58.00	22.07	35.93	1.63	9.80	6.20	26.2
4.0	10	18.13	67.06	26.98	40.09	1.55	11.59	6.20	37.1
4.5	15	20.00	77.06	31.88	45.18	1.46	16.38	6.20	24.6
5.0	13	19.25	86.69	36.79	49.90	1.39	13.51	6.20	22.0
5.5	23	19.50	96.44	41.69	54.75	1.32	22.82	6.20	22.3
6.0	27	20.93	106.90	46.60	60.31	1.26	25.52	6.20	21.2

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	0.075	0.13	0.18	0.22	1.02	2.93	
1.0	-	-	0.075	0.13	0.18	0.22	1.02	2.93	
1.5	-	-	0.075	0.13	0.18	0.22	1.02	2.93	
2.0	-	-	0.075	0.125	0.16	0.18	1.16	2.4	
2.5	-	-	0.075	0.125	0.16	0.18	1.16	2.4	
3.0	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	SP-SM
3.5	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	
4.0	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	
4.5	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	
5.0	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	
5.5	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	
6.0	-	-	0.08	0.105	0.26	0.33	0.42	4.12	

Figura 5.20 Caractenzación de sitio para S02.03

S03.01
Cordillera del Bálsamo,
La Libertad.

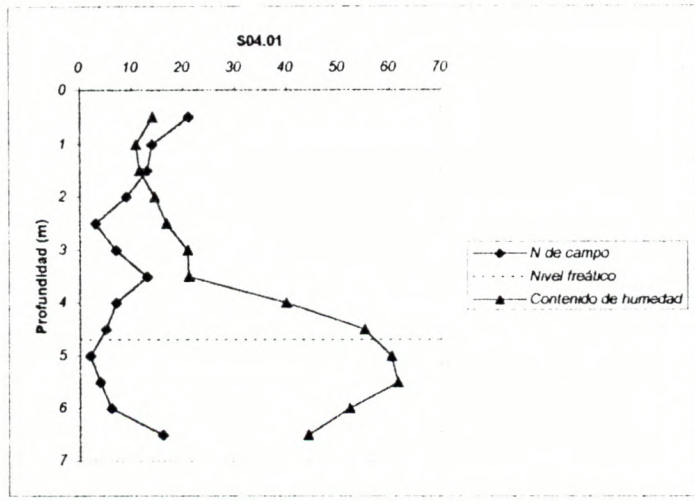


h(m)	N *
0.5	5
1.0	2
1.5	6
2.0	5
2.5	0
3.0	5
3.5	10

** La determinación de la resistencia a la penetración estándar en este sitio fue realizada a partir de la prueba CPT por la misión de reconocimiento japonesa [JSCE; 2001], quienes hicieron la correlación de sus resultados con los valores de N que se muestran.*

Figura 5.21 Caracterización de sitio para S03.01

S04.01 (17/05/01)
Puente ferroviario
San Nicolás Lempa, Usulután.

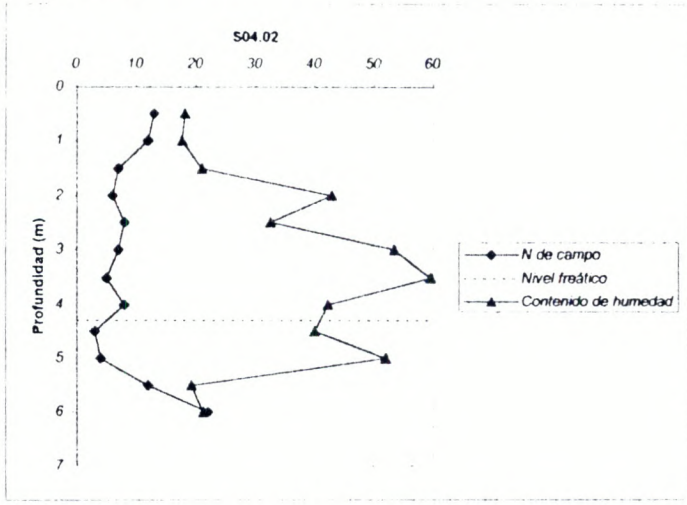


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	21	18.78	9.39	0.00	9.39	3.19	50.30	63.60	14.05
1.0	14	19.62	19.20	0.00	19.20	2.23	23.45	63.60	10.84
1.5	13	19.25	28.83	0.00	28.83	1.82	17.77	63.60	11.59
2.0	9	17.75	37.70	0.00	37.70	1.59	10.76	63.60	14.46
2.5	3	14.00	44.70	0.00	44.70	1.46	3.29	63.60	16.79
3.0	7	17.00	53.20	0.00	53.20	1.34	7.04	63.60	20.83
3.5	13	19.25	62.83	0.00	62.83	1.23	12.04	74.60	21.05
4.0	7	17.00	71.33	0.00	71.33	1.16	6.08	74.60	39.94
4.5	5	16.66	79.66	0.00	79.66	1.10	4.11	91.80	55.14
5.0	2	16.00	87.66	2.94	84.72	1.06	1.60	91.80	60.28
5.5	4	15.33	95.32	7.85	87.47	1.05	3.14	91.80	61.54
6.0	6	18.00	104.32	12.75	91.57	1.02	4.60	91.80	52.17
6.5	16	17.00	112.82	17.65	95.17	1.00	12.04	91.80	44.15

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	39.03	0.15	-	-	-	-	-	-	
1.0	39.03	0.15	-	-	-	-	-	-	
1.5	39.03	0.15	-	-	-	-	-	-	
2.0	39.03	0.15	-	-	-	-	-	-	
2.5	39.03	0.15	-	-	-	-	-	-	
3.0	39.03	0.15	-	-	-	-	-	-	
3.5	44.71	1.52	-	-	-	-	-	-	ML
4.0	44.71	1.52	-	-	-	-	-	-	
4.5	42.47	4.97	-	-	-	-	-	-	
5.0	42.47	4.97	-	-	-	-	-	-	
5.5	42.47	4.97	-	-	-	-	-	-	
6.0	42.47	4.97	-	-	-	-	-	-	
6.5	42.47	4.97	-	-	-	-	-	-	

Figura 5.22 Caracterización de sitio para S04.01

S04.02 (17/05/01)
Puente ferroviario,
San Nicolás Lempa, Usulután.



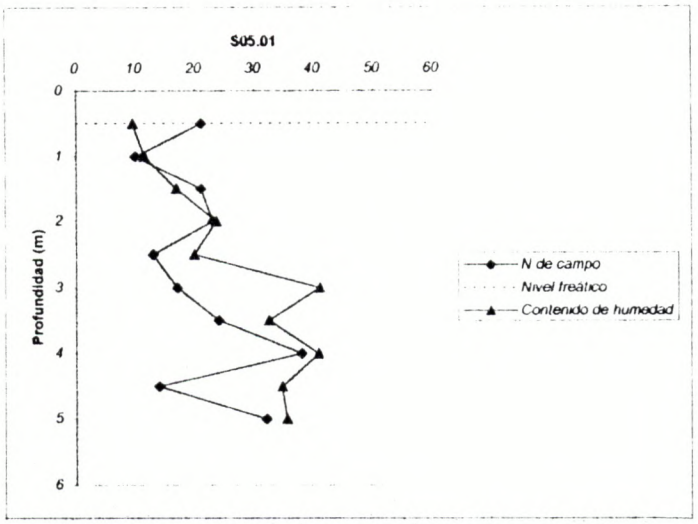
h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	13	19.25	9.63	0.00	9.63	3.15	30.76	56.90	18.2
1.0	12	18.87	19.06	0.00	19.06	2.24	20.18	56.90	17.6
1.5	7	17.00	27.56	0.00	27.56	1.86	9.79	56.90	21.1
2.0	6	18.00	36.56	0.00	36.56	1.62	7.28	56.90	42.9
2.5	8	17.37	45.25	0.00	45.25	1.46	8.73	56.90	32.5
3.0	7	17.00	53.75	0.00	53.75	1.33	7.01	54.40	53.4
3.5	5	16.66	62.08	0.00	62.08	1.24	4.66	54.40	59.6
4.0	8	17.37	70.76	0.00	70.76	1.16	6.98	54.40	42.2
4.5	3	14.00	77.76	1.96	75.80	1.12	2.53	54.40	40.0
5.0	4	15.33	85.43	6.86	78.57	1.10	3.31	54.40	51.9
5.5	12	18.00	94.43	11.77	82.66	1.08	9.69	3.60	19.2
6.0	22	17.26	103.06	16.67	86.39	1.05	17.37	3.60	21.2

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	39.2	8.25	-	-	-	-	-	-	ML
1.0	39.2	8.25	-	-	-	-	-	-	
1.5	39.2	8.25	-	-	-	-	-	-	
2.0	39.2	8.25	-	-	-	-	-	-	
2.5	39.2	8.25	-	-	-	-	-	-	
3.0	40.65	1.26	-	-	-	-	-	-	
3.5	40.65	1.26	-	-	-	-	-	-	
4.0	40.65	1.26	-	-	-	-	-	-	
4.5	40.65	1.26	-	-	-	-	-	-	
5.0	40.65	1.26	-	-	-	-	-	-	
5.5	-	-	0.14	0.36	0.53	0.6	1.54	4.28	SP
6.0	-	-	0.14	0.36	0.53	0.6	1.54	4.28	

Observación: El lazo estaba severamente desgastado

Figura 5.23 Caracterización de sitio para S04.02

S05.01 (18/05/01)
Playa Apulo,
Ilopango, San Salvador.



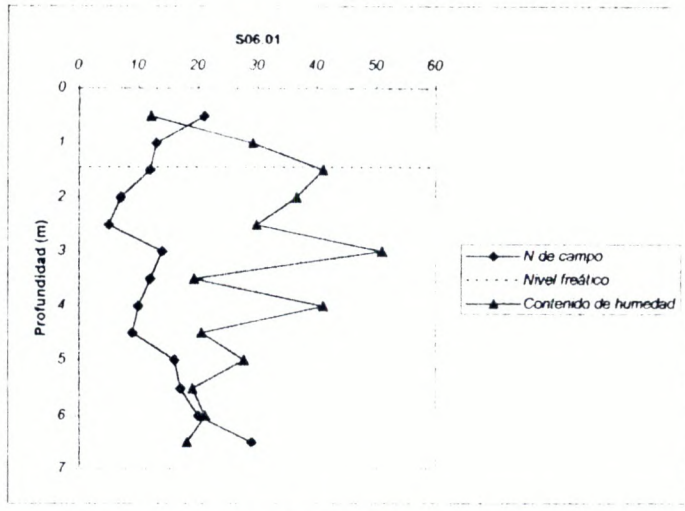
h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	21	18.78	9.39	0.00	9.39	3.19	50.30	10.60	9.5
1.0	10	17.50	18.14	4.91	13.24	2.69	20.18	4.10	11.5
1.5	21	17.00	26.64	9.81	16.83	2.39	37.57	4.10	16.9
2.0	23	17.52	35.40	14.71	20.69	2.15	37.12	4.10	23.5
2.5	13	18.25	44.53	19.62	24.91	1.96	19.12	4.10	19.9
3.0	17	19.25	54.15	24.52	29.63	1.80	22.92	4.10	41.0
3.5	24	17.79	63.05	29.43	33.62	1.69	30.38	3.40	32.4
4.0	38	18.66	72.38	34.33	38.05	1.59	45.22	3.40	40.8
4.5	14	18.50	81.63	39.24	42.39	1.50	15.78	3.40	34.7
5.0	32	19.89	91.57	44.14	47.43	1.42	34.11	3.40	35.5

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	0.075	0.3	0.75	1.8	0.66	24	SP-SM
1.0	-	-	0.15	0.38	0.7	0.95	1.01	6.3	SW
1.5	-	-	0.15	0.38	0.7	0.95	1.01	6.3	
2.0	-	-	0.15	0.38	0.7	0.95	1.01	6.3	
2.5	-	-	0.15	0.38	0.7	0.95	1.01	6.3	
3.0	-	-	0.15	0.38	0.7	0.95	1.01	6.3	
3.5	-	-	0.14	0.34	0.6	0.8	1.03	5.71	SP
4.0	-	-	0.14	0.34	0.6	0.8	1.03	5.71	
4.5	-	-	0.14	0.34	0.6	0.8	1.03	5.71	
5.0	-	-	0.14	0.34	0.6	0.8	1.03	5.71	

Observación: ocurrió derrumbe a una profundidad de 2.5 m

Figura 5.24 Caractenzación de sitio para S05.01

S06.01 (23/05/01)
San Antonio,
Cuscatlán.

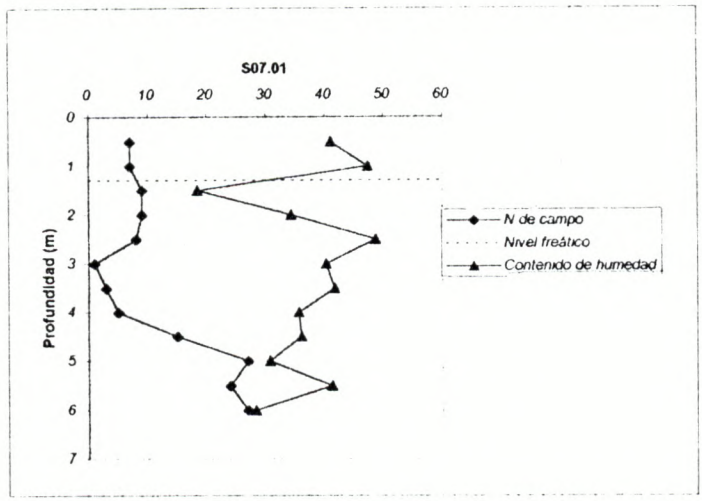


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	21	18.78	9.39	0.00	9.39	3.19	50.30	28.60	12.1
1.0	13	19.25	19.02	0.00	19.02	2.24	21.88	28.60	29.2
1.5	12	18.87	28.45	0.49	27.96	1.85	16.66	19.70	41.1
2.0	7	18.00	37.45	5.39	32.06	1.73	9.07	7.30	36.5
2.5	5	15.33	45.12	10.30	34.82	1.66	6.22	7.30	29.8
3.0	14	19.62	54.93	15.20	39.73	1.55	16.30	27.60	50.9
3.5	12	18.00	63.93	20.11	43.82	1.48	13.31	4.90	19.3
4.0	10	17.50	72.68	25.01	47.67	1.42	10.63	4.90	41.1
4.5	9	17.25	81.30	29.92	51.38	1.37	9.22	4.90	20.6
5.0	16	19.00	90.80	34.82	55.98	1.31	15.70	4.90	27.8
5.5	17	17.35	99.48	39.73	59.75	1.27	16.14	9.30	19.1
6.0	20	18.43	108.69	44.63	64.06	1.22	18.34	9.30	21.2
6.5	29	21.64	119.51	49.54	69.97	1.17	25.45	9.30	18.2

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	-	-	0.25	-	-	-	SM
1.0	-	-	-	-	0.25	-	-	-	
1.5	-	-	-	-	0.5	-	-	-	
2.0	-	-	0.09	0.36	0.75	1.3	1.1	14.44	SW-SM
2.5	-	-	0.09	0.36	0.75	1.3	1.1	14.44	
3.0	-	-	-	-	0.15	-	-	-	SM
3.5	-	-	0.13	0.35	0.7	1	0.94	7.69	SP
4.0	-	-	0.13	0.35	0.7	1	0.94	7.69	
4.5	-	-	0.13	0.35	0.7	1	0.94	7.69	
5.0	-	-	0.13	0.35	0.7	1	0.94	7.69	
5.5	-	-	0.075	0.2	0.43	0.65	0.82	8.66	SP-SM
6.0	-	-	0.075	0.2	0.43	0.65	0.82	8.66	
6.5	-	-	0.075	0.2	0.43	0.65	0.82	8.66	

Figura 5.25 Caracterización de sitio para S06.01

S07.01 (31/05/01)
Costa del Sol,
La Paz.

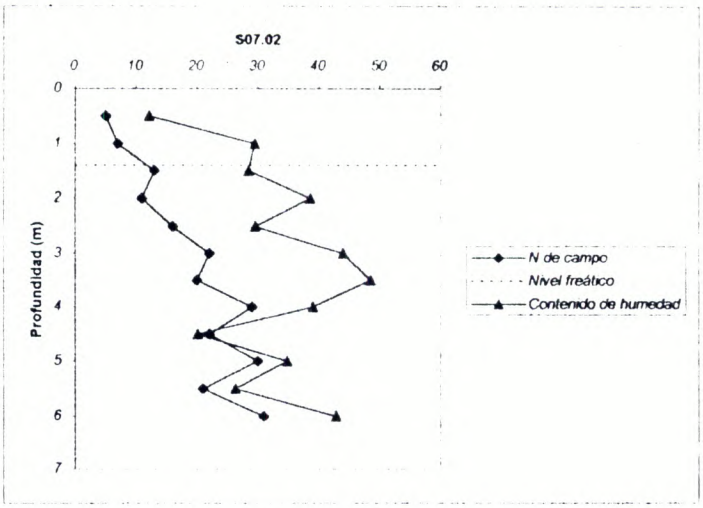


h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	7	17.00	8.50	0.00	8.50	3.36	17.62	50.90	41.0
1.0	7	17.00	17.00	0.00	17.00	2.37	12.46	50.90	47.4
1.5	9	17.25	25.63	1.96	23.67	2.01	13.58	2.40	18.4
2.0	9	17.25	34.25	6.86	27.39	1.87	12.62	2.40	34.3
2.5	8	17.00	42.75	11.77	30.98	1.76	10.55	2.40	48.6
3.0	1	11.00	48.25	16.67	31.58	1.74	1.31	8.30	40.2
3.5	3	14.00	55.25	21.58	33.67	1.69	3.79	8.30	41.7
4.0	5	16.66	63.58	26.48	37.10	1.61	6.03	5.00	35.6
4.5	15	20.00	73.58	31.39	42.19	1.51	16.95	5.00	36.0
5.0	27	20.93	84.05	36.29	47.76	1.42	28.68	5.00	30.7
5.5	24	19.85	93.97	41.20	52.77	1.35	24.25	5.00	41.3
6.0	27	20.93	104.44	46.10	58.34	1.28	25.95	5.00	28.2

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	37.06	1.88	-	-	-	-	-	-	ML
1.0	37.06	1.88	-	-	-	-	-	-	
1.5	-	-	0.15	0.33	0.5	0.6	1.21	4	SP
2.0	-	-	0.15	0.33	0.5	0.6	1.21	4	
2.5	-	-	0.15	0.33	0.5	0.6	1.21	4	
3.0	-	-	0.08	0.15	0.25	0.31	0.9	3.87	SP-SM
3.5	-	-	0.08	0.15	0.25	0.31	0.9	3.87	
4.0	-	-	0.11	0.14	0.35	0.43	0.41	3.9	SP
4.5	-	-	0.11	0.14	0.35	0.43	0.41	3.9	
5.0	-	-	0.11	0.14	0.35	0.43	0.41	3.9	
5.5	-	-	0.11	0.14	0.35	0.43	0.41	3.9	
6.0	-	-	0.11	0.14	0.35	0.43	0.41	3.9	

Figura 5.26 Caracterización de sitio para S07.01

S07.02 (31/05/01)
Costa del Sol,
La Paz.



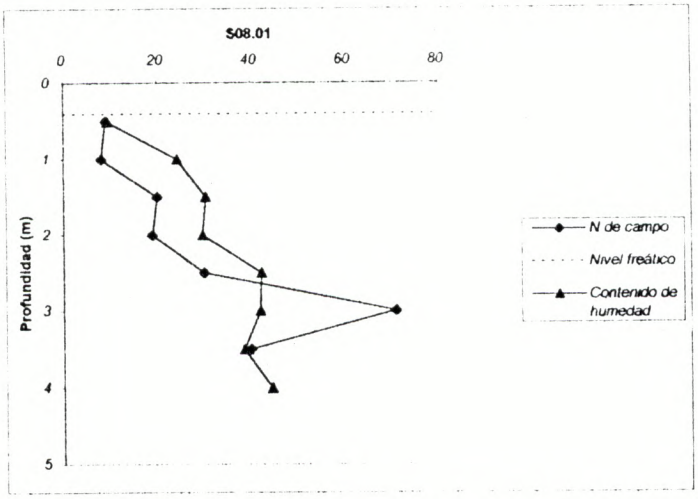
h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	5	16.66	8.33	0.00	8.33	3.39	12.72	3.40	12.1
1.0	7	17.00	16.83	0.00	16.83	2.39	12.52	2.70	29.5
1.5	13	19.25	26.46	0.98	25.48	1.94	18.91	2.70	28.4
2.0	11	18.50	35.71	5.88	29.83	1.79	14.78	2.70	38.6
2.5	16	17.00	44.21	10.79	33.42	1.69	20.32	2.70	29.6
3.0	22	19.14	53.78	15.69	38.09	1.59	26.17	2.70	43.9
3.5	20	18.43	62.99	20.60	42.39	1.50	22.55	2.70	48.5
4.0	29	21.64	73.81	25.50	48.31	1.41	30.63	4.10	39.0
4.5	22	19.14	83.38	30.41	52.97	1.34	22.19	4.10	20.1
5.0	30	22.00	94.38	35.31	59.07	1.27	28.65	4.10	34.8
5.5	21	18.78	103.77	40.22	63.55	1.23	19.34	4.10	26.3
6.0	31	22.00	114.77	45.12	69.65	1.17	27.27	4.10	42.8

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	0.11	0.15	0.21	0.25	0.81	2.27	
1.0	-	-	0.12	0.25	0.32	0.37	1.4	3.08	
1.5	-	-	0.12	0.25	0.32	0.37	1.4	3.08	
2.0	-	-	0.12	0.25	0.32	0.37	1.4	3.08	
2.5	-	-	0.12	0.25	0.32	0.37	1.4	3.08	
3.0	-	-	0.12	0.25	0.32	0.37	1.4	3.08	SP
3.5	-	-	0.12	0.25	0.32	0.37	1.4	3.08	
4.0	-	-	0.11	0.21	0.3	0.35	1.14	3.18	
4.5	-	-	0.11	0.21	0.3	0.35	1.14	3.18	
5.0	-	-	0.11	0.21	0.3	0.35	1.14	3.18	
5.5	-	-	0.11	0.21	0.3	0.35	1.14	3.18	
6.0	-	-	0.11	0.21	0.3	0.35	1.14	3.18	

Observación: ocurrió derrumbe a una profundidad de 2.5 m.

Figura 5.27 Caracterización de sitio para S07.02

S08.01 (05/06/01)
Barrio La Atarraya,
Acajutla, Sonsonate.



h(m)	N	γ (kN/m3)	σ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	Cn	N1(60)	% de finos	w %
0.5	9	17.75	8.88	0.98	7.90	3.48	23.51	2.80	9.3
1.0	8	17.37	17.56	5.88	11.68	2.86	17.18	2.80	24.2
1.5	20	18.43	26.78	10.79	15.99	2.45	36.72	7.30	30.3
2.0	19	18.07	35.81	15.69	20.12	2.18	31.09	7.30	29.6
2.5	30	22.00	46.81	20.60	26.21	1.91	43.01	5.50	42.2
3.0	71	22.00	57.81	25.50	32.31	1.72	91.69	5.50	42.0
3.5	40	22.00	68.81	30.41	38.40	1.58	47.38	5.50	38.5
4.0	*	—	—	—	—	—	—	5.50	44.5

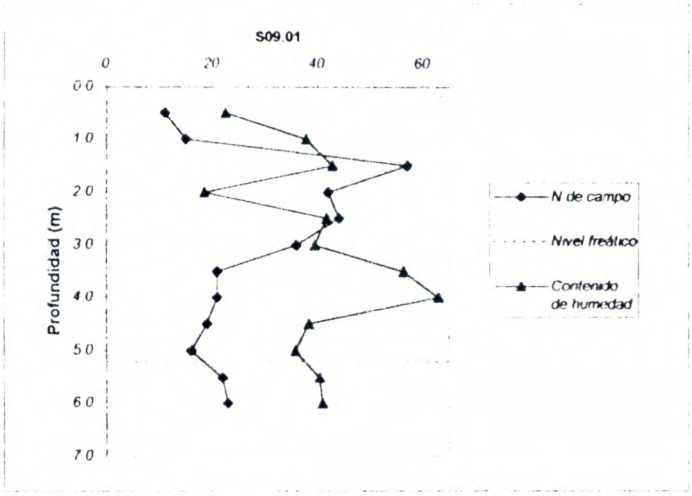
h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	0.12	0.18	0.27	0.32	0.84	2.66	SP
1.0	-	-	0.12	0.18	0.27	0.32	0.84	2.66	
1.5	-	-	0.09	0.17	0.28	0.35	0.91	3.88	SP-SM
2.0	-	-	0.09	0.17	0.28	0.35	0.91	3.88	
2.5	-	-	0.11	0.23	0.35	0.4	1.2	3.63	
3.0	-	-	0.11	0.23	0.35	0.4	1.2	3.63	
3.5	-	-	0.11	0.23	0.35	0.4	1.2	3.63	
4.0	-	-	0.11	0.23	0.35	0.4	1.2	3.63	

* Criterio de rechazo. N >10 sin avance.

Observacion: Ocurrió derrumbe a una profundidad de 1.0 m.

Figura 5.28 Caracterización de sitio para S08.01

S09.01 (13/07/01)
Comunidad Montemar,
San Marcos Lempa, Usulután.

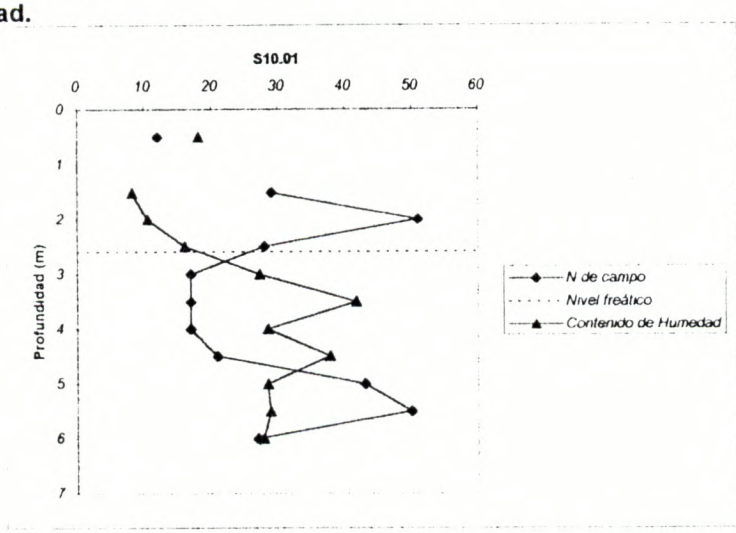


h(m)	N	γ (KN/m3)	σ (KPa)	γw (KPa)	σ' (KPa)	Cn	N160	% de finos	w %
0.5	11	18.50	9.25	0.00	9.25	3.22	26.55	37.30	22.5
1.0	15	20.00	19.25	0.00	19.25	2.23	25.09	55.40	37.8
1.5	57	22.00	30.25	0.00	30.25	1.78	76.07	65.40	42.8
2.0	42	22.00	41.25	0.00	41.25	1.52	48.00	65.40	18.5
2.5	44	22.00	52.25	0.00	52.25	1.35	44.68	65.40	41.7
3.0	36	22.00	63.25	0.00	63.25	1.23	33.23	65.40	39.4
3.5	21	18.78	72.64	0.00	72.64	1.15	18.09	65.40	56.4
4.0	21	18.78	82.03	0.00	82.03	1.08	17.02	65.40	63.0
4.5	19	18.07	91.07	0.00	91.07	1.03	14.61	65.40	38.3
5.0	16	17.00	99.57	0.00	99.57	0.98	11.77	60.00	35.8
5.5	22	19.14	109.14	2.94	106.20	0.95	15.67	60.00	40.4
6.0	23	19.50	118.89	7.85	111.04	0.93	16.02	60.00	40.9

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	-	-	0.09	-	-	-	SM
1.0	43.40	3.40	-	-	-	-	-	-	ML
1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	ML
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
5.0	39.7	20.35	-	-	-	-	-	-	
5.5	39.7	20.35	-	-	-	-	-	-	CL
6.0	39.7	20.35	-	-	-	-	-	-	

Figura 5.29 Caracterización de sitio para S09.01

S10.01 (24/07/01)
Playa Conchalío,
La Libertad.



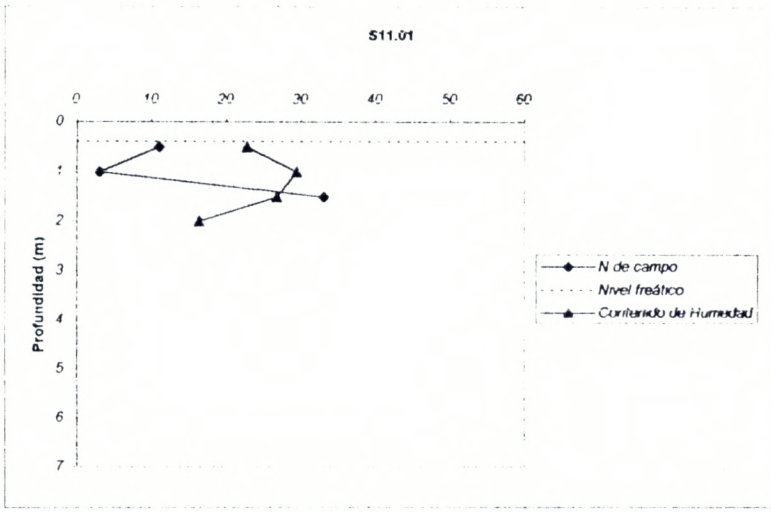
h(m)	N	γ (KN/m3)	σ (KPa)	γw (KPa)	σ' (KPa)	Cn	N160	% de finos	w %
0.5	12	18.87	9.44	0.00	9.44	3.19	28.68	20.70	18.1
1.0	*	22.00	20.44	0.00	20.44	2.17	--	20.70	---
1.5	29	21.64	31.26	0.00	31.26	1.75	38.08	2.80	8.2
2.0	51	22.00	42.26	0.00	42.26	1.51	57.59	4.00	10.5
2.5	28	21.28	52.90	0.00	52.90	1.35	28.26	4.00	16.1
3.0	17	18.40	62.10	3.92	58.18	1.28	16.36	5.70	27.3
3.5	17	19.25	71.72	8.83	62.89	1.23	15.74	5.50	41.7
4.0	17	19.25	81.35	13.73	67.62	1.19	15.18	5.50	28.5
4.5	21	17.00	89.85	18.64	71.21	1.16	18.27	5.50	37.8
5.0	43	23.00	101.35	23.54	77.81	1.11	35.78	5.50	28.4
5.5	50	23.00	112.85	28.45	84.40	1.07	39.95	5.50	28.8
6.0	27	18.58	122.14	33.35	88.79	1.04	21.03	3.00	27.8

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	-	-	0.15	-	-	-	SM
1.0	-	-	-	-	0.15	-	-	-	
1.5	-	-	0.09	0.13	0.16	0.18	0.96	2.00	SP
2.0	-	-	0.11	0.16	0.25	0.30	0.77	2.73	
2.5	-	-	0.11	0.16	0.25	0.30	0.77	2.73	
3.0	-	-	0.15	0.95	2.70	3.70	1.62	24.00	SW-SM
3.5	-	-	0.13	0.40	0.95	1.40	0.89	10.70	SP-SM
4.0	-	-	0.13	0.40	0.95	1.40	0.89	10.70	
4.5	-	-	0.13	0.40	0.95	1.40	0.89	10.70	
5.0	-	-	0.13	0.40	0.95	1.40	0.89	10.70	
5.5	-	-	0.13	0.40	0.95	1.40	0.89	10.70	
6.0	-	-	0.15	0.50	1.30	1.70	0.98	11.30	SW

* Se usó punta para romper piedra y avanzar

Figura 5.30 Caracterización de sitio para S10.01

S11.01 (31/08/01)
Puerto de Cutuco,
La Unión.



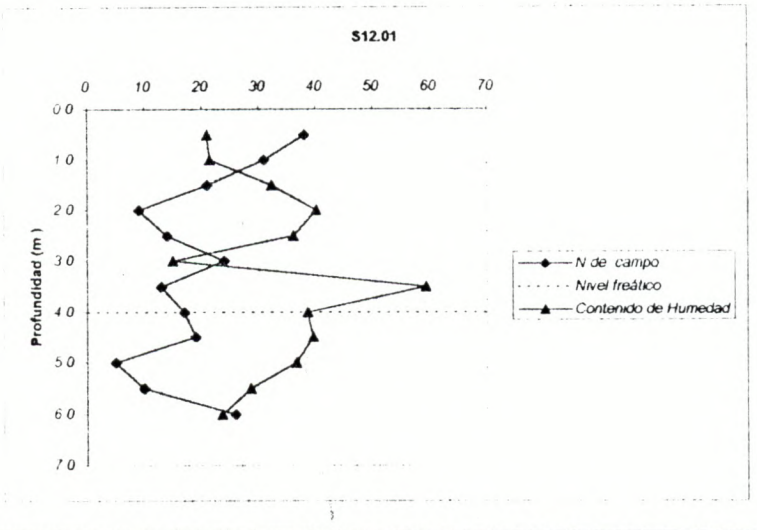
h(m)	N	γ (KN/m3)	σ (KPa)	γw (KPa)	σ' (KPa)	Cn	N160	% de finos	w %
0.5	11	17.75	8.88	0.98	7.89	3.48	28.74	3.80	22.7
1.0	3	16.60	26.05	5.89	20.16	2.18	4.90	3.80	29.4
1.5	33	20.00	36.05	10.79	25.26	1.95	48.20	9.80	26.7
2.0	*	---	---	---	---	---	---	---	16.4

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	---	---	0.19	0.84	2.5	4.76	0.78	25.1	SP
1.0	---	---	0.19	0.84	2.5	4.76	0.78	25.1	
1.5	---	---	0.08	0.34	0.95	1.80	0.86	24.00	SP-SM
2.0	---	---	0.08	0.34	0.95	1.80	0.86	24.00	

* Criterio de rechazo: 100 golpes en más de 30 cm

Figura 5.31 Caracterización de sitio para S11.01

S12.01 (03/09/01)
Aeropuerto de Comalapa,
La Paz.



h(m)	N	γ (KN/m3)	σ (KPa)	γw (KPa)	σ' (KPa)	Cn	N160	% de finos	w %
0.5	38	22.00	11.00	0.00	11.00	2.95	84.10	37.80	20.9
1.0	31	22.00	22.00	0.00	22.00	2.09	48.51	37.80	21.5
1.5	21	18.78	31.39	0.00	31.39	1.75	27.51	37.80	32.3
2.0	9	17.75	40.27	0.00	40.27	1.54	10.41	50.50	40.1
2.5	14	19.62	50.08	0.00	50.08	1.38	14.52	50.50	36.1
3.0	24	19.85	60.00	0.00	60.00	1.26	22.74	9.70	15.0
3.5	13	19.25	69.63	0.00	69.63	1.17	11.44	11.20	59.3
4.0	17	17.36	78.31	0.00	78.31	1.11	14.10	11.20	38.6
4.5	19	18.07	87.34	4.91	82.44	1.08	15.36	11.20	39.5
5.0	5	16.66	95.67	9.81	85.86	1.06	3.96	11.20	36.6
5.5	10	18.12	104.73	14.72	90.02	1.03	7.74	11.20	28.6
6.0	26	20.57	115.02	19.62	95.40	1.00	19.54	7.40	23.6

h(m)	LL	IP	D10	D30	D50	D60	Cc	Cu	Clasificación
0.5	-	-	-	-	0.15	---	---	---	SM
1.0	-	-	-	-	0.15	---	---	---	
1.5	-	-	-	-	0.15	---	---	---	
2.0	-	-	-	-	0.08	---	---	---	ML
2.5	-	-	-	-	0.08	---	---	---	
3.0	-	-	0.08	0.14	0.21	0.27	0.97	3.60	SP-SM
3.5	-	-	0.08	0.13	0.20	0.25	0.90	3.33	SP-SM
4.0	-	-	0.08	0.13	0.20	0.25	0.90	3.33	
4.5	-	-	0.08	0.13	0.20	0.25	0.90	3.33	
5.0	-	-	0.08	0.13	0.20	0.25	0.90	3.33	
5.5	-	-	0.08	0.13	0.20	0.25	0.90	3.33	
6.0	-	-	0.09	0.17	0.30	0.37	0.92	4.35	SP-SM

Observación: El lazo estaba severamente desgastado.

Figura 5.32 Caracterización de sitio para S12.01

5.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SEED

A continuación se presenta el método de Seed mostrado en el numeral 3.4.2, aplicado a los sitios seleccionados correspondientes a los terremotos del 13 de enero y del 13 de febrero.

S01.01

San Antonio Potrerillos,

San Marcos Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR8.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (8.6)	τo (8.6)	FS (8.6)
0.50	54.07	53.60	---	---	---	---	1.63	---	---	0.75	---
1.00	18.52	53.60	0.20	0.20	0.23	3.72	3.15	1.18	4.44	1.45	3.06
1.50	9.80	53.60	0.11	0.11	0.13	2.96	4.56	0.65	3.53	2.10	1.69
2.00	4.95	53.60	0.07	0.07	0.08	2.41	5.83	0.41	2.88	2.68	1.07
2.50	8.87	51.40	0.09	0.09	0.11	3.87	7.20	0.54	4.61	3.31	1.39
3.00	13.69	59.60	0.17	0.17	0.20	8.09	8.78	0.92	9.65	4.04	2.39
3.50	4.10	74.80	0.06	0.06	0.07	3.02	10.04	0.30	3.60	4.62	0.78
4.00	3.99	9.40	0.06	0.06	0.07	3.18	11.18	0.28	3.79	5.14	0.74
4.50	14.31	10.10	0.17	0.17	0.20	9.86	12.81	0.77	11.75	5.89	2.00
5.00	14.71	34.70	0.18	0.18	0.21	11.25	14.35	0.78	13.41	6.60	2.03
5.50	22.27	34.70	0.27	0.26	0.32	17.97	15.66	1.15	21.41	7.20	2.98

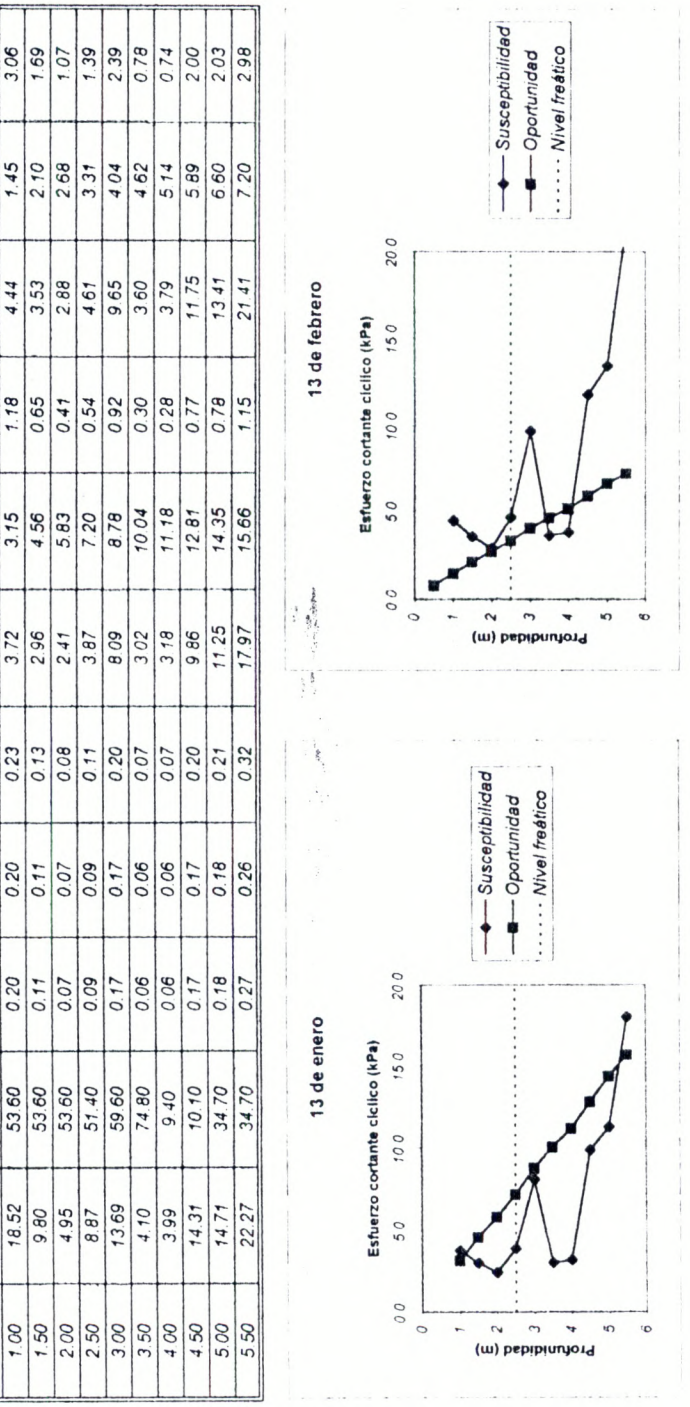
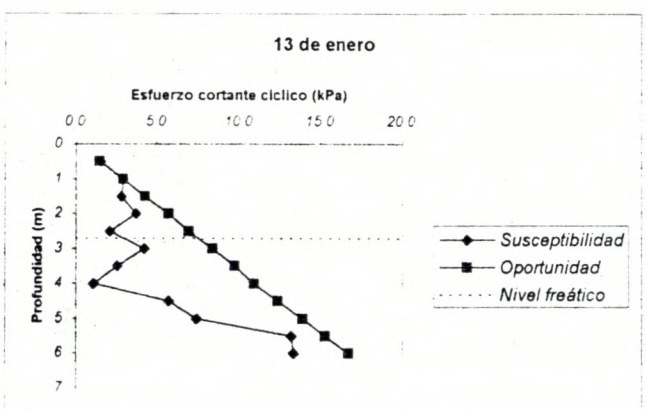


Figura 5.33 Aplicación del método de Seed para S01.01

S01.02

San Antonio Potrerillos,
San Marcos Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	$CSR_{7.5}$	$CSR_{7.7}$	$CSR_{6.6}$	τ_s (7.7)	τ_o (7.7)	FS (7.7)	τ_s (6.6)	τ_o (6.6)	FS (6.6)
0.50	17.62	62.00	0.18	0.18	0.21	1.50	1.42	1.05	1.79	0.65	2.73
1.00	15.85	62.00	0.17	0.17	0.20	2.89	2.88	1.00	3.45	1.32	2.60
1.50	10.10	62.00	0.11	0.11	0.13	2.79	4.29	0.65	3.32	1.97	1.69
2.00	9.99	62.00	0.11	0.11	0.13	3.73	5.73	0.65	4.44	2.64	1.69
2.50	4.52	62.00	0.05	0.05	0.06	2.07	6.93	0.30	2.47	3.19	0.77
3.00	8.48	64.80	0.09	0.09	0.11	4.23	8.36	0.51	5.04	3.84	1.31
3.50	5.12	51.60	0.05	0.05	0.06	2.52	9.73	0.26	3.00	4.47	0.67
4.00	1.99	51.60	0.02	0.02	0.02	1.07	10.93	0.10	1.27	5.02	0.25
4.50	8.64	25.40	0.10	0.10	0.12	5.73	12.37	0.46	6.83	5.69	1.20
5.00	11.10	5.00	0.12	0.12	0.14	7.41	13.90	0.53	8.83	6.39	1.38
5.50	17.90	5.00	0.20	0.20	0.23	13.19	15.24	0.87	15.72	7.01	2.24
6.00	17.35	5.00	0.19	0.19	0.22	13.33	16.72	0.80	15.89	7.69	2.07



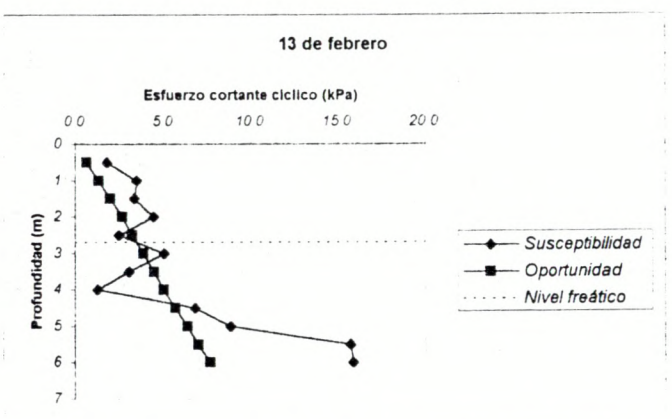


Figura 5.34 Aplicación del método de Seed para S01.02

S02.01

Comunidad Babilonia,
San Marcos Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	19.93	7.60	0.23	0.23	0.27	1.96	1.46	1.35	2.33	0.66	3.53
1.00	15.76	3.40	0.18	0.18	0.21	3.10	2.91	1.06	3.69	1.32	2.79
1.50	13.92	4.80	0.17	0.17	0.20	3.75	4.39	0.86	4.47	1.99	2.25
2.00	11.45	4.80	0.11	0.11	0.13	2.83	5.83	0.49	3.38	2.64	1.28
2.50	15.87	6.50	0.18	0.18	0.21	5.44	7.32	0.74	6.48	3.32	1.95
3.00	24.77	6.50	0.29	0.28	0.34	9.98	8.83	1.13	11.90	4.01	2.97
3.50	18.87	6.50	0.22	0.22	0.26	8.35	10.23	0.82	9.95	4.64	2.14
4.00	10.11	6.50	0.11	0.11	0.13	4.60	11.56	0.40	5.49	5.25	1.05
4.50	11.77	6.50	0.12	0.12	0.14	5.53	13.07	0.42	6.59	5.93	1.11
5.00	12.27	6.50	0.13	0.13	0.15	6.57	14.60	0.45	7.83	6.63	1.18
5.50	11.76	6.50	0.12	0.12	0.14	6.60	15.97	0.41	7.86	7.25	1.08
6.00	12.24	6.50	0.13	0.13	0.15	7.75	17.52	0.44	9.23	7.95	1.16

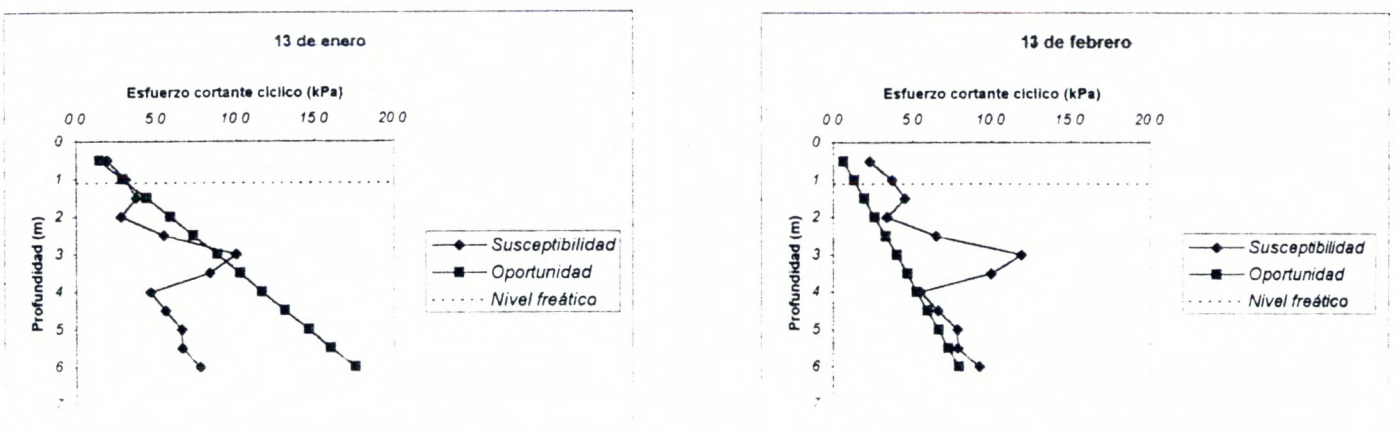


Figura 5.35 Aplicación del método de Seed para S02.01

S02.02

Comunidad Babilonia,
San Marcos Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	10.61	67.10	0.11	0.11	0.13	0.83	1.28	0.64	0.98	0.58	1.69
1.00	3.83	67.10	0.03	0.03	0.04	0.43	2.60	0.17	0.51	1.18	0.44
1.50	5.37	24.70	0.06	0.06	0.07	0.99	3.76	0.26	1.18	1.71	0.69
2.00	3.29	24.70	0.03	0.03	0.04	0.58	5.09	0.11	0.70	2.31	0.30
2.50	10.60	4.80	0.11	0.11	0.13	2.53	6.43	0.39	3.02	2.92	1.03
3.00	15.31	4.80	0.17	0.17	0.20	4.63	7.95	0.58	5.52	3.61	1.53
3.50	9.17	4.80	0.11	0.11	0.13	3.39	9.35	0.36	4.04	4.24	0.95
4.00	6.22	4.80	0.07	0.07	0.08	2.39	10.61	0.23	2.85	4.81	0.59
4.50	2.38	4.80	0.02	0.02	0.02	0.74	11.91	0.06	0.89	5.40	0.16
5.00	7.97	4.80	0.09	0.09	0.11	3.66	13.29	0.28	4.37	6.03	0.72
5.50	16.12	4.80	0.18	0.18	0.21	8.22	14.76	0.56	9.80	6.70	1.46
6.00	20.57	4.80	0.23	0.23	0.27	11.48	16.24	0.71	13.68	7.37	1.86

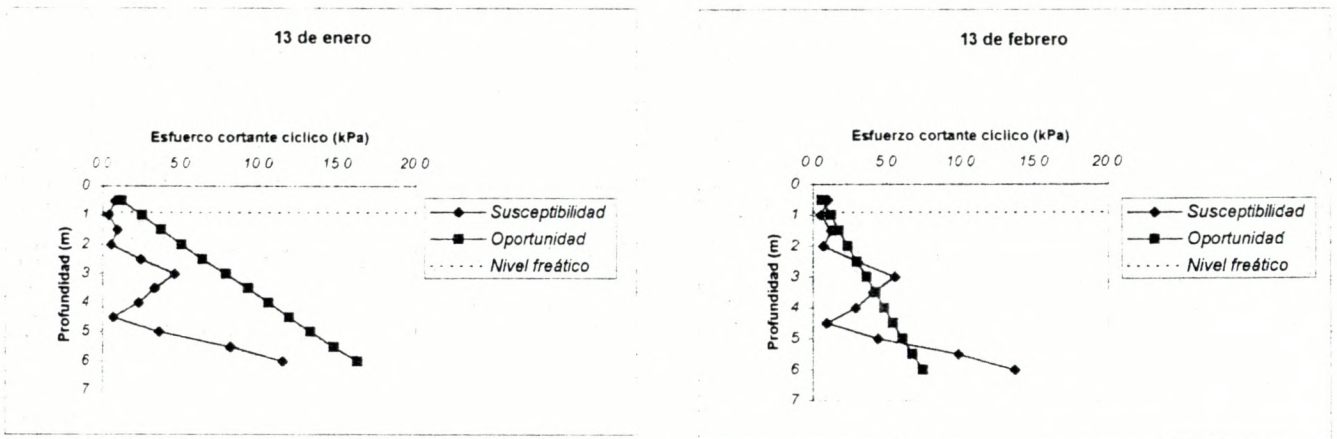
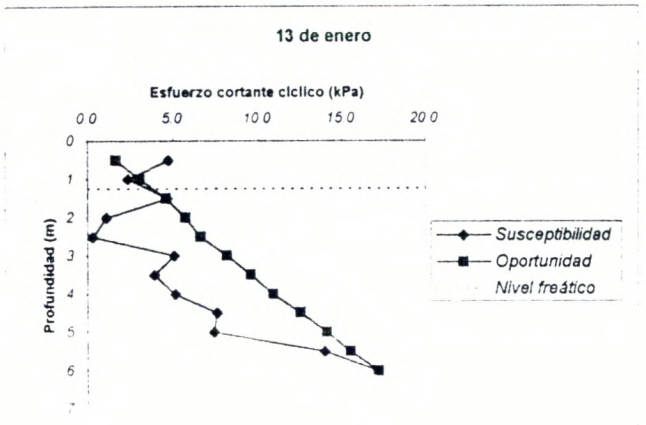


Figura 5.36 Aplicación del método de Seed para S02.02

S02.03

Comunidad Babilonia,
San Marcos Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (5.6)	τo (6.6)	FS (5.6)
0.50	30.76	10.00	0.50	0.49	0.58	4.72	1.61	2.92	5.62	0.73	7.68
1.00	12.07	10.00	0.13	0.13	0.15	2.31	3.01	0.77	2.75	1.36	2.02
1.50	17.58	10.00	0.19	0.19	0.22	4.68	4.57	1.02	5.57	2.08	2.69
2.00	4.22	10.00	0.04	0.04	0.05	1.07	5.73	0.19	1.27	2.60	0.49
2.50	1.39	10.00	0.01	0.01	0.01	0.27	6.58	0.04	0.32	2.99	0.11
3.00	14.24	6.20	0.16	0.16	0.19	5.04	8.10	0.62	6.01	3.68	1.63
3.50	9.80	6.20	0.11	0.11	0.13	3.87	9.52	0.41	4.62	4.32	1.07
4.00	11.59	6.20	0.13	0.13	0.15	5.11	10.90	0.47	6.09	4.95	1.23
4.50	16.38	6.20	0.17	0.17	0.20	7.53	12.53	0.60	8.97	5.69	1.58
5.00	13.51	6.20	0.15	0.15	0.18	7.34	14.09	0.52	8.74	6.40	1.37
5.50	22.82	6.20	0.26	0.25	0.30	13.95	15.51	0.90	16.63	7.04	2.36
6.00	25.52	6.20	0.29	0.28	0.34	17.14	17.20	1.00	20.43	7.81	2.62



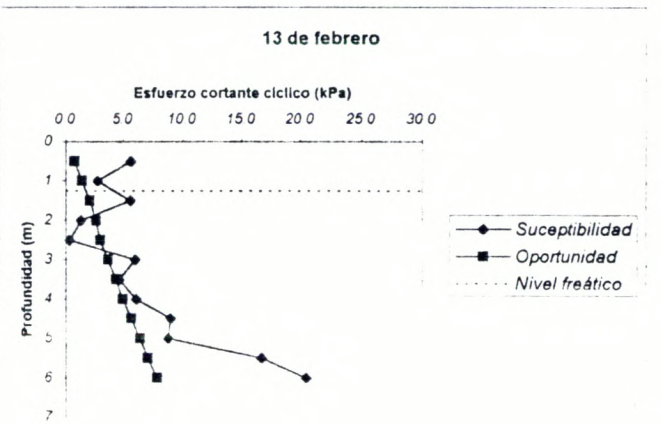


Figura 5.37 Aplicación del método de Seed para S02.03

S04.01

Puente ferroviario

San Nicolás Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	$CSR_{7.5}$	$CSR_{7.7}$	$CSR_{6.6}$	τ_s (7.7)	τ_o (7.7)	FS (7.7)	τ_s (6.6)	τ_o (6.6)	FS (6.6)
0.50	50.30	63.60	--	--	--	---	1.46	---	---	0.95	---
1.00	23.45	63.60	0.28	0.27	0.33	5.27	2.95	1.79	6.28	1.93	3.25
1.50	17.77	63.60	0.20	0.20	0.23	5.65	4.42	1.28	6.73	2.90	2.32
2.00	10.76	63.60	0.11	0.11	0.13	4.06	5.79	0.70	4.84	3.79	1.28
2.50	3.29	63.60	0.03	0.03	0.04	1.31	6.79	0.19	1.57	4.45	0.35
3.00	7.04	63.60	0.08	0.08	0.09	4.17	8.08	0.52	4.97	5.30	0.94
3.50	12.04	74.60	0.13	0.13	0.15	8.00	9.55	0.84	9.54	6.26	1.52
4.00	6.08	74.60	0.07	0.07	0.08	4.89	10.73	0.46	5.83	7.03	0.83
4.50	4.11	91.80	0.04	0.04	0.05	3.12	11.98	0.26	3.72	7.85	0.47
5.00	1.60	91.80	0.01	0.01	0.01	0.83	13.18	0.06	0.99	8.64	0.11
5.50	3.14	91.80	0.03	0.03	0.04	2.57	14.19	0.18	3.06	9.30	0.33
6.00	4.60	91.80	0.05	0.05	0.06	4.49	15.53	0.29	5.35	10.18	0.53
6.50	12.04	91.80	0.13	0.13	0.15	12.12	16.79	0.72	14.45	11.01	1.31

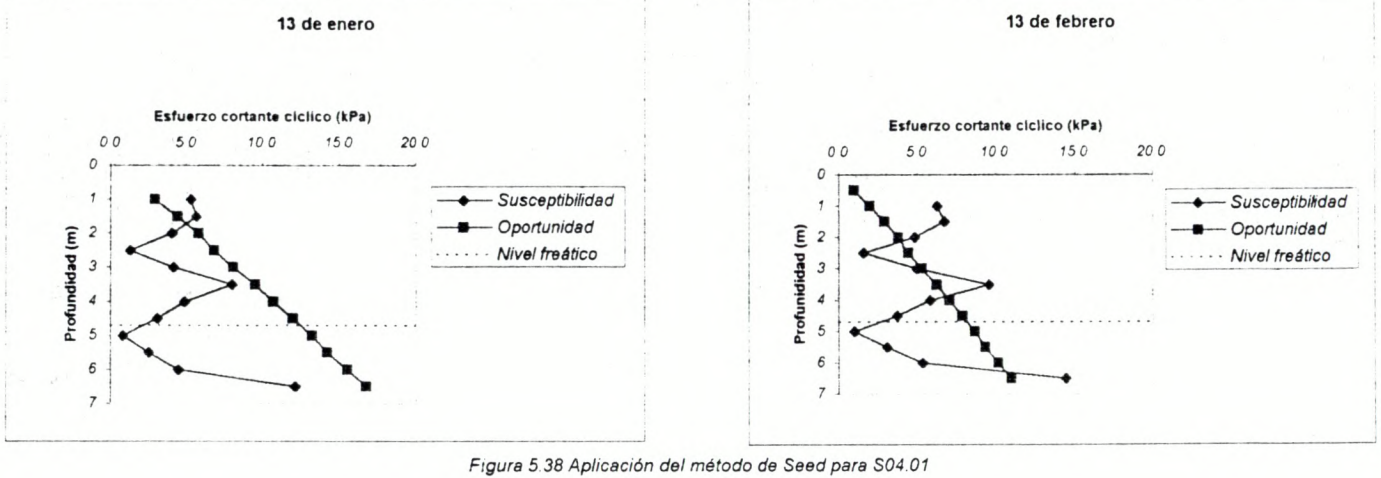


Figura 5.38 Aplicación del método de Seed para S04.01

S04.02

Puente ferroviario
San Nicolás Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	30.76	56.90	0.50	0.49	0.58	4.72	1.49	3.16	5.62	0.98	5.75
1.00	20.18	56.90	0.23	0.23	0.27	4.30	2.93	1.47	5.12	1.92	2.67
1.50	9.79	56.90	0.11	0.11	0.13	2.97	4.23	0.70	3.54	2.77	1.28
2.00	7.28	56.90	0.08	0.08	0.09	2.87	5.61	0.51	3.42	3.68	0.93
2.50	8.73	56.90	0.10	0.10	0.12	4.43	6.87	0.64	5.28	4.51	1.17
3.00	7.01	54.40	0.08	0.08	0.09	4.21	8.17	0.52	5.02	5.35	0.94
3.50	4.66	54.40	0.05	0.05	0.06	3.04	9.43	0.32	3.63	6.18	0.59
4.00	6.98	54.40	0.08	0.08	0.09	5.55	10.64	0.52	6.61	6.98	0.95
4.50	2.53	54.40	0.03	0.03	0.04	2.23	11.69	0.19	2.66	7.67	0.35
5.00	3.31	54.40	0.03	0.03	0.04	2.31	12.85	0.18	2.75	8.42	0.33
5.50	9.69	3.60	0.11	0.11	0.13	8.91	14.05	0.63	10.62	9.21	1.15
6.00	17.37	3.60	0.19	0.19	0.22	16.08	15.34	1.05	19.17	10.06	1.91

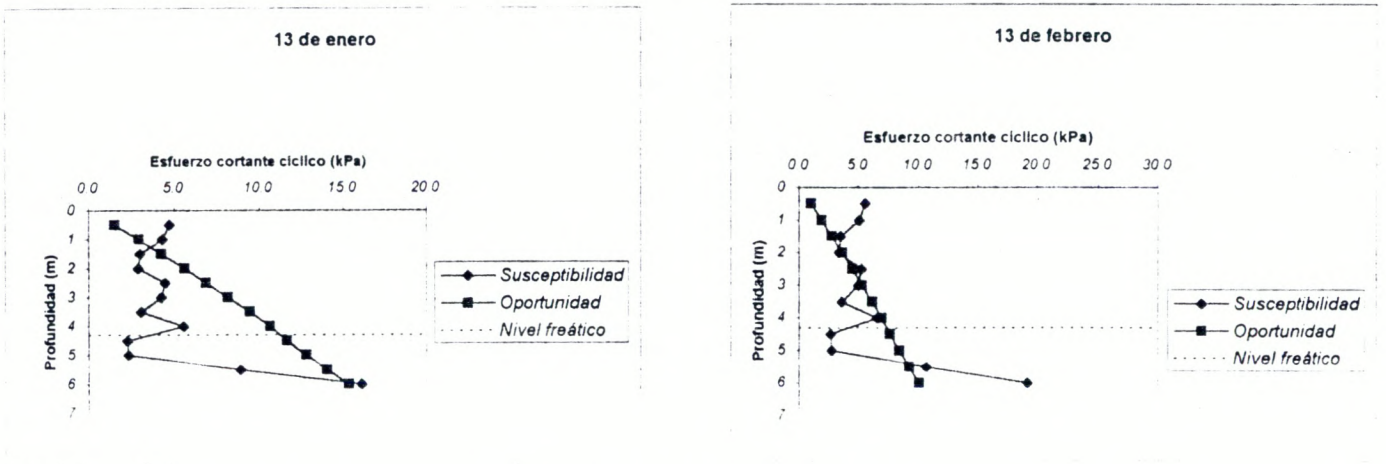
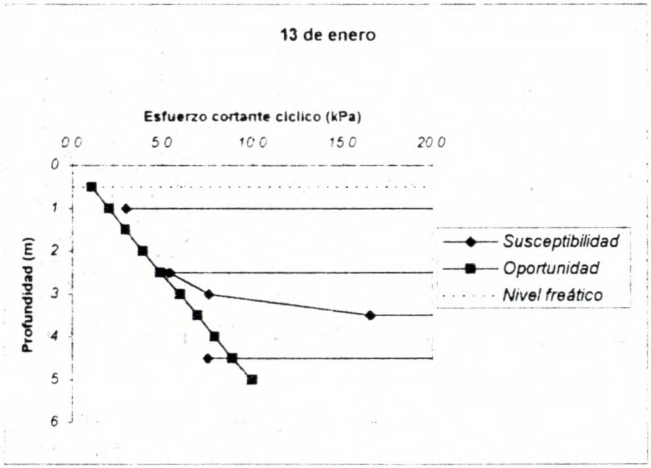


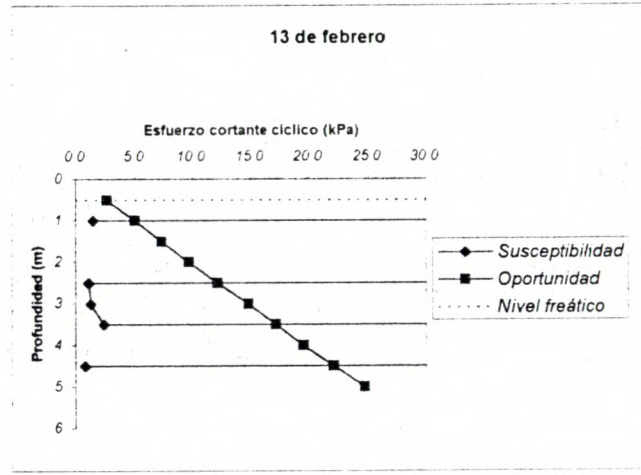
Figura 5.39 Aplicación del método de Seed para S04.02

S05.01

Playa Apulo,
Ilopango, San Salvador.

h (m)	N160	% de finos	$CSR_{7.5}$	$CSR_{7.7}$	$CSR_{6.6}$	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	50.30	10.60	---	---	---	---	1.05	---	---	2.61	---
1.00	20.18	4.10	0.23	0.23	0.27	2.98	2.01	1.48	3.56	4.99	0.71
1.50	37.57	4.10	---	---	---	---	2.95	---	---	7.33	---
2.00	37.12	4.10	---	---	---	---	3.93	---	---	9.75	---
2.50	19.12	4.10	0.22	0.22	0.26	5.37	4.89	1.10	6.40	12.13	0.53
3.00	22.92	4.10	0.26	0.25	0.30	7.55	5.95	1.27	9.00	14.76	0.61
3.50	30.38	3.40	0.50	0.49	0.58	16.47	6.92	2.38	19.63	17.18	1.14
4.00	45.22	3.40	---	---	---	---	7.86	---	---	19.52	---
4.50	15.78	3.40	0.18	0.18	0.21	7.48	8.87	0.84	8.91	22.02	0.40
5.00	34.11	3.40	---	--	---	---	9.95	---	---	24.70	---





NOTA: Las líneas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1(60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

Figura 5.40 Aplicación del método de Seed para S05.01

S06.01

San Antonio,
Cuscatlán.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	50.30	28.60	---	---	---	---	1.12	---	---	5.03	---
1.00	21.88	28.60	0.26	0.25	0.30	4.85	2.24	2.16	5.77	10.09	0.57
1.50	16.66	19.70	0.18	0.18	0.21	4.93	3.36	1.47	5.88	15.09	0.39
2.00	9.07	7.30	0.11	0.11	0.13	3.46	4.42	0.78	4.12	19.87	0.21
2.50	6.22	7.30	0.07	0.07	0.08	2.39	5.27	0.45	2.85	23.69	0.12
3.00	16.30	27.60	0.18	0.18	0.21	7.01	6.41	1.09	8.35	28.84	0.29
3.50	13.31	4.90	0.15	0.15	0.18	6.44	7.46	0.86	7.68	33.57	0.23
4.00	10.63	4.90	0.11	0.11	0.13	5.14	8.40	0.61	6.12	37.77	0.16
4.50	9.22	4.90	0.11	0.11	0.13	5.54	9.40	0.59	6.60	42.25	0.16
5.00	15.70	4.90	0.17	0.17	0.20	9.33	10.49	0.89	11.12	47.19	0.24
5.50	16.14	9.30	0.18	0.18	0.21	10.54	11.38	0.93	12.56	51.17	0.25
6.00	18.34	9.30	0.20	0.20	0.23	12.56	12.43	1.01	14.96	55.91	0.27
6.50	25.45	9.30	0.29	0.28	0.34	19.89	13.67	1.45	23.70	61.47	0.39

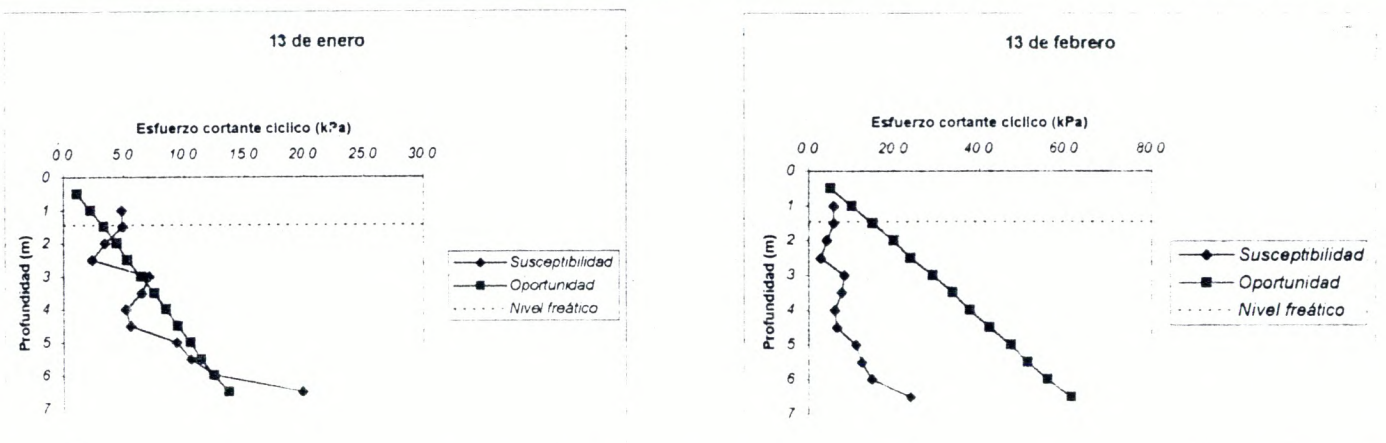


Figura 5.41 Aplicación del metodo de Seed para S06.01

S07.01

Costa del Sol,
La Paz.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	17.62	50.90	0.20	0.20	0.23	1.67	1.23	1.36	1.99	0.83	2.39
1.00	12.46	50.90	0.13	0.13	0.15	2.17	2.43	0.89	2.58	1.64	1.57
1.50	13.58	2.40	0.15	0.15	0.18	3.48	3.67	0.95	4.15	2.48	1.67
2.00	12.62	2.40	0.13	0.13	0.15	3.49	4.90	0.71	4.16	3.31	1.26
2.50	10.55	2.40	0.11	0.11	0.13	3.34	6.06	0.55	3.98	4.09	0.97
3.00	1.31	8.30	0.01	0.01	0.01	0.31	6.84	0.05	0.37	4.62	0.08
3.50	3.79	8.30	0.04	0.04	0.05	1.32	7.83	0.17	1.57	5.29	0.30
4.00	6.03	5.00	0.07	0.07	0.08	2.55	8.92	0.29	3.03	6.02	0.50
4.50	16.95	5.00	0.18	0.18	0.21	7.44	10.32	0.72	8.87	6.97	1.27
5.00	28.68	5.00	0.40	0.39	0.47	18.72	11.79	1.59	22.31	7.96	2.80
5.50	24.25	5.00	0.29	0.28	0.34	15.00	13.04	1.15	17.87	8.81	2.03
6.00	25.95	5.00	0.30	0.29	0.35	17.15	14.50	1.18	20.44	9.79	2.09

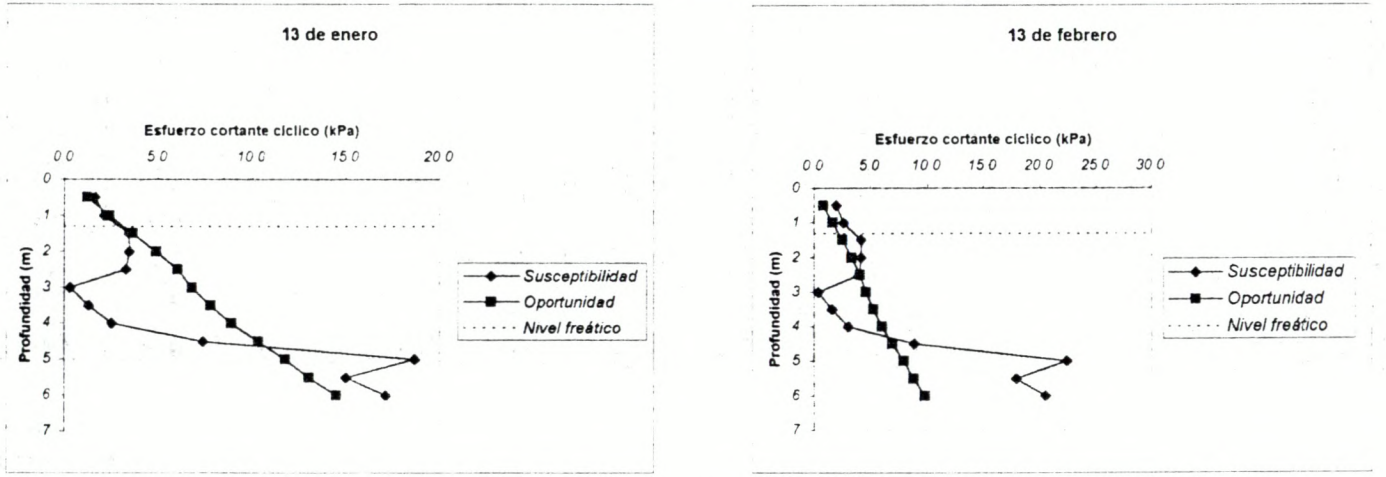


Figura 5.42 Aplicación del método de Seed para S07.01

S07.02

Costa del Sol,
La Paz.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	12.72	3.40	0.13	0.13	0.15	1.06	1.30	0.82	1.26	0.72	1.75
1.00	12.52	2.70	0.13	0.13	0.15	2.14	2.60	0.83	2.56	1.45	1.77
1.50	18.91	2.70	0.22	0.22	0.26	5.49	4.08	1.35	6.55	2.27	2.88
2.00	14.78	2.70	0.17	0.17	0.20	4.97	5.51	0.90	5.92	3.07	1.93
2.50	20.32	2.70	0.23	0.23	0.27	7.53	6.75	1.12	8.98	3.76	2.39
3.00	26.17	2.70	0.29	0.28	0.34	10.82	8.21	1.32	12.90	4.58	2.82
3.50	22.55	2.70	0.24	0.24	0.28	9.97	9.62	1.04	11.88	5.36	2.22
4.00	30.63	4.10	0.50	0.49	0.58	23.67	11.16	2.12	28.21	6.22	4.54
4.50	22.19	4.10	0.24	0.24	0.28	12.46	12.60	0.99	14.85	7.02	2.11
5.00	28.65	4.10	0.40	0.39	0.47	23.16	14.26	1.62	27.60	7.95	3.47
5.50	19.34	4.10	0.22	0.22	0.26	13.70	15.52	0.88	16.33	8.65	1.89
6.00	27.27	4.10	0.32	0.31	0.37	21.84	17.17	1.27	26.03	9.57	2.72

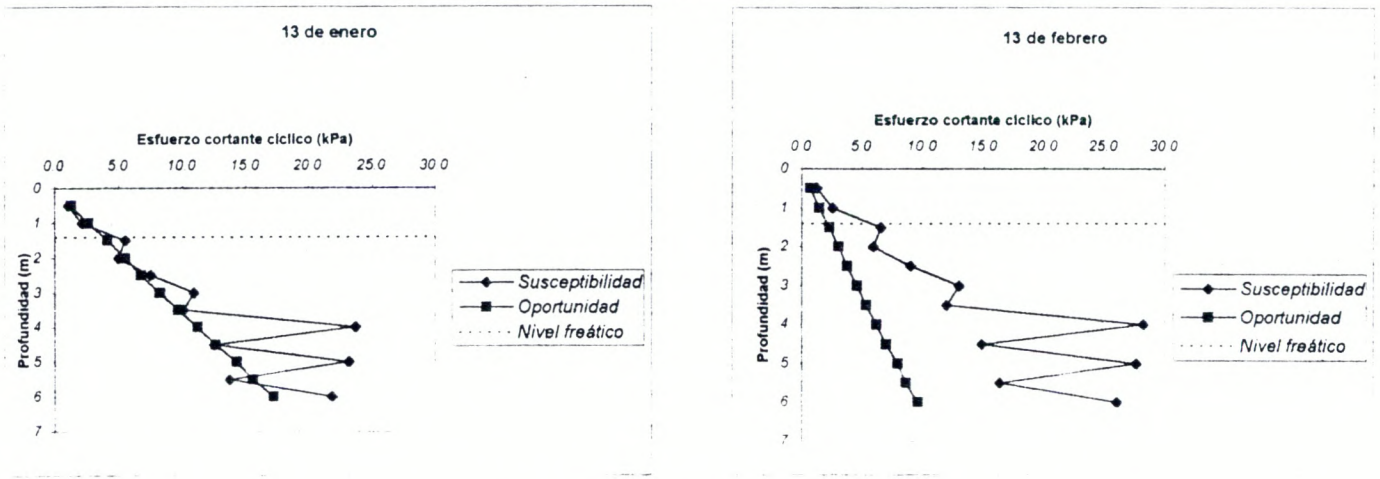
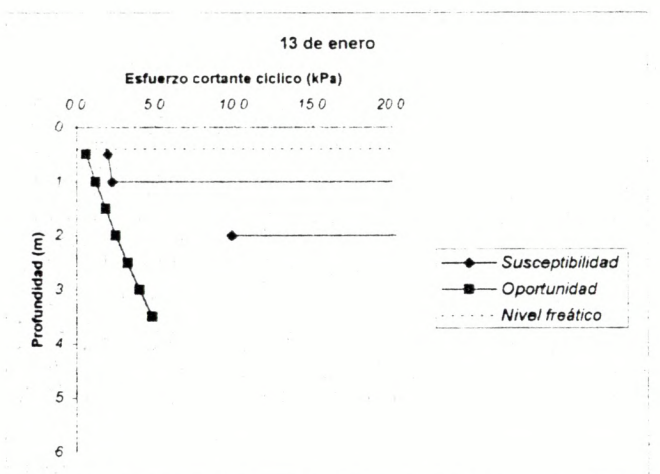


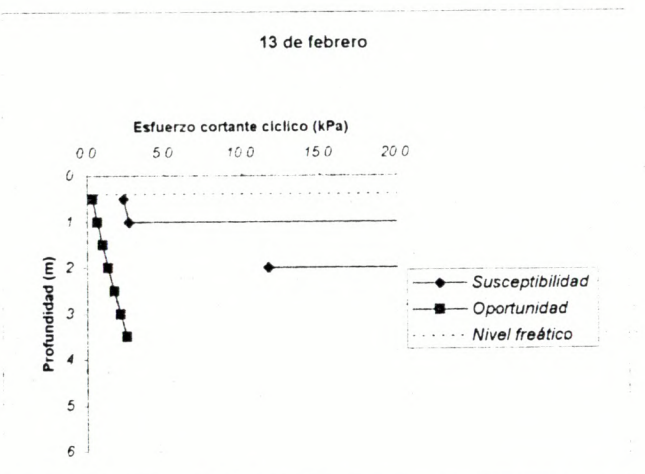
Figura 5.43 Aplicación del método de Seed para S07.02

S08.01

Barrio La Atarraya,
Acajutla, Sonsonate.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	23.51	2.80	0.26	0.25	0.30	2.01	0.63	3.17	2.40	0.34	7.03
1.00	17.18	2.80	0.20	0.20	0.23	2.29	1.24	1.84	2.73	0.67	4.08
1.50	36.72	7.30	---	--	--	---	1.90	---	---	1.02	---
2.00	31.09	7.30	0.50	0.49	0.58	9.86	2.54	3.89	11.75	1.36	8.62
2.50	43.01	5.50	---	--	---	---	3.28	---	---	1.76	---
3.00	91.69	5.50	---	--	-	---	4.05	---	---	2.18	---
3.50	47.38	5.50	---	--	-	---	4.82	---	---	2.59	---
4.00	---	5.50	--	--	-	---	---	---	---	---	---





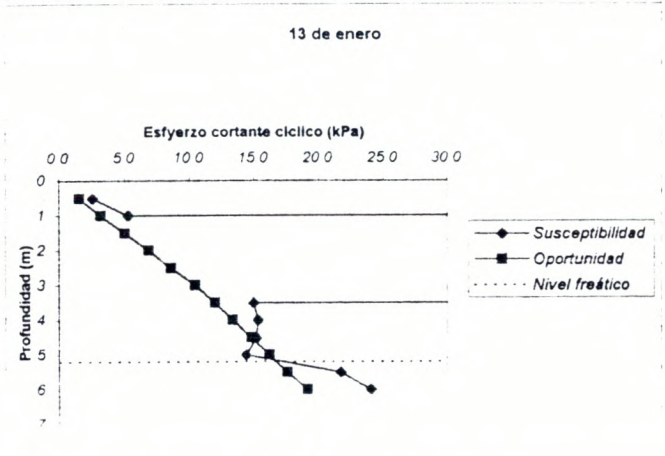
NOTA: Las lineas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1(60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

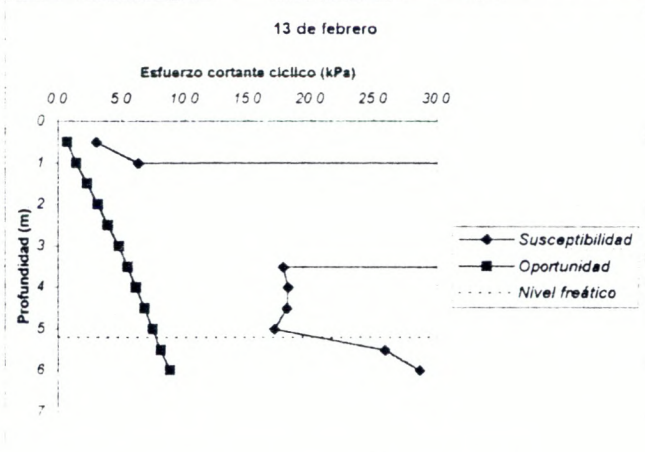
Figura 5.44 Aplicación del método de Seed para S08.01

S09.01

Comunidad Montemar,
San Marcos Lempa, Usulután.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	26.55	37.30	0.28	0.27	0.33	2.54	1.55	1.64	3.03	0.71	4.24
1.00	25.09	55.40	0.28	0.27	0.33	5.28	3.19	1.65	6.30	1.47	4.28
1.50	76.07	65.40	---	---	---	---	5.02	---	---	2.31	---
2.00	48.00	65.40	---	---	---	---	6.84	---	---	3.15	---
2.50	44.68	65.40	---	---	---	---	8.58	---	---	3.95	---
3.00	33.23	65.40	---	---	---	---	10.39	---	---	4.78	---
3.50	18.09	65.40	0.21	0.21	0.25	14.95	11.93	1.25	17.82	5.49	3.24
4.00	17.02	65.40	0.19	0.19	0.22	15.27	13.34	1.15	18.20	6.14	2.97
4.50	14.61	65.40	0.17	0.17	0.20	15.17	14.81	1.02	18.08	6.81	2.65
5.00	11.77	60.00	0.15	0.14	0.17	14.37	16.19	0.89	17.12	7.45	2.30
5.50	15.67	60.00	0.21	0.20	0.24	21.71	17.56	1.24	25.87	8.08	3.20
6.00	16.02	60.00	0.22	0.22	0.26	24.03	19.13	1.26	28.64	8.80	3.25





NOTA: Las líneas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1(60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

Figura 5.45 Aplicación del método de Seed para S09.01

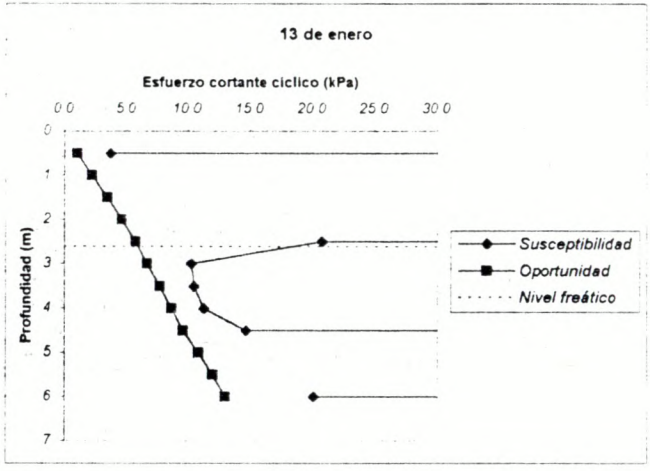
S10.01

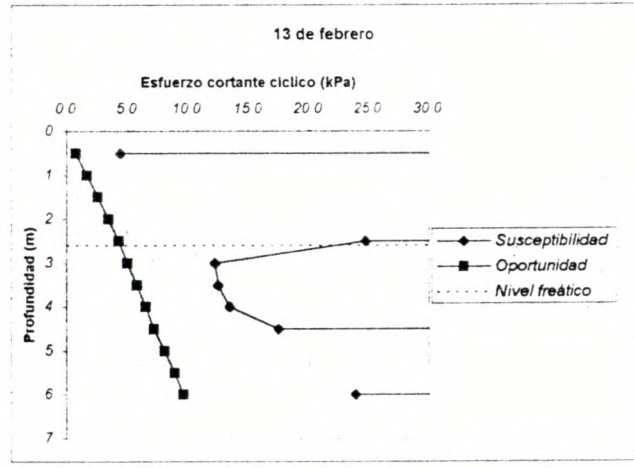
Playa Conchalío,

La Libertad.

Utilizando los valores de aceleración máxima predichos.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	28.68	20.70	0.40	0.39	0.47	3.70	1.04	3.55	4.41	0.78	5.68
1.00	--	20.70	---	---	---	---	2.24	---	---	1.66	---
1.50	38.08	2.80	---	---	---	---	3.42	---	---	2.54	---
2.00	57.59	4.00	---	---	---	---	4.62	---	---	3.44	---
2.50	28.26	4.00	0.40	0.39	0.47	20.73	5.73	3.62	24.71	4.26	5.80
3.00	16.36	5.70	0.18	0.18	0.21	10.26	6.72	1.53	12.23	5.00	2.44
3.50	15.74	5.50	0.17	0.17	0.20	10.48	7.77	1.35	12.49	5.78	2.16
4.00	15.18	5.50	0.17	0.17	0.20	11.26	8.72	1.29	13.43	6.49	2.07
4.50	18.27	5.50	0.21	0.21	0.25	14.65	9.63	1.52	17.47	7.17	2.44
5.00	35.78	5.50	---	---	---	---	10.86	---	---	8.08	---
5.50	39.95	5.50	---	---	---	---	11.97	---	---	8.91	---
6.00	21.03	3.00	0.23	0.23	0.27	20.01	12.95	1.54	23.85	9.64	2.47





NOTA: Las líneas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1(60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

Figura 5.46 Aplicación del método de Seed para S10.01

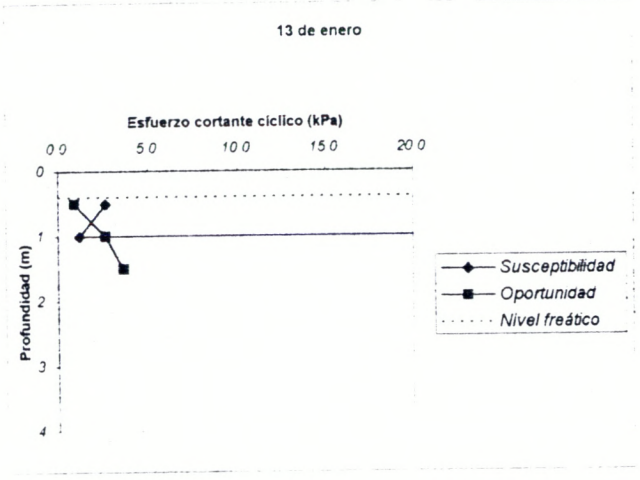
S11.01

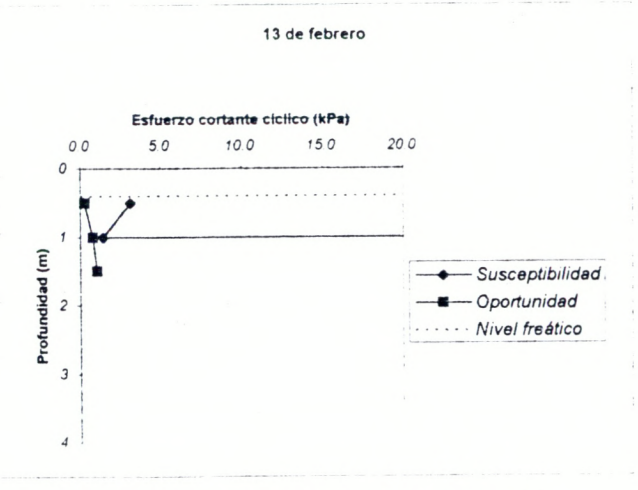
Puerto de Cutuco,

La Unión.

Utilizando los valores de aceleración máxima predichos.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	28.74	3.80	0.34	0.33	0.40	2.63	0.91	2.90	3.13	0.26	12.00
1.00	4.90	3.80	0.06	0.06	0.07	1.19	2.64	0.45	1.41	0.76	1.86
1.50	48.20	9.80	---	---	---	---	3.65	---	---	1.05	---
2.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---





NOTA: Las líneas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1,60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

Figura 5.47 Aplicación del método de Seed para S11.01

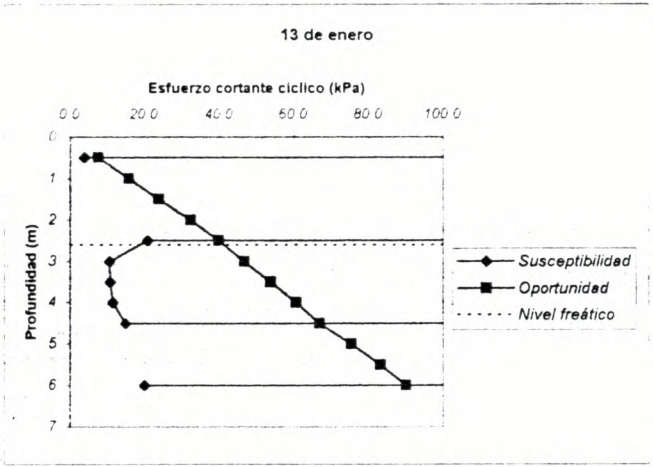
S10.01

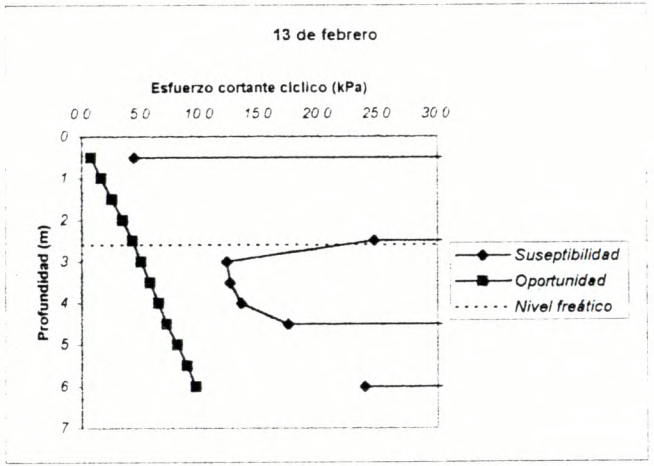
Playa Conchalío,

La Libertad.

Utilizando los valores de aceleración máxima observados.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR8.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (8.6)	τo (8.6)	FS (8.6)
0.50	28.68	20.70	0.40	0.39	0.47	3.70	7.24	0.51	4.41	0.78	5.68
1.00	--	20.70	---	---	---	---	15.51	---	---	1.68	---
1.50	38.08	2.80	---	---	---	---	23.73	---	---	2.57	---
2.00	57.59	4.00	---	---	---	---	32.08	---	---	3.48	---
2.50	28.26	4.00	0.40	0.39	0.47	20.73	39.75	0.52	24.71	4.31	5.80
3.00	16.36	5.70	0.18	0.18	0.21	10.26	46.67	0.22	12.23	5.06	2.44
3.50	15.74	5.50	0.17	0.17	0.20	10.48	53.90	0.19	12.49	5.84	2.16
4.00	15.18	5.50	0.17	0.17	0.20	11.26	60.51	0.19	13.43	6.56	2.07
4.50	18.27	5.50	0.21	0.21	0.25	14.65	66.83	0.22	17.47	7.24	2.44
5.00	35.78	5.50	---	---	---	---	75.39	---	---	8.17	---
5.50	39.95	5.50	---	---	---	---	83.07	---	---	9.00	---
6.00	21.03	3.00	0.23	0.23	0.27	20.01	89.91	0.22	23.85	9.74	2.47





NOTA: Las lineas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1(60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

Figura 5.48 Aplicación del método de Seed para S10.01

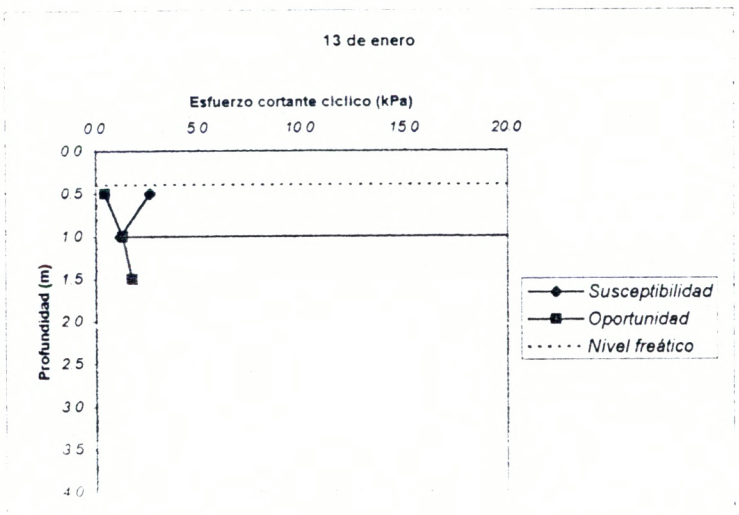
S11.01

Puerto de Cutuco,

La Unión.

Utilizando el valor de aceleración máxima observado.

h (m)	N1(60)	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR8.5	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (8.5)	τo (8.5)	FS (8.5)
0.50	28.74	3.80	0.34	0.33	0.40	2.63	0.46	5.77	---	---	---
1.00	4.90	3.80	0.06	0.06	0.07	1.19	1.33	0.89	---	---	---
1.50	48.20	9.80	---	---	---	---	1.76	---	---	---	---
2.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



NOTA: Las líneas horizontales en las curvas de susceptibilidad significan que el valor de N1(60) es muy alto para presentar algún valor de CSR, según la figura 3.9

Figura 5.49 Aplicación del método de Seed para S11.01

S12.01

Aeropuerto de Comalapa,

La Paz.

h (m)	N160	% de finos	CSR7.5	CSR7.7	CSR6.6	τs (7.7)	τo (7.7)	FS (7.7)	τs (6.6)	τo (6.6)	FS (6.6)
0.50	84.10	37.80	---	---	---	---	1.51	---	---	1.36	---
1.00	48.51	37.80	---	---	---	---	2.98	---	---	2.69	---
1.50	27.51	37.80	0.33	0.32	0.39	10.15	4.25	2.39	12.10	3.84	3.15
2.00	10.41	50.50	0.11	0.11	0.13	4.34	5.45	0.80	5.17	4.93	1.05
2.50	14.52	50.50	0.17	0.17	0.20	8.34	6.71	1.24	9.94	6.06	1.64
3.00	22.74	9.70	0.26	0.25	0.30	15.29	8.05	1.90	18.22	7.27	2.51
3.50	11.44	11.20	0.12	0.12	0.14	8.19	9.34	0.88	9.76	8.43	1.16
4.00	14.10	11.20	0.16	0.16	0.19	12.28	10.39	1.18	14.63	9.39	1.56
4.50	15.36	11.20	0.18	0.18	0.21	14.54	11.59	1.25	17.33	10.47	1.66
5.00	3.96	11.20	0.04	0.04	0.05	3.37	12.70	0.27	4.01	11.47	0.35
5.50	7.74	11.20	0.08	0.08	0.09	7.06	13.76	0.51	8.41	12.42	0.68
6.00	19.54	7.40	0.22	0.22	0.26	20.57	15.11	1.36	24.51	13.64	1.80

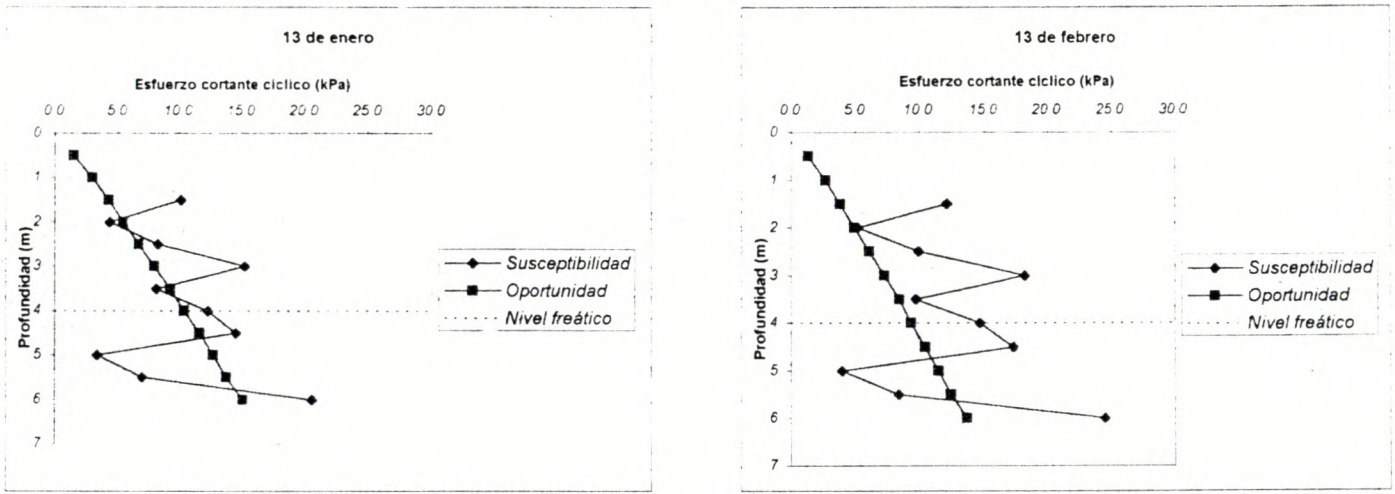


Figura 5.50 Aplicación del método de Seed para S12.01

5.5 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE AMBRASEYS

El método de Ambraseys descrito en el numeral 3.4.3 presenta dos curvas de oportunidad, la primera cuando el nivel freático se encuentra en la superficie (NFS) y la segunda cuando el nivel freático se encuentra en la profundidad crítica (NFC). Estas dos curvas corresponden de igual manera, a las condiciones más desfavorable y más favorable que se pueden esperar, según el método. A continuación se desarrolla este método para cada sitio de estudio.

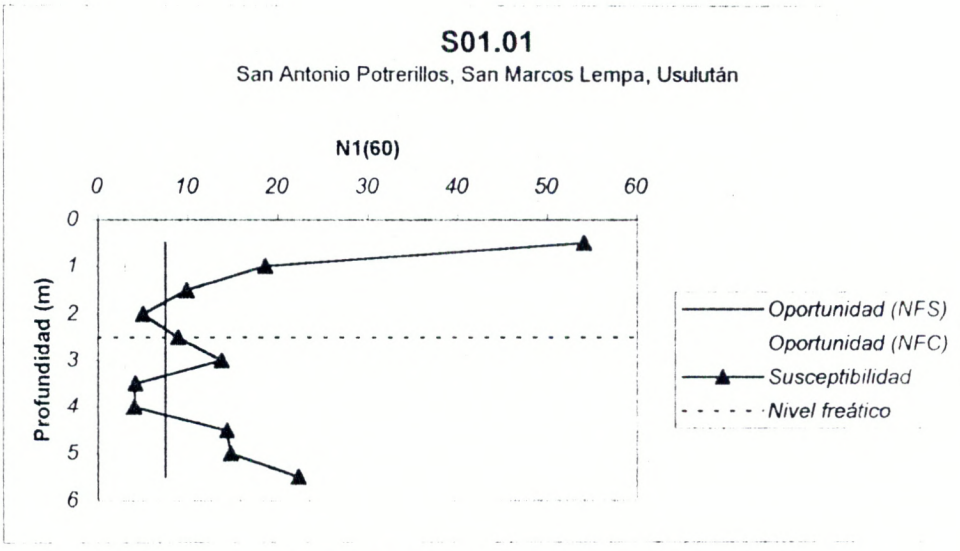


Figura 5.51 Aplicación para el sitio S01.01

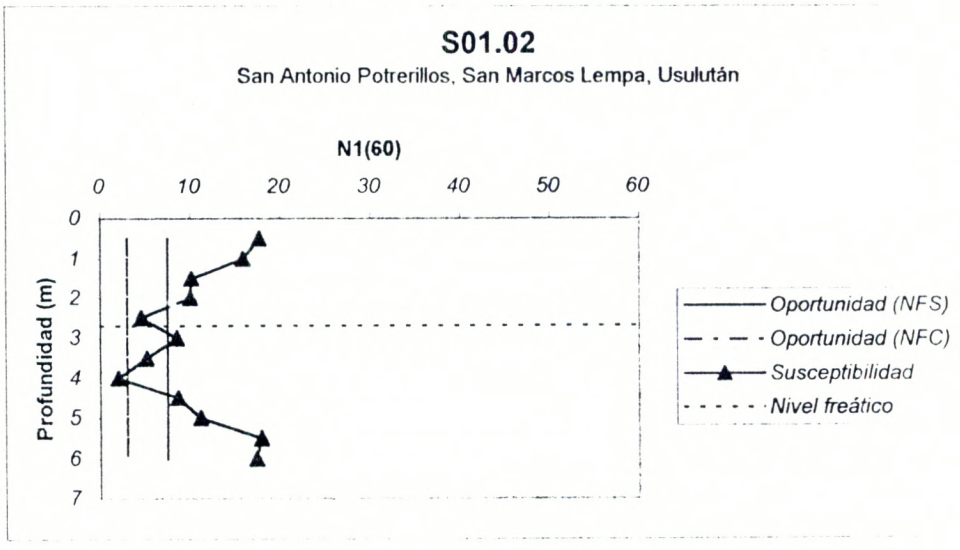


Figura 5.52 Aplicación para el sitio S01.02

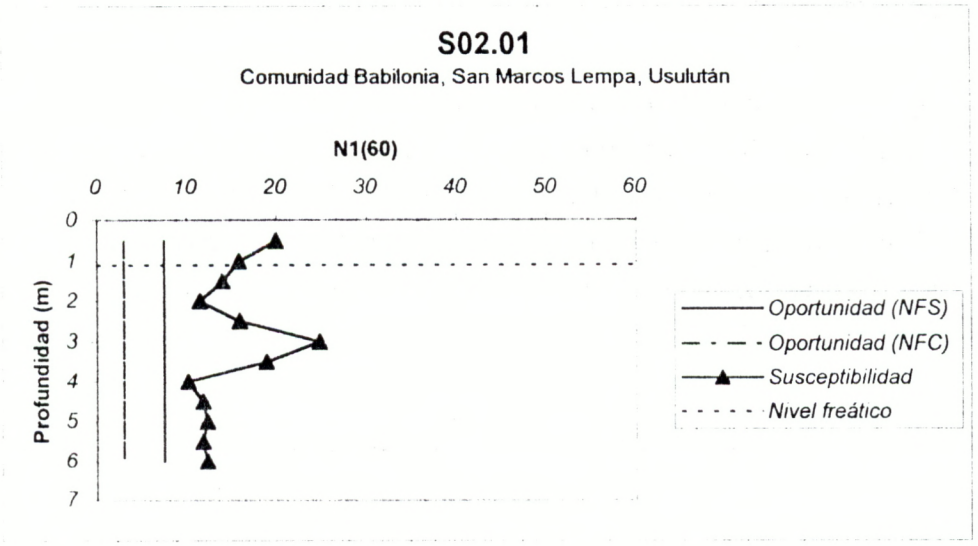


Figura 5.53 Aplicación para el sitio S02.01

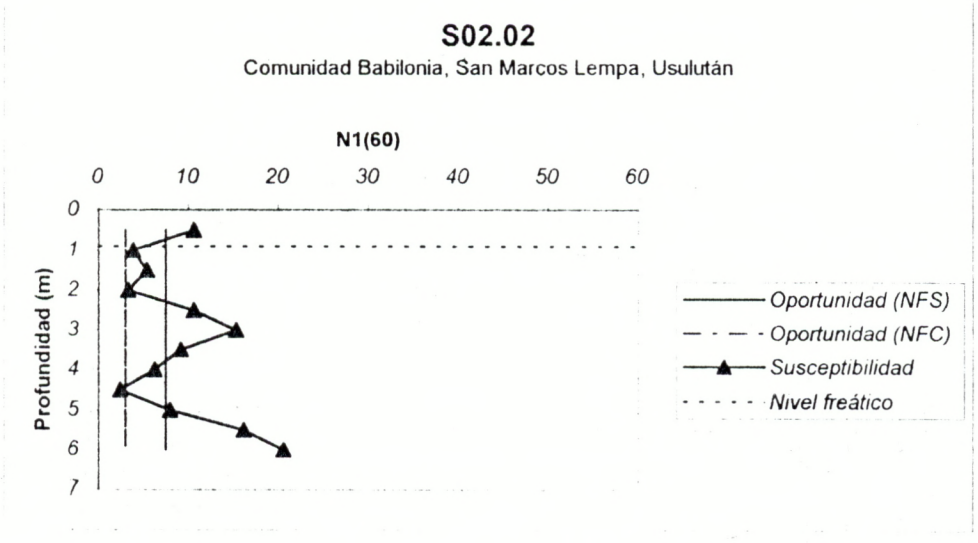


Figura 5.54 Aplicación para el sitio S02.02

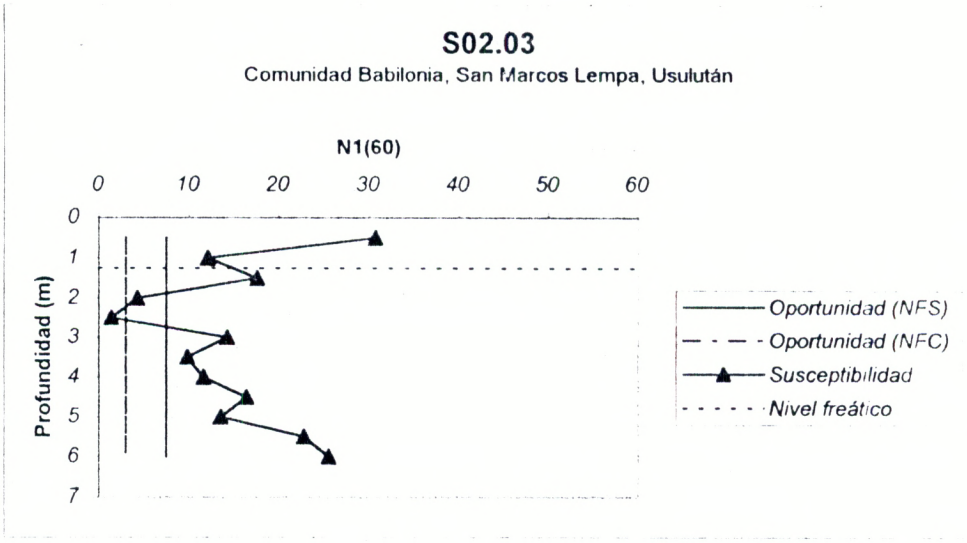


Figura 5 55 Aplicación para el sitio S02 03

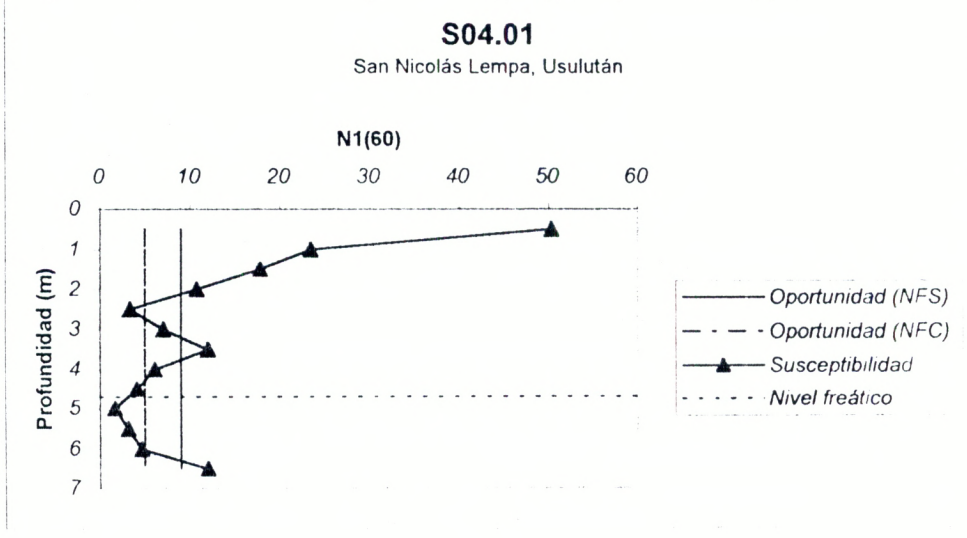


Figura 5 56 Aplicación para el sitio S04 01

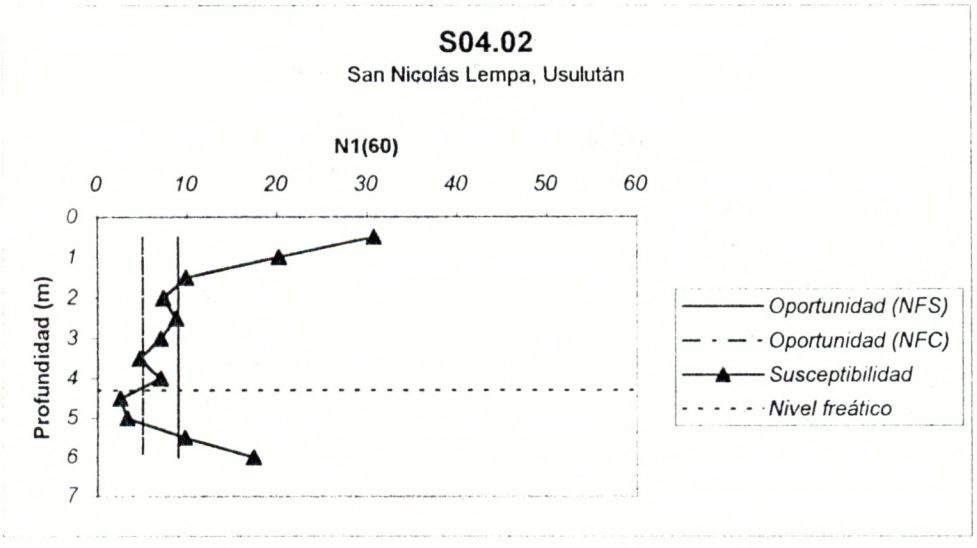


Figura 5.57 Aplicación para el sitio S04.02

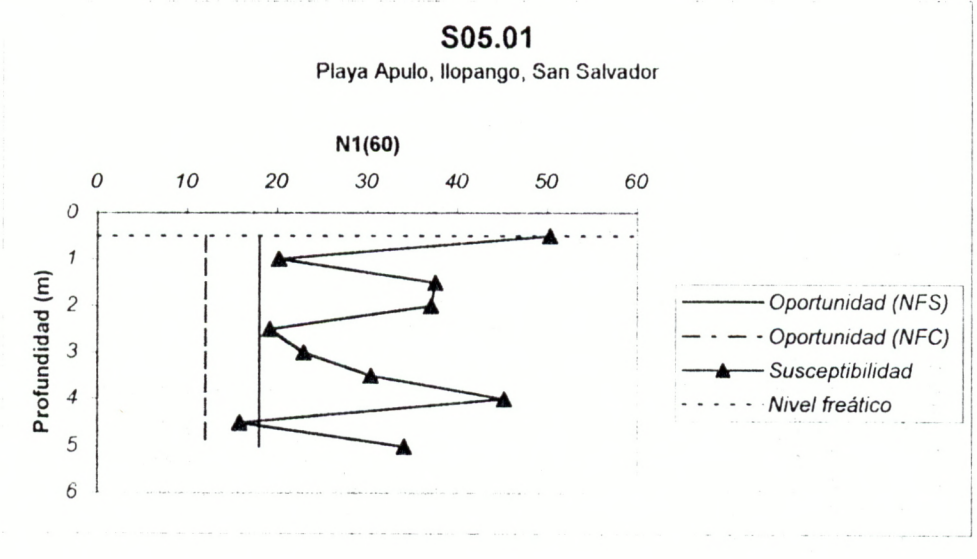


Figura 5.58 Aplicación para el sitio S05.01

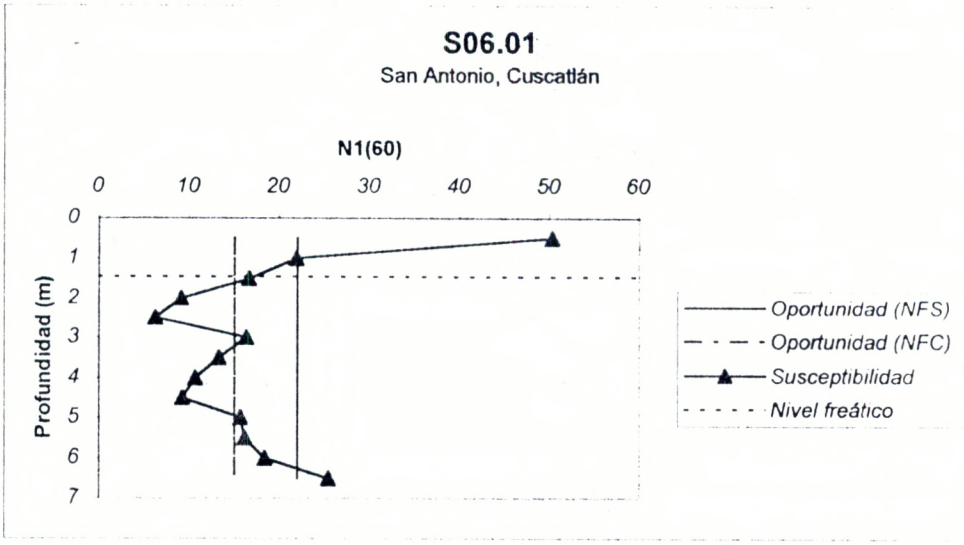


Figura 5.59 Aplicación para el sitio S06.01

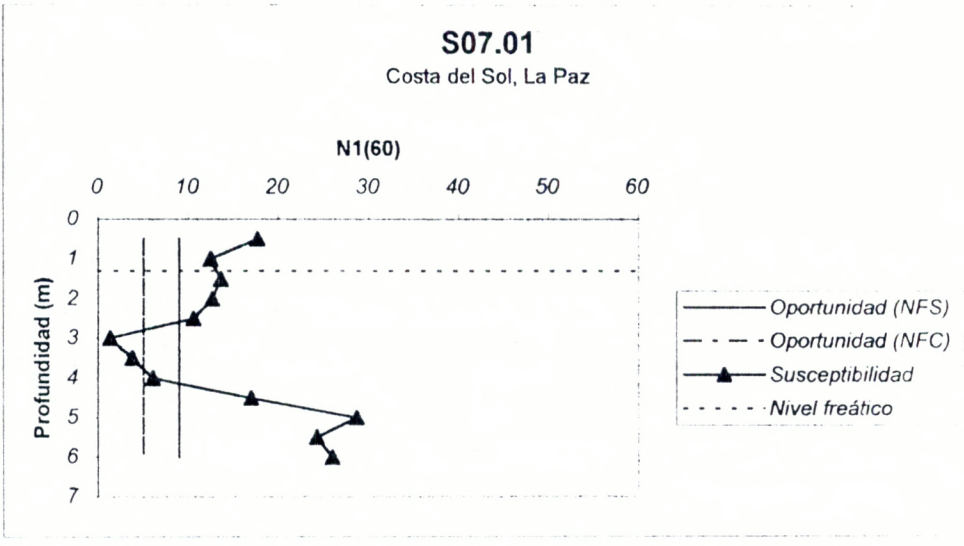


Figura 5.60 Aplicación para el sitio S07.01

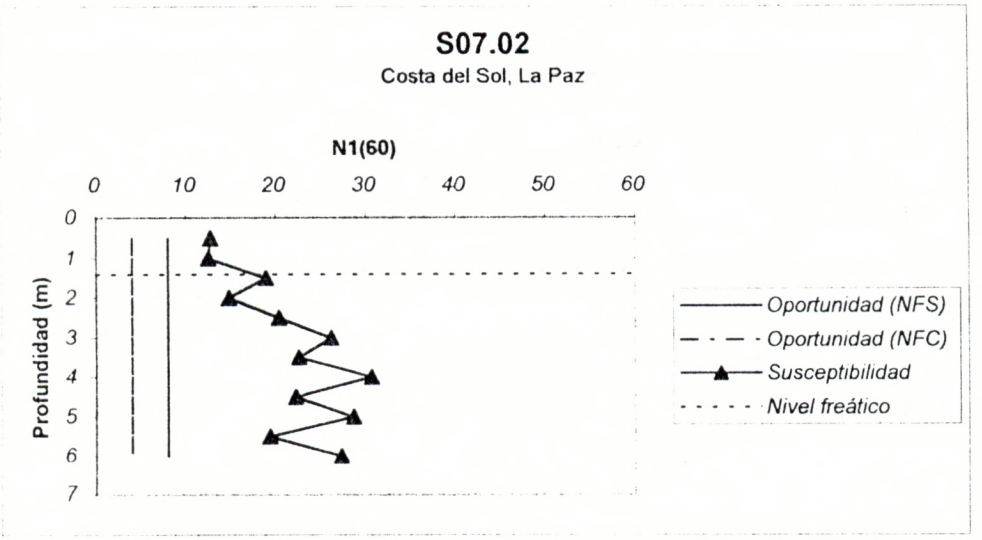


Figura 5.61 Aplicación para el sitio S07.02

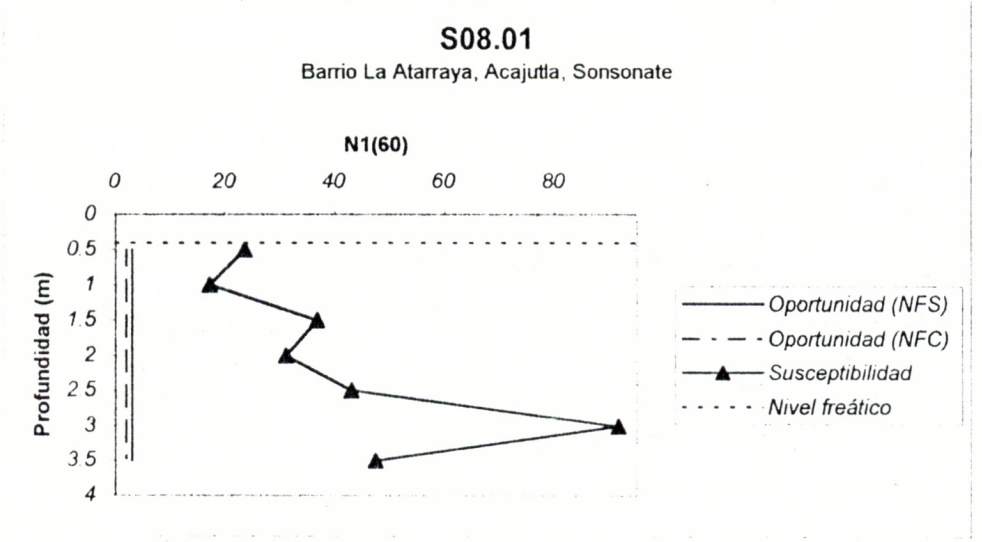


Figura 5.62 Aplicación para el sitio S08.01

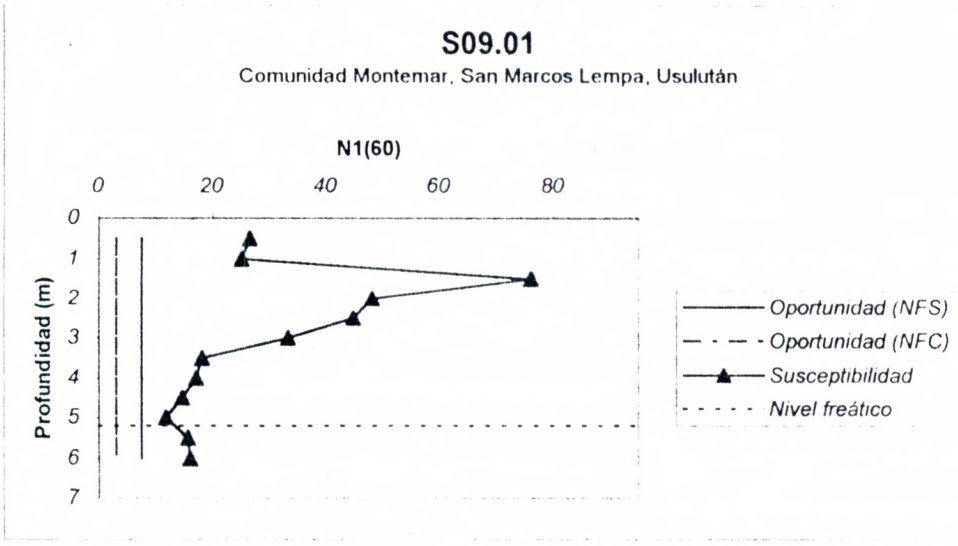


Figura 5.63 Aplicación para el sitio S09.01

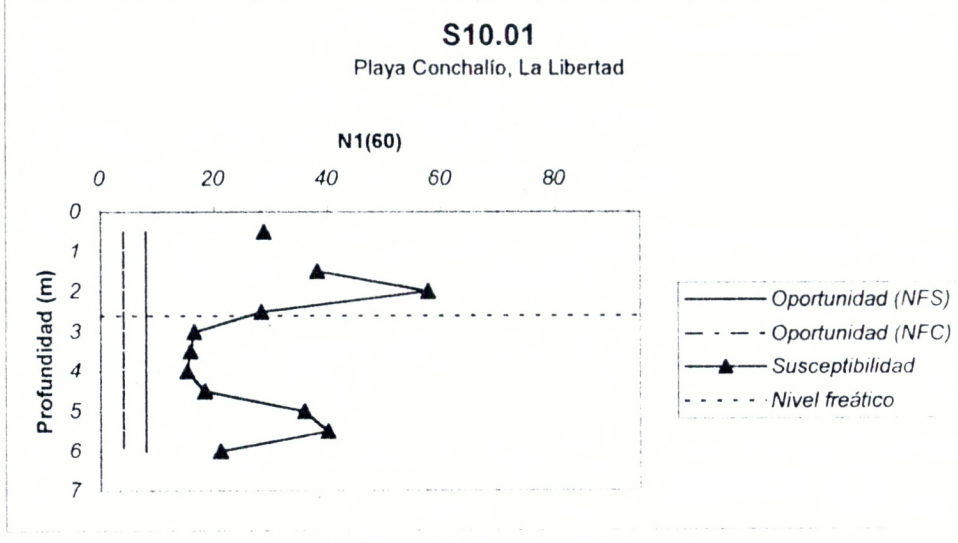


Figura 5.64 Aplicación para el sitio S10.01

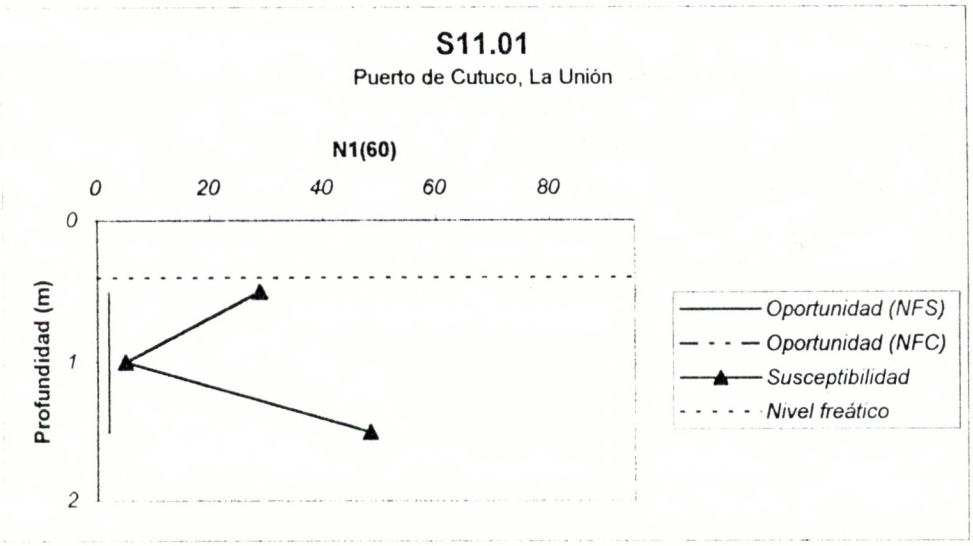


Figura 5.65 Aplicación para el sitio S11.01

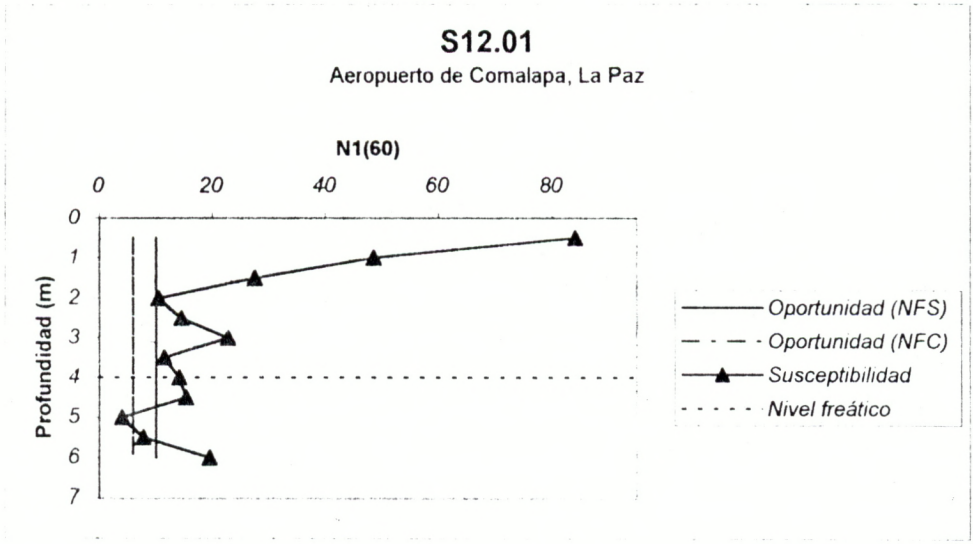


Figura 5.66 Aplicación para el sitio S12.01

5.6 COMPARACIÓN DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

A continuación se muestran las curvas granulométricas límite para los rangos presentados en el numeral 2.6, correspondientes a suelos que son fácilmente licuables o muy fácilmente licuables [Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones;1994. p.162].

Se superpusieron las curvas granulométricas de los suelos mal graduados presentes en los sitios de estudio y las curvas límite para los rangos mencionados anteriormente.

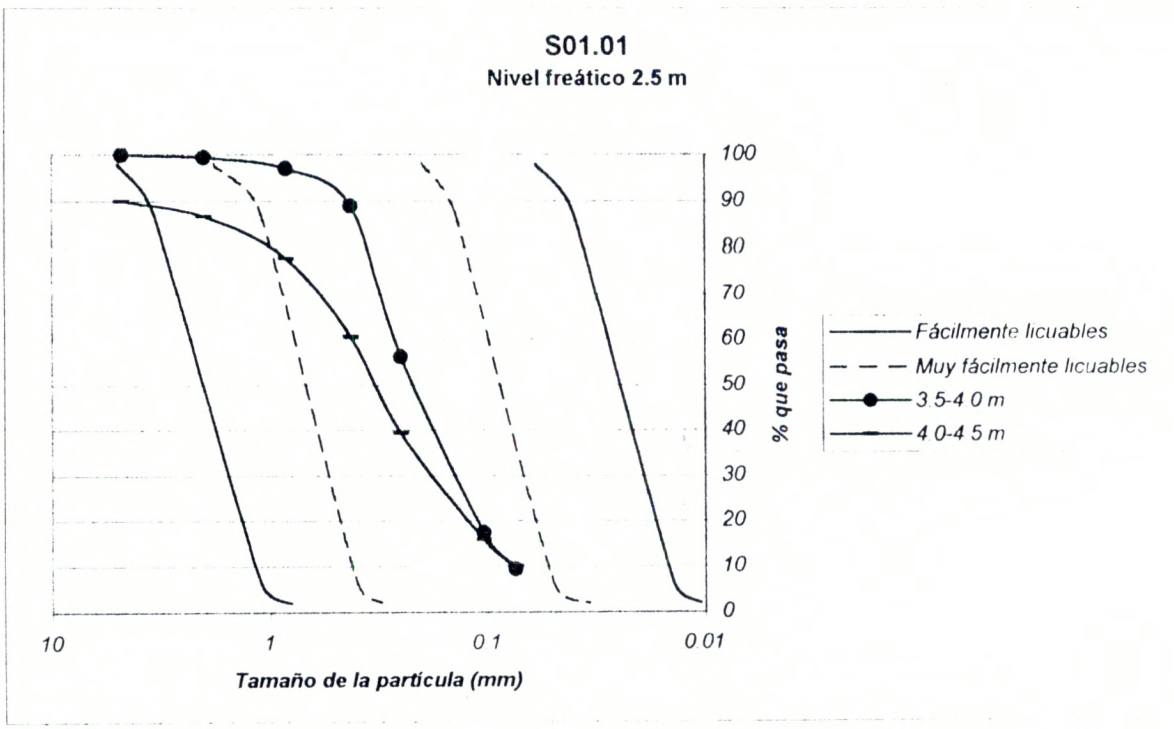


Figura 5.67 Curvas granulométricas para S01.01.

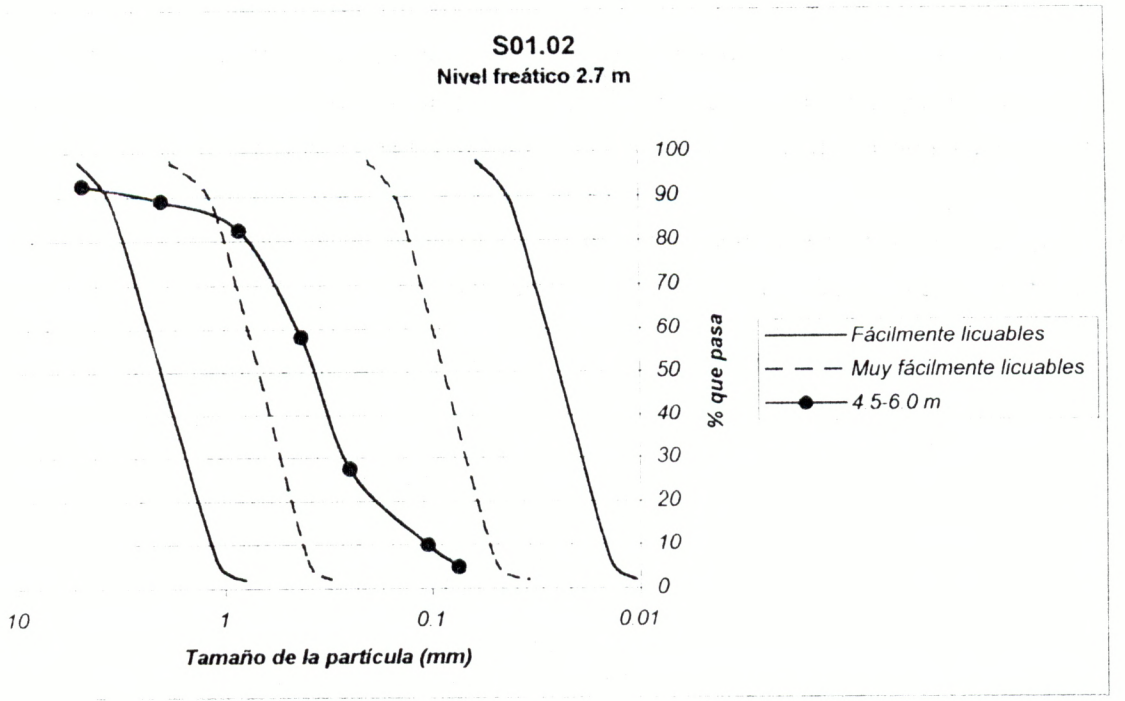


Figura 5.68 Curvas granulométricas para S01.02.

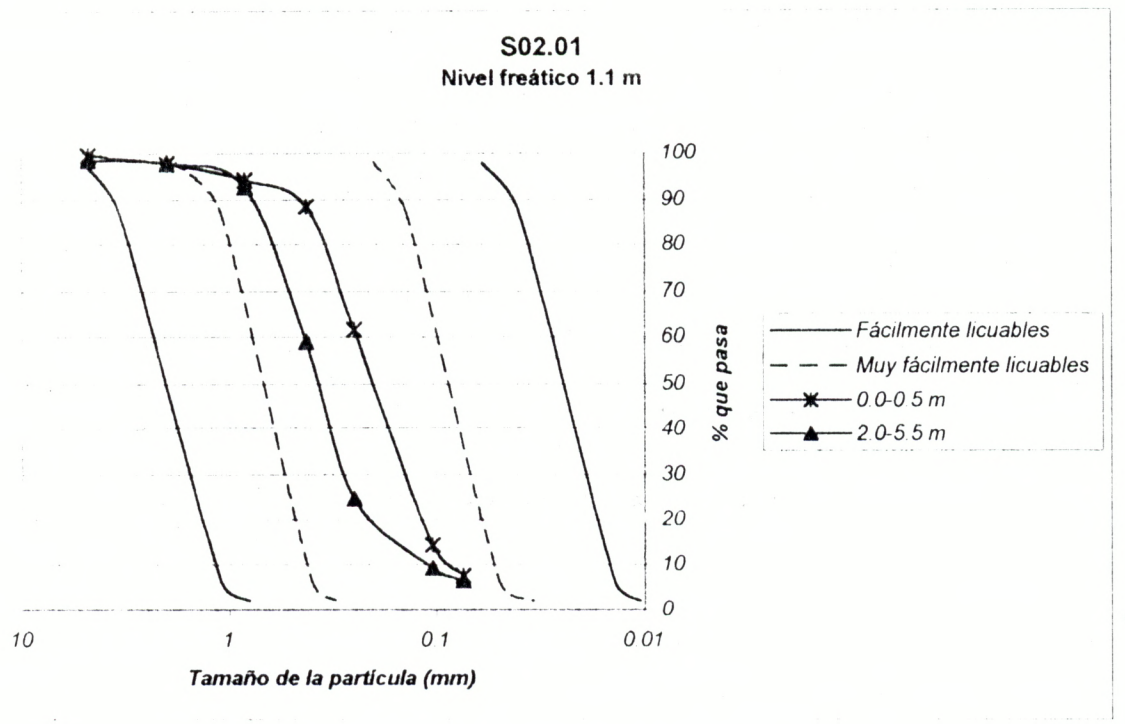


Figura 5.69 Curvas granulométricas para S02.01.

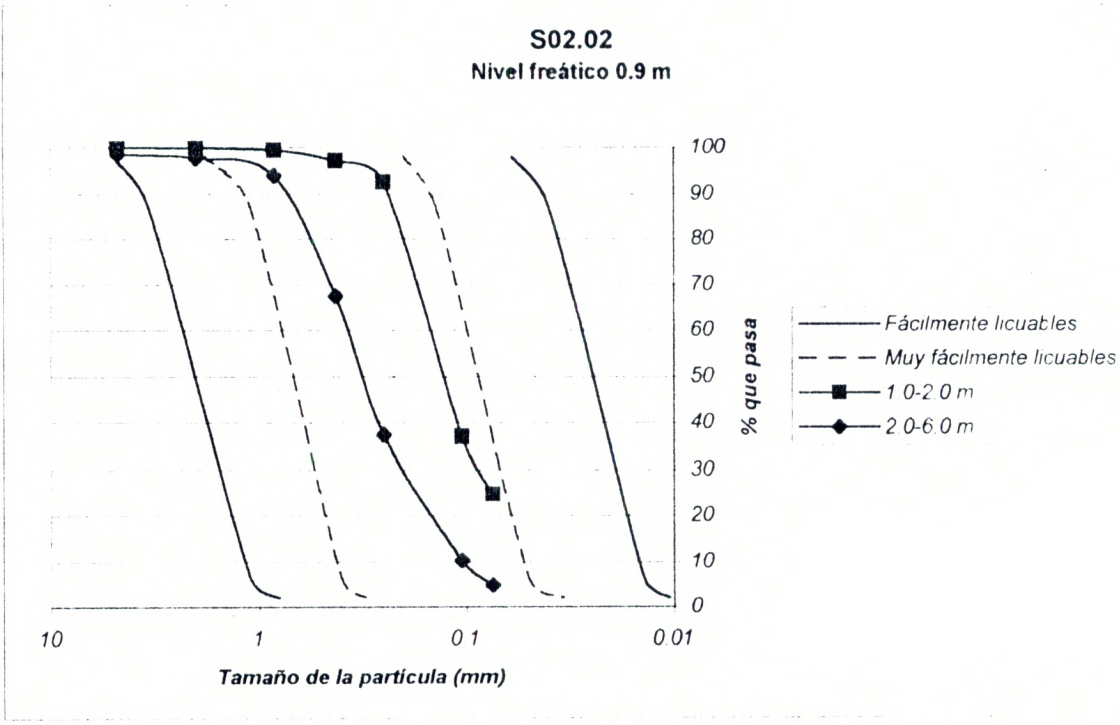


Figura 5.70 Curvas granulométricas para S02.02

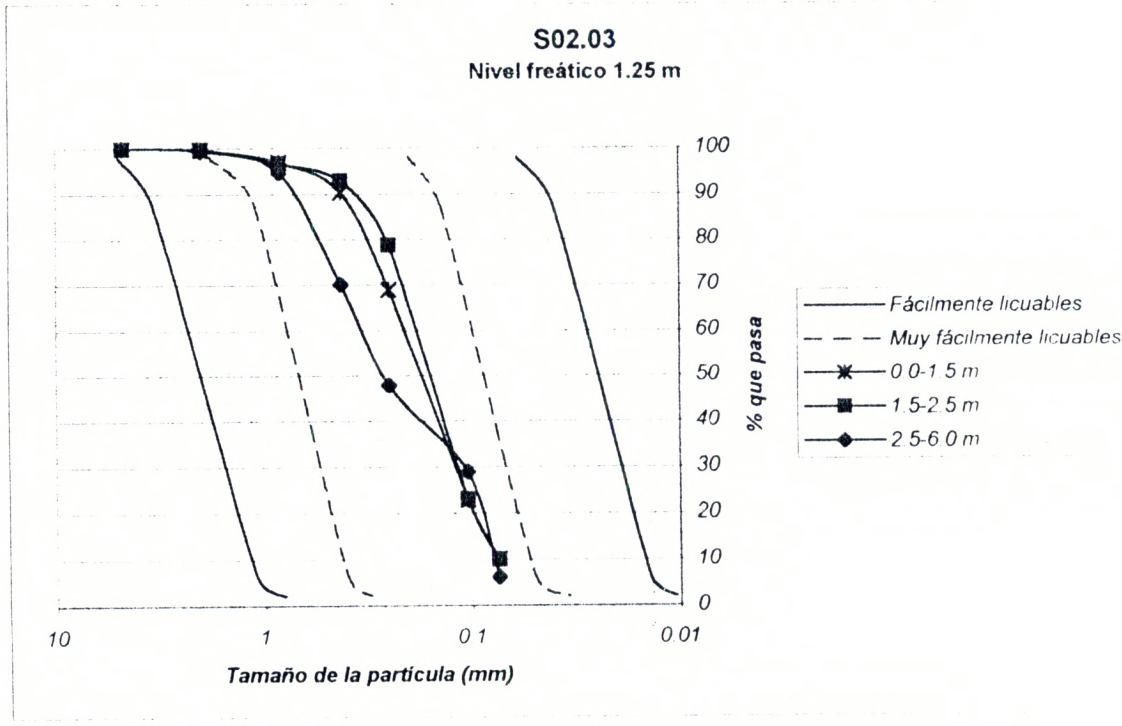


Figura 5.71Curvas granulométricas para S02.03.

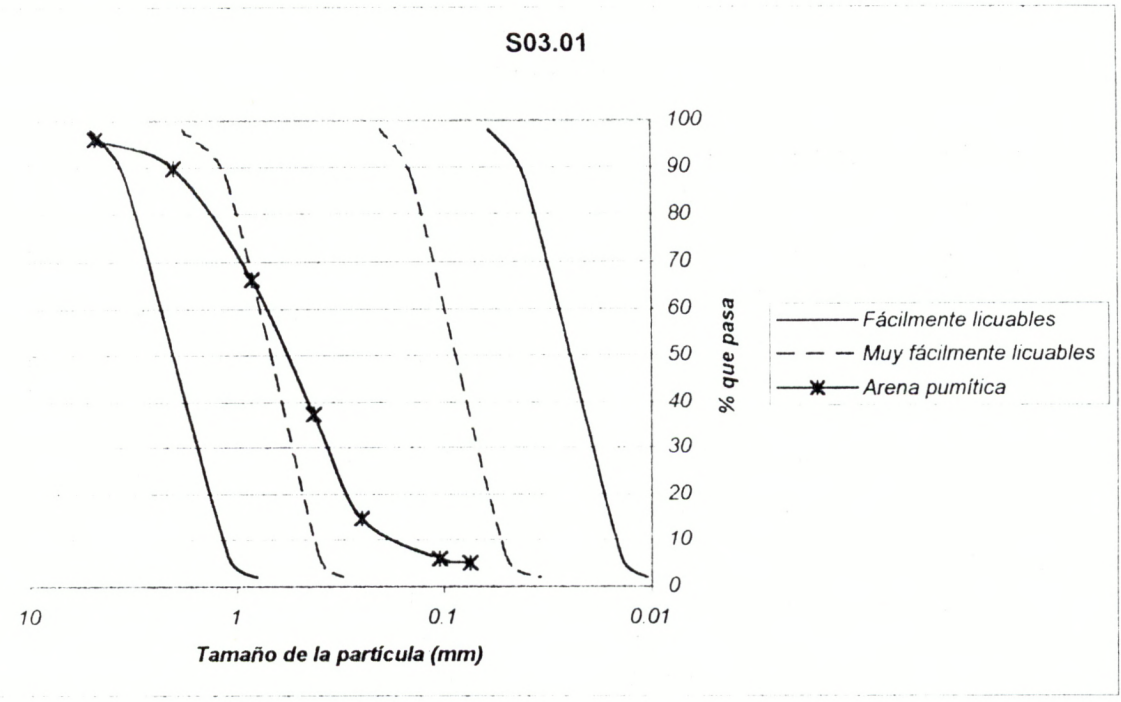


Figura 5.72 Curvas granulométricas para S03.01

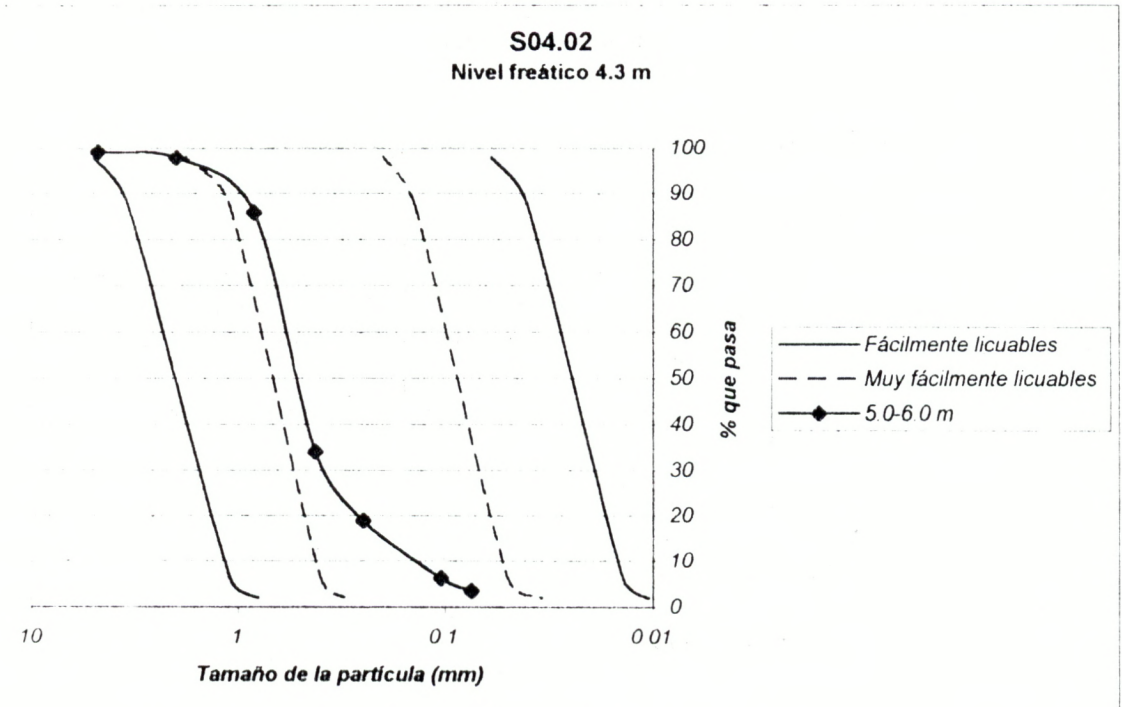


Figura 5.73 Curvas granulométricas para S04.02

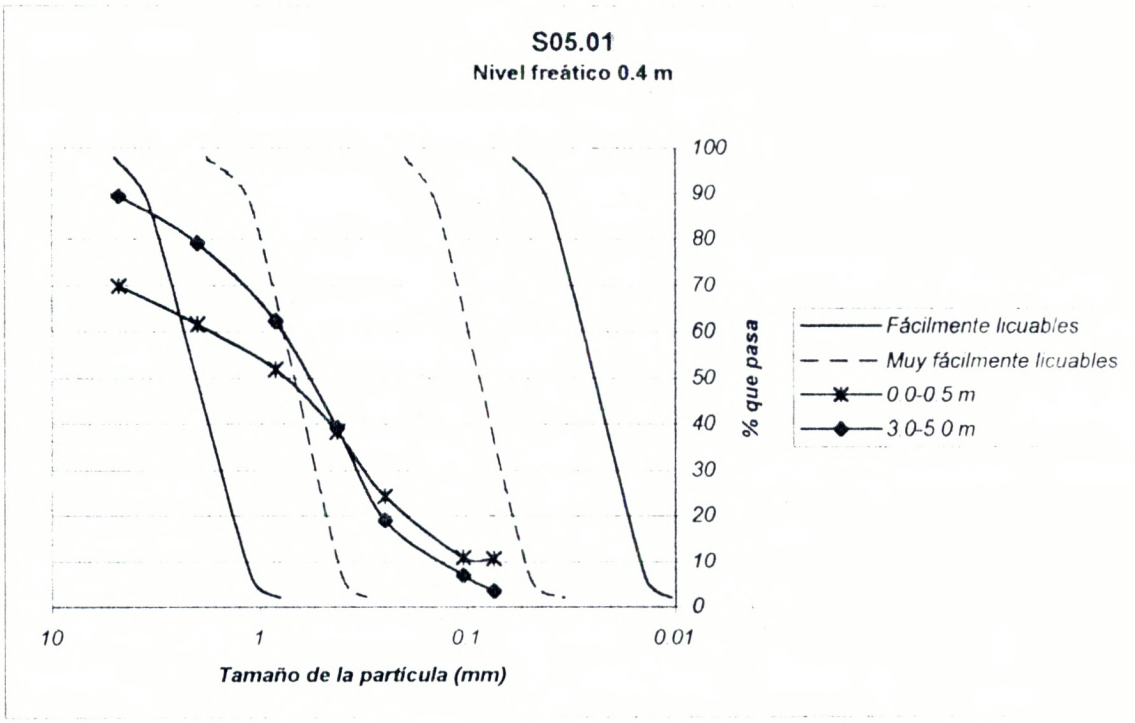


Figura 5.74 Curvas granulométricas para S05.01.

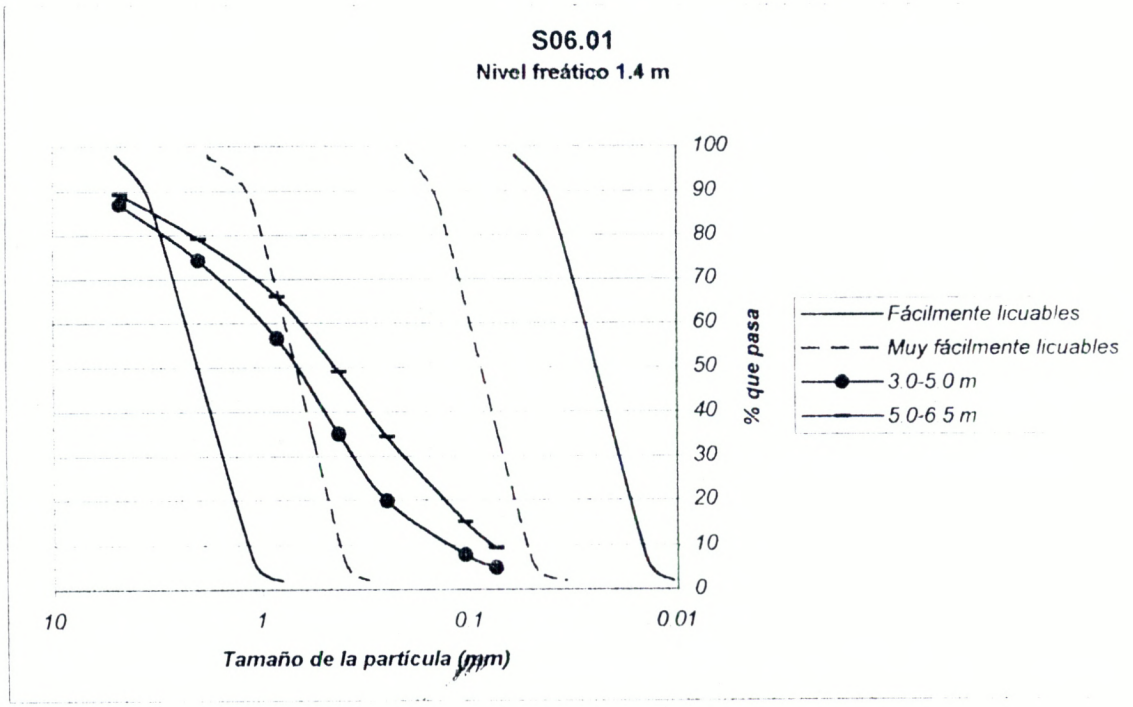


Figura 5.75 Curvas granulométricas para S06.01.

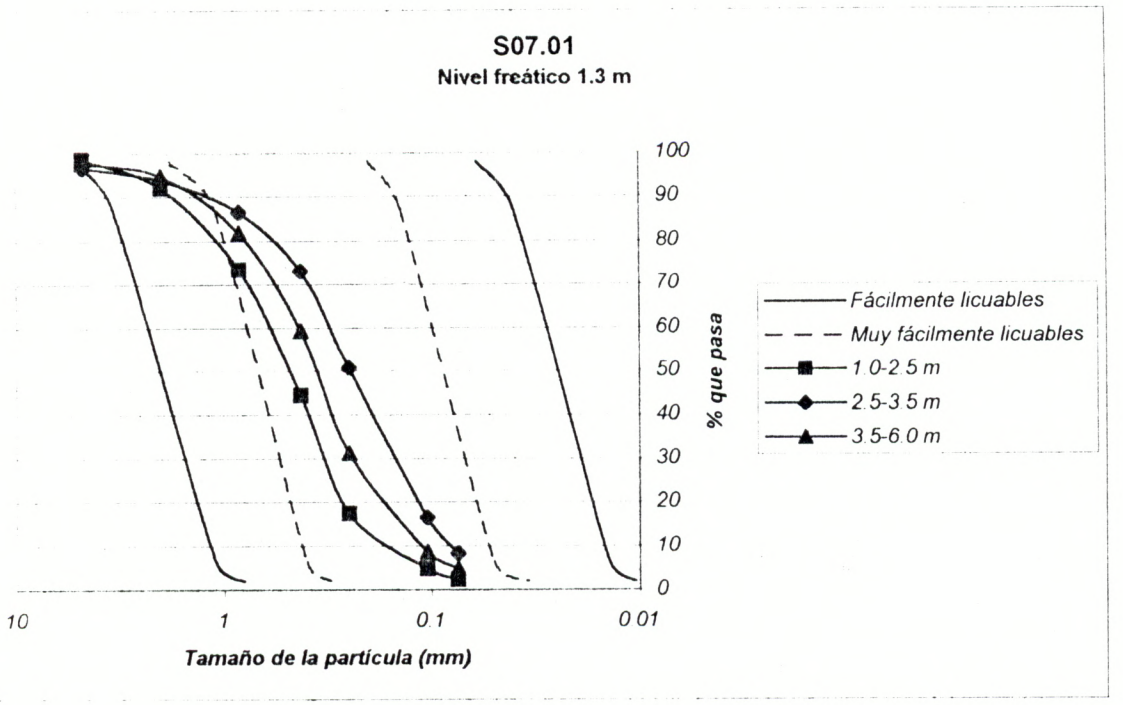


Figura 5.76 Curvas granulométricas para S07.01

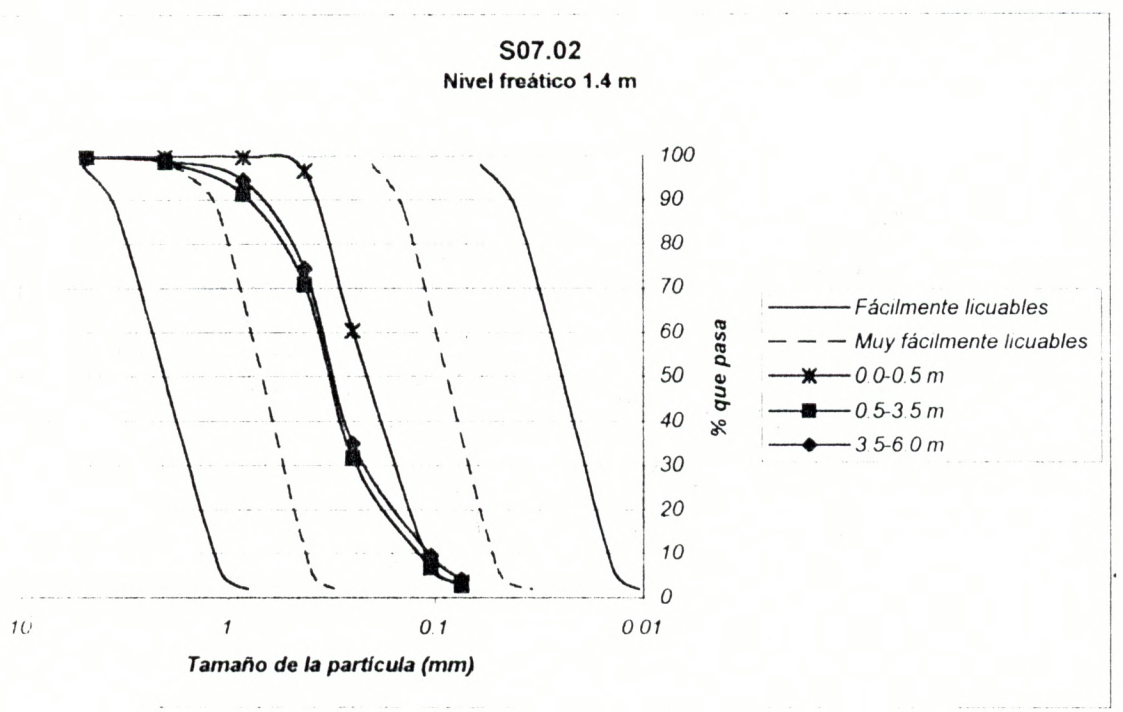


Figura 5.77 Curvas granulométricas para S07.02

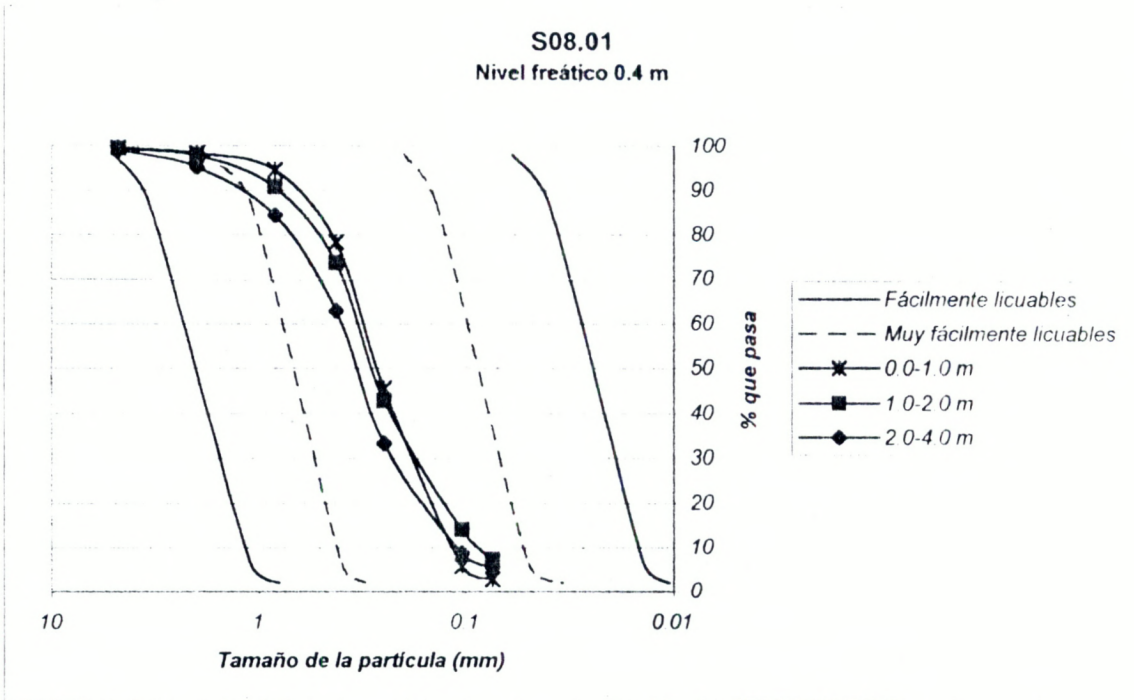


Figura 5.78 Curvas granulométricas para S08.01.

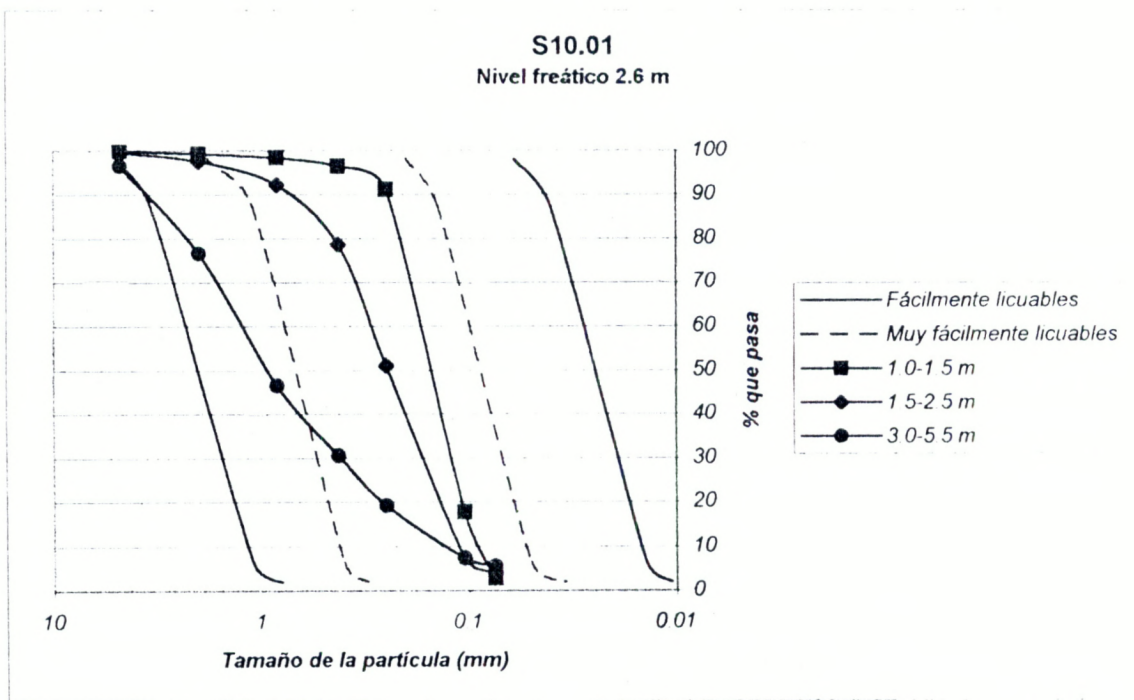


Figura 5.79 Curvas granulométricas para S10.01.

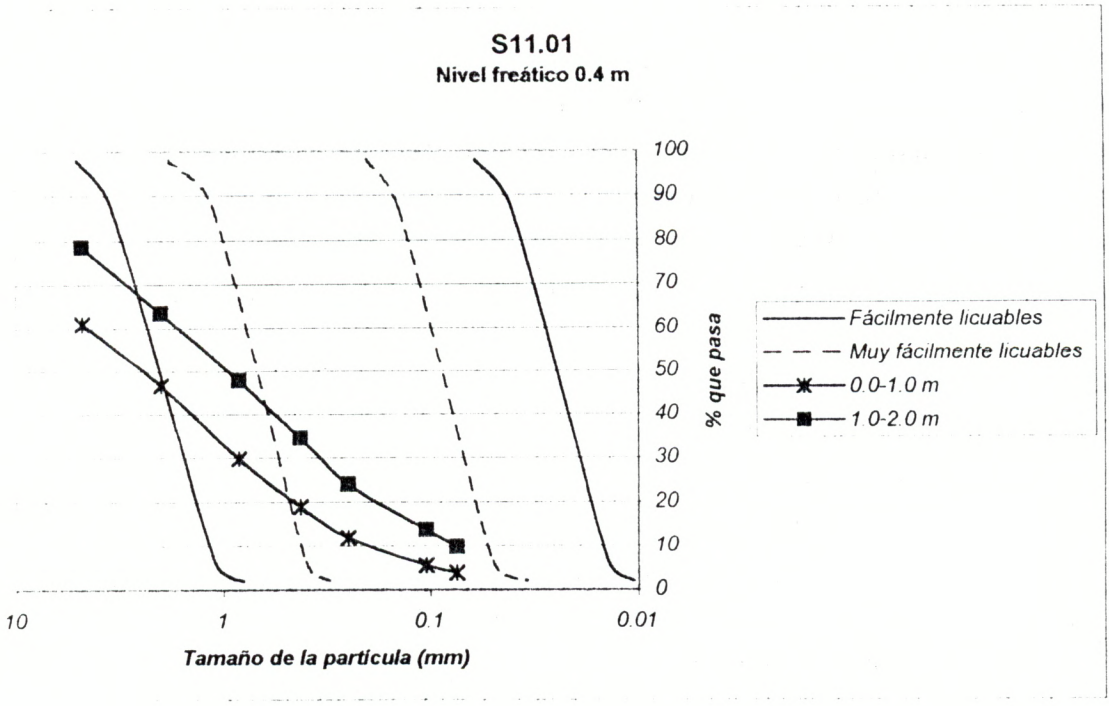


Figura 5.80 Curvas granulométricas para S11.01

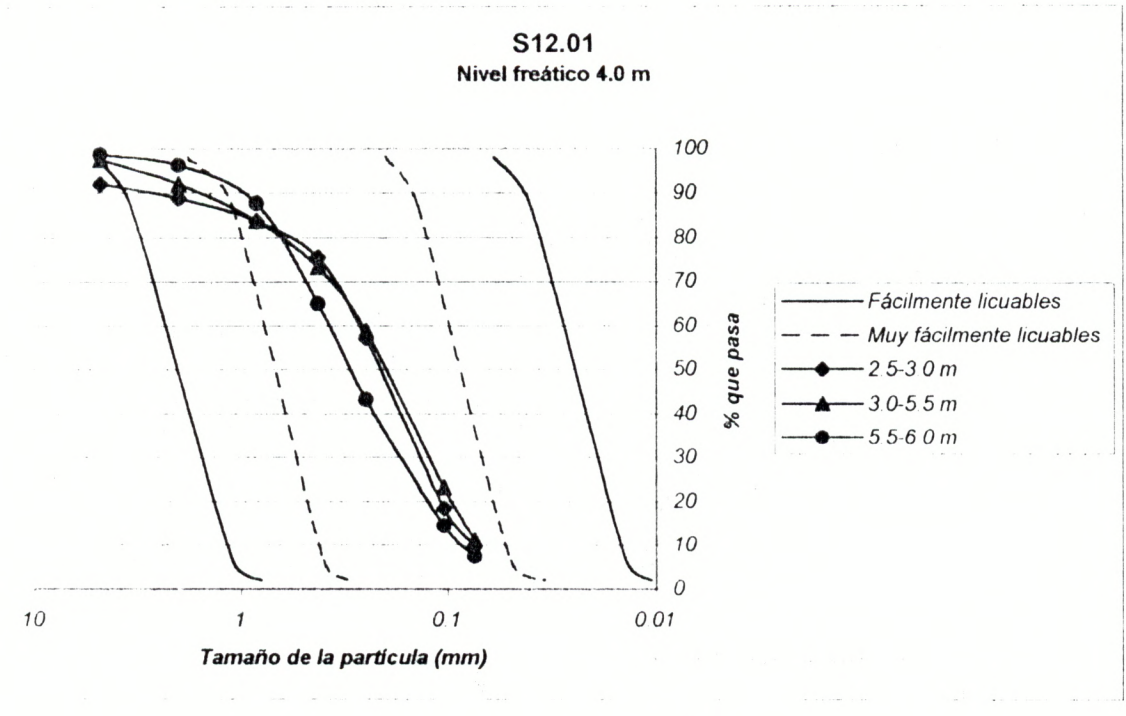


Figura 5.81 Curvas granulométricas para S12.01

5.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los datos obtenidos en la caracterización de sitios se agruparon como se muestra en la tabla 5.8, tomando en cuenta sólo aquellas muestras que se encontraban bajo el nivel freático, con el propósito de comparar las propiedades de los suelos de cada sitio de estudio con los criterios de composición para que un suelo sea susceptible a la licuefacción que se listan a continuación. Esta forma de agrupar las propiedades de las muestras se hizo bajo la consideración de que las condiciones de los suelos para los sondeos realizados en un mismo sitio de estudio son similares.

a) 0.07 mm < D_{50} < 0.4 mm [Bommer;1994,p.229].

b) 2 < C_u < 5 [Bommer;p.229].

c) w % > 0.9 LL [Kramer;1996,p.354].

d) LL < 35% [Kramer;1996,p.354].

Sitio	Valores	Propiedades de muestras bajo el nivel freático.					
		N	D_{50} (mm)	C_u	Finos (%)	LL (%)	w (%)
S01	Mínimo	2.0	0.13	3.4	5.0	42.8	21.9
	Promedio	11.8	0.35	4.5	33.2	47.88	40.65
	Máximo	25.0	0.5	5.6	74.8	55.3	66.9
S02	Mínimo	1.0	0.14	2.4	4.80	39.65	21.1
	Promedio	10.5	0.29	3.67	9.35	39.65	30.82
	Máximo	27.0	0.37	4.12	67.1	39.65	48.3
S04	Mínimo	2.0	0.53	4.28	3.6	40.65	19.2
	Promedio	8.2	0.53	4.28	69.02	41.86	43.81
	Máximo	22.0	0.53	4.28	91.8	42.47	61.54
S05	Mínimo	10.0	0.6	5.71	3.40	—	11.5
	Promedio	21.3	0.65	6.03	3.78	—	28.47
	Máximo	38.0	0.7	6.3	4.1	—	41.0
S06	Mínimo	5.0	0.15	14.44	4.9	—	18.2
	Promedio	13.7	0.57	9.51	9.94	—	29.6
	Máximo	29.0	0.75	7.69	27.60	—	50.9
S07	Mínimo	1.0	0.21	3.08	2.4	—	18.4
	Promedio	17.1	0.34	3.52	4.14	—	35.35
	Máximo	31.0	0.5	4.0	8.3	—	48.6
S08	Mínimo	8.0	0.27	2.66	2.8	—	9.3
	Promedio	28.1	0.31	3.45	5.3	—	32.57
	Máximo	71.0	0.35	3.88	7.3	—	44.5
S09	Mínimo	22.0	—	—	60.0	39.7	40.4
	Promedio	22.5	—	—	60.0	39.7	40.65
	Máximo	23.0	—	—	60.0	39.7	40.9
S10	Mínimo	17.0	0.95	10.7	3.0	—	27.3
	Promedio	27.4	1.25	12.7	5.17	—	31.5
	Máximo	50.0	2.7	24.0	5.7	—	41.7
S11	Mínimo	3	0.95	24.0	3.8	—	22.7
	Promedio	15.6	1.98	24.7	5.8	—	26.3
	Máximo	33	2.5	25.1	9.8	—	29.4
S12	Mínimo	5.0	0.2	3.33	7.4	—	23.6
	Promedio	15.0	0.22	3.58	10.25	—	32.07
	Máximo	26.0	0.3	4.35	11.2	—	39.5

Tabla 5.9 Propiedades de los suelos en los sitios de estudio bajo el nivel freático.

De la tabla 5.9 es posible observar:

- Los sitios S01, S02, S07, S08 y S12 cumplen con el criterio a.
- Los sitios S01, S02, S04, S07, S08 y S12 cumplen con el criterio b.
- Los sitios S01, S02, S04 y S09 cumplen con el criterio c.
- Ningún sitio cumple con el criterio d.

Los datos que se muestran en la tabla 5.9 fueron agrupados *por sitio* como se mencionó anteriormente y se no se tomó en cuenta el sitio S03 por lo mencionado en el numeral 3.2.10. De manera análoga se pueden agrupar las mismas propiedades de los suelos *por sondeo*, diferenciando en los que se observó el fenómeno de licuefacción de aquellos en los que no se observó. Los datos con que se obtuvieron las figuras 5.82, 5.83 y 5.84 corresponden a la agrupación por sitio que se muestra en la tabla 5.9, los datos con que se obtuvieron las figuras de la 5.85 a la 5.92 corresponden a una agrupación por sondeo. Aunque en algunas de las figuras que se muestran en este numeral se puede apreciar cierta tendencia, es importante tener en cuenta que están desarrolladas a partir de los sondeos realizados para este trabajo, los cuales *no constituyen* un número suficiente para que lleven a formular generalizaciones.

En las figuras 5.82, 5.83 y 5.84 se muestra, respectivamente, la variación de los valores promedio de D_{50}, C_u, y w%/LL respecto al valor promedio de N de campo para las muestras que se encontraban bajo el nivel freático para cada sitio. Además, en cada una de estas figuras, se muestran los valores límite de los criterios a y b mencionados anteriormente, así como el valor de 0.9LL del criterio c.

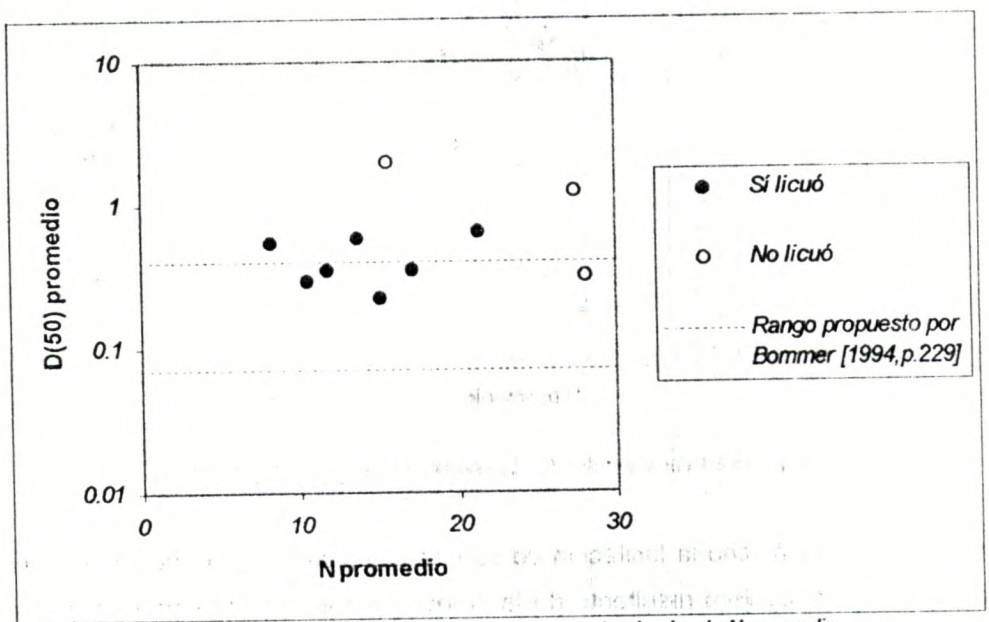


Figura 5.82 Variación de D_{50} promedio respecto al valor de N promedio

En la figura 5.82 los valores promedio de D_{50} de las muestras obtenidas en sitios donde se observó el fenómeno de licuefacción oscilan entre 0.22 y 0.65.

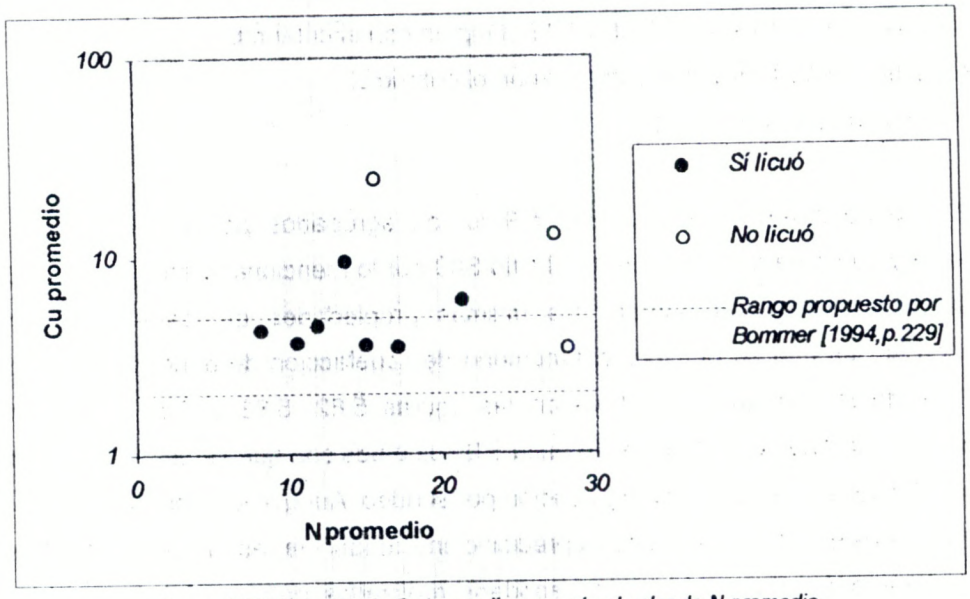


Figura 5.83 Variación de C_u promedio respecto al valor de N promedio.

En la figura 5.83 los valores promedio de Cu de las muestras obtenidas en sitios donde se observó el fenómeno de licuefacción oscilan entre 3.52 y 9.51.

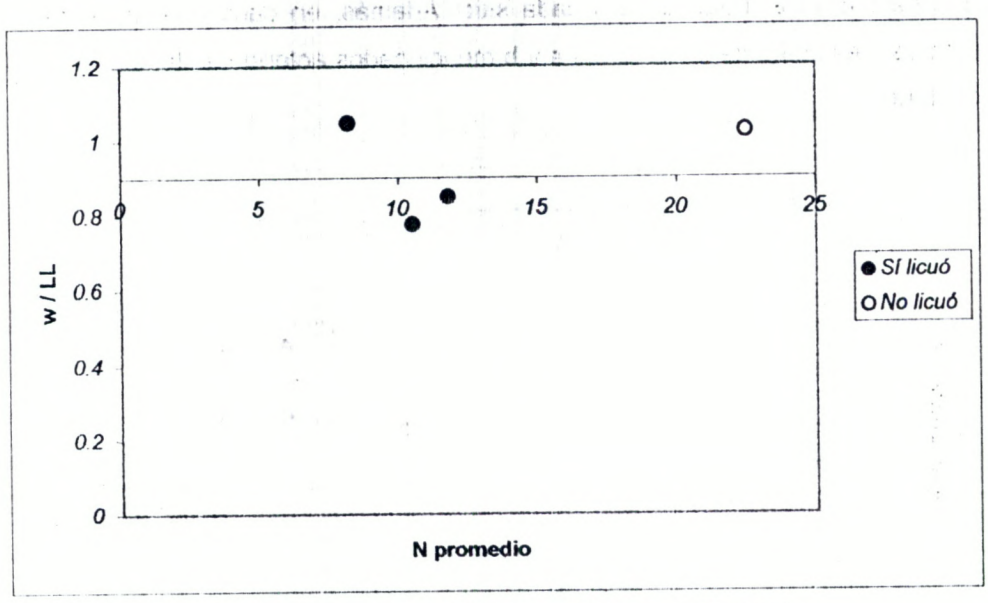


Figura 5.84 Variación de w% / LL respecto al valor de N promedio

En el numeral 3.6 se mencionó la limitación de que no se contaba con el equipo necesario para realizar ademado en el agujero resultante de la prueba de penetración estándar, por lo que se

derrumbaron las paredes del agujero en los sondeos S02.01, S05.01, S07.02 y S08.01. En la figura 5.85 se intenta mostrar la incidencia del derrumbamiento de las paredes del agujero en los valores de N, graficando el contenido de humedad máximo bajo el nivel freático contra su respectivo valor de N para cada sondeo. La tendencia normal debería corresponder a una línea con pendiente negativa, indicando que bajo el nivel freático a un valor alto de humedad le corresponde un valor bajo de N; es posible observar esta tendencia en los sondeos donde no ocurrió derrumbe (línea A) y que los sondeos que sí lo presentaron no muestran esta tendencia (ver línea B).

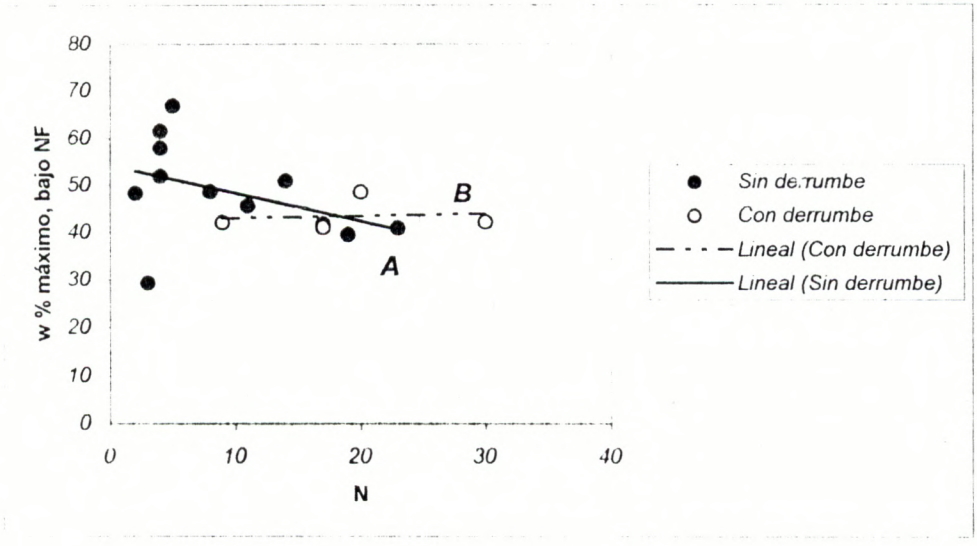


Figura 5.85 Variación de la humedad máxima bajo el nivel freático con N

La ecuación de la línea A es:

$$w_{máx} = -0.5901N + 54.193 \quad \text{(Ec 5.1)}$$

con un valor de coeficiente de correlación, r = 0.4088

La ecuación de la línea B es:

$$w_{máx} = 0.0473N + 42.525 \quad \text{(Ec 5.2)}$$

con un valor de r = 0.12

En la figura 5.86 se muestran los valores de N promedio de los suelos que se encontraron bajo el nivel freático para cada sondeo, diferenciando en los que se observó el fenómeno de licuefacción de aquellos en los que no se observó. Esta figura puede ser útil para determinar el menor valor de

N promedio necesario para resistir la licuefacción, aunque es necesario un número mayor de puntos en esta gráfica para poder definir una curva límite. Nótese que los suelos correspondientes a sitios donde se observó el fenómeno de licuefacción tienen en su mayoría valores promedio de N bajo el nivel freático menores que 15.

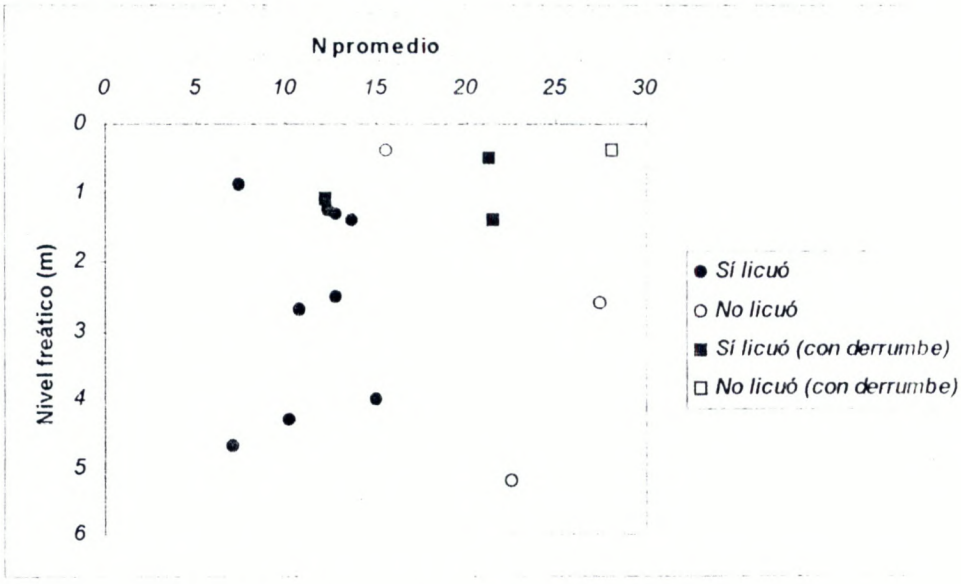


Figura 5.86 Nivel freático vrs N promedio bajo el nivel freático

En la tabla 5.10 se comparan las predicciones por el método de Seed para cada sondeo con la ocurrencia o no-ocurrencia del fenómeno de licuefacción para el evento del 13 de enero. Debido a que el evento del 13 de febrero ocurrió solamente a un mes del anterior, es difícil asociarle la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en aquellos sitios que ya se había observado, ya que todavía presentaban las manifestaciones características en la superficie del terreno; por lo que las predicciones realizadas por el método de Ambraseys (ver numeral 3.4.3) solamente se pueden comparar contra las predicciones realizadas por el método de Seed y no contra la ocurrencia real del fenómeno asociada a este evento.

La predicción por el método de Seed sobre la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la playa Conchalío (S10.01) para ambos eventos sísmicos, se muestra en la tabla 5.10 utilizando la aceleración observada, y en el puerto Cutuco (S11.01), a partir de la aceleración observada para el evento del 13 de enero y a partir de la aceleración predicha para el evento del 13 de febrero.

De la tabla 5.10 se puede observar:

- Para el sismo del 13 de enero, el método de Seed predice la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en todos los sitios de estudio donde este fue observado.

- Para el sismo del 13 de enero, el método de Seed predice la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en los sondeos S06.01 y S10.01 donde este no fue observado. Sin embargo, si el análisis a partir de este método se realiza utilizando la aceleración predicha para el sondeo S10.01, resulta en la no-ocurrencia del fenómeno.
- Para el sismo del 13 de febrero, los dos métodos proporcionan solamente difieren en la predicción de la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en el sondeo S05.01. Además, en los sitios donde se tiene seguridad de la no-ocurrencia del fenómeno de licuefacción, ambos métodos lo confirman.

Sondeo	Licuefacción, 13 de enero		Licuefacción, 13 de febrero		
	¿Observada?	¿Predicha por Seed?	¿Observada?	¿Predicha por Seed?	¿Predicha por Ambraseys?
S01.01	Si	Si	**	Si	Si
S01.02	Si	Si	**	Si	Si
S02.01 *	Si	Si	**	No	No
S02.02	Si	Si	**	Si	Si
S02.03	Si	Si	**	Si	Si
S04.01	Si	Si	**	Si	Si
S04.02	Si	Si	**	Si	Si
S05.01 *	Si	Si	**	Si	No
S06.01	No	Si	Si	Si	Si
S07.01	Si	Si	**	Si	Si
S07.02 *	Si	Si	**	No	No
S08.01 *	No	No	No	No	No
S09.01	No	No	No	No	No
S10.01	No	Si	No	No	No
S11.01	No	No	No	No	No
S12.01	Si	Si	**	Si	Si

* En estos sitios se observó derrumbe en las paredes del agujero.

** No se sabe con certeza

Tabla 5.10 Comparación de la ocurrencia del fenómeno de licuefacción con las predicciones por el método de Seed y por el método Ambraseys

En las figuras 5.87, 5.88, 5.89 y 5.90 se agruparon los puntos correspondientes a los sondeos en donde se observó el fenómeno de licuefacción para el evento del 13 de enero y en aquellos donde no se observó.

Las figuras 5.87 y 5.88 muestran el factor de seguridad (FS) promedio bajo el nivel freático correspondiente al evento del 13 de enero en función del valor de N promedio y de la distancia hipocentral respectivamente.

Se puede notar que en los sondeos donde se observó el fenómeno de licuefacción caen en la porción inferior izquierda de la figura 5.87, a excepción de los puntos correspondientes a los

sondeos S05.01 y S07.02 en los cuales ocurrió derrumbamiento de las paredes del agujero. Los puntos donde no se observó el fenómeno deberían caer en la porción superior derecha de la figura, sin embargo el punto correspondiente al sondeo realizado en la playa Conchalío (S10.01) cae en la porción inferior derecha, esto se debe al alto valor de aceleración máxima observado en la estación acelerográfica ULLB cercana a este sondeo. Recuérdese que el método de Seed predijo la ocurrencia de la licuefacción en este sitio utilizando la aceleración observada, mas no lo predijo cuando se utiliza el valor de la aceleración calculada con la ecuación 9 (ver numeral 5.4).

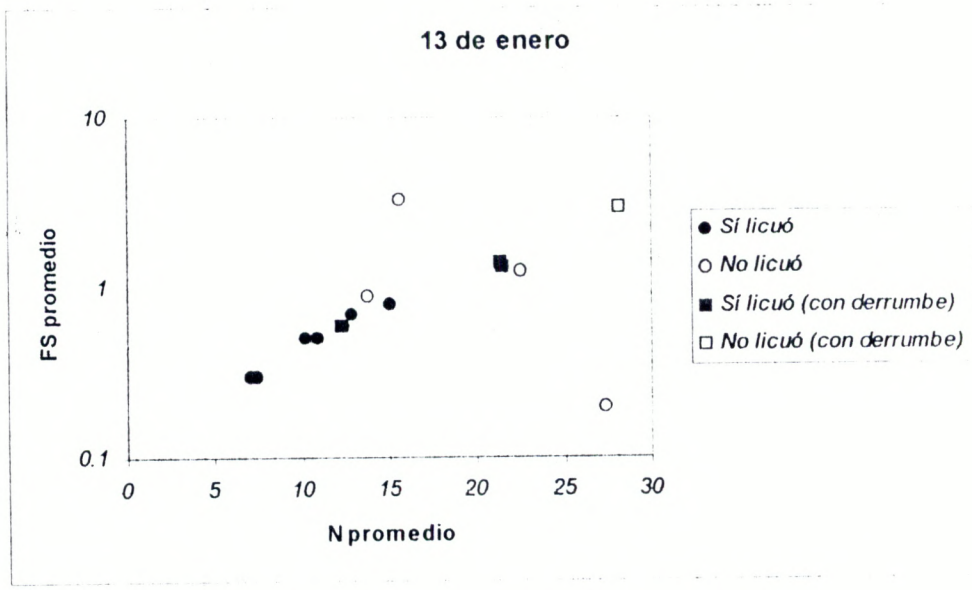


Figura 5.87 Variación FS promedio con el valor de N promedio

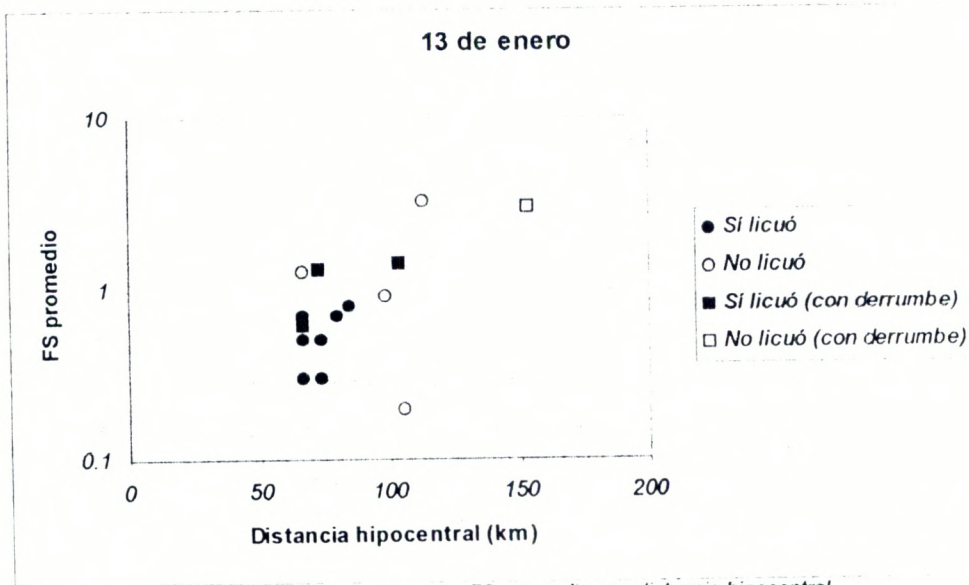


Figura 5.88 Variación del valor FS promedio con distancia hipocentral

De manera análoga a la figura 5.87, los puntos que corresponden a los sondeos donde se observó el fenómeno de licuefacción deberían caer en la porción inferior izquierda de la figura 5.88 y los puntos correspondientes a los sondeos donde no se observó en la porción superior derecha. Los puntos que no muestran esta tendencia son los mismos que no la muestran en la figura 5.87. Además el punto correspondiente al sondeo realizado en la comunidad Montemar (S09.01), donde no se observó el fenómeno, cae en la porción superior izquierda de la figura 5.88, esto podría ser atribuido a que el nivel freático se encontró a 5.2 m de profundidad, bajo el cual se encontraba un estrato de arcilla.

En la figura 5.89 se muestran los valores de factor de seguridad (FS) promedio bajo el nivel freático contra la profundidad de dicho nivel.

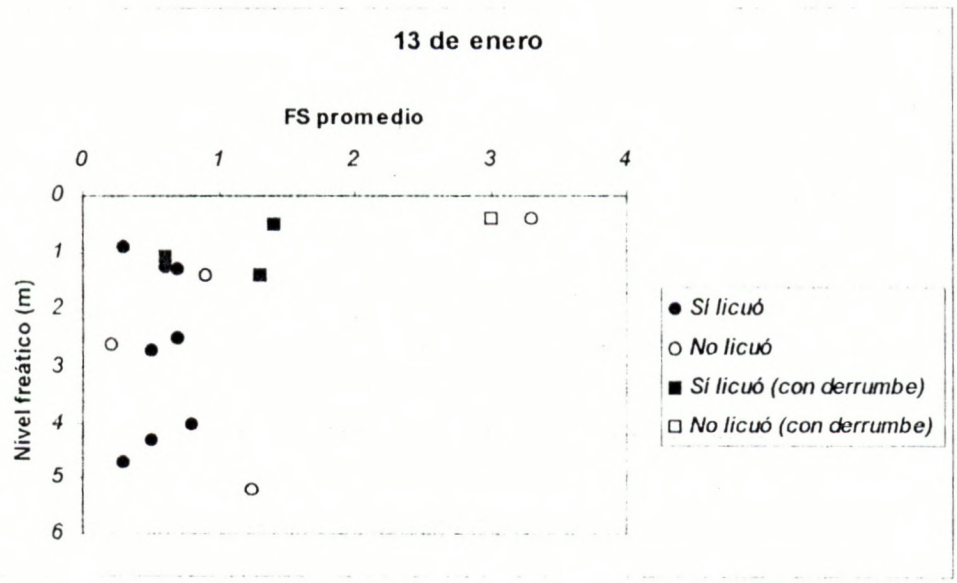


Figura 5.89 Variación de nivel freático con FS promedio

En la figura 5.90 se muestran los valores de factor de seguridad (FS) promedio contra los valores de finos promedio, ambos bajo el nivel freático. Como se mencionó en el numeral 3.4.2, la presencia de finos en un suelo puede incrementar la resistencia de este a licuar, siempre y cuando el índice de plasticidad de los finos sea mayor que 10. En la figura 5.55 se pueden observar algunos suelos con alto porcentaje de finos correspondientes a sondeos donde se observó el fenómeno de licuefacción, esto podría ser debido a que su índice de plasticidad era menor que 10.

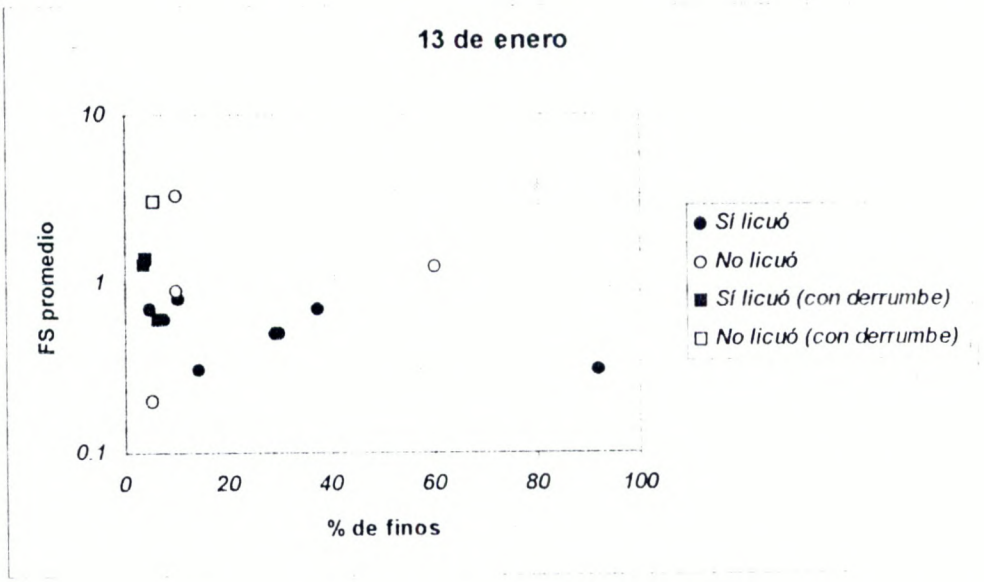


Figura 5 90 Variación de FS promedio con porcentaje de finos

Las figuras 5.91 y 5.92 muestran el porcentaje de la curva granulométrica dentro de los rangos propuestos por Tsuchida y Hayshi [Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones; 1994,p.163] para suelos fácilmente licuables y suelos muy fácilmente licuables respectivamente. Dicho porcentaje se calculó para la curva granulométrica que presentaba el menor factor de seguridad de las que aplican (arenas mal graduadas) por debajo del nivel freático, como la relación de la longitud horizontal de la curva dentro del rango en cuestión a la longitud horizontal total de esta. Se agruparon los sondeos donde se observó el fenómeno de licuefacción y donde no se observó, independientemente del evento sísmico.

En las figuras 5.91 y 5.92 no se observa ninguna incidencia del contenido de finos en la ocurrencia o no-ocurrencia del fenómeno de licuefacción, esto podría ser debido a que los finos presentes en estos suelos son de baja plasticidad. Nótese que dos de los puntos correspondientes a suelos donde no se observó el fenómeno de licuefacción son los que poseen menor porcentaje dentro de los rangos; el punto restante corresponde al barrio La Atarraya, en el puerto de Acajutla (S08.01), que de acuerdo al tipo de suelo según el mapa geológico general de El Salvador, no cumple con el criterio geológico de susceptibilidad a la licuefacción. Siendo más específicos, dicho punto corresponde a la muestra obtenida a una profundidad de 0.5-1.0 m que presenta un valor de N igual a 8; a partir de esta profundidad los valores de N aumentan considerablemente.

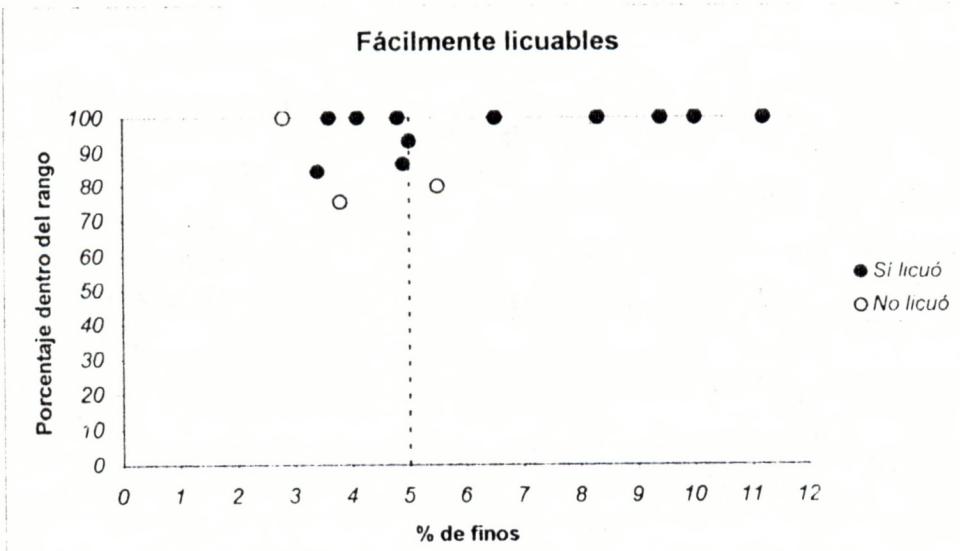


Figura 5 91 Porcentaje de curvas granulométricas dentro del rango de suelos fácilmente licuables

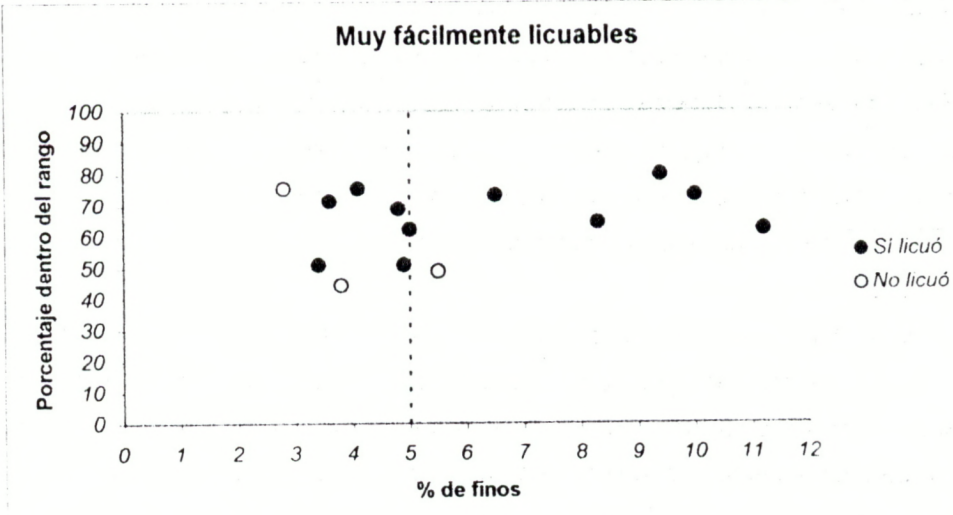


Figura 5 92 Porcentaje de curvas granulométricas dentro del rango de suelos muy fácilmente licuables

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Las disposiciones acerca del fenómeno de licuefacción que se presentan en la Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de El Salvador [Ministerio de Obras Públicas; 1994], no proporciona ninguna información acerca de medidas remediales o preventivas contra el fenómeno de licuefacción, más aún, no presenta ninguna metodología para la evaluación del potencial de licuefacción en un emplazamiento.

- Se considera que el método más apropiado para las comunidades Babilonia y San Antonio Potrerillos es el método de disminución del nivel freático por medio de canaletas receptoras del agua subterránea, aunque el método de disipación de la presión de poros es el más frecuentemente utilizado por razones económicas según los resultados del cuestionario presentados en el numeral 2.4.6, no es el más conveniente para estas comunidades, ya que además de restar espacio para el cultivo, permite el flujo de agua subterránea hacia la superficie, lo que de igual manera resultaría perjudicial para esta actividad, debido al nivel de salinidad del agua freática de estas localidades.

- Según los datos obtenidos en este trabajo, las condiciones de la comunidad Montemar son apropiadas para que los habitantes de las comunidades Babilonia y San Antonio Potrerillos se trasladen, aunque se debe tomar en cuenta que los suelos que se encontraron sobre el nivel freático son susceptibles a licuefacción y que la estación lluviosa del presente año ha tenido una menor intensidad que en años anteriores, por lo que no se tiene la certeza que con un invierno más copioso el nivel freático aumente de tal manera que permita la licuefacción de los estratos de suelo mencionados anteriormente.

- El Aeropuerto Internacional de Comalapa ya cuenta con canaletas de drenaje, con el inconveniente que la profundidad de éstas es menor que la profundidad del nivel freático en el punto geográfico donde se realizó la perforación, lo que no las convirtió en una solución práctica como medida preventiva contra la licuefacción.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, el derrumbamiento de las paredes del agujero resultante de la prueba de penetración estándar afecta los valores de N de campo.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, el método de Seed acierta en sus predicciones acerca de la ocurrencia o no-ocurrencia del fenómeno de licuefacción en un 87.5% de las veces para el evento sísmico del 13 de enero.

- Si a partir de la conclusión anterior se asume que el método de Seed es un buen método para predecir la ocurrencia o no-ocurrencia del fenómeno de licuefacción, el método de Ambraseys también resulta serlo, ya que solamente difiere del primero en una de las predicciones para el evento sísmico del 13 de febrero.

- Para el evento sísmico del 13 de enero, la tendencia del logaritmo del factor de seguridad promedio con respecto al valor promedio de N, ambos bajo el nivel freático, se asemeja a una línea con pendiente positiva; indicando que a valores altos de N les corresponden valores altos de factor de seguridad.

- Para el evento sísmico del 13 de enero, la mayoría de los suelos en los que se observó el fenómeno de licuefacción, presentan un valor de factor de seguridad promedio bajo el nivel freático menor que la unidad.

- Los limos de baja plasticidad no influyen en la susceptibilidad de un suelo a licuar, no importando el porcentaje de estos que se presenten en un suelo.

6.2 RECOMENDACIONES

- Fortalecer las disposiciones respecto al fenómeno de licuefacción en la Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes.

- Construir canaletas receptoras del agua subterránea en las comunidades Babilonia y San Antonio Potrerillos a una profundidad que puede ser determinada a partir de un estudio de intensidades de precipitación en la zona.

- Aumentar la profundidad de la canaletas que se encuentran en el Aeropuerto Internacional de Comalapa mas allá del nivel freático a una profundidad que puede ser determinada a partir de un estudio de intensidades de precipitación en la zona.

- Hacer un estudio más exhaustivo del potencial de licuefacción en la comunidad Montemar para contar con valores más representativos de las condiciones de los suelos de esta localidad.

- Aumentar el límite superior de los rangos propuestos por Bommer [1996, p 229] para los valores de D_{50} y Cu, a los máximos valores de estos parámetros obtenidos en este trabajo, mientras no se realice un estudio más particular de la caracterización de la susceptibilidad de un suelo a la licuefacción a partir de estos parámetros.

- No realizar pruebas de penetración estándar sin el equipo para realizar ademado, en los casos que sea necesario.

- Complementar los análisis realizados en este trabajo agregando valores de sondeos correspondientes a sitios en los que no se observó el fenómeno de licuefacción para tener una mejor dispersión de puntos y de esta manera corroborar o descartar las tendencias formuladas en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones [1994] Código de Cimentaciones de Costa Rica. *Editorial Tecnológica de Costa Rica.* **8.** 147-153.

Atkinson, J. [1993] The Mechanics of soils and foundations. *Mc Grow Hill, international series in civil engineering, United Kingdom.*

Bommer, J.J. [1994] Sismología para ingenieros. *Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas".* El Salvador.

Bommer, J.J., J. M. Cepeda y W.M. Salazar [1997] Ecuaciones de atenuación para Centroamérica I. aceleración máxima del terreno. *Proceedings, Seminar on Evaluation and Mitigation of Seismic Risk in the Central American Area.* San Salvador.

Bowles, J.E. [1996] Foundation analysis and design. *EEVV: McGraw Hill.*

Cepeda, J.M. [2001] 50 días después del 13 de enero y 15 años después del 10 de octubre, algunas consideraciones técnicas sobre los sismos y sus efectos. *Revista ECA mayo-junio, UCA Editores.*

Cepeda, J.M. y W.M.Salazar [2001] Los terremotos de enero y febrero, resultados y análisis en base a la red de acelerógrafos de la UCA. *Revista ECA enero-febrero, UCA Editores.*

CEN [1994] Eurocódigo 8, parte 5: Cimentaciones, Estructuras de Contención de Tierras y Aspectos Geotécnicos. *Editada e impresa por AENOR, Madrid-España.*

Das, B. M. [1998] Principles of Geotechnical Engineering. *International Thompson Publishing.*

Departamento de Ingeniería Civil, UCA [1996] Mecánica de suelos, Guía de Laboratorio. *Talleres Gráficos de la Universidad Centroamericana, El Salvador.*

Dowrick, D.J. [1969] Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos para Ingenieros y Arquitectos.

Durr, Fritz [?] Mapa geológico general de El Salvador. *Ministerio de Obras Públicas.* San Salvador, El Salvador.

EERI [1991] Earthquake Spectra, October 1991. *Published by EERI, Oakland, CA. USA.*

EDH [2001] Hundimiento en el Lago de Ilopango. 23 de enero.

Greene, M., M. Power y T.L. Youd [1994] Earthquake basics: Liquefaction, what it is and what to do about it. *Earthquake Engineering Research Institute*. USA.

JSCE [2001] Provisional Report on the January 13, 2001 Earthquake curred Off The Coast of El Salvador, 15 de febrero de 2001.

Japanese Geotechnical Society [1998] Remedial Measures against Soil Liquefaction, from investigation and design to implementation. *Published by A.A. Balkema, Rotterdam. Holanda.*

Kramer, S. L. [1996] Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanichs.* **9.** 348-390.

LPG [2001a] Sismos dejan Grietas al Sur del Bajo Lempa. 23 de febrero.

LPG [2001b] Grietas, Inundación y Peces Muertos. 5 de marzo.

Madrid, K., L. Moreno y D. Saracay [1998] Los Terremotos Destructores en El Salvador en el Siglo XX. *Trabajo de graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil en la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador, El Salvador, 1998.*

Mendoza, M. J. y L. Domínguez [2001] Deslizamiento y flujos de tierra en las Colinas, Nueva San Salvador. *Revista ASIA, Número 138, Diciembre 2000. Impresos Litográficos de Centroamérica.*

Ministerio de Obras Públicas [1994] Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes.

Rosenblueth, E. y J. Prince, [1966] El temblor de San Salvador, 3 de mayo 1965: Ingeniería Sísmica.

Rymer, M.J. y R.A. White [1989] Hazards in El Salvador from earthquake-induced landslides. *U.S. Geological Survey.* California, USA.

Seed, H.B. e I.M. Idriss [1982] Ground Motions and soil Liquefaction during earthquakes. *Earthquake Engineering Research Institute.*

Segovia, J A y E O Shelley [1996] Licuación de arenas *TGC Geotecnia S A de C V* México

Whitlow, R [1994] Fundamentos de Mecánica de Suelos *Compañía Editorial Continental, S A de C.V., México D.F.*