



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-IG-07-18

### Revisión del estudio de suelos para el Proyecto Playa Naranjo – Paquera

INFORME FINAL



Preparado por:  
Ing. Ana Lorena Monge S., M.Sc.  
Coordinadora  
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Diciembre, 2018



1. Informe		2. Copia No.
LM-IG-07-18		1
3. Título y subtítulo:		4. Fecha del Informe
Revisión del estudio de suelos para el Proyecto Playa Naranjo – Paquera		19 diciembre 2018
5. Organización y dirección		
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
Ninguna		
7. Resumen		
<i>A solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA, se presenta a continuación la revisión de los capítulos 4, 7 y 9 del "Informe Final, Diseño de la Ruta Nacional N°160, Sección Playa Naranjo – Paquera".</i>		
<i>La revisión consiste en verificar si el estudio de suelos realizado para determinar la estabilidad de los taludes de corte y de relleno en el tramo del proyecto cuenta con información suficiente para determinar los resultados obtenidos.</i>		
<i>Adicionalmente, se revisan si los análisis de capacidad de soporte y recomendaciones para cimentaciones de los puentes y alcantarillas comprendidos en el proyecto, sobre los ríos Gigante, Grande y Guarial, y las quebradas Los Ángeles y Congo, son adecuados, tomando en cuenta las características de los sitios y los fenómenos que puedan afectar a las cimentaciones de estas obras.</i>		
<i>Por último, se revisan los diseños de los muros de gaviones y "tierra armada" (terramesh) que se realizan como medidas de estabilidad para taludes problemáticos de Proyecto.</i>		
8. Palabras clave	9. Nivel de seguridad:	10. Núm. de páginas
Estudio de suelos, estabilidad de taludes, cimentaciones, licuación, puentes, alcantarillas, muros de contención	-	13
11. Preparado y aprobado por:		
Ing. Ana Lorena Monge Sandí Coordinadora del Programa de Ingeniería Geotécnica		

## CONTENIDO

I.	Introducción .....	4
II.	Comentarios generales del estudio de suelos y sus respectivos anexos.....	4
III.	Revisión del Capítulo 4: “Identificación de zonas inestables” .....	5
III.1	Revisión del apartado 4.3.1.2 “Evaluación rápida de taludes” .....	5
III.2	Revisión del apartado 4.3.2 “Puentes” .....	6
IV.	Revisión del Capítulo 7: “Estudio de amenaza sísmica para los puentes de la Ruta Nacional 160: Playa Naranjo – Paquera, Costa Rica” .....	6
V.	Revisión del Capítulo 9: “Estudios geotécnicos para taludes, puentes, alcantarillas y muros” ..	6
V.1	Revisión del apartado 9.3 “Evaluación rápida de taludes” .....	6
V.2	Revisión del apartado 9.4 “Puentes y alcantarillas” .....	8
V.2.1	Puentes .....	8
V.2.2	Alcantarillas .....	8
V.3	Revisión del 9.5 “Muros de contención” .....	8
VI.	Análisis adicional del potencial de licuación en los sitios de los puentes del Proyecto Playa Naranjo – Paquera. ....	9
VI.1	Metodología utilizada para el análisis adicional .....	9
VI.2	Análisis realizado a los puentes de los ríos Gigante, Grande y Guarial .....	10
VI.3	Análisis realizado a los sitios de las alcantarillas .....	11
VII.	Comentarios finales.....	13
VIII.	Referencias .....	13

## REVISIÓN DEL ESTUDIO DE SUELOS PARA EL PROYECTO PLAYA NARANJO – PAQUERA

### I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra el resultado de la revisión del Capítulo 4: “Identificación de zonas inestables”, Capítulo 7: “Estudio de amenaza sísmica” y del Capítulo 9 “Estudios geotécnicos para taludes, puentes, alcantarillas y muros” del “Informe Final, Ruta No. 160, Sección: Playa Naranjo – Paquera” elaborado por la empresa CACISA.

Esta revisión consiste en el análisis de la información de la siguiente manera:

- Capítulo 4:
  - Apartado 4.3.1.2 “Evaluación rápida de taludes”
  - Apartado 4.3.2 “Puentes”
- Capítulo 7
  - Lectura completa del informe
- Capítulo 9:
  - Apartado 9.3 “Análisis geológico geotécnico de los taludes”
  - Apartado 9.4 “Puentes y alcantarillas”
  - Apartado 9.5 “Muros de contención”

La revisión que se realiza consiste en determinar si los análisis realizados son suficientes para respaldar las recomendaciones realizadas, si la información es clara y si tiene fundamento técnico que la respalde. Adicionalmente, se hace un análisis extra de susceptibilidad de licuación para las cimentaciones de los puentes y se realizan una serie de comentarios al respecto.

### II. Comentarios generales del estudio de suelos y sus respectivos anexos

Inicialmente, se realizan una serie de comentarios al respecto de la presentación del capítulo 9 del informe que presenta inconsistencias con la condición de la empresa y el laboratorio que se encuentra acreditado, que puede ser que no influyan tanto técnicamente, pero que por tratarse de un proyecto para el estado, se considera deben ser más cuidadosos al presentar un informe.

1. En el apartado 9.1 “Resumen”, y en el apartado 9.4.1 “Puentes”, se indica que se realizaron perforaciones exploratorias utilizando como base la norma ASTM D2113-2008. El informe tiene fecha de Abril 2016, y a esa fecha, la norma ASTM D2113 contaba con la versión vigente del año 2014. Si es una empresa cuyo laboratorio se encuentra acreditado con la norma de ensayo bajo el alcance de la acreditación, como es el caso, debe tenerse presente que se debe trabajar con las normas vigentes. Si es que se trabajó con la norma del año 2008, este se realizó con una norma que no se encontraba vigente.
2. Igualmente, en el apartado 9.4.1 se indica que se trabajó con las normas ASTM D424 y ASTM D423 para determinar los límites líquido y plástico. Estas normas no existen, sino más bien son artículos de un simposio que se llevó a cabo en el año 1960. La norma ASTM que corresponde a la determinación de estos índices es la norma ASTM D4318. Sin embargo, el laboratorio de Materiales cuenta con las normas AASHTO T89 y AASHTO T90 dentro de su alcance de acreditación para determinar estas propiedades de los suelos.

3. En este mismo apartado 9.4.1, se indica que se determina la gravedad específica del suelo con la norma ASTM D854-58. A pesar de que este método de ensayo no se encuentra en el alcance de acreditación, se considera que esta versión con la que trabaja el laboratorio se encuentra muy discontinuada, ya que la última versión de esta norma es del año 2014.
4. En el anexo 3.6 “Informe de ensayo” se presentan el informe GEO 107-2015 con fecha de 16 de marzo de 2015, que muestran los resultados de ensayos realizados a las muestras obtenidas de las perforaciones de los puentes. En estos se indica que el método de muestreo utilizado se basa en la norma ASTM D1586-2008 y en la norma ASTM D2112-2008. Sin embargo, a la fecha de los informes ya existe otra versión más actualizada de ambas normas (ASTM D1586 con año 2011 y ASTM D2113 con año 2014). Si es que se trabajó con la norma de los años indicados en el informe, este se realizó con normas que no se encontraban vigentes.
5. Adicionalmente, en este mismo anexo, existe una incongruencia en las fechas de emisión del informe y del muestreo realizado. Mientras que el informe se reporta con fecha de 16 de marzo de 2015, en las fechas de recolección de muestras se indica un rango de días que van desde el 25 de noviembre de 2015 a 5 de febrero de 2016. Este rango de fechas de muestreo, es posterior a la fecha indicada en la emisión del informe.
6. En el anexo 9.8 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a testigos de roca, utilizando la norma ASTM D7012. Sin embargo, no se presenta un informe de resultados formal del laboratorio de Materiales, el cual cuenta con este método de ensayo dentro del alcance de acreditación.

### III. Revisión del Capítulo 4: “Identificación de zonas inestables”

Como parte del paquete de capítulos entregados en el “Informe Final, Ruta No. 160, Sección: Playa Naranjo – Paquera” que realizó CACISA, se encuentra el capítulo 4 que muestra un estudio preliminar realizado para evaluar la estabilidad de los taludes del Proyecto, el estudio preliminar de los materiales que componen el cimiento de los tres puentes que se colocarán e indicar la estrategia de trabajo para determinar los análisis pertinentes.

Como se indicó anteriormente, para la revisión de este informe, se tomarán en cuenta los apartados 4.3.1.2 y 4.3.2. A continuación se comenta brevemente los hallazgos encontrados.

#### III.1 Revisión del apartado 4.3.1.2 “Evaluación rápida de taludes”

Al revisar este apartado, se encuentra que CACISA estableció realizar inicialmente una evaluación visual preliminar de los taludes existentes mayores a 3 metros de altura (premisa tomada por CACISA para analizar taludes), ejecutar perforaciones de SPT y levantamiento de RMR para clasificación de macizos rocosos. Se considera que esto es de gran ayuda para determinar las condiciones reales del medio.

Sin embargo, en el caso de los análisis de estabilidad de taludes, se considera que es importante también tomar en cuenta el nuevo trazado del Proyecto para determinar sitios donde posiblemente se puedan encontrar taludes de altura mayores a las de 3 metros que se conformen por alguna circunstancia constructiva del mismo proyecto. Con esto se verifica si bajo estas nuevas condiciones de los taludes se hace necesario caracterizar materiales en estaciones que no fueron tomadas en cuenta en la evaluación inicial realizada a los taludes existentes.

### **III.2 Revisión del apartado 4.3.2 “Puentes”**

Para este caso, CACISA en el informe muestra los criterios que se tomarán en cuenta para determinar si la capacidad soportante del material encontrado en la investigación con perforaciones, es apropiada para cimentar los bastiones de los puentes.

Incluso se proponen niveles de desplante para cada puente, pero no se observan resultados específicos de las capacidades soportantes de los materiales encontrados en la campaña de perforaciones para sitio de los puentes. Es por ello que se considera recomendable que estos datos se incluyan en informes parciales de ahora en adelante, o bien no hacer indicaciones de niveles de desplante, si lo que se busca es detallar más estos resultados en el informe final. Esta recomendación se indica para que en cualquier tipo de informe (parcial o final) se cuente con el respaldo técnico correspondiente.

### **IV. Revisión del Capítulo 7: “Estudio de amenaza sísmica para los puentes de la Ruta Nacional 160: Playa Naranjo – Paquera, Costa Rica”**

Con respecto al estudio de amenaza sísmica presentado por CACISA, se observa que es un informe muy completo y no hay comentarios al respecto.

### **V. Revisión del Capítulo 9: “Estudios geotécnicos para taludes, puentes, alcantarillas y muros”**

Como parte del paquete de capítulos entregados en el “Informe Final, Ruta No. 160, Sección: Playa Naranjo – Paquera” que realizó CACISA, se encuentra el capítulo 9 que muestra el estudio final de los materiales que se encuentran en el Proyecto, por lo que se cuenta con información un poco más detallada de los análisis realizados a la estabilidad de los taludes encontrados, el establecimiento de la capacidad soportante tanto de puentes como de alcantarillas y el diseño de muros de contención.

Como se indicó anteriormente, para la revisión de este informe, se tomarán en cuenta los apartados 9.3, 9.4 y 9.5. A continuación se comenta brevemente los hallazgos encontrados.

#### **V.1 Revisión del apartado 9.3 “Evaluación rápida de taludes”**

A pesar de que el análisis de estabilidad de taludes realizado parece adecuado, no se tiene claro el modelo geotécnico para cada talud, es decir no se encuentra de manera explícita los tipos y espesores de capas de los materiales tomados en cuenta en el modelo numérico. En el apartado 9.3.3 “Cálculo de estabilidad de taludes” se indica que los perfiles simulados se encuentran en los “esquemas geotécnicos de cálculos”, sin embargo se considera oportuno detallar esta información en el informe.

Otro aspecto importante a considerar es que el análisis de estabilidad de taludes se realizó a un solo perfil geotécnico de un talud generalizado. Se considera importante que este análisis más bien se oriente a realizar la determinación de la estabilidad dependiendo de la estación donde se encuentre el talud y de esta tomar la información del modelo geotécnico establecido ya sea por los valores de espesores de los materiales encontrados en las perforaciones, o por el trazado del modelo geotécnico a lo largo del Proyecto, y con ello generar análisis de estabilidad de taludes más específicos.

Adicionalmente, es posible que dependiendo de la estación que se analice, sea necesario utilizar otra metodología de trabajo para establecer la estabilidad del talud. Según lo observado en las fotografías 9-4, 9-5, 9-9, 9-16 y 9-17, algunos taludes a lo largo de la línea de trazado del Proyecto, presentan una configuración cuyo comportamiento es posible que esté regido por los principios de la mecánica de rocas, en lugar de la mecánica de suelos, que es como se han analizado los taludes supuestos. Lo anterior reafirma la importancia de realizar los análisis de estabilidad de taludes dependiendo del estacionamiento.

Por otro lado, la determinación de los parámetros geotécnicos de resistencia de la capa 1 no queda clara, ya que solo aparecen en la tabla 9-11 y no se observa algún tratamiento para su obtención. Tampoco se incluye en los anexos algún informe donde se observe el muestreo y ensayos correspondientes a este material.

Para el resto de los materiales de los taludes llamados “de corte”, el tratamiento para la obtención de los parámetros para cada capa parece adecuado, basándose en el resultado de la clasificación de macizos rocosos con el método RMR, y utilizando la herramienta Rocklab, que se basa en el criterio de ruptura de macizos rocosos de Hoek y Brown.

Para el material de relleno que se considera utilizar en los taludes llamados “de relleno”, sucede lo mismo que con el material de la capa 1 anteriormente comentado. Se muestran los parámetros en la tabla 9-12, pero no se detalla la obtención de los mismos ni se muestra un informe de resultados de ensayos del material.

Con respecto a los casos de carga evaluados: estática sin nivel freático, estática con nivel freático y pseudoestática (sin nivel freático), se considera importante incluir el análisis pseudoestático con presencia de nivel freático, que puede ser la condición más crítica que se pueda tener y que como es bien sabido en Costa Rica es probable encontrarse en tal situación.

Por último, respecto a las propuestas de conformación de taludes presentadas en la tabla 9-16, parece adecuada tomando en cuenta los resultados de los análisis realizados. Sin embargo, existen inconsistencias con lo indicado en el apartado 9.3.3 en la sección “Taludes en corte”, donde se indica que existe un talud con una altura máxima de 52 m, existen dos zonas donde los taludes críticos cuentan con una altura máxima de 38 m y por último existen tres zonas donde los taludes máximos son de 34 m. En la tabla 9-16 solo se muestran recomendaciones de taludes hasta 24 m, quedando descubiertos de recomendaciones estos taludes críticos de gran altura. Esto reafirma lo comentado anteriormente, de la importancia de analizar más que un solo talud estandar con unas propiedades promedio.

Es importante destacar que la determinación de los parámetros geotécnicos que se utilizarán en un modelo para ser evaluado con una herramienta computacional, es la base de un resultado que represente lo mejor posible la realidad con la que se va a enfrentar la construcción del proyecto; y que para el caso de este informe de estudio de suelos, existen vacíos en estas determinaciones para algunos materiales que se considera fundamental detallar, máxime que se trata de los materiales cuyo comportamiento puede ser el más complicado.

Igualmente, como se cuenta con taludes de gran altura, es recomendable realizar análisis de estabilidad de varios tipos de taludes que serán conformados a lo largo de la línea del proyecto, tomando en cuenta distintos espesores de materiales que conformarían el talud y alturas, y no realizar un solo análisis simplista de un solo talud asumiendo que el comportamiento será igual para el resto de los taludes del proyecto.



## V.2 Revisión del apartado 9.4 “Puentes y alcantarillas”

### V.2.1 Puentes

Respecto al análisis de cimentaciones, se observa que las propuestas en general son colocar una cimentación superficial directamente sobre el material recomendado, dadas las características de los mismos. En este informe final, afortunadamente si se cuenta con tablas de resultados de capacidad de soporte del medio, dependiendo de la profundidad de la cimentación. Con esta información se facilita la decisión de la profundidad de la fundación, sin embargo las propuestas dadas por CACISA parecen adecuadas, solo que se debe contrastar con las cargas reales que transmitirá la estructura al medio cimentante. Las propuestas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Propuestas indicadas para las cimentaciones de los puentes del Proyecto Playa Naranjo - Paquera*

	Río		
	Gigante	Grande	Guaral
Profundidad*	3 m	3 m	3 m
Bastión MI	7.5 msnm	3.38 msnm	31 msnm
	Capa 3C	Capa 3C con 3.13 m de concreto estructural	Capa 3A
Bastión MD	7.5 msnm	3.38 msnm	32.6 msnm
	Capa 3C	Capa 3B con 2.63 m de concreto estructural	Capa 3A con 1.6 m de concreto estructural

(\*): Profundidad a la que se encontró la capa en las perforaciones

Con respecto al análisis de deformabilidad para cada una de las propuestas, a pesar de que no se realiza y se indica debe hacerse cuando se esté realizando el diseño final, se considera acertada la propuesta de colocación de las cimentaciones en las capas indicadas pues están constituidas por un material que no se considera muy deformable.

Sin embargo, como lo comenta CACISA en su informe, es necesario hacer este análisis en el diseño final de las propuestas para cimentación tomando en consideración las características de deformabilidad dadas para cada material.

### V.2.2 Alcantarillas

Para el caso de las alcantarillas, de manera similar que los análisis de taludes, CACISA plantea un perfil de sitio generalizado, en lugar de tomar en cuenta las características de cada sitio. Se considera conveniente realizar el análisis para cada sitio, con la información obtenida de la exploración, tomando en cuenta los espesores propios de cada zona. A pesar de ello, las recomendaciones indicadas por CACISA se consideran adecuadas.

## V.3 Revisión del 9.5 “Muros de contención”

Para el caso del diseño de los muros de contención, la empresa CACISA decidió utilizar muros de gaviones entre las estaciones 2+550, 4+100, 4+200, 6+620, 7+550, 13+040, 17+350 19+320 y 19+460; y muros de “tierra armada” (terramesh) entre las estaciones 8+780, 9+200, 12+220, 12+600, 12+800, 13+260 y 17+250.

En el apartado 9.5.2 “Diseño de muros de gaviones”, se muestra el análisis realizado con el software GawacWin para las condiciones de estabilidad interna del muro, estabilidad global y revisión contra el deslizamiento y vuelco del muro, tanto para la condición estática como



pseudoestática. Sin embargo, no se tiene claro cuál es el modelo geotécnico para cada una de las estaciones, pues tampoco se especifica en los planos adjuntos de los muros.

Con base en la información presentada en el informe, parece que CACISA utilizó un solo modelo para cada una de las estaciones. Se considera recomendable, que se presente el análisis que se realizó con cada talud con la información del perfil geotécnico (modelo) para cada estación correspondiente, con el fin de representar más realmente el talud que se está analizando.

En el apartado 9.5.2 “Diseño de muros de terramesh”, queda claro que se realizaron los diseños para cada talud en específico, solo que no se muestran los resultados de estos análisis en el informe. Se considera conveniente mostrar al menos una tabla resumen que indique las características del muro y los factores de seguridad obtenidos.

A pesar de esto, las recomendaciones finales de los parecen adecuadas con las indicaciones de revisiones de capacidad de soporte del medio en la etapa de diseño final.

## **VI. Análisis adicional del potencial de licuación en los sitios de los puentes del Proyecto Playa Naranjo – Paquera.**

La empresa CACISA, en todos los sitios de los puentes y alcantarillas del tramo de la carretera, indica que el análisis de licuación no es necesario porque se está proponiendo cimentar sobre un material que se encuentra debajo de la capa que pueda presentar problemas o bien porque son materiales finos que no presentan problemas de susceptibilidad, o simplemente ni se menciona el tema.

Sin embargo, es importante realizar este análisis porque eventualmente, si existiese un cambio en la profundidad de cimentación, o bien se encontrase una capa de mayor espesor de este material fino en la zona del nivel de desplante, se pueden tomar las decisiones del caso, teniendo la información a la mano.

Es por ello que a continuación se realiza un análisis para materiales que presentan ciertas características de plasticidad, pero que podría presentar susceptibilidad a la licuación por sus características.

### **VI.1 Metodología utilizada para el análisis adicional**

La metodología que se utiliza para el análisis adicional, es en primer lugar determinar el potencial de licuación de los materiales con plasticidad, colocándolos en la carta de plasticidad modificada por Idriss et al, presentada en el Seminario de la ASCE del 2003, la cual incluye una zonificación de suelos potencialmente licuables. Esta carta de plasticidad modificada es la que se muestra en la figura 1.

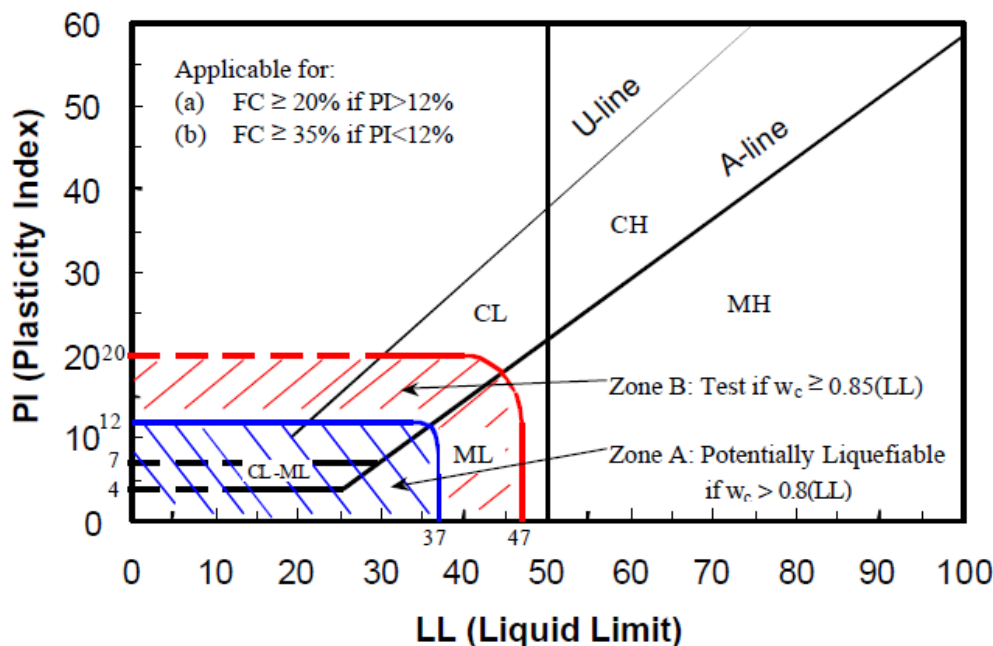


Figura 1. Carta de plasticidad modificada por Idriss et al (2003)

Cabe destacar que esta carta de plasticidad es aplicable para dos condiciones de suelos, a saber:

- Contenido de finos mayores que 20% si poseen un índice de plasticidad mayor que 12%
- Contenido de finos mayores que 35% si poseen un índice de plasticidad menor que 12%

Es importante hacer notar que, en esta carta de plasticidad modificada, la licuación se puede producir cuando al clasificar el suelo, este se encuentra en la zona A (zona azul) donde existe un potencial de licuación si el contenido de humedad natural del suelo es mayor al 80% del Límite Líquido ( $w_c > 0.8LL$ ), o se encuentra en la zona B, donde la licuación podría presentarse si el suelo posee un contenido de humedad natural es mayor o igual al 85% del Límite Líquido ( $w_c \geq 0.85LL$ ). La zona C es libre de licuación, al menos en su presentación clásica.

## VI.2 Análisis realizado a los puentes de los ríos Gigante, Grande y Guarial

Con base en los resultados mostrados en los apartados de la caracterización de materiales en cada sitio de los puentes y alcantarillas, se realiza el análisis con la metodología antes descrita. Los datos utilizados se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de los materiales eventualmente susceptibles encontrados en cada sitio

Río	Tipo de material	IP	LL	% pasando malla #200	% humedad
Gigante	C2	10	32	28.0	21.7
	C3A	9	37	45.0	25.0
Grande	C2	9	34	39.1	23.8
	C3B	13	37	40.0	31.7
Guarial	C2	8	23	25.7	22.1
	C3A	8	21	36.0	24.8
	C3B	6	24	34.7	26.7

Cuando se introducen estos datos a la carta de plasticidad modificada, el resultado es el siguiente:

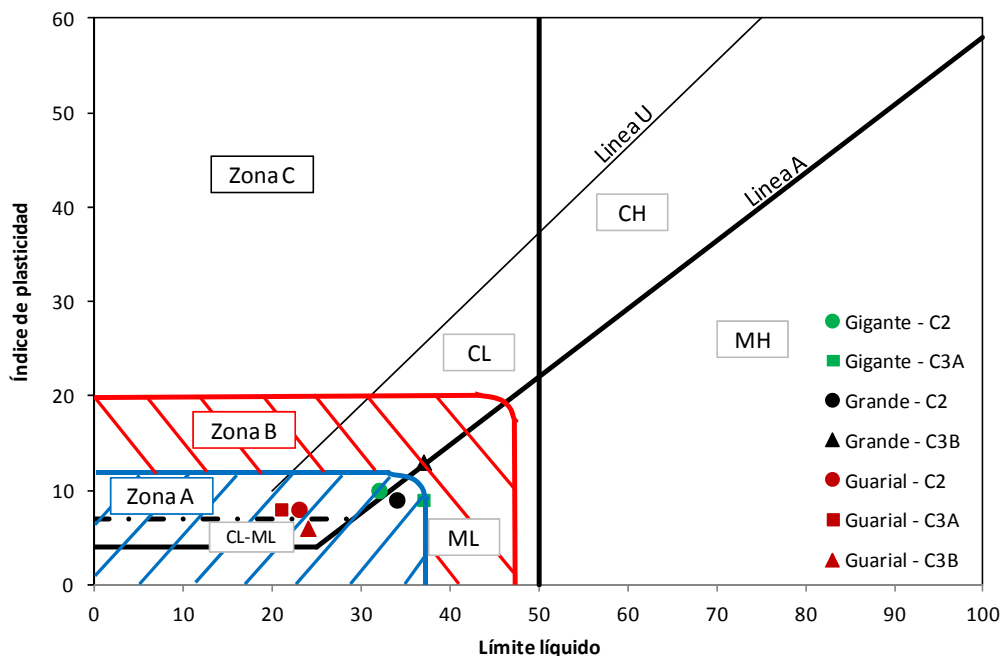


Figura 2. Análisis en carta de plasticidad modificada de los materiales en los sitios de los ríos

Como es posible apreciar, la mayoría de estos materiales se encuentran en las zonas A y B de susceptibilidad a la licuación de la carta de plasticidad modificada. Al analizar las condiciones de contenido de finos y humedad que indica el método de Idriss et al, cumplen para estos cuatro materiales, se obtiene lo siguiente:

Tabla 3. Análisis de susceptibilidad a la licuación de los materiales en cada sitio

Zona	Río						
	Gigante		Grande		Guaral		
	C2	C3A	C2	C3B	C2	C3A	C3B
Condición de humedad	> 0.8LL	≥ 0.85LL	> 0.8LL	≥ 0.85LL	> 0.8LL	> 0.8LL	> 0.8LL
	25.6	31.5	27.2	31.5	18.4	16.8	19.2
	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
Condición de contenido de finos	≥ 35 si IP <12	≥ 35 si IP <12	≥ 35 si IP <12	≥ 20 si IP >12	≥ 35 si IP <12	≥ 35 si IP <12	≥ 35 si IP <12
	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO

Después de realizado este análisis, se puede notar que afortunadamente ninguno de los materiales finos de los ríos presenta susceptibilidad a la licuación. Esta información podría ser útil eventualmente para hacer la toma de decisiones del nivel de desplante final de las cimentaciones de los puentes.

### VI.3 Análisis realizado a los sitios de las alcantarillas

Al igual que con los puentes del Proyecto, se realizó un análisis de susceptibilidad a la licuación a los materiales que componen la cimentación de las alcantarillas que se colocarían en los sitios de las quebradas Los Angeles y Congos. Para este caso, los datos utilizados para el análisis se resumen en la tabla 4.



Tabla 4. Caracterización de los materiales eventualmente susceptibles encontrados en el sitio

Tipo de material	IP	LL	% pasando malla #200	% humedad
C2	32	13	32.7	17.8
C3A	38	16	76.0	34.6
C3B	34	14	44.0	34.5

Cuando se introducen estos datos a la carta de plasticidad modificada, el resultado es que se muestra en la figura 3.

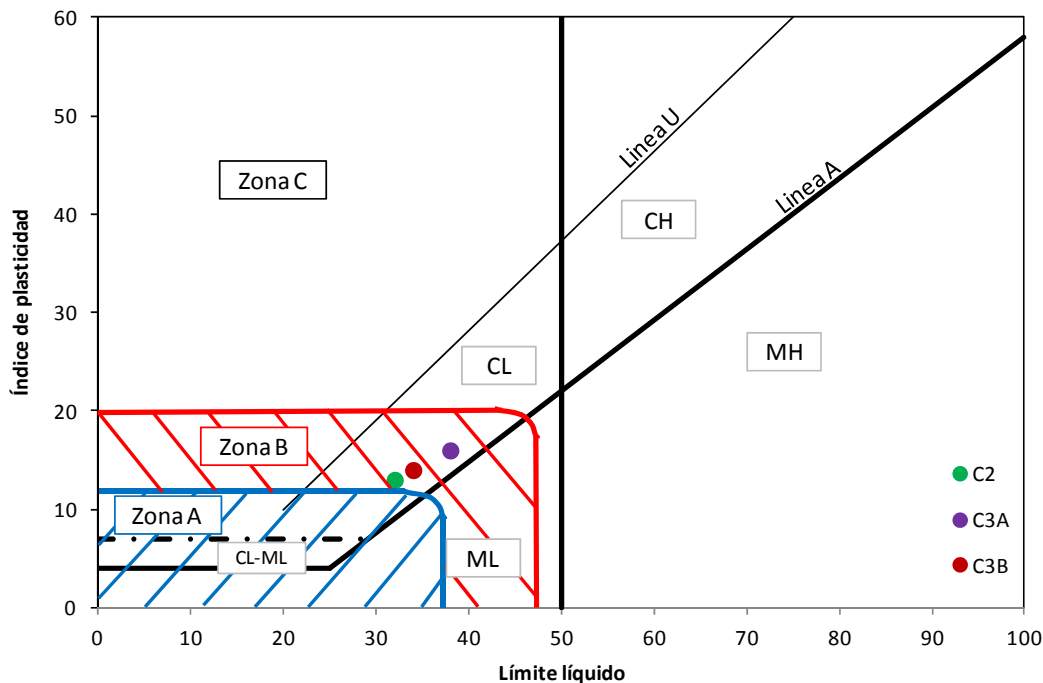


Figura 3. Análisis en carta de plasticidad modificada de los materiales en el sitio del intercambio

Como es posible apreciar, los materiales se encuentran en la zona B de susceptibilidad a la licuación de la carta de plasticidad modificada. Al analizar las condiciones de contenido de finos y humedad que indica el método de Idriss et al, cumplen para estos cuatro materiales, se obtiene lo siguiente:

Tabla 5. Análisis de susceptibilidad a la licuación de los materiales en cada sitio

	C2	C3A	C3B
Zona	B	B	B
Condición de humedad	$\geq 0.85LL$	$\geq 0.85LL$	$\geq 0.85LL$
	27.2	32.3	28.9
Condición de contenido de finos	NO	NO	NO
	$\geq 35$ si $IP < 12$	$\geq 35$ si $IP < 12$	$\geq 35$ si $IP < 12$
	NO	NO	NO

Después de realizado este análisis, se puede notar que afortunadamente ninguno de los materiales finos encontrados en las quebradas presenta susceptibilidad a la licuación. Esta información podría ser útil eventualmente para hacer la toma de decisiones del nivel de desplante final de las cimentaciones de los puentes.

## VII. Comentarios finales

Después de realizar la revisión del estudio de suelos proporcionado, correspondiente a los capítulos 4, 7 y 9 del “Informe Final, Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericanas Sección Limonal – Cañas: Estudios Geotécnicos”, se puede concluir que el informe parece adecuado en las características evaluadas.

Sin embargo, se considera que debería ser un poco más específico en cuanto a la determinación de las propiedades que se utilizan para determinar tanto la estabilidad de los taludes, como en el diseño de las obras de contención, esto con el fin de determinar con la información presentada, si el modelo establecido de cada sitio es el que más representa la realidad o si hay que tomar consideraciones especiales para completar el análisis o diseño de las obras.

Adicionalmente, es importante dejar claro que los análisis de licuación se deben realizar incluso a materiales finos con ciertas características, pues eventualmente podrían ser susceptibles a la licuación, sobretodo en la zona de Guanacaste la cual últimamente se ha catalogado como de alta sismicidad.

## VIII. Referencias

1. CACISA (2016). *Informe Final, Diseño de la Ruta Nacional N°160, Sección Playa Naranjo – Paquera: Capítulo 4 Identificación de Zonas Inestables*. San José.
2. CACISA (2016). *Informe Final, Diseño del mejoramiento de la Ruta Nacional N°160, Sección Playa Naranjo – Paquera: Capítulo 7 Estudio de Amenaza Sísmica*. San José.
3. CACISA (2016). *Informe Final, Diseño del mejoramiento de la Ruta Nacional N°160, Sección Playa Naranjo – Paquera: Capítulo 9 Estudios Geotécnicos*. San José.