



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-IG-06-18

Revisión del estudio de suelos para el Proyecto Limonal - Cañas

INFORME FINAL



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

San José, Costa Rica
Diciembre, 2018

CONTENIDO

I.	Introducción	4
II.	Comentarios generales del estudio de suelos y sus respectivos anexos.....	4
III.	Revisión de los análisis de estabilidad de taludes en el tramo 147+300 – 165+460 del Proyecto Limonal – Cañas	5
IV.	Revisión del análisis de cimentaciones para los puentes del Proyecto Limonal – Cañas.....	6
V.	Revisión del análisis de alcantarillas del Proyecto Limonal – Cañas	7
VI.	Revisión del análisis de cimentaciones para el intercambio Limonal del Proyecto Limonal – Cañas	7
VII.	Análisis adicional del potencial de licuación en los sitios de los puentes del Proyecto Limonal – Cañas	7
	VII.1 Metodología utilizada para el análisis adicional	7
	VII.2 Análisis realizado a los puentes del tramo 147+300 – 165+460	8
	VII.3 Análisis realizado al puente del intercambio de Limonal	10
VIII.	Comentarios finales.....	11
IX.	Referencias	11

REVISIÓN DEL ESTUDIO DE SUELOS PARA EL PROYECTO LIMONAL - CAÑAS

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra el resultado de la revisión del capítulo 3 del “Informe Final, Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericanas Sección Limonal – Cañas: Estudios Geotécnicos” elaborado por la empresa CACISA.

Esta revisión consiste en el análisis de la información del capítulo 3.3 “Análisis de resultados obtenidos”, específicamente de los apartados 3.3.2 “Evaluación de los taludes” 3.3.3 “Estudios de puentes”, 3.3.4 “Alcantarillas” y 3.3.5 “Intercambio Limonal”. 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.

Así mismo, se hace un análisis adicional 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 informe que presenta inconsistencias con la condición de la empresa y el laboratorio, 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 3.1 “Generalidades” se indica que el laboratorio de Materiales de CACISA se encuentra acreditado con las normas ISO-17025, siendo solamente una norma cuya designación oficial es INTE-ISO/IEC 17025.
2. En el mismo apartado 3.1 “Generalidades”, se indica que se realizaron perforaciones exploratorias utilizando como base la norma ASTM D2113-2008. El informe tiene fecha de Octubre 2015, 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.
3. En el apartado 3.2.3 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.
4. En este mismo apartado 3.2.3, 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.
5. En el anexo 3.6 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.

6. En los anexos 3.9 y 3.10 se presentan el informe GEO 043-2014 con fechas de 16 de julio de 2014 y 1 de setiembre de 2014, que muestran los resultados de ensayos realizados a las muestras obtenidas de las perforaciones de los puentes y del intercambio, respectivamente. En estos se indica que el método de muestreo utilizado se basa en la norma ASTM D1586-2008. Sin embargo, a la fecha de los informes ya existe otra versión más actualizada de la norma (año 2011). Si es que se trabajó con la norma del año 2008, este se realizó con una norma que no se encontraba vigente.
7. En general existen discordancias en las referencias de tablas, pues en el texto se indica una numeración y cuando se revisa la tabla no cuenta con la información que se menciona en el texto.

III. Revisión de los análisis de estabilidad de taludes en el tramo 147+300 – 165+460 del Proyecto Limonal – Cañas

Como parte del estudio que CACISA realizó para evaluar la estabilidad de los taludes del Proyecto, se estableció como parte de la estrategia de análisis, la evaluación visual preliminar de los taludes existentes mayores a 3 metros de altura. Se considera que esto es de gran ayuda para determinar las condiciones reales del medio.

Sin embargo, se considera que también debió tomarse en cuenta el nuevo trazado del Proyecto para determinar sitios donde posiblemente se puedan encontrar taludes de altura mayores a las de 3 metros, premisa tomada por CACISA para analizar taludes, y 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.

Por otro lado, 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 3.3.2.3 “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.

Adicionalmente a esto, la determinación de los parámetros geotécnicos de la capa 1c no queda clara, ya que solo aparecen en la tabla 3-10 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 1c anteriormente comentado. Se muestran los parámetros en la tabla 3-11, 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 3-14, parece adecuada tomando en cuenta los resultados de los análisis realizados. Sin embargo, 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.

IV. Revisión del análisis de cimentaciones para los puentes del Proyecto Limonal – Cañas

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. Esto se considera apropiado, sin embargo, no se realizan cálculos de capacidad de soporte para las capas propuestas para facilitar la comparación de la misma con las cargas que debe soportar transmitidas por los bastiones y pilas.

Las propuestas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Propuestas indicadas para las cimentaciones de los puentes del Proyecto Limonal - Cañas*

	Río					
	Desjarretado	Lajas	Higuerón	San Miguel	Sarital	Javillo
Profundidad*	2 m	3.7 m	3 m	3.5	4.5 m	2.75 m
Bastión MI	76.8 msnm	62.7 msnm	43 msnm	36.5 msnm	40.95 msnm	69 msnm
	Capa 3A	Capa 2	Capa 2	Capa 3B	Capa 5B	Capa 3
Bastión MD	76.8 msnm	62.7 msnm	43 msnm	36.5 msnm	37.6 msnm	69 msnm
	Capa 2	Capa 2	Capa 2	Capa 3B	Capa 2	Capa 3A
Pila	-	60.2 msnm	-	-	-	67.75 msnm
	-	Capa 2	-	-	-	Capa 3

(*): Sobre nivel de agua del río

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. Revisión del análisis de alcantarillas del Proyecto Limonal – Cañas

Para el caso de las alcantarillas, no se tiene ningún comentario al respecto pues se desconoce la información que utilizó CACISA para hacer su análisis. Sin embargo, las recomendaciones dadas parecen apropiadas.

VI. Revisión del análisis de cimentaciones para el intercambio Limonal del Proyecto Limonal – Cañas

Para el análisis de capacidad de soporte del intercambio presentado en el informe de CACISA, en el apartado 3.3.5 se indica que la tabla 3-80 se muestran las propiedades de los materiales encontrados en la exploración a los niveles de desplante recomendados. Sin embargo, no se indican estos niveles de desplante ni se indica el detalle de la obtención de estos parámetros geotécnicos. Se considera conveniente que se muestre de manera más explícita el análisis realizado para obtener estos valores.

Con respecto a la profundidad y tipo de cimentación recomendada, parece adecuado dados los materiales encontrados y a las capacidades de soporte dadas en las tablas 3-79a y 3-79b, las cuales se derivan de la relación empírica que existe entre el número de golpes del SPT y la capacidad soportante. Sin embargo, es recomendable realizar nuevamente el análisis utilizando los parámetros dados en la ya mencionada tabla 3-80, tomando en cuenta el tipo de cimentación elegida en el diseño final del proyecto.

VII. Análisis adicional del potencial de licuación en los sitios de los puentes del Proyecto Limonal – Cañas

La empresa CACISA, en todos los sitios de los puentes, tanto del tramo de la carretera como del intercambio, 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.

VII.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 siguiente:

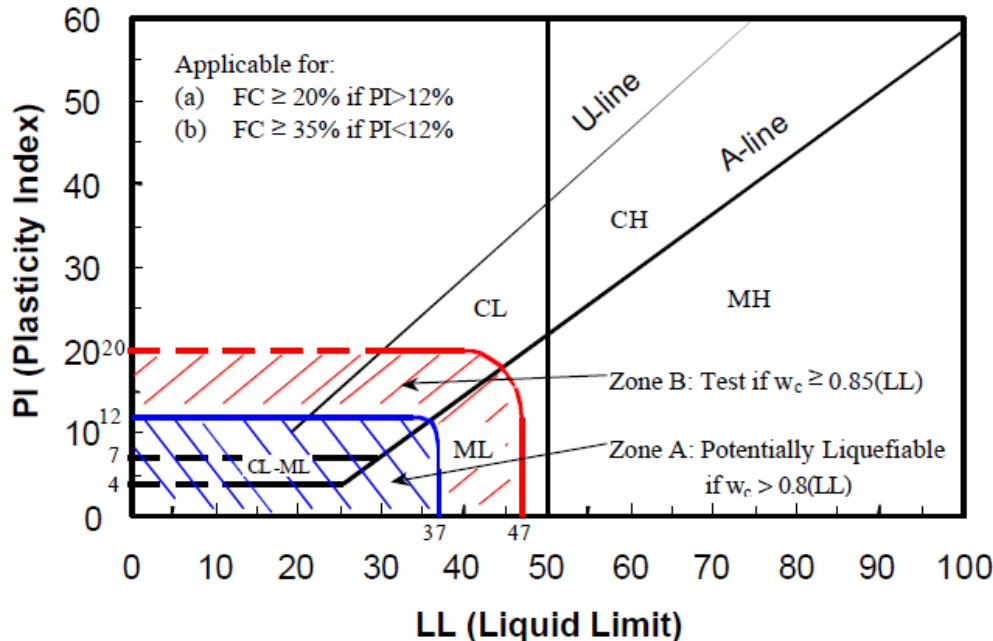


Figura 1. Carta de plasticidad modificada por Idriss et al (2003)

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.

VII.2 Análisis realizado a los puentes del tramo 147+300 – 165+460

Con base en los resultados mostrados en el apartado 3.3.3 de la caracterización de materiales en cada sitio de los puentes, 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	Espesor (m)	IP	LL	% pasando malla #200	% humedad
Desjarretado	2.0 a 3.3	17	46	82.0	33.0
Lajas	1.5	NP	NP	27.1	18.0
Higuerón	1.5	6	35	33.0	26.0
San Miguel	2.0	41	67	92.1	40.0
Sarital	2.0	12.5	38	38.0	27.0
Javillo	1.5	10	35.6	37.4	30.0

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

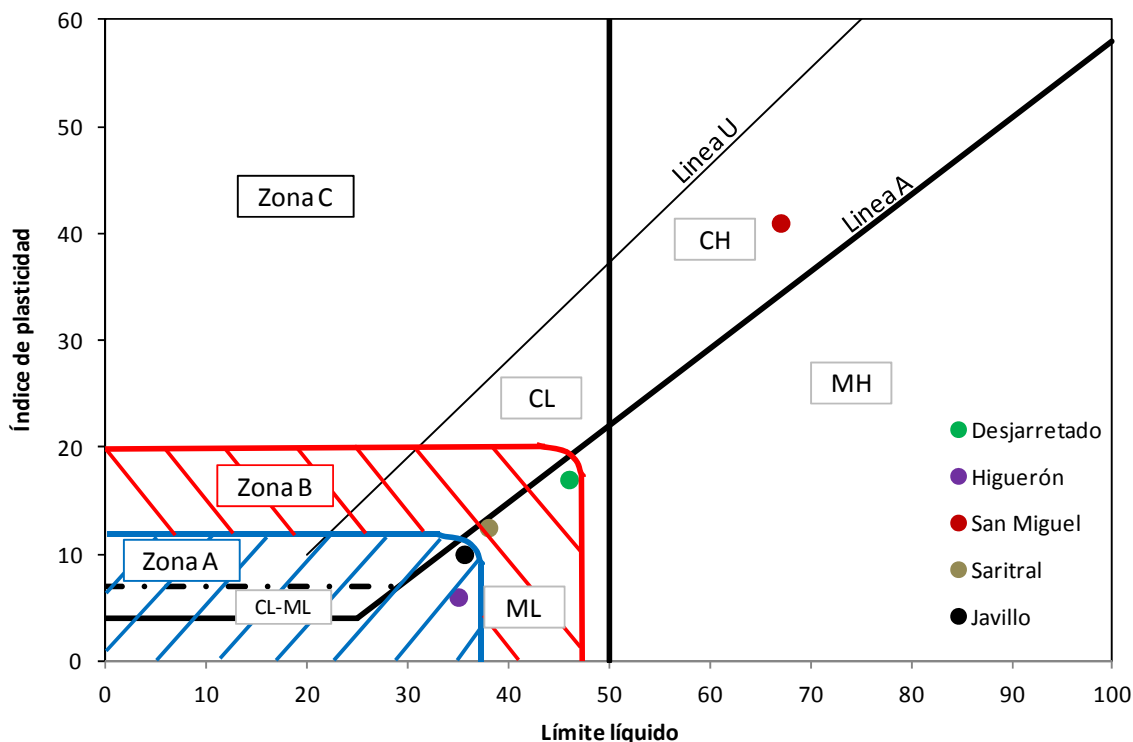


Figura 2. Análisis en carta de plasticidad modificada de los materiales en los sitios de los ríos

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. Solo el material del río San Miguel, se encuentra en la zona libre de susceptibilidad a la licuación. Adicionalmente, cabe destacar que como el material del río Lajas es no plástico (NP), la metodología de la carta de plasticidad modificada no es aplicable.

Ahora hay que analizar si las condiciones de contenido de finos y humedad que indica el método de Idriss et al, cumplen para estos cuatro materiales. A continuación se muestra el análisis realizado para cada material resumido en la tabla 3.

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

Zona	Río			
	Desjarretado	Higuerón	Saritral	Javillo
Condición de humedad	≥ 0.85LL 39.1	> 0.8LL 28.0	≥ 0.85LL 32.3	> 0.8LL 28.5
Condición de contenido de finos	SI	SI	SI	NO
	≥ 20 si IP > 12	≥ 35 si IP < 12	≥ 20 si IP > 12	≥ 35 si IP < 12
	SI	NO	SI	NO

Después de realizado este análisis, se puede notar que los materiales finos de los ríos Desjarretado y Saritral podrían presentar 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.3 Análisis realizado al puente del intercambio de Limonal

Al igual que con los puentes del tramo 147+300 – 165+460, se realizó un análisis de susceptibilidad al puente del intercambio de Limonal y con ello determinar si los materiales encontrados tienen cierto potencial a la licuación. Para este caso, los datos utilizados para el análisis se resumen en la siguiente tabla:

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

Material	Espesor (m)	IP	LL	% pasando malla #200	% humedad
GM	0.3 a 1.5	25	55	28.7	27.9
MH	1 a 2	14.9	53.4	63.8	30.1
CH-MH	1 a 11	30	61.2	83.7	36.0

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

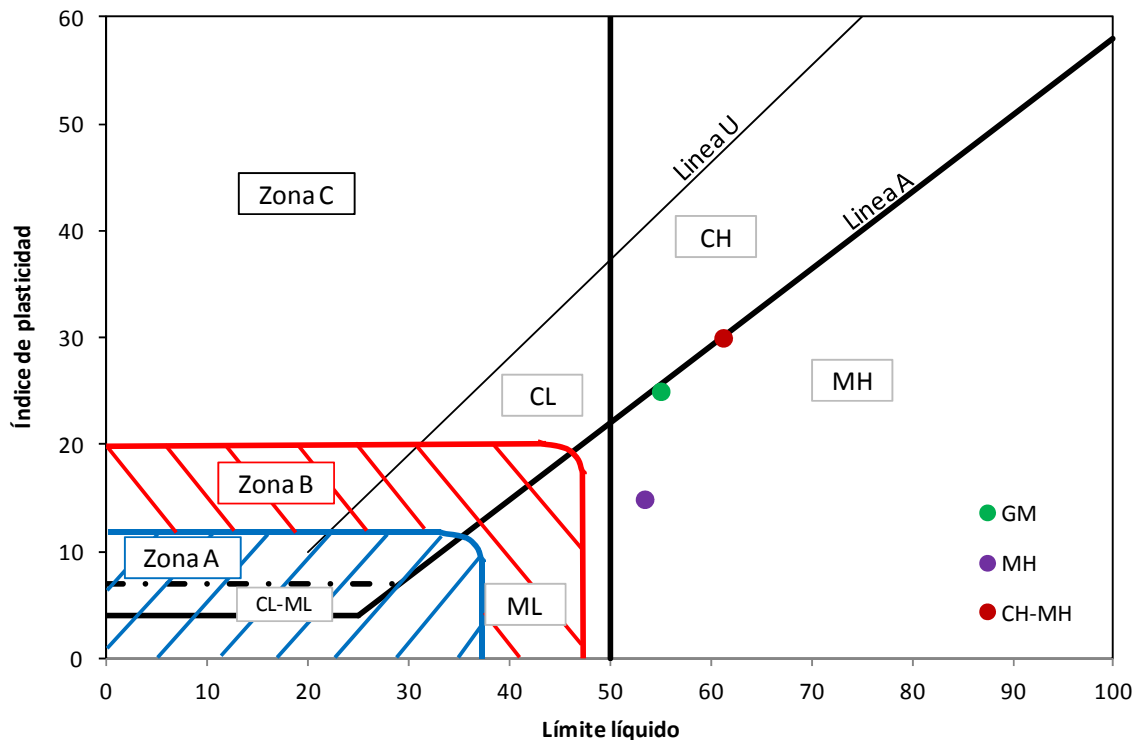


Figura 3. Análisis en carta de plasticidad modificada de los materiales en el sitio del intercambio

Como puede observarse todos los materiales resultaron exentos de la potenciabilidad a la licuación, por lo que la determinación del nivel de desplante solo dependerá de la capacidad de soporte admisible del material involucrado.

VIII. Comentarios finales

Después de realizar la revisión del estudio de suelos proporcionado, correspondiente al capítulo 3 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 la capacidad de soporte para los puentes del tramo y del intercambio Limonal, 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 hacer otras consideraciones especiales.

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.

IX. Referencias

1. CACISA (2014). *Informe Final, Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericanas Sección Limonal – Cañas: Estudios Geotécnicos*. San José.