



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Informe final: LM-INF-EIC-D-0006-2021

## Evaluación de los estudios preliminares del proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca - Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura

*Documentos de Licitación PIT-115-LPI-O-2019*



Preparado por:

**Unidad de Auditoría Técnica**

Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

San José, Costa Rica

Noviembre 2021



Año de las Universidades Públicas  
por la conectividad como  
derecho humano universal  
**2021** BICENTENARIO DE LA  
INDEPENDENCIA DE COSTA RICA



<b>1. Informe</b> LM-INF-EIC-D-0006-2021		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> Evaluación de los estudios preliminares del proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca – Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura.		<b>4. Fecha del Informe</b> Noviembre 2021
<b>7. Organización y dirección</b> 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		
<b>8. Notas complementarias --**--</b>		
<b>9. Resumen</b> <u>Sobre los estudios hidrológicos e hidráulicos:</u> Se identificó que los estudios hidrológicos desarrollados para el tramo Barranca – Limonal pueden no ser representativos debido a la información base utilizada y a las metodologías empleadas. Los resultados de los análisis hidráulicos y de socavación pueden no ser representativos debido a las deficiencias evidenciadas en los estudios hidrológicos y a los modelos hidráulicos utilizados. No se encontró en el informe que se hayan tomado en cuenta los procedimientos recomendados en HEC N°20 y HEC N°23 para evaluar la estabilidad del río Seco y solucionar el problema de erosión evidenciado en el sitio del puente sobre ese río. Se identificó información faltante y algunas oportunidades de mejora en el diseño hidráulico de las obras de drenaje menor del proyecto. <u>Sobre los diseños estructurales de los puentes:</u> En general, la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato y los pasos de diseño indicados en el Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2012. Se detectaron algunos incumplimientos parciales del contrato, inconsistencias en la información presentada en la memoria y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del revisor. <u>Sobre los estudios geotécnicos:</u> Los estudios geotécnicos presentados se consideran adecuados. No obstante, se emiten algunas recomendaciones para mejorar el contenido de los estudios geotécnicos presentados y algunas recomendaciones para la etapa constructiva del proyecto.		
<b>10. Palabras clave</b> Estudios preliminares, estudios hidrológicos, estudios geotécnicos, diseño estructural, Auditoría	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 38



## INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Evaluación de los estudios preliminares del proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca – Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura.

**Departamento encargado del proyecto:** Programa de Infraestructura del Transporte PIT, MOPT.

### Supervisión del proyecto:

- Tramo Barranca – San Gerardo: Grusamar – PQS Dical.
- Tramo San Gerardo – Limonal y La Angostura: CACISA.

### Laboratorio de verificación de calidad:

- Tramo Barranca – San Gerardo: LGC Ingeniería de pavimentos S.A.
- Tramo San Gerardo – Limonal y La Angostura: CACISA.

**Empresa contratista:** “Consortio Ruta 1”, compuesto por las empresas Constructora Hernán Solís S.R.L. e Ingeniería Estrella S.A.

**Laboratorio de control de calidad:** OJM Consultores de Calidad y Laboratorios.

**Monto original del contrato:** US \$ 182.578.060,79

**Plazo original de ejecución:** 30 meses para el tramo Barranca – Limonal y 12 meses para el tramo de La Angostura.

**Proyecto:** Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca - Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura.

**Director General LanammeUCR:** Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.

**Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR:** Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

### Auditores:

Ing. Mauricio Picado Muñoz, Auditor Técnico Líder  
Ing. Francisco Fonseca Chaves, Auditor Técnico Adjunto  
Ing. Fiorella Murillo Contreras, Auditora Técnica Adjunta

### Expertos técnicos:

Ing. Luis Carlos Alfaro Monge, MSc.  
Ing. Ana Monge Sandí, MSc.  
Ing. Laura Solano Matamoros.  
Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD.  
Ing. Daniel Johanning Cordero.

### Asesora Legal:

Lic. Nidia Segura Jiménez

### Alcance del informe:

El alcance del informe consistió en la evaluación de los estudios preliminares del proyecto. Entre los estudios preliminares analizados están: estudios hidrológicos e hidráulicos, estudios geotécnicos y el diseño estructural de puentes.



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVOS DEL INFORME.....</b>	<b>6</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>4. ALCANCE DEL INFORME.....</b>	<b>7</b>
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>7</b>
<b>6. ANTECEDENTES .....</b>	<b>8</b>
<b>7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>9</b>
<b>8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-INF-EIC-D-0006B- 202110</b>	
<b>9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....</b>	<b>10</b>
9.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS.....	11
OBSERVACIÓN No. 1. LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DEL TRAMO BARRANCA-LIMONAL PUEDEN NO SER REPRESENTATIVOS DE LAS CONDICIONES DEL PROYECTO DEBIDO A LA INFORMACIÓN BASE UTILIZADA Y AL CARÁCTER EMPÍRICO DE ALGUNAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS.....	12
OBSERVACIÓN No. 2. LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS HIDRÁULICOS PRESENTAN UNA ALTA INCERTIDUMBRE EN ALGUNOS RÍOS DEBIDO A LA INFORMACIÓN BASE UTILIZADA Y AL MODELO HIDRÁULICO SELECCIONADO. ....	15
HALLAZGO No. 1. NO SE ENCONTRÓ EN EL INFORME QUE SE HAYAN TOMADO EN CUENTA LOS PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS EN HEC N°20 Y HEC N°23 PARA EVALUAR LA ESTABILIDAD DEL RÍO SECO Y SOLUCIONAR EL PROBLEMA DE EROSIÓN EVIDENCIADO. .	18
OBSERVACIÓN No. 3. SE IDENTIFICARON OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE MENOR.....	20
9.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES.....	22
OBSERVACIÓN No. 4. LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS CUMPLE CON LA MAYORÍA DE LOS REQUERIMIENTOS SOLICITADOS EN EL CONTRATO Y LOS PASOS DE DISEÑO INDICADOS EN EL APÉNDICE A5 DE AASHTO LRFD 2012. NO OBSTANTE, SE IDENTIFICARON ALGUNOS INCUMPLIMIENTOS PARCIALES, INCONSISTENCIAS EN LA INFORMACIÓN PRESENTADA Y OTROS ASPECTOS QUE DIFICULTAN EL SEGUIMIENTO DE LOS CÁLCULOS POR PARTE DEL REVISOR. ....	23
9.3 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS .....	28
OBSERVACIÓN No. 5. LAS SOLUCIONES GEOTÉCNICAS PROPUESTAS Y LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DESARROLLADOS PARA EL PROYECTO SE CONSIDERAN ADECUADOS SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS EVALUADAS Y EL ALCANCE DEL PROYECTO.....	28
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>
<b>11. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>30</b>



<b>12. REFERENCIAS.....</b>	<b>33</b>
<b>13. ANEXOS .....</b>	<b>36</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE LOS OFICIOS ENVIADOS A LA ADMINISTRACIÓN DURANTE EL PROCESO DE AUDITORÍA.....	8
TABLA 2. VERIFICACIÓN DE FLUJO DE NAPA .....	21

### ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DEL PROYECTO .....	9
FIGURA 2. ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL TRAMO BARRANCA-LIMONAL .	14
FIGURA 3. RED DE DRENAJE QUE CONFLUYE AL RÍO NARANJO .....	17
FIGURA 4. EROSIÓN EN MARGEN DERECHA Y RESTOS DE ESCOLLERA EN EL CAUCE DEL RÍO SECO. FECHA DE LA FOTOGRAFÍA: 25/03/2021.....	19
FIGURA 5. EROSIÓN EN LOS BANCOS DE MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA (A) Y AGUAS ABAJO (B) DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SECO. FECHA DE LA FOTOGRAFÍA: 25/03/2021 .....	19
FIGURA 6. ESQUEMA DE FLUJO RASANTE EN UN BAJANTE ESCALONADO.....	22
FIGURA 7. VISTA EN PLANTA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS .....	24
FIGURA 8. VISTA EN PLANTA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO LAGARTO.....	25



## INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES DEL PROYECTO: AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL N°1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN: BARRANCA - LIMONAL – CAÑAS Y DE LA RUTA NACIONAL N°17, SECCIÓN: LA ANGOSTURA

### 1. FUNDAMENTACIÓN

La Auditoría Técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del plan anual de la Unidad de Auditoría Técnica del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de Auditoría Técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

*“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.”* (Lo subrayado no es del texto original)

### 2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria, Ley N°8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo, la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna, tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato.

### 3. OBJETIVOS DEL INFORME

#### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad de los estudios preliminares llevados a cabo para el proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca - Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura, con el fin de emitir recomendaciones y oportunidades de mejora en el desarrollo de estos estudios. Además, se pretende controlar riesgos potenciales previsible en los estudios desarrollados para el proyecto.



## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad y pertinencia de los estudios hidrológicos e hidráulicos, los estudios geotécnicos y los diseños estructurales de puentes que fueron desarrollados como parte de los estudios preliminares del proyecto.
- Emitir recomendaciones y oportunidades de mejora sobre el contenido de los estudios preliminares desarrollados para el proyecto, de manera que puedan ser atendidos en los próximos proyectos a ser desarrollados en el país.
- Emitir recomendaciones para la etapa constructiva y operativa del proyecto, basadas en las revisiones realizadas de los estudios preliminares.

## 4. ALCANCE DEL INFORME

El alcance del informe consistió en la evaluación de los estudios preliminares del proyecto y la emisión de recomendaciones y oportunidades de mejora a ser atendidas durante la etapa constructiva del proyecto, basadas en las revisiones realizadas y recomendaciones y oportunidades de mejora a ser implementadas en el desarrollo de los estudios preliminares de futuros proyectos.

Los estudios preliminares analizados son: Estudios hidrológicos e hidráulicos, estudios geotécnicos y el diseño estructural de puentes. Estas revisiones se realizaron con el apoyo de expertos técnicos consultados por el Equipo Auditor.

El alcance de este informe se basa únicamente en la documentación pre-constructiva. En el desarrollo de la auditoría que realiza el LanammeUCR al proyecto, es posible el desarrollo de futuros informes de auditoría que incluyan observaciones a los procedimientos constructivos, la calidad de los materiales, el desempeño de las estructuras construidas, entre otros.

Es función del MOPT analizar con las partes involucradas, las consecuencias expuestas en los hallazgos y observaciones incluidas en este informe de auditoría técnica.

## 5. METODOLOGÍA

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría se orienta en recopilar y analizar evidencias durante un periodo definido, así como identificar posibles elementos y aspectos que puedan afectar la calidad del proyecto.

Las revisiones se realizaron con el apoyo de expertos técnicos. Una vez realizadas las revisiones de los expertos técnicos, se emitieron notas informe que compilaron las principales conclusiones y recomendaciones de los expertos técnicos consultados, de manera que la Administración pudiera brindar, de ser requerido, descargo al contenido de las notas. Una vez analizadas las respuestas de la Administración, se procedió a la confección de este informe.



## 6. ANTECEDENTES

La gestión, contratación y recibo de los estudios preliminares del proyecto estuvo a cargo del Primer Programa de Infraestructura Vial de Costa Rica (PIV-I), a cargo del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Estos estudios fueron trasladados al Programa PIT, a cargo del MOPT, para la ejecución de la obra. No obstante, esta Unidad de Auditoría Técnica Externa considera valioso realizar esta revisión de los estudios preliminares en aras de generar lecciones aprendidas que la Administración pueda tomar en cuenta a la hora de gestionar, contratar y aceptar los estudios preliminares de los proyectos.

Como parte de la auditoría técnica que el LanammeUCR realiza al proyecto y en aras de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, se emitieron varios oficios y notas informe que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de los oficios enviados a la Administración durante el proceso de auditoría

Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
LM-IC-D-0618-2020	30/07/2020	Inicio auditoría. Solicitud de información.	DM-2020-3060 DM-2020-3362
LM-IC-D-0804-2020	17/09/2020	Observaciones del diseño estructural de los puentes del proyecto.	DM-2020-3791
LM-IC-D-0825-2020	18/09/2020	Solicitud de información.	DM-2020-3789
LM-IC-D-0889-2020	6/10/2020	Observaciones sobre los estudios geotécnicos.	DM-2020-4158
LM-IC-D-0927-2020	19/10/2020	Alcance BIM.	DM-2020-4350
LM-IC-D-0960-2020	05/11/2020	Observaciones sobre los estudios hidrológicos e hidráulicos.	DM-2021-2041
LM-IC-D-0984-2020	09/11/2020	Solicitud de información.	DM-2020-5556
LM-IC-D-0004-21	04/01/2021	Actualización de información.	DM-2021-2097
LM-IC-D-0144-2021	16/02/2021	Observaciones al diseño estructural de puentes.	DM-2021-2461
LM-EIC-D-0558-2021	09/07/2021	Observaciones tramo La Angostura	Sin respuesta

Adicionalmente, se han emitido los informes LM-AT-97-2019 y LM-INF-IC-D-0009-2020, donde se emitieron observaciones a los estudios preliminares de los proyectos: “Mejoramiento y rehabilitación de la Ruta Nacional N°160, sección: Playa Naranjo – Paquera” y “Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Limonal – Cañas”, respectivamente. Se hace mención especial al informe LM-INF-IC-D-0009-2020 (de fecha setiembre de 2020), pues en este informe se incluyen observaciones a los estudios hidrológicos desarrollados para el tramo Barranca – Cañas, por lo que las observaciones incluidas en el informe citado, son igualmente aplicables para el tramo Barranca – Limonal (tramo analizado en este informe).

## 7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objeto del contrato es realizar la ampliación de la calzada existente y la rehabilitación del pavimento existente en la Ruta Nacional N°1, en la sección comprendida entre Barranca y Limonal y en la Ruta Nacional N°17, en la sección de La Angostura (ver Figura 1).

### Tramo Barranca - Limonal

El tramo tiene una longitud aproximada de 49,37 km e incluye las siguientes actividades:

- Ampliación de la calzada existente (sección típica de 4 carriles de 3,65 m cada uno).
- Rehabilitación del pavimento existente.
- Construcción de 11 puentes nuevos.
- Construcción de 5 intercambios viales nuevos e intervención del intercambio existente en Barranca.
- Construcción de 10 puentes peatonales.
- Construcción de 39 pasos de fauna.

### Tramo La Angostura

El tramo tiene una longitud aproximada de 2,36 km e incluye las siguientes actividades:

- Ampliación de la calzada existente (2 carriles por sentido de 3,30 m cada uno).
- Rehabilitación del pavimento existente.
- Reubicación de la vía férrea.
- Construcción del Paseo Marítimo
- Construcción de obras complementarias: iluminación, cerramientos, paradas de autobús y semaforización.

Figura 1. Ubicación de los tramos del proyecto





## 8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-INF-EIC-D-0006B-2021

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante el oficio LM-EIC-D-0682-2021 (de fecha 09/08/2021), se envió el presente informe en versión preliminar (identificado como LM-INF-EIC-D-0006B-2021) a la parte auditada para su análisis y, en caso de requerirse, se procediera a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría; para tales efectos se otorgó un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe. Dicho plazo finalizó el 31 de agosto de 2021, pero se extendió hasta el 10 de setiembre de 2021 a solicitud de la parte auditada.

Adicionalmente, el día jueves 19 de agosto de 2021, se realizó con el auditado la presentación oral de los resultados del informe preliminar por medio de una plataforma virtual con el fin de comentar aspectos relacionados con su contenido. A esta actividad asistieron los siguientes participantes:

Mario Campos Vega	Subdirector Unidad Asesora
Andrés Muñoz Piedra	Ingeniero de apoyo Unidad Asesora
Carlos Garcés	Ingeniero de apoyo Unidad Asesora
José Germán Juyar Mora	Coordinador General Unidad Ejecutora
Francisco Zapico Cerqueiro	Director de Supervisión CACISA
Randall Picado Gourzong	Supervisión CACISA
Eduardo Cervantes	Director de Supervisión Grusamar - PQS Dical
Renán Cervantes Cordero	Supervisión Grusamar – PQS Dical
Irma Gómez Vargas	Auditoría interna MOPT
Wendy Sequeira Rojas	Coord. Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR
Mauricio Picado Muñoz	Auditor técnico LanammeUCR
Francisco Fonseca Chaves	Auditor técnico LanammeUCR
Fiorella Murillo Contreras	Auditora técnica LanammeUCR

El día viernes 10 de setiembre de 2021, se recibe vía correo electrónico el oficio DM-2021-4926 (de fecha 10/10/2021), remitido por el Ing. Tomás Figueroa Malavassi como descargo al informe en versión preliminar LM-INF-EIC-D-0006B-2021.

Por tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, una vez analizado el documento en cuestión (ver Anexo A) y considerando la evidencia presentada, se procede a emitir el informe LM-INF-EIC-D-0006-2021 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la Ley No. 8114 y sus reformas.

## 9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo de auditoría técnica en este informe de auditoría técnica, se fundamentan en evidencias representativas veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría técnica, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las mediciones realizadas y la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría técnica, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas



prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Por lo tanto, las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

## 9.1 Estudios hidrológicos e hidráulicos

La revisión consistió en verificar si los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados cuentan con información suficiente y clara para determinar los resultados obtenidos y si tienen fundamento técnico que los respalde. También se verificó si las metodologías utilizadas son aplicables para la zona de estudio y si se satisfacen los principios fundamentales para su uso.

Los resultados de esta revisión se informaron a la Administración mediante la nota LM-IC-0960-2020 (de fecha 04/11/2020). La Administración brindó respuesta al contenido de esta nota mediante el oficio DM-2021-2041 (de fecha 15/01/2021), donde adjunta el oficio de la Unidad Ejecutora 1862-2020 (de fecha 10/12/2020).

En la respuesta, la Administración indica que los estudios relativos al tramo Barranca-Limonal fueron aceptados desde junio de 2018 por el programa PIV-I del CONAVI y ya no se tiene relación contractual con el consultor. De acuerdo con el oficio DM-2021-2041, la Unidad Ejecutora del Programa ha tenido contacto también con representantes del consultor fuera del país para tener respuesta, pero sin obtener resultados positivos. Por tanto, la Administración no obtuvo respuesta a las consultas y observaciones sobre los estudios de ese tramo.

**Ante esta situación y situaciones similares en proyectos anteriores, se identifica la necesidad de mejorar los términos de referencia para la contratación de especialistas en proyectos de infraestructura vial, ya que se está diluyendo la responsabilidad del profesional a cargo del diseño y trasladando el riesgo y responsabilidad a la Administración.**

Adicionalmente, en algunos casos, debido a deficiencias u omisiones en los estudios preliminares suministrados a la Administración, ésta se ve obligada a contratar estudios adicionales para sustituir o complementar los estudios suministrados, causando que la Administración deba incurrir en gastos adicionales y que los estudios suministrados no se conviertan en insumos para la Administración.

En el oficio 1862-2020, la Unidad Ejecutora indica que las recomendaciones brindadas en el oficio LM-IC-D-0960-2020 se trasladaron a las Unidades Supervisoras para su



implementación durante el desarrollo de las obras. Además, indica que el mantenimiento de las obras es parte de las recomendaciones que deberán quedar incluidas en el manual de mantenimiento de las obras construidas.

**Observación No. 1. Los resultados de los estudios hidrológicos del tramo Barranca-Limonal pueden no ser representativos de las condiciones del proyecto debido a la información base utilizada y al carácter empírico de algunas metodologías empleadas.**

#### Sobre los estudios hidrológicos desarrollados para las obras de drenaje mayor

Los estudios hidrológicos para las obras de drenaje mayor del tramo Barranca – Limonal están incluidos en los documentos: “Informe Final Estudio Hidrológico Análisis Hidráulico de Puentes Carretera Interamericana Norte Tramo Barranca – Cañas” (Murillo, 2012) y “Sección 7 Estudio de hidrología y drenaje del informe CR-1037 Estudios para el apoyo a la preparación del Programa Infraestructura de Transporte en Costa Rica. Proyecto C: Diseño de reconstrucción y/o ampliación de 10 puentes de la Carretera Interamericana Norte” (Roughton International, s.f.). Los resultados de la revisión de estos documentos se compilan en el informe CIEDES-055-2019, el cual fue remitido a la Administración mediante la nota LM-IC-D-377-19 (de fecha 24/05/2019). Las observaciones realizadas a estos estudios hidrológicos también fueron incluidas en el informe LM-INF-IC-D-0009-2020 (de fecha setiembre de 2020), que compila algunas de las observaciones y hallazgos que se han evidenciado en la auditoría que se realiza al proyecto Limonal - Cañas. Se recomienda analizar las observaciones y recomendaciones realizadas por el LanammeUCR a los estudios hidrológicos presentados y analizar si es pertinente tomar medidas para mejorar la representatividad de éstos.

Cabe mencionar que el estudio hidrológico desarrollado por Roughton International que fue proporcionado al Equipo Auditor está incompleto. La información disponible es insuficiente para verificar si el modelo hidrológico representa adecuadamente las características de las cuencas analizadas y el tránsito de la escorrentía hacia los sitios de puente. Si bien en el oficio DM-2020-3789 (de fecha 08/10/2020), la Administración indicó que los estudios hidrológicos desarrollados por Roughton International no están a disposición del Programa de Infraestructura del Transporte debido a que el concurso de contratación de estos estudios fue gestionado por el programa PIV-I del CONAVI; es criterio del Equipo Auditor que la Administración debe velar por tener disponibles dichos estudios en caso de ser requeridas intervenciones en la carretera a futuro.

#### Sobre los estudios hidrológicos desarrollados para las obras de drenaje menor del tramo Barranca - Limonal

Para calcular el caudal máximo instantáneo en las alcantarillas transversales en el tramo Barranca - Limonal, se aplicó el método racional en las cuencas con área menor que 0,80 km<sup>2</sup> y la metodología de simulación hidrológica con el programa HEC-HMS para cuencas con áreas mayores que 0,80 km<sup>2</sup>.



Se considera apropiado el criterio definido para seleccionar entre el método racional y la simulación hidrológica con HEC-HMS. No obstante, existen inconsistencias y poca claridad sobre la forma en que se obtuvo el número de curva utilizado en la simulación hidrológica con HEC-HMS, el cual es uno de los parámetros más importantes del modelo. En los informes “Apartado 05 Diseño Hidráulico del Diseño de la Rehabilitación (o reconstrucción) y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Barranca-Limonal, Tramo: Barranca-Judas de Chomes y Tramo: Judas de Chomes-Limonal” (Consortio GINPROSA-FHECOR, 2017) (informes de ahora en adelante), se indica que se emplearon las Figuras 2.4 (Coeficiente de escorrentía para zonas rurales), 2.8 (Isoyetas para una lluvia con una hora de duración que puede esperarse una vez cada año) y 2.9 (Lluvias máximas con duración de una hora) para estimar el número de curva. No está claro cómo se obtuvo este valor a partir de esas tres figuras. Además, no se encontró en el informe para cuál grupo hidrológico y condición antecedente de humedad se determinó el valor de número de curva.

Además de su uso para determinar el número de curva, las Figuras 2.8 y 2.9 (elaboradas por Ramiro Gamboa en 1969) fueron utilizadas para determinar la precipitación máxima para un evento de una hora de duración y 50 años de período de retorno, de acuerdo con la Tabla N°8 (Cuadro Resumen de Características Físicas de las Cuencas y Subcuencas. Programa HEC-HMS) de los informes. Según se interpreta del título de esa tabla, ese valor de precipitación fue utilizado para el modelado hidrológico con HEC-HMS, aunque no está claro cómo se utilizó.

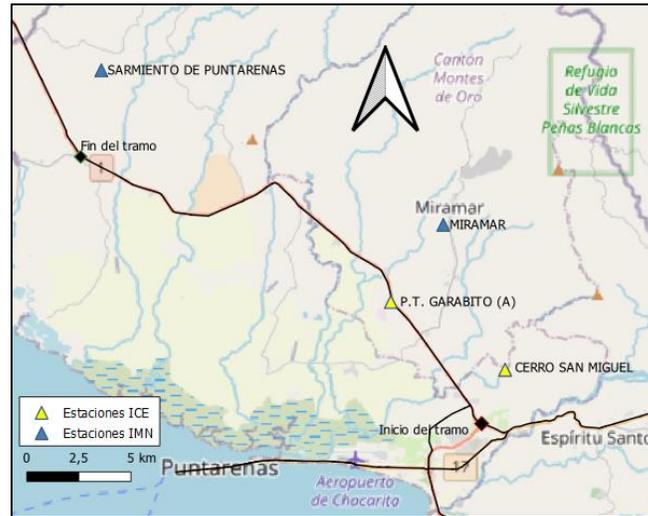
Con respecto a los datos utilizados para elaborar las Figuras 2.8 y 2.9, Gamboa (1969) indicó:

“Se debe tener presente que, siendo las series de datos (de precipitación) en su mayoría muy cortas, 11 años en promedio, al extrapolar las precipitaciones para períodos de recurrencia mayores de 10 años, el error puede sobrepasar en más de un 100% el valor de la precipitación”. (p. 18)

Por lo tanto, al extrapolar la precipitación a 50 años de período de retorno, el error puede sobrepasar en más de un 100% el valor de la precipitación. A la incertidumbre por la extrapolación en el tiempo, se suma la incertidumbre por la interpolación espacial, pues no se presenta la ubicación de las estaciones utilizadas en 1969 para construir las isoyetas de la Figura 2.8. Dada la alta incertidumbre advertida por Gamboa, no se justifica utilizar la información de las Figuras 2.8 y 2.9 para el modelado hidrológico.

Existen registros más extensos, más recientes y relativamente cercanos al tramo en estudio, como los de las estaciones meteorológicas 78018 Cerro San Miguel, 78020 P.T. Garabito, 78005 Sarmiento y 78006 Miramar (ver Figura 2). Se considera que, debido a la importancia de la obra, se debió haber utilizado los registros más recientes, de mayor extensión y más representativos de las áreas de estudio.

Figura 2. Estaciones meteorológicas cercanas al tramo Barranca-Limonal



Tampoco está claro cómo se estimó la precipitación total, intensidad de precipitación y el hietograma en algunas de las cuencas analizadas:

- No se explica ni se justifica en el informe la forma seleccionada del hietograma para el modelo hidrológico con HEC-HMS y la información brindada no es suficiente para determinar si esa forma es representativa de un evento de precipitación en la región de estudio. Es importante justificar la forma del hietograma porque es uno de los factores más determinantes de la respuesta hidrológica de las cuencas en estudio.
- Los valores de precipitación utilizados en el modelo hidrológico de las alcantarillas 117.4D, 97.6D-1, 97.6D-2, 102.9D-1, 102.9D-2 y 102.9D-3 no coinciden con los valores mostrados en la Tabla “Características físicas de las cuencas y subcuencas” del Anexo N°3. Los valores utilizados en los modelos hidrológicos de estas alcantarillas son considerablemente menores a los indicados en la tabla mencionada, lo cual resultaría en una subestimación del caudal de diseño.
- No se encontró en la Tabla N°8 ni en los resultados de los modelos del Anexo N°3, el valor de precipitación total para un evento de 1 hora de duración y período de retorno de 25 años utilizado para modelar las cuencas de las alcantarillas OD-103.2, OD-105.6, OD-108.9, y OD-119.0.
- No está claro cómo se determinaron los valores de precipitación total y el hietograma para eventos con duraciones de 3 horas y 3,5 horas, que fueron utilizados para el modelado de las cuencas 124.0D, 124.9D, 130.8D y 140.3IZ con HEC-HMS.
- Para la cuenca 104.8D sólo se muestran los resultados de la simulación hidrológica para un evento de 2 horas de duración y 100 años de período de retorno. No obstante, la alcantarilla correspondiente a esa cuenca fue revisada y diseñada para el caudal generado por un evento de una hora y 50 años de período de retorno, de acuerdo con la Tabla N°9 (Cálculo de caudales. Programa de simulación hidrológica HEC-HMS) y las tablas de resultados de la revisión y el diseño hidráulico de alcantarillas.



- No está claro cómo se obtuvieron los valores de intensidad de la precipitación reportados en la Tabla N°9 para las cuencas del tramo Barranca-Chomes. Los valores reportados, se consideran muy altos para eventos de precipitación entre 30 min y 180 min de duración.

### Sobre los estudios hidrológicos desarrollados para las obras de drenaje menor del tramo La Angostura

Los escenarios propuestos para el análisis y el diseño hidráulico de las obras de drenaje menor de los Ejes 1 (eje principal), 4, 5 y 7 del tramo La Angostura se consideran razonables. Es satisfactorio que se haya considerado la variación del nivel de agua por las mareas y el posible aumento de nivel del mar por cambio climático, como parte de las condiciones hidráulicas de funcionamiento de los drenajes.

Según lo indicado en el oficio DM-2021-4926 (de fecha 10/09/2021), la Administración está gestionando la contratación de un especialista en hidrología e hidráulica para la revisión y el análisis de la capacidad hidráulica con la que se elaboraron los diseños originales del tramo Barranca - Limonal. El Equipo Auditor dará seguimiento a la metodología utilizada en los nuevos estudios y a la representatividad de los resultados.

### **Observación No. 2. Los resultados de los modelos hidráulicos presentan una alta incertidumbre en algunos ríos debido a la información base utilizada y al modelo hidráulico seleccionado.**

La información topográfica utilizada en los modelos hidráulicos de los ríos Naranjo, San Miguel, Seco, Aranjuez, Guacimal, Lagarto y Abangares se considera insuficiente como para que la estimación del perfil de flujo sea confiable. La Asociación de Transportes de Canadá (TAC), en su Guía para hidráulica de puentes (TAC, 2004), indica, de forma general, que se deben obtener, como mínimo, secciones transversales a lo largo de una longitud de 10 a 20 anchos del cauce como información básica para el desarrollo de estudios hidráulicos de puentes. La información topográfica utilizada en los ríos mencionados no satisface lo establecido por TAC y no se presenta en el informe una justificación ni los criterios considerados para la localización de las fronteras aguas abajo y aguas arriba del modelo hidráulico que indique que la extensión del tramo modelado es suficiente para calcular un perfil de flujo confiable.

Cabe mencionar que, para los ríos Seco, Aranjuez y Guacimal, el borde libre calculado es mucho mayor a los 1,5 m requeridos y no se espera que, al extender la longitud del tramo modelado y redefinir las condiciones de frontera, el borde libre se vea comprometido. Sin embargo, la incertidumbre del cálculo del perfil de flujo afecta el cálculo de la profundidad de socavación, pues se utilizan la profundidad y velocidad del flujo calculadas por el modelo hidráulico.

En los modelos hidráulicos de los ríos y las obras de drenaje mayor se consideró un régimen de flujo permanente. Un modelo de flujo permanente tiene la limitante de que no considera la variación temporal del caudal ni el efecto de amortiguamiento por el almacenamiento temporal de un volumen de agua en la llanura de inundación, entre la frontera aguas arriba



y la sección donde se ubican las obras de drenaje. El almacenamiento temporal en la llanura de inundación podría reducir el caudal máximo instantáneo del hidrograma en la sección del puente. Debido a las amplias llanuras de inundación, el flujo en el brazo del río Naranjo, el río Naranjo y el río San Miguel no parece satisfacer las condiciones para ser modelado en régimen permanente. Un modelo hidráulico en régimen de flujo no permanente pudo haber brindado mejores resultados para esos ríos.

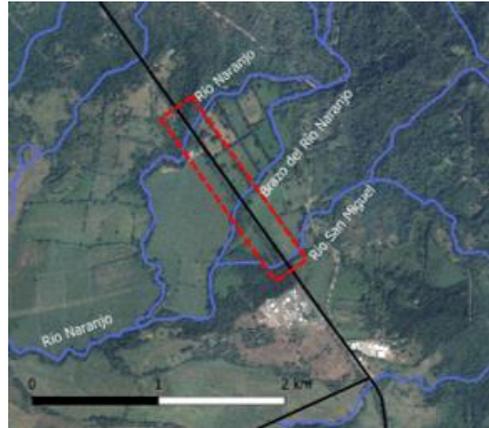
Además, se utilizaron modelos hidráulicos unidimensionales para representar los ríos y las obras de drenaje mayor. La publicación HDS N°7 (FHWA, 2012c) indica que el modelo unidimensional es idóneo únicamente cuando el flujo en las llanuras de inundación es mínimo y se espera que las velocidades laterales sean pequeñas. El brazo del río Naranjo y los ríos Naranjo, San Miguel y Abangares no parecen satisfacer las condiciones para utilizar un modelo unidimensional, pues presentan flujos considerables en las planicies de inundación, velocidades laterales significativas (debido a la contracción y expansión del flujo en la vecindad de la obra de drenaje) o bifurcaciones en las cercanías del sitio de puente. En estos ríos, un modelo bidimensional pudo haber brindado una aproximación más confiable del perfil de flujo.

Por otra parte, los ríos Sardinal y Congo presentan curvas pronunciadas aguas abajo de los puentes que provocan cierto remanso en las secciones aguas arriba, de acuerdo con el informe. HDS N°7 señala que el uso de modelos unidimensionales para el análisis detallado de flujo en curvas es inadecuado, mientras que los modelos bidimensionales son más adecuados para estos casos. Lo anterior es relevante porque fue con base en los resultados del modelo unidimensional que se recomendó elevar 1,20 m el nivel de la rasante del puente sobre el río Sardinal y porque el borde libre en el río Congo apenas supera el borde libre mínimo requerido.

Cabe hacer mención especial al caso particular a los ríos San Miguel y Naranjo, pues su red de drenaje es muy compleja (ver Figura 3):

- El cauce del río Naranjo se bifurca aproximadamente 1 km aguas arriba de su paso bajo la Ruta Nacional N°1, descargando parte de su caudal hacia el brazo del río Naranjo.
- El brazo del río Naranjo y el río San Miguel confluyen aproximadamente 400 m aguas abajo de su paso bajo la Ruta Nacional N°1.
- A una distancia de 1,5 km aguas abajo de la intersección con la Ruta Nacional N°1, los tres cauces confluyen para continuar con el nombre de río Naranjo.

Figura 3. Red de drenaje que confluye al río Naranjo



La línea roja punteada aproxima el área modelada con HEC-RAS

El levantamiento topográfico para el modelo hidráulico del río Naranjo, el brazo del río Naranjo y el río San Miguel tiene una longitud de 200 m, en la dirección del flujo (aproximadamente 100 m aguas arriba y 100 m aguas abajo de las estructuras de drenaje). La longitud del tramo modelado para calcular el perfil de flujo (200 m) se considera insuficiente como para que la estimación del perfil de flujo sea confiable y para poder representar la compleja red de drenaje de la Figura 3.

Observando la configuración de la red de drenaje de la Figura 3, es recomendable que el modelo hidráulico se extienda, al menos, hasta la confluencia de los tres cauces, ya que el nivel de agua y la velocidad en la confluencia podrían influir en el nivel de agua, el caudal y la velocidad en los sitios de las obras de drenaje. Por otra parte, se observa influencia de las obras de drenaje en el perfil de flujo hacia aguas arriba. Para estimar cómo se distribuye el caudal de la cuenca del río Naranjo entre el río Naranjo y el brazo del río Naranjo, es recomendable que el modelo hidráulico se extienda hasta la bifurcación ubicada 1 km aguas arriba de las obras de drenaje.

Adicionalmente, el modelo hidráulico unidimensional del río Naranjo, el brazo del río Naranjo y el río San Miguel presenta 5 aberturas (2 puentes y 3 alcantarillas) en la misma sección transversal en la condición existente y 4 aberturas (2 puentes y 2 alcantarillas) en la condición futura. De acuerdo con HDS N°7, las suposiciones del modelador en conjunto con las limitaciones y simplificaciones del software, resultan en un grado extremo de incertidumbre cuando en un modelo unidimensional existen múltiples aberturas en una misma sección, como en este caso.

Por último, de acuerdo con los resultados del modelo, el nivel de agua es igual para el río San Miguel, el río Naranjo y el brazo del río Naranjo en una misma sección transversal. Esta es una restricción que impone el enfoque unidimensional, pues no hay gradiente de nivel de agua en el sentido transversal. De acuerdo con USACE (1995), en algunas situaciones como el flujo de crecientes en la vecindad de puentes, esta suposición es incorrecta.

La condición de tener el mismo nivel de agua en los múltiples canales de una misma sección transversal, sería más cercana a la condición real si el flujo en los canales estuviera



conectado por la misma llanura de inundación en el tramo modelado. Sin embargo, este no es el caso en el modelo analizado: la sección hidráulica del río Naranjo no está conectada a las secciones hidráulicas del río San Miguel y el brazo del río Naranjo en el tramo modelado, para el caudal con período de retorno de 100 años. Entonces, la condición de que los tres canales mencionados tengan el mismo nivel de agua en una misma sección transversal no necesariamente es representativa de las condiciones de flujo.

Además, la condición de tener el mismo nivel de agua en todos los canales en la sección transversal correspondiente a la frontera aguas arriba del modelo podría ocasionar que la distribución de los caudales entre los múltiples canales no sea representativa de la condición real.

Considerando los comentarios anteriores, un modelo bidimensional de mayor extensión pudo haber brindado mejores resultados.

Según lo indicado en el oficio DM-2021-4926, dentro la contratación del especialista en hidrología e hidráulica, se incluyó la revisión de las capacidades hidráulicas de las estructuras de los puentes, realizando nuevos levantamientos topográficos y la aplicación de modelos hidráulicos apropiados. El Equipo Auditor dará seguimiento a los resultados de los modelos.

**Hallazgo No. 1. No se encontró en el informe que se hayan tomado en cuenta los procedimientos recomendados en HEC N°20 y HEC N°23 para evaluar la estabilidad del río Seco y solucionar el problema de erosión evidenciado.**

En el informe “Apartado 05 Diseño Hidráulico del Diseño de la Rehabilitación (o reconstrucción) y Mejoramiento de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Barranca-Limonal, Tramo: Barranca-Judas de Chomes” se indica que el río Seco experimenta desplazamientos laterales migratorios aguas arriba que provocan una erosión fuerte hacia el bastión de margen derecha.

Al respecto, en las especificaciones del Contrato de Servicios de Consultoría para el diseño (apartado 7.9. Condiciones Técnicas Generales), se indica que el diseño de los puentes se debe realizar tomando en cuenta las circulares de ingeniería hidráulica HEC N°20 (FHWA, 2012b) y HEC N°23 (FHWA, 2009b). Sin embargo, no se encontró en el informe que se hayan tomado en cuenta los procedimientos recomendados en HEC N°20 y HEC N°23 para evaluar la estabilidad del río Seco y solucionar el problema de erosión evidenciado (ver Figura 4 y Figura 5).

Figura 4. Erosión en margen derecha y restos de escollera en el cauce del río Seco. Fecha de la fotografía: 25/03/2021



Figura 5. Erosión en los bancos de margen derecha aguas arriba (a) y aguas abajo (b) del puente sobre el río Seco. Fecha de la fotografía: 25/03/2021



(a)

(b)

No se encontró en planos ni en el informe la longitud total del banco de la margen derecha del río Seco que será protegida. Tampoco se encontró en la memoria de cálculo el procedimiento para verificar si la protección será efectiva para detener o mitigar el desplazamiento lateral y la fuerte erosión que se menciona en el informe.

Además, en los planos se establece que la protección de los bancos del río Seco será una escollera de roca ligada con mortero. HEC N°23 clasifica la protección de roca ligada con mortero como revestimiento rígido e indica que los revestimientos rígidos para protección contra erosión son susceptibles a daños por: pérdida de soporte en la fundación por subsidencia, erosión en la base, presiones hidrostáticas, deslizamiento y erosión del perímetro. Las protecciones rígidas contra erosión como las de concreto colado en sitio, empedrado totalmente relleno con mortero o colchonetas rígidas rellenas con mortero generalmente no se recomiendan para el revestimiento de bancos (FHWA, 2009). Es recomendable evaluar si esta protección rígida es susceptible a los daños que advierte la circular HEC N°23. De ser así, se recomienda evaluar la alternativa de una protección flexible en ambas márgenes.



**Nota:** De acuerdo con los planos de los puentes sobre los ríos Ciruelas, Aranjuez y Sardinal, la escollera de protección del talud no se extiende hasta el fondo del cauce (pie del talud). Ante esta situación, el deslizamiento del talud en los niveles inferiores a la protección o la erosión de la base podrían desestabilizar y dañar la protección. Es criterio del Equipo Auditor que es recomendable extender la protección hasta el pie del talud.

**Observación No. 3. Se identificaron oportunidades de mejora en el diseño hidráulico de las obras de drenaje menor.**

Sobre los diseños hidráulicos desarrollados para el tramo Barranca - Limonal

Se consideran apropiados los criterios utilizados y la metodología seguida para calcular la capacidad hidráulica y la velocidad del agua en las obras de drenaje transversal menor del tramo Barranca - Limonal. No obstante, la información presentada no es suficiente para verificar los resultados obtenidos para la velocidad, la profundidad del agua en la tubería y la profundidad de agua a la entrada (HW), por las siguientes razones:

- Se menciona en el informe que la forma de la entrada de la alcantarilla es un dato necesario para determinar el coeficiente de pérdida de energía a la entrada  $k_e$ . La profundidad de agua a la entrada depende del valor asignado a ese coeficiente. No obstante, no se encontró en el informe el valor de  $k_e$  utilizado para las alcantarillas.
- Se establece que pueden ocurrir 8 tipos de funcionamiento en la alcantarilla. Se indica que es posible que exista más de un tipo que cumpla con las condiciones para ser la solución del perfil de flujo, en cuyo caso se escoge el tipo de funcionamiento más conservador. Con los resultados presentados no es posible verificar si el tipo de funcionamiento seleccionado es el más conservador. Para verificar los resultados obtenidos, es necesario conocer la profundidad de agua a la entrada para los 8 tipos de funcionamiento y no sólo para el tipo seleccionado.

En la tabla de resultados para la longitud del delantal (solera) y diente (rastrillo) y en los planos, se indica que algunas alcantarillas desaguan a una rampa que conduce a un cuenco disipador con bloques. No se encontró en el informe los criterios para el diseño de la rampa, el dimensionamiento del cuenco disipador ni para el dimensionamiento y ubicación de los bloques. Por lo tanto, la información presentada no es suficiente para verificar la efectividad de la estructura disipadora.

El encauzamiento E-106.5 conduce las aguas a un canal abierto de enrocado (denominado tramo enrocado en planos), el cual aparentemente descarga sobre la protección contra erosión del bastión en la margen derecha del río Seco. Para el caudal de diseño, la velocidad en la descarga superaría los 4 m/s. No es recomendable la descarga de las aguas a esa velocidad sobre la protección contra erosión en la margen derecha del río Seco, pues podría deteriorarla. Esa protección es muy importante porque, de acuerdo con el informe, el río ha causado erosión significativa en esa margen.

Al respecto, se recomienda valorar la opción de construir un disipador de energía al final del tramo enrocado (previo a la descarga sobre la protección) o la opción de variar su



alineamiento de manera que no descargue sobre la protección ni sobre zonas erosionables de la margen.

En otro tema, para comprobar el funcionamiento de los bajantes escalonados, se indica que se utilizó el método de la circular HEC N°14. Según HEC N°14 (FHWA, 2006), para obtener la condición de flujo considerada en el diseño de los bajantes escalonados (flujo de napa) es necesaria la formación de una cortina de agua aireada (napa) y una longitud suficiente para la caída libre de la cortina y para el desarrollo del salto hidráulico. Chanson (1998) indica que, para que este tipo de flujo pueda ocurrir, se debe cumplir con la siguiente relación:

$$\frac{d_c}{h_0} \leq 0.987 - 0.316 \frac{h_0}{L}$$

Donde,

$d_c$ : profundidad crítica del canal.

$h_0$ : altura de la grada.

L: longitud de la grada.

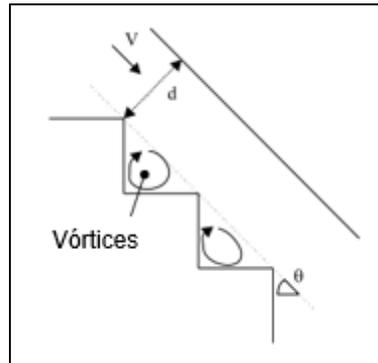
Con los datos de la tabla “Cálculo hidráulico de la bajante escalonada” (sección 2.10 Estructuras de caída) y la geometría de las gradas en los planos, se revisó la condición de flujo en los bajantes escalonados (ver Tabla 2). La relación  $d_c/h_0$  se designa Término 1 y el término de la derecha de la inecuación se denomina Término 2.

Tabla 2. Verificación de flujo de napa

Obra	$h_0$ (m)	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	$d_c$ (m)	Término 1	Término 2
OD-100.4	0,40	0,40	0,69	0,37	0,93	0,67
OD-108.3	0,40	0,40	0,85	0,32	0,80	0,67
OD-128.7	0,40	0,44	0,78	0,35	0,88	0,70
OD-134.2	0,40	0,40	1,35	0,44	1,09	0,67

Como se muestra en la Tabla 2, no se cumple la condición de flujo de napa asumida en el informe, pues el Término 1 es mayor que el Término 2. Por lo tanto, las condiciones de flujo calculadas en el informe no son representativas del flujo esperado en los bajantes escalonados de la Tabla 2. De acuerdo con Ohtsu et al. (2004), cuando no se dan las condiciones para flujo de napa, se puede tener flujo de transición o se puede tener flujo rasante. Cuando el flujo es de transición, la bolsa de aire bajo la napa no siempre se forma y se pueden formar vórtices en las esquinas de las gradas. Cuando el flujo es rasante, la bolsa de aire bajo la napa no se forma y, con certeza, se forman vórtices (ver Figura 6).

Figura 6. Esquema de flujo rasante en un bajante escalonado



Fuente: Ohtsu et al., 2004

No se encontraron los criterios técnicos para definir las dimensiones de la ranura del *slot drain*, de manera que se garantice que la ranura tiene capacidad para captar las aguas de las áreas de aporte e ingresen a la tubería.

Por otra parte, el sistema *slot drain* se encuentra en la categoría de *slotted drain inlet* (entrada al drenaje por ranura) de acuerdo con la Figura 4-4 de HEC N°22 (FHWA, 2009a). HEC N°22 advierte que las entradas al drenaje por ranura son muy susceptibles a la obstrucción por sedimentos y escombros. Por tanto, se recomienda a la Administración definir con claridad un plan de mantenimiento para ese sistema de drenaje.

Finalmente, se considera pertinente instar a la Administración a establecer un plan adecuado para el mantenimiento y conservación de las alcantarillas del proyecto (tanto para el tramo Barranca – Limonal como para el tramo de La Angostura) a lo largo de toda su vida útil, pues, según se indica en el informe, las obras de drenaje transversal existentes en el proyecto están, en general, mal conservadas y muchas de ellas están parcial o totalmente aterradas.

## 9.2 Diseño estructural de puentes

En colaboración con el Programa de Ingeniería Estructural (PIE) del LanammeUCR, se realizó la revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el río Ciruelas. Esto debido a que todos los puentes del proyecto fueron diseñados por la misma empresa, por lo que existen muchas similitudes entre las memorias de cálculo presentadas, y su contenido varía principalmente según el tipo de los componentes y elementos estructurales del puente. Tomando esto en consideración, se decidió seleccionar un único puente cuya memoria de cálculo y planos sean representativos de varios de los puentes vehiculares del proyecto.

Los resultados de esta revisión se compilan en el informe LM-PIE-08-2021, el cual fue suministrado a la Administración mediante la nota LM-EIC-D-0144-2021 (de fecha 16/02/2021). La Administración brindó respuesta a las observaciones realizadas mediante el oficio DM-2021-2461 (de fecha 05/04/2021).



**Observación No. 4. La memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato y los pasos de diseño indicados en el Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2012. No obstante, se identificaron algunos incumplimientos parciales, inconsistencias en la información presentada y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del revisor.**

En términos generales, la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato y los pasos de diseño indicados en el Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2012. Sin embargo, se detectaron algunos incumplimientos parciales del contrato (principalmente relacionados con la omisión de información solicitada), inconsistencias en la información presentada en la memoria de cálculo y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del revisor.

Aunque es posible que algunos de estos aspectos sí se hayan tomado en cuenta en el diseño estructural, la omisión de la información dentro de la memoria de cálculo hace que sea imposible verificarlo por parte de un tercero.

A continuación, se detallan las inconsistencias y oportunidades de mejora identificadas en la memoria de cálculo del puente sobre el río Ciruelas:

1. En el modelo del puente de la calzada izquierda no se consideró el peso de la barrera vehicular intermedia.

En el oficio DM-2021-2461, la Administración indica que la influencia de esta carga no es crítica, debido a que la misma se reparte entre las 8 vigas de esta calzada las cuales estarían en sección compuesta, incrementándose su resistencia para las combinaciones de carga correspondientes. Además, indica que los factores de seguridad cubrirían esta omisión.

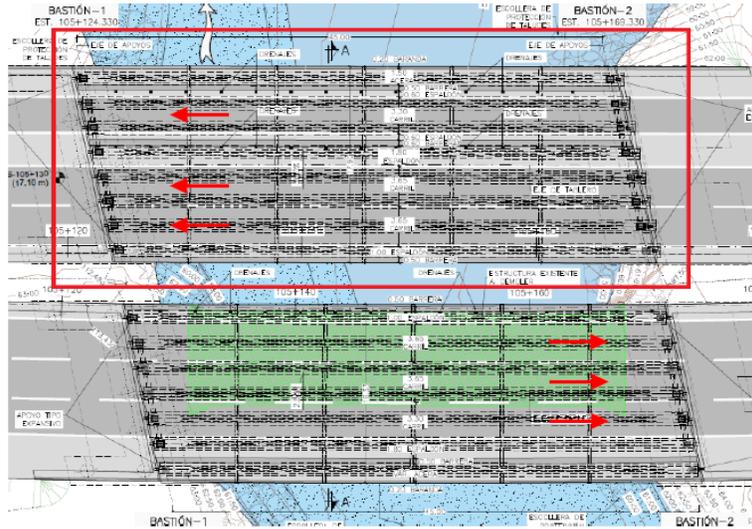
No obstante, es importante asegurarse que todas las disposiciones establecidas en la normativa de diseño se sigan cumpliendo una vez que se incorpore esta carga, no solo las disposiciones relacionadas con el Estado Límite de Resistencia. Por ejemplo, en el apartado 5.1.3 de la memoria de cálculo se realiza la revisión de las vigas presforzadas para el Estado Límite de Servicio III, y los datos muestran que el esfuerzo de tensión en la fibra inferior de la viga es prácticamente igual al límite máximo permitido, esto sin haber considerado el peso de la barrera vehicular intermedia.

Se recomienda verificar si, una vez que se incorpore el peso de la barrera vehicular intermedia, el diseño estructural cumpliría con todos los requerimientos que establece la normativa AASHTO LRFD 2012 para cada uno de los estados límite aplicables.

2. La carga viva vehicular HL-93 se aplicó considerando un máximo de tres carriles cargados y un mínimo de uno. Sin embargo, el ancho total de la calzada izquierda (ignorando la barrera vehicular intermedia) es suficiente como para tener que considerar cuatro carriles cargados.

En el puente izquierdo sobre el Río Ciruelas se consideró un máximo de 3 carriles cargados para el diseño estructural del puente (misma cantidad que los carriles de tránsito – ver Figura 7). Sin embargo, al hacer el cálculo de la cantidad de carriles de diseño omitiendo la presencia de la barrera vehicular intermedia, se obtiene un total de 4 carriles.

Figura 7. Vista en planta del puente sobre el Río Ciruelas



Nota: Se agregaron flechas para mostrar el sentido de circulación de cada uno de los carriles de tránsito.

El artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications* 2012 (6ta edición) establece lo siguiente:

El número de carriles de diseño debería ser determinado tomando la parte entera de la relación  $w/3,65$ , donde  $w$  es el ancho libre de la calzada en metros entre bordillos, barreras o ambos. **Posibles futuros cambios en el ancho libre físico o funcional de la calzada del puente deberían ser considerados.** (Lo destacado no es del texto original)

Con base en destacado del artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO LRFD 2012, es criterio del Equipo Auditor que la barrera vehicular intermedia presente en los puentes mencionados no debería ser tomada en cuenta a la hora de realizar el cálculo de la cantidad de carriles de diseño, ya que en el futuro esta barrera podría ser removida como parte de una ampliación o una modificación funcional de la carretera.

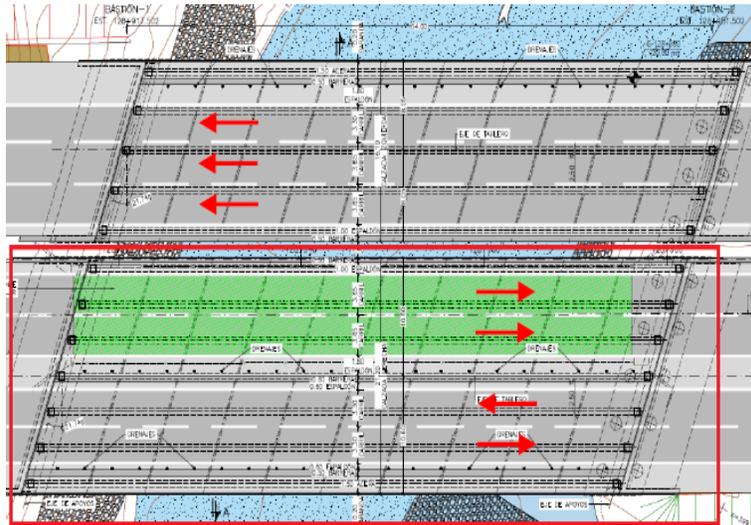
También es importante aclarar que la cantidad de carriles de diseño no necesariamente es igual a la cantidad de carriles de tránsito.

En caso de que la barrera vehicular intermedia sea removida en el futuro para acomodar un carril de tránsito adicional, los puentes no estarían diseñados para operar bajo esta condición.

Esta situación había sido alertada mediante la nota LM-IC-D-0804-2020 (de fecha 17/09/2021).

**Nota:** Esta situación también aplica para el caso del puente derecho sobre el Río Lagarto, donde se consideró un máximo de 4 carriles cargados para el diseño estructural del puente (misma cantidad que los carriles de tránsito – ver Figura 8). Sin embargo, al hacer el cálculo de la cantidad de carriles de diseño omitiendo la presencia de la barrera vehicular intermedia, se obtiene un total de 5 carriles.

Figura 8. Vista en planta del puente sobre el Río Lagarto



Nota: Se agregaron flechas para mostrar el sentido de circulación de cada uno de los carriles de tránsito.

En el oficio DM-2021-2461, la Administración indica que toma nota de la situación y realizará los análisis estructurales correspondientes en caso de que suceda la modificación señalada.

3. El límite superior que establece AASHTO para el acero de retracción y temperatura (igual a  $1270 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) fue interpretado más bien como un límite inferior. Por lo tanto, la cantidad de acero colocado en la dirección longitudinal de los bastiones (#6 @0,20 m) excede el límite superior indicado en AASHTO.

En el oficio DM-2021-2461, la Administración indica: “Según se evidencia en la memoria de cálculo, en el apartado 5.4.3 Armado de puntera y de talón bastión 2, el diseñador utiliza los artículos 5.7.3.3.2 “*Minimum Reinforcement*” y el artículo 5.10.8 “*Shrinkage and Temperature Reinforcement*”, en los cuales compara las cantidades de acero de esos artículos, escogiendo el máximo; lo cual acorde a lo expresado en tales artículos, no se considera erróneo”.

Vale la pena aclarar que el Artículo 5.7.3.3.2 *Minimum Reinforcement* de la norma AASHTO LRFD 2012 aplica únicamente para el acero de refuerzo que trabaja a flexión, es decir, aquel que se coloca en la dirección transversal del bastión. La observación realizada se refiere más bien al acero de refuerzo colocado en la dirección longitudinal del bastión, el cual se diseña específicamente para cumplir con las disposiciones de la sección 5.10.8 *Shrinkage and Temperature Reinforcement*. Por lo tanto, se considera que el acero de



refuerzo colocado en la dirección longitudinal de los bastiones no debería exceder el límite superior que se indica en la sección 5.10.8 de la norma AASHTO LRFD 2012.

4. Para el diseño del tablero se utilizó una capacidad que excede la demanda en más de un 33 % (límite establecido en el contrato).
5. No se utilizó en las combinaciones de carga de resistencia un modificador de carga por clasificación operacional ( $\eta$ ) de 1,05.

La sección 1.3.5 de la norma AASHTO LRFD 2012 indica que para puentes que se clasifican como críticos o esenciales se debe utilizar un modificador de carga de 1,05. En el caso de los puentes que pertenecen a la Ruta Interamericana, debido a su importancia en el transporte de carga, se considera que es prudente aplicar este modificador de carga.

6. En la cara interior del muro del Bastión 2, la cara superior de la placa de cimentación del Bastión 2 y la zona superior de los diafragmas sobre cada bastión se indica una mayor cantidad de acero en los planos estructurales que la indicada en la memoria de cálculo.

Aunque esto no representa un problema desde el punto de vista estructural, el hecho de que existan incongruencias entre los planos y la memoria de cálculo correspondiente genera confusión y dificulta el seguimiento por parte de un revisor.

7. Los estados límite de Servicio I y Servicio III se analizaron únicamente para los casos de un carril cargado y dos carriles cargados y no para el caso de tres carriles cargados.

En el oficio DM-2021-2461, la Administración indica que los casos de un carril cargado y dos carriles cargados son los casos más críticos acorde al artículo 3.6.1.1.2 *Multiple Presence of Live Load*. No obstante, aunque el factor de presencia múltiple es menor para el caso de tres carriles cargados que para los otros dos casos, la carga viva a aplicar es distinta y existe la posibilidad de que el caso de tres carriles cargados sea el que produzca los efectos mayores. La memoria de cálculo del diseño estructural debería incluir la explicación y justificación correspondiente de no haber revisado el caso de tres carriles cargados para las combinaciones de carga mencionadas, o bien, presentar los cálculos que demuestren que este caso no es crítico.

8. No se muestra el detalle del procedimiento para el diseño de los diafragmas intermedios, el acero longitudinal del tablero, el acero de confinamiento colocado en la zona bajo los apoyos y el acero transversal de los pilotes.

Aunque en el apartado 4.3 *Descripción del cálculo de riostras* de la memoria de cálculo se explican las suposiciones que se tomaron para diseñar los diafragmas intermedios, no se incluyeron los cálculos correspondientes.

En el caso del tablero, si bien se muestra el análisis computacional utilizado para obtener el acero de refuerzo principal (diseño por flexión del tablero), no se incluyó información acerca de cómo se diseñó el acero de refuerzo en la dirección longitudinal y los datos de salida correspondientes.



En el caso de los pilotes, si bien se muestra parte del análisis computacional utilizado para obtener el acero de refuerzo principal (diseño a flexocompresión del pilote), no se incluyó información acerca de cómo se diseñó el acero de refuerzo transversal y los datos de salida correspondientes.

9. No se brinda el detalle del cálculo de la resistencia nominal a flexión de las vigas principales, así como el diseño del refuerzo longitudinal convencional de estos elementos.

Aunque en la hoja electrónica utilizada para el diseño de las vigas principales se realizan las comprobaciones de la resistencia a flexión, no se explica cómo se calculó la resistencia nominal a flexión (momento resistente) ni se hace referencia a la sección de la normativa que fue utilizada para hacer el cálculo.

Cabe mencionar que en el contrato para servicios de consultoría se especifica que en los casos donde se utilicen hojas electrónicas se debe hacer referencia a los artículos correspondientes en la normativa.

Dentro de las hojas electrónicas presentadas, tampoco se hace mención del acero convencional colocado en el sentido longitudinal de la viga, a pesar de que este acero sí se muestra en los planos (6#6 colocadas en la cara inferior de la viga).

10. No se brinda justificación para la selección de los valores porcentuales de las pérdidas de preesfuerzo seleccionados.

En el oficio DM-2021-2461, la Administración indica que los valores seleccionados corresponden a valores que usualmente se presentan en este tipo de diseños. Además, indica que, cuando se esté en la etapa constructiva, las pérdidas definitivas dependerán del sistema de postensión o pretensión del fabricante de las vigas.

No obstante, es criterio del Equipo Auditor que la memoria de cálculo debería incluir la referencia de dónde provienen los valores considerados para las pérdidas de presfuerzo (en caso de utilizar valores típicos), o bien, presentar los cálculos correspondientes. Cabe mencionar que el contrato para servicios de consultoría incluye la siguiente disposición: “Justificar el uso de cualquier parámetro que no sea dado en los estudios preliminares o establecido como único en las normativas”.

**Nota:** En el caso del puente sobre el Río Sardinal, en el modelo de la superestructura se definió el peso propio de las vigas AASHTO tipo V como 11,8 kN/m, que es inferior al peso real de este tipo de vigas (aproximadamente 16,3 kN/m).

El hecho de que existan incumplimientos tanto del contrato como de la normativa de diseño estructural, así como omisión de la información solicitada, sugiere que la Administración debería establecer procedimientos estandarizados para verificar la calidad de las memorias de cálculo que se reciben de las estructuras de puentes de diferentes proyectos. Este proceso puede facilitarse si desde un inicio se solicita al diseñador, por medio de los documentos contractuales, el desarrollo y seguimiento de un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural.



### 9.3 Estudios geológicos y geotécnicos

La revisión consistió en verificar si los documentos presentados cuentan con información suficiente para desarrollar los diseños geotécnicos que se requieren en las obras a lo largo del proyecto, además de verificar que las variables geotécnicas apropiadas hayan sido contempladas en los diseños desarrollados.

Los resultados de esta revisión se muestran en el informe LM-IG-10-2020, el cual fue remitido a la Administración mediante el oficio LM-IC-D-0889-2020 (de fecha el 6/10/2020). La Administración brindó respuesta a las observaciones emitidas mediante el oficio DM-2020-4158 (de fecha 04/11/2020).

**Observación No. 5. Las soluciones geotécnicas propuestas y los estudios geotécnicos desarrollados para el proyecto se consideran adecuados según las características evaluadas y el alcance del proyecto.**

Las principales conclusiones del informe LM-IG-10-2020 son las siguientes:

- Se considera apropiada la cantidad de exploraciones realizadas para conformar los modelos geológico-geotécnicos.
- Se consideran apropiados los procedimientos de ensayos realizados para la caracterización de los materiales; sin embargo, se identificaron oportunidades de mejora en la selección de algunos ensayos para la caracterización física y mecánica de ciertos materiales.
- Los modelos geotécnicos generales de los proyectos se consideran adecuados. No obstante, se considera recomendable desarrollar modelos geotécnicos específicos para cada una de las estructuras a construir (muros, puentes, entre otros), dado que los parámetros geomecánicos de éstos pueden variar respecto a las parametrizaciones genéricas de las unidades geológicas encontradas en sitio.
- Los análisis de estabilidad realizados para los taludes a conformar se consideran adecuados. Sin embargo, se considera recomendable revisar el nivel freático en la época lluviosa de la zona y determinar si este tiene alguna afección en la estabilidad de los taludes a ser conformados.
- Dadas las condiciones encontradas en los sitios específicos, se consideran adecuadas las recomendaciones del tipo y nivel de cimentación y las consideraciones de excavaciones temporales para llegar a los niveles de cimentación establecidos.
- El planeamiento de la disposición de los muros, así como la concepción de su diseño se considera adecuada. Los criterios de diseño son acertados y adecuados, además que siguen la línea de diseño comúnmente conocida en el medio geotécnico.
- El inventario de taludes es extensivo y acorde a la magnitud del proyecto.
- El estudio de amenaza sísmica se considera adecuado y cuenta con la extensión requerida para el proyecto.

Como se observa de las principales conclusiones del informe LM-IG-10-2020, los estudios geotécnicos presentados se consideran adecuados.



Como parte de la respuesta brindada por la Administración en el oficio DM-2020-4158, se adjunta el oficio 1587-2020 (de fecha 28/10/2020), donde la Unidad Ejecutora del proyecto indica que se tomarán en cuenta las observaciones emitidas por el LanammeUCR y se remitirán a las Unidades Supervisoras y al Contratista para que sean tomadas en cuenta durante la etapa de ejecución del proyecto.

## 10. CONCLUSIONES

A partir de los resultados evidenciados durante la ejecución de la auditoría, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- Se identificó la necesidad de mejorar los términos de referencia para la contratación de especialistas en proyectos de infraestructura vial, ya que se está diluyendo la responsabilidad del profesional a cargo del diseño y trasladando el riesgo y responsabilidad a la Administración.

### Sobre los estudios hidrológicos e hidráulicos

- La información base utilizada y las metodologías empleadas en los estudios hidrológicos desarrollados para el tramo Barranca - Limonal hacen que los resultados obtenidos no tengan la certeza requerida para llevar a cabo la revisión y el diseño hidráulico de las obras de drenaje transversal y longitudinal de una obra vial de tanta importancia para el país.
- Los resultados de los modelos hidráulicos de las obras de drenaje mayor presentan una alta incertidumbre en algunos ríos debido a la información base utilizada y al modelo hidráulico seleccionado.
- A pesar de ser un requerimiento contractual, no se encontró evidencia de que se hayan tomado en cuenta los procedimientos recomendados en HEC N°20 y HEC N°23 para evaluar la estabilidad del río Seco y solucionar el problema de erosión evidenciado en la margen derecha de ese río.
- Se identificaron oportunidades de mejora en los estudios hidráulicos de las obras de drenaje menor del proyecto.

### Sobre el diseño estructural de puentes

- En términos generales, la memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el Río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato y los pasos de diseño indicados en el Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2012.
- Se detectaron algunos incumplimientos parciales del contrato (principalmente relacionados con la omisión de información solicitada), inconsistencias en la información presentada en la memoria de cálculo y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del revisor.
- El hecho de que existan incumplimientos tanto del contrato como de la normativa de diseño estructural, así como omisión de la información solicitada, sugiere que la Administración debería establecer procedimientos estandarizados para verificar la



calidad de las memorias de cálculo que se reciben de las estructuras de puentes de diferentes proyectos.

### **Sobre los estudios geotécnicos**

- Las soluciones geotécnicas propuestas se consideran adecuadas según las características evaluadas.
- Se identificaron algunas recomendaciones a ser tomadas durante la etapa constructiva y oportunidades de mejora para futuros proyectos.

## **11.RECOMENDACIONES**

A continuación, se enlistan las recomendaciones del informe para que sean consideradas por la Administración, con el propósito de que puedan definirse e implementarse acciones integrales a futuros proyectos de infraestructura vial.

- Revisar las observaciones y recomendaciones emitidas en este informe sobre el contenido y pertinencia de los estudios preliminares y tomar las medidas que se consideren pertinentes para mejorar la representatividad de los estudios preliminares de los proyectos a ser desarrollados por el programa.
- Tomar en cuenta las recomendaciones emitidas en este informe para la etapa constructiva del proyecto, de manera que se eviten problemas previsibles que puedan repercutir en aumentos de costos y plazos.
- Tomar en cuenta las recomendaciones emitidas en este informe para la etapa operativa del proyecto, de manera que se garantice el correcto funcionamiento del proyecto y evitar que se generen deterioros prematuros que comprometan la vida útil del proyecto.

### **Sobre los estudios hidrológicos e hidráulicos**

- Se recomienda analizar las observaciones y recomendaciones realizadas por el LanammeUCR en el informe LM-INF-IC-D-0009-2020 a los estudios hidrológicos presentados para el tramo Barranca – Limonal y analizar si es pertinente tomar medidas para mejorar la representatividad de éstos.
- Se sugiere tomar en cuenta la recomendación brindada por M. Lizano y O. Lizano, en el informe “Creación de escenarios de inundación en la ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel del mar” (2010), de solicitar al ente encargado la instalación un mareógrafo que permita medir y obtener patrones sobre el nivel del mar para tener un registro continuo de variaciones, lo cual puede ayudar a prevenir y mitigar posibles amenazas que podrían comprometer la operación de la Ruta Nacional N°17 en el largo plazo.
- Evaluar si la protección contra erosión propuesta (escollera de roca ligada con mortero) en las márgenes de los ríos es susceptible a los daños que advierte la circular HEC N°23. De ser así, se recomienda evaluar la alternativa de una protección flexible.
- Se recomienda extender la escollera de protección del talud de los puentes sobre los ríos Ciruelas, Aranjuez y Sardinal hasta el pie del talud.



- Se recomienda valorar la opción de construir un dissipador de energía al final del canal denominado “tramo enrocado” (previo a la descarga sobre la protección del puente sobre el río Seco) o la opción de variar su alineamiento de manera que no descargue sobre la protección ni sobre zonas erosionables de la margen.
- Verificar si la ranura del sistema de drenaje *slot drain* tiene capacidad para captar las aguas que le serán aportadas.
- Definir con claridad un plan de mantenimiento para el sistema de drenaje *slot drain*.
- Se insta a la Administración a establecer un plan adecuado para el mantenimiento y conservación de las alcantarillas del proyecto a lo largo de toda su vida útil.

Para futuros proyectos se recomienda tomar las siguientes recomendaciones:

- Utilizar los registros de precipitación más recientes, de mayor extensión y más representativos de las áreas de estudio.
- Para modelos hidráulicos de ríos, solicitar el levantamiento topográfico de secciones transversales en una longitud en la dirección del flujo de al menos 10 - 20 anchos del cauce.
- Utilizar un modelo hidráulico en régimen de flujo no permanente cuando el flujo en las planicies de inundación es considerable.
- Utilizar modelos hidráulicos bidimensionales cuando el flujo en planicies de inundación es considerable, las velocidades laterales son significativas, hay bifurcaciones en las cercanías del sitio de puente, cuando se presentan curvas pronunciadas cerca de los puentes o cuando hay múltiples aberturas (drenajes) en una misma sección transversal.

### **Sobre el diseño estructural de puentes**

- Se recomienda verificar si, una vez que se incorpore el peso de la barrera vehicular intermedia en el análisis estructural del puente de la calzada izquierda sobre el río Ciruelas, el diseño estructural cumpliría con todos los requerimientos que establece la normativa AASHTO LRFD 2012 para cada uno de los estados límite aplicables.
- Para futuros proyectos, se considera que es prudente aplicar el modificador de carga en los puentes esenciales y críticos del país.
- Revisar la capacidad estructural de los puentes sobre los ríos Ciruelas y Lagarto, en caso de que se dé una modificación funcional de la vía al remover la barrera vehicular intermedia.
- Establecer procedimientos estandarizados para verificar la calidad de las memorias de cálculo recibidas de los diferentes proyectos.

Para establecer un plan de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural de puentes, se recomienda utilizar como referencia el documento titulado “*Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design*” (FHWA & AASHTO, 2011), el cual provee una guía para que las organizaciones a cargo de estructuras de puentes puedan desarrollar e implementar su propio programa de control y aseguramiento de la calidad del diseño estructural de puentes. El documento se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/h0817.pdf>.



Adicionalmente, los programas de control y aseguramiento de la calidad de los Departamentos de Transporte de Estados Unidos deben estar alineados con las disposiciones de FHWA y AASHTO, por lo que también pueden ser referencias muy útiles para definir las herramientas y procedimientos a implementar. A manera de ejemplo, se presentan las referencias correspondientes a los programas de control y aseguramiento de la calidad de los Departamentos de Transporte de Texas y de Washington:

- Texas Department of Transportation, TxDOT. (2021). *Quality Control and Quality Assurance Guide*. Documento disponible en el enlace: [https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/library/pubs/bus/bridge/ga\\_gc\\_guide.pdf](https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/library/pubs/bus/bridge/ga_gc_guide.pdf)
- Washington Department of Transportation, WSDOT. (2020). *Bridge Design Manual (LRFD)*. Referirse específicamente a la Sección 1.4 “*Quality Control/Quality Assurance/Quality Verification (QC/QA/QV) Procedures*”. Documento disponible en el enlace: <https://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M23-50/BDM.pdf>

### **Sobre los estudios geotécnicos**

- Se recomienda hacer una revisión de los criterios utilizados para clasificar los suelos como aptos según su índice de grupo.
- Para las arenas con contenido de finos, se considera recomendable complementar los ensayos realizados con un ensayo de presión de hinchamiento o hinchamiento libre o ambos, para interpretar apropiadamente la susceptibilidad de expansividad del estrato arcilloso, en especial por que el proyecto consiste en un tramo de carretera, y problemas de expansividad en el terreno conllevan a problemas en los pavimentos.
- Para las muestras obtenidas a partir de los 24 m, se considera apropiado complementar la curva granulométrica con el método del hidrómetro.
- Se recomienda realizar un modelo geológico-geotécnico específico para los sitios donde se pretenden ubicar las diferentes estructuras y realizar una revisión de las consideraciones de diseño para verificar si existe alguna diferencia con lo inicialmente propuesto.
- Para el caso del tramo Judas de Chomes – Limonal, dado que el estudio de niveles freáticos se realizó durante la época seca de la zona en estudio, se recomienda realizar este estudio durante la época lluviosa de la zona en estudio y analizar si los niveles freáticos encontrados tienen alguna afección en la estabilidad de los taludes. Además, cuando en el tramo se tenga que realizar algún diseño para una obra en específico que se colocará sobre el material Ci, es recomendable realizar muestreos y ensayos adicionales para determinar sus propiedades geomecánicas, ya que en el estudio de suelos no fue posible determinarlas.
- Para el caso del tramo de La Angostura, debido a que es una zona costera, con registro de actividad sísmica, variaciones en el nivel freático y con potencial de licuación en algunas secciones, se recomienda realizar el análisis de estabilidad con la condición pseudoestática con el talud saturado.



- Se considera adecuado que en el informe se muestre explícitamente el análisis realizado para descartar el potencial de licuación de los materiales de los sitios de estudio.

Además, se considera pertinente realizar las siguientes recomendaciones a ser tomadas en cuenta durante la etapa constructiva del proyecto:

- Se recomienda realizar sondeos en las cercanías de las estructuras para confirmar que los parámetros geomecánicos particulares de los materiales en las cercanías de las estructuras coinciden con los obtenidos del modelo geológico-geotécnico global. En caso de que las estructuras se vean afectadas por materiales con características particulares que no estén tomadas en cuenta en esta descripción general del tramo, se recomienda analizar puntualmente los materiales encontrados.
- En caso de que se presente algún indicio de inestabilidad durante la construcción de los taludes, se considera recomendable establecer propiedades propias para el sitio de análisis y determinar nuevamente la estabilidad del talud.
- En el caso de la caída de suelos y rocas meteorizadas, ya que en el inventario de taludes se puede observar desprendimientos de material producto de la erosión en diferentes taludes, se recomienda revisar las condiciones de estabilidad superficial de los taludes y prever soluciones ante la problemática.
- En el caso de los muros de suelo cosido, se recomienda revisar y poner especial atención durante la construcción de los muros que dieron como resultado factores de seguridad muy cercanos a los valores mínimos. También se recomienda verificar que todos los pernos atraviesen la superficie de falla crítica.

## 12. REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge design specifications Sixth edition*. Washington: Customary U.S. Units.
- ACI Comité ACI 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*. Farmington Hills, U.S.A.: American Concrete Institute.
- Castillo, R., & Johanning, D. (2020). *LM-PIE-39-2020*. San José: LanammeUCR.
- Castillo, R., & Johanning, D. (2021). *LM-PIE-08-2021 Revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el río Ciruelas, proyecto: "Rehabilitación y mejoramiento de la Ruta Nacional N°1, tramo Barranca - Limonal"*. San José: LanammeUCR.
- Castillo, R., & Johanning, D. (2021). *LM-PIE-28-2021*. San José: LanammeUCR.
- Chanson, H. (1998). *Utilization of stepped channels and study of stepped channel flows in Australia*. Tokio, Japón: Workshop on Flow Characteristics around Hydraulics Structures and River Environment. Universidad de Nihon.
- Creager et al. (1945). *Engineering for Dams*. Volume I: General Design. Wiley Eastern Private Limited.
- Decreto Ejecutivo N° 38799-MOPT. (2015). *Reglamento de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías*. San José: La Gaceta N° 121.
- FHWA. (2002). *HDS No. 2 Highway Hydrology*. Second Edition. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif02001.pdf>



- FHWA. (2006). *HEC No. 14 Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, Third Edition*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/06086/hec14.pdf>
- FHWA. (2009a). *HEC No. 22 Urban Drainage Design Manual, Third Edition*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/10009/10009.pdf>
- FHWA. (2009b). *HEC No. 23 Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures, Third Edition*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/09111/09111.pdf>
- FHWA. (2012a). *HEC No. 18 Evaluating Scour at Bridges, Fifth Edition*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12003.pdf>
- FHWA. (2012b). *HEC No. 20 Stream Stability at Highway Structures, Fourth Edition*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12004.pdf>
- FHWA. (2012c). *HDS No. 7 Hydraulic Design of Safe Bridges*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12018.pdf>
- FHWA. (2020). *HEC No. 25 Highways in the Coastal Environment, Third Edition*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif19059.pdf>
- Gamboa, R. (1969). *Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores de carreteras*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- LanammeUCR. (2020). *LM-INF-IC-D-0009-2020 Evaluación de los estudios preliminares, la calidad de los materiales y los procesos constructivos del proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Limonal - Cañas*. San José, Costa Rica.
- Li, M., & Chibber, P. (2008). *Overland Flow Time of Concentration on Very Flat Terrains*. Journal of the Transportation Research Board, 133-140.
- Lizano, M., & Lizano, O. (2010). *Creación de escenarios de inundación en la ciudad de Puntarenas ante el aumento en el nivel del mar*. Intersedes. Vol. XI, (21-2020) 215-229.
- Monge, A., & Solano, L. (2020). *LM-IG-10-2020 Informe de revisión de los estudios suelos y obras diseñadas para el proyecto Barranca – Limonal en sus secciones: Barranca – Judas de Chomes, Judas de Chomes – Limonal y La Angostura*. San José: LanammeUCR.
- MOPT. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-2010*. San José.
- MOPT. (2015). *Manual Técnico de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la Ejecución de Trabajos*. Costa Rica.
- Ohtsu et al. (2004). *Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels*. Journal of Hydraulics Engineering, 860-867.
- Oreamuno, R., & Bonilla, R. (2019). *CIEDES-055-2019*. San José: CIEDES-UCR.
- Samuels. (1989). *Backwater length in rivers*. Proc. Instn. Civ. Eng., Part 2, 571-582.
- SIECA. (2000). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala.
- SIECA. (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. El Salvador: Primera Edición.
- TAC. (2004). *Guide to Bridge Hydraulics, Second Edition*. Tomas Thelford.
- USACE. (1995). *Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis*. Obtenido de <https://www.hec.usace.army.mil/publications/ResearchDocuments/RD-42.pdf>
- Valverde, G. (2011). *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.



<b>EQUIPO AUDITOR</b>		
<b>Preparado por:</b> <b>Ing. Mauricio Picado Muñoz</b> <b>Auditor Técnico</b>	<b>Revisado por:</b> <b>Ing. Francisco Fonseca Chaves</b> <b>Auditor Técnico</b>	<b>Revisado por:</b> <b>Ing. Fiorella Murillo Contreras</b> <b>Auditora Técnica</b>
<b>Visto Bueno de Legalidad:</b> <b>Lic. Nidia Segura Jiménez</b> <b>Asesora Legal Externa</b> <b>LanammeUCR</b>	<b>Revisado y aprobado por:</b> <b>Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.</b> <b>Coordinadora Unidad de</b> <b>Auditoría Técnica</b>	<b>Aprobado por:</b> <b>Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.</b> <b>Director General LanammeUCR</b>



## 13. ANEXOS

Anexo A. Análisis del descargo al informe en versión preliminar LM-INF-EIC-D-0006B-2021

 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES	Universidad de Costa Rica <b>Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales</b>	<b>Referencia:</b> <b>ANEXO 21</b>
	Unidad de Auditoría Técnica <b>Análisis del Descargo</b>	<b>Versión:</b> <b>1</b>
<b>Consecutivo:</b>		<b>Página:</b> 1/3

### 1. Nombre Informe

LM-INF-EIC-D-0006-2021: Evaluación de los estudios preliminares del proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca - Limonal y de la Ruta Nacional N°17, sección: La Angostura.

### 2. Descargo

El día 10 de setiembre de 2021, se recibe vía correo electrónico el oficio DM-2021-4926 (de fecha 10/09/2021), remitido por el Ing. Tomás Figueroa Malavassi y que brinda descargo al contenido del informe en versión preliminar LM-INF-EIC-D-0006B-2021.

### 3. Análisis del descargo

**Observación No. 1.** Los resultados de los estudios hidrológicos del tramo Barranca-Limonal pueden no ser representativos de las condiciones del proyecto debido a la información base utilizada y al carácter empírico de algunas metodologías empleadas.

#### Descargo

“Se indica que se está gestionando la contratación de un Especialista en Hidrología e Hidráulica para la revisión y el análisis de la capacidad hidráulica con la que se elaboraron los diseños originales del tramo “Barranca – Limonal”, con lo cual se espera que, a inicios del año 2022, se cuente con el análisis completo de todo el tramo, esto una vez se realicen los levantamientos de campo, análisis de resultados y generación de informes según prioridades establecidas por la UEP, acorde a la programación de obras”.

#### Análisis del descargo

Se añade al final de la observación:

“Según lo indicado en el oficio DM-2021-4926 (de fecha 10/09/2021), la Administración está gestionando la contratación de un especialista en hidrología e hidráulica para la revisión y el análisis de la capacidad hidráulica con la que se elaboraron los diseños originales del tramo Barranca - Limonal. El Equipo Auditor dará seguimiento a la metodología utilizada en los nuevos estudios y a la representatividad de los resultados”.

**Observación No. 2.** No se encontró evidencia de que se haya evaluado el riesgo de inundación de las obras del Paseo Marítimo en el tramo de La Angostura ni que se haya analizado la necesidad de protección contra la erosión de esas obras.

#### Descargo

“Se aclara que la aprobación de la optimización del diseño de “La Angostura”, con todos sus entregables, está en análisis por parte del Comité de Administración y Supervisión (CAS), la cual cuenta el análisis del riesgo de inundación de las obras del Paseo Marítimo, y ha permitido definir niveles de rasante y el diseño de las obras de drenaje”.



 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES	Universidad de Costa Rica <b>Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales</b>	<b>Referencia:</b> <b>ANEXO 21</b>
	Unidad de Auditoría Técnica <b>Análisis del Descargo</b>	<b>Versión:</b> <b>1</b>
<b>Consecutivo:</b>		<b>Página: 2/3</b>

Además, se adjunta la memoria de cálculo para las obras de protección en el Paseo Marítimo del tramo de La Angostura.

#### Análisis del descargo

Dada la información presentada, se concluye que sí se realizaron los estudios de inundación y erosión en el tramo de La Angostura, por tanto, se elimina la observación.

El Equipo Auditor dará seguimiento al proceso constructivo de la propuesta de protección, ya que, según los resultados de los estudios realizados, existe un riesgo de inundación y erosión si no se construyen las obras de protección propuestas.

**Observación No. 3.** Los resultados de los modelos hidráulicos presentan una alta incertidumbre en algunos ríos debido a la información base utilizada y al modelo hidráulico seleccionado.

#### Descargo

“En concordancia con lo indicado en la Observación No. 1, se destaca que, dentro la contratación del Especialista en Hidrología e Hidráulica, se incluyó la revisión de las capacidades hidráulicas de las estructuras de los puentes, realizando nuevos levantamientos topográficos y la aplicación de modelos hidráulicos apropiados”.

#### Análisis del descargo

Se añade al final de la observación: “Según lo indicado en el oficio DM-2021-4926, dentro la contratación del especialista en hidrología e hidráulica, se incluyó la revisión de las capacidades hidráulicas de las estructuras de los puentes, realizando nuevos levantamientos topográficos y la aplicación de modelos hidráulicos apropiados. El Equipo Auditor dará seguimiento a los resultados de los modelos”.

**Hallazgo No. 1.** No se encontró en el informe que se hayan tomado en cuenta los procedimientos recomendados en HEC N°20 y HEC N°23 para evaluar la estabilidad del río Seco y solucionar el problema de erosión evidenciado.

No se presenta información adicional por escrito, por lo cual no se modifica el contenido del informe.

**Observación No. 4.** Se identificaron oportunidades de mejora en el diseño hidráulico de las obras de drenaje menor.

#### Descargo

“Se informa que con la optimización al diseño de “La Angostura” se ha logrado variar la configuración para el sistema de drenaje, siendo que en el caso de las obras en el tramo “Barranca – Limonal”, se están realizando las valoraciones respectivas”.

#### Análisis del descargo



Luego de revisar la optimización del sistema de drenaje del tramo de La Angostura, se realizan las siguientes modificaciones:

- El Canal Tipo 4 no se encontró en la nueva versión de planos de drenaje de La Angostura, por tanto, se retira lo respectivo de la observación.
- Con respecto a la Cuneta Tipo 1, no se encontró ese tipo de cuneta en la nueva versión de los planos de drenaje. Por tanto, se elimina lo relativo a la Cuneta Tipo 1.

Con respecto al tramo Barranca - Limonal, se mantienen las recomendaciones emitidas para este tramo.

**Observación No. 5.** La memoria de cálculo del diseño estructural del puente sobre el río Ciruelas cumple con la mayoría de los requerimientos solicitados en el contrato y los pasos de diseño indicados en el Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2012. No obstante, se identificaron algunos incumplimientos parciales, inconsistencias en la información presentada y otros aspectos que dificultan el seguimiento de los cálculos por parte del revisor.

Se indica que se toma nota de la observación del Equipo Auditor. No se modifica el contenido de la observación.

**Observación No. 6.** Las soluciones geotécnicas propuestas y los estudios geotécnicos desarrollados para el proyecto se consideran adecuados según las características evaluadas y el alcance del proyecto.

No se emiten comentarios al respecto, por lo cual no se modifica el contenido de la observación.

	Nombre y Puesto	Firma	Fecha
Preparó:	Ing. Mauricio Picado Muñoz Auditor Líder	MAURICIO ESTEBAN PICADO MUÑOZ (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por MAURICIO ESTEBAN PICADO MUÑOZ (FIRMA) Fecha: 2021.10.08 16:07:22 -06'00'</small>	01/10/2021
Revisó:	Ing. Francisco Fonseca Chaves Auditor Adjunto	FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) Fecha: 2021.10.10 09:23:44 -06'00'</small>	1/10/2021
	Ing. Fiorella Murillo Contreras Auditora Adjunta	FIGRELLA MURILLO CONTRERAS (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por FIGRELLA MURILLO CONTRERAS (FIRMA) Fecha: 2021.10.10 09:23:44 -06'00'</small>	08/10/2021
Aprobó:	Ing. Wendy Sequeira Rojas, M.Sc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica	WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) Fecha: 2021.10.11 13:55:11 -06'00'</small>	6/10/2021