



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

## Programa de Infraestructura del Transporte

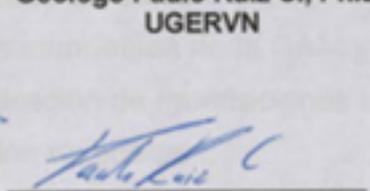
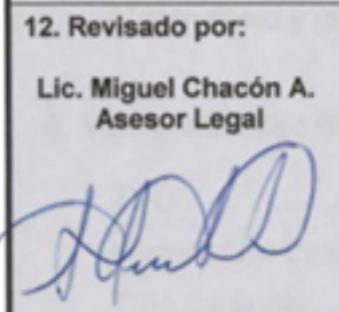
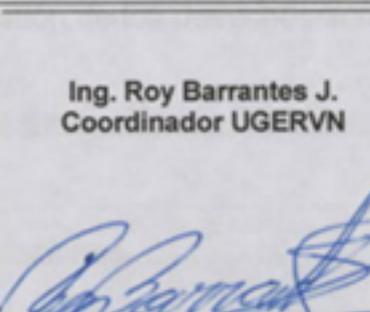
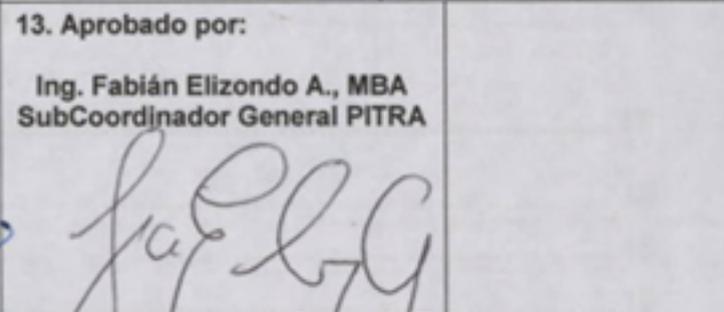
# **INFORME DE EVALUACIÓN ALCANTARILLAS GAM VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y DEL SITIO**

LM-PI-UGERVN-012-2013

San José, Costa Rica  
Noviembre, 2013



Documento generado con base en el Artículo 6, inciso c) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capítulo II, Artículo 14 del Reglamento del Artículo 6 de la precitada ley, publicada mediante Decreto DE-37016-MOPT.

1. Informe LM-PI-UGERVN-012-2013		2. Copia No.1	
3. Título INFORME DE EVALUACIÓN ALCANTARILLAS GAM VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y DEL SITIO		4. Fecha del Informe Noviembre 2013	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Notas complementarias No aplica			
7. Resumen <i>El Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, realizó una evaluación de las condiciones estructurales y del sitio que presentan algunas de las alcantarillas localizadas en la Gran Área Metropolitana. En la condición estructural se consideraron aspectos relativos a los componentes del cabezal de entrada y de salida, así como la condición del talud de relleno sobre el cabezal. Para las condiciones del sitio se evaluaron aquellos aspectos que afectan directa o indirectamente el desempeño del paso de agua, se consideraron por ejemplo los suelos presentes en el cauce y en los taludes del río, el Tránsito Promedio Diario que circula por la vía que atraviesa la alcantarilla, los registros de inundaciones existentes para los diversos puntos evaluados, etc.</i> <i>Las condiciones observadas para cada uno de los 27 pasos de agua evaluados fueron asociadas a un determinado nivel de vulnerabilidad y a una escala de puntuación. Esto permitió bajo los criterios de evaluación considerados, generar una calificación ponderada de la vulnerabilidad que presentan en la actualidad estas alcantarillas. Partiendo de los resultados de este análisis, se realizaron una serie de recomendaciones generales de mantenimiento e intervención, tendientes a reducir las condiciones de vulnerabilidad encontradas, y mejorar, por lo tanto, el desempeño de las alcantarillas como parte integral de la infraestructura vial.</i>			
8. Palabras clave Alcantarillas, pasos de agua, GAM, infraestructura, geotecnia, geología		9. Nivel de seguridad: Bajo	10. Núm. de páginas 57
11. Preparado por:			
Ing. Ronald Naranjo U. UGERVN 	Geólogo Paulo Ruiz C., Ph.D. UGERVN 	Ing. Jairo Sanabria V. UGERVN 	Ing. Christian Valverde C. UGERVN 
Fecha: 14/11/2013	Fecha: 14/11/2013	Fecha: 14/11/2013	Fecha: 14/11/2013
12. Revisado por:		13. Aprobado por:	
Lic. Miguel Chacón A. Asesor Legal 	Ing. Roy Barrantes J. Coordinador UGERVN 	Ing. Fabián Elizondo A., MBA SubCoordinador General PITRA 	
Fecha: 22/11/13	Fecha: 14/11/13	Fecha: 13/11/13	

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. Potestades.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Objetivo de la Evaluación.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Alcances y Limitaciones de la Evaluación.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Metodología.....</b>	<b>7</b>
Revisión de documentación.....	7
Delimitación de la zona de estudio.....	7
Inspección de campo.....	8
Procesamiento y análisis de información.....	9
Recomendaciones y estrategias de intervención.....	9
<b>5. Introducción.....</b>	<b>10</b>
Ubicación de la zona de estudio y alcantarillas.....	10
Análisis de zonas inundables de la GAM y su relación con la red vial.....	11
Factores de generación de inundaciones urbanas que afectan la red vial en la GAM.....	12
Impermeabilización de suelos.....	12
Estrechamiento de cauces.....	13
Mal manejo y gestión de los desechos sólidos.....	15
<b>6. Vulnerabilidad del Sitio.....</b>	<b>17</b>
TPD.....	18
Historial de inundaciones.....	18
Tipo de suelo.....	19
Ángulo de entrada.....	20
Obstrucciones.....	22
Taludes de cauce.....	24
Área de la cuenca.....	27

<b>7. Vulnerabilidad Estructural .....</b>	<b>28</b>
Cabezales.....	28
Talud sobre el cabezal.....	31
<b>8. Resultados .....</b>	<b>33</b>
Análisis de zonas inundables de la GAM según la CNE y su relación con la red vial.....	33
Zonas de inundación por saturación de alcantarillado en la GAM.....	33
Zonas de inundación por rebalse de ríos y quebradas de la GAM .....	35
Formaciones geológicas de la GAM y su relación con los sitios estudiados .....	38
Formación Colima.....	38
Formación Tiribí.....	39
Formación Barva .....	40
Miembro Avalancha Coyol .....	41
Formación Lavina (Lahares cenizas y aluviones del Valle Central).....	42
Condición de Vulnerabilidad .....	46
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>10. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>12. ANEXOS</b>	

## 1. POTESTADES

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, es una dependencia de la Universidad de Costa Rica especializada en la Ingeniería Civil. La ley N°8114 en sus artículos 5 y 6, encomienda al LanammeUCR una serie de funciones en materia de evaluación, fiscalización, asesoría y capacitación, entre otras, para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública en la reconstrucción y conservación de la red vial costarricense.

Considerando la importancia que conlleva el desempeño adecuado de las obras de drenaje en el funcionamiento de la infraestructura vial, los aportes técnicos derivados del presente informe se enmarcan dentro de las funciones que la citada ley le confiere al LanammeUCR.

## 2. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN

El objetivo de la evaluación es determinar el nivel de vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad asociada al sitio en el cual se localizan las alcantarillas de las principales rutas de la Gran Área Metropolitana.

Lo anterior con el objetivo de aportar a la Administración activa del Estado costarricense elementos a considerar en la toma de decisiones, y en la ejecución de trabajos de mantenimiento e intervención en las alcantarillas evaluadas.

## 3. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA EVALUACIÓN

El estudio realizado considera dos de los componentes que inciden de manera directa en el nivel de vulnerabilidad de estas obras hidráulicas: Las condiciones estructurales y las condiciones propias del sitio.

En el análisis de la vulnerabilidad relativa a las condiciones estructurales se consideraron dos componentes esenciales: La estructura del cabezal a la entrada y la salida de la alcantarilla y el talud de relleno localizado sobre el cabezal, hasta la superficie de ruedo de la vía.

Por su parte, las condiciones del sitio consideradas en este estudio son las que se listan a continuación:

- Historial de inundaciones
- Área de la cuenca
- Obstrucciones del cauce
- Suelos del cauce
- Taludes del cauce
- Ángulo de entrada
- Tránsito promedio diario (TPD)

**El estudio realizado no considera la capacidad hidráulica de las alcantarillas para manejar el caudal de su cuenca hidrográfica. La valoración de la condición de vulnerabilidad por este componente será realizada mediante un estudio adicional específico, en conjunto con la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR. Por lo tanto, se recomienda a la Administración, para cada uno de los pasos de agua evaluados, tomar en cuenta los resultados de ambos estudios al momento de definir las estrategias de intervención definitivas.**

El historial de inundaciones empleado está limitado a los informes, mapas y artículos publicados por la Comisión Nacional de Emergencias y el Instituto Meteorológico Nacional.

Las rutas consideradas para la evaluación realizada son aquellas localizadas en la Gran Área Metropolitana y que presentan un TPD mayor o igual a 30 000 vehículos, según los datos suministrados por el MOPT. Esto con el fin de priorizar las rutas de mayor demanda y que podrían afectar de manera significativa la vialidad, ante una eventual interrupción del tránsito vehicular.

Los pasos de agua u obras de drenaje consideradas en este estudio están limitados a las alcantarillas, no se consideran las estructuras de puentes, ya que éstos requieren un análisis especializado de sus elementos estructurales. La condición que presentan los elementos evaluados fue determinada mediante observaciones de campo, fotografías satelitales e imágenes aéreas.

## 4. METODOLOGÍA

### Revisión de documentación

Para determinar la ubicación de las zonas con potencial de presentar problemas por inundaciones urbanas, saturación de alcantarillas, y donde se pueda afectar directamente la red vial, se revisaron diferentes informes y trabajos relacionados con el tema. Aquí se incluyó la revisión de artículos y datos de Instituto Meteorológico Nacional (IMN), reportes y catálogos cantonales de inundaciones de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), informes de prensa, tesis de grado y entrevistas a vecinos, entre otros documentos.

Para la inspección de las alcantarillas en el campo, se consultó el manual de inspección de obras de drenaje y alcantarillas de la Federal Highway Administration de Estados Unidos (FHWA), y a partir de éste documento y con observaciones de ingenieros hidráulicos e hidrólogos de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR, se generó una versión propia, adaptada a las condiciones características de un país como Costa Rica.

### Delimitación de la zona de estudio

La delimitación de la zona de estudio se basó en varios factores y filtros hasta definir cuáles pasos de agua se analizarían en detalle. Inicialmente se determinó que el trabajo estaría enfocado solamente en la Gran Área Metropolitana (GAM), debido a que en esta zona es donde se agrupa cerca de 48% de la población de Costa Rica (INEC 2012) y donde existen rutas estratégicas para el desarrollo normal del país.

Posteriormente, se ubicaron las intersecciones entre rutas nacionales y pasos de agua en la GAM. Aquí inicialmente se identificaron 458 estructuras entre puentes y alcantarillas, se eliminaron los pasos que corresponden con puentes por ser estructuras mayores que requieren otro tipo de inspección y se dejaron solamente las alcantarillas. Seguidamente y en base a un análisis del Tránsito Promedio Diario (TPD - datos de la Dirección de Planificación Sectorial, 2013) y las intersecciones de estas rutas con pasos de agua, se determinó que las intersecciones de rutas con TPD mayor a 30 000 vehículos serían las que se analizarían en detalle, debido a que son las que podrían llegar a generar mayor impacto vial y afectar a un número considerable de usuarios en

caso de colapso del sistema de drenaje. Después de esta depuración de sitios, se redujo finalmente el análisis en detalle a un total de 27 puntos.

Paralelamente, se utilizaron los mapas de amenazas de la CNE para ubicar las zonas de inundación y encharcamiento por saturación del alcantarillado que han afectado la red vial de la GAM en los últimos años. Posteriormente se ubicaron las intersecciones de la red vial con ríos o quebradas que por la salida de sus aguas de los cauces han generado inundaciones urbanas con afectación a la red vial. Para este punto, también se utilizó información del IMN sobre inundaciones en la GAM, donde se incluye un inventario de las zonas que se han inundado entre 1952 – 1999, el origen de la inundación, periodos de recurrencia entre otros aspectos. En este análisis se definieron 153 puntos de inundación, de los cuales algunos son congruentes con los 27 puntos que se eligieron para realizar el análisis en detalle.

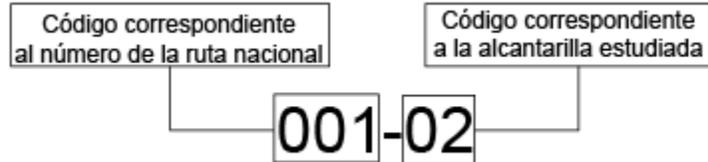
### **Inspección de campo**

Se realizaron varias visitas de campo hasta completar la inspección en detalle de las 27 alcantarillas elegidas y su entorno. El análisis de cada uno de los puntos está enfocado en dos grandes grupos. Condiciones de sitio y condición estructural de las alcantarillas.

Para el análisis de la vulnerabilidad de las condiciones de sitio se tomó en cuenta el estado de siete elementos: 1.) TPD de la ruta, 2.) Historial de inundaciones en el sitio, 3.) Área de la micro-cuenca, 4.) Ángulo de entrada, 5.) Suelos del cauce sobre el que se construyó la alcantarilla, 6.) Obstrucciones presentes en el cauce y entrada de la alcantarilla y 7.) Material de los taludes del cauce, aguas arriba y aguas abajo.

Para el análisis de la condición estructural de las alcantarillas se estudiaron en detalle cuatro elementos: 1.) Talud sobre el cabezal, 2.) Muro del cabezal, 3.) Aletones, y 4.) Delantales.

Cada estructura de drenaje estudiada en detalle, fue identificada según una nomenclatura propia que está formada por dos partes: Los 3 primeros dígitos corresponde con el número de la ruta nacional con la que está directamente relacionada y los siguientes dos dígitos corresponden con un código específico para esa alcantarilla.



Así entonces, el ejemplo anterior corresponde a una alcantarilla ubicada en la Ruta Nacional No. 001 y con código 02.

Más adelante en este informe se detallará como se evaluó la vulnerabilidad de cada uno de estos elementos, tanto para las condiciones de sitio como las estructurales.

### **Procesamiento y análisis de información**

Se crearon fichas de evaluación para cada una de las alcantarillas analizadas, donde se presenta la información más importante que fue recopilada en el campo (ver Anexos).

Con esta información se establecieron las diferentes condiciones que presentan los elementos evaluados y la vulnerabilidad asociada a esas condiciones. De esta forma se logró establecer una nota para la vulnerabilidad del sitio, la vulnerabilidad estructural y una nota final ponderada de ambos criterios.

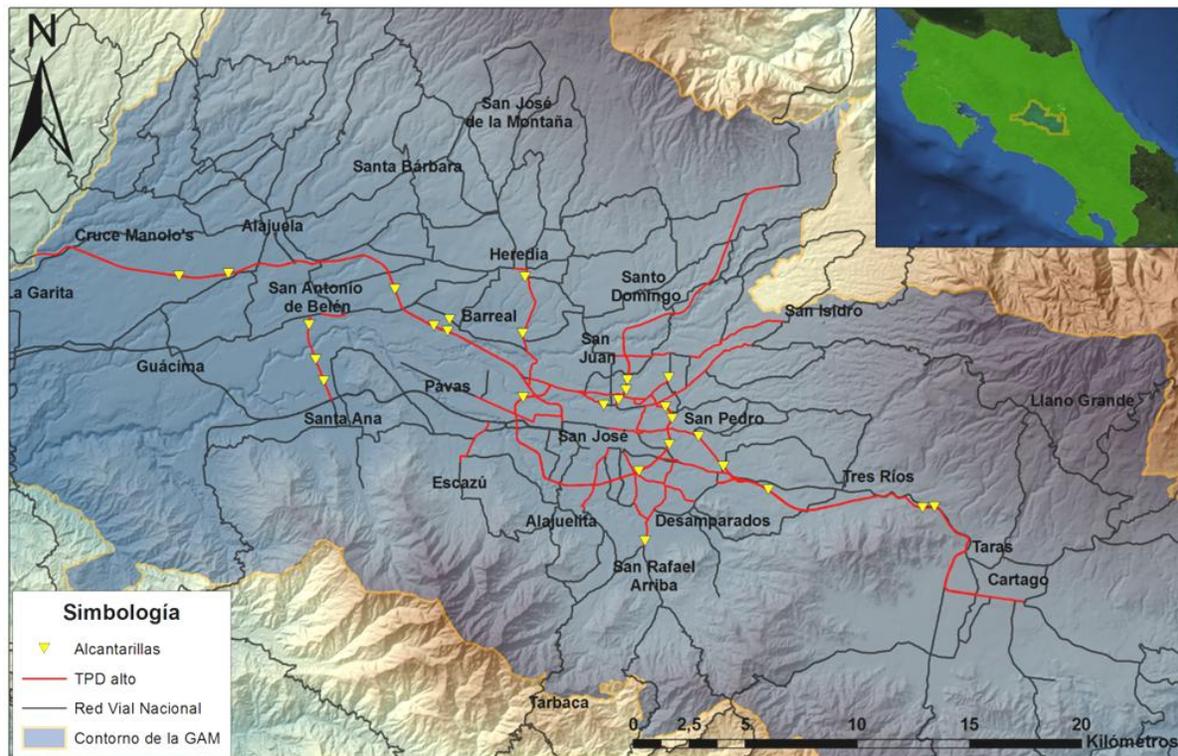
### **Recomendaciones y estrategias de intervención**

Se realizan recomendaciones generales de estrategias de intervención, para cada una de las alcantarillas analizadas con base en la vulnerabilidad obtenida en este informe. Las estrategias de intervención varían según el plazo recomendado para su intervención (corto, medio o largo plazo).

## 5. INTRODUCCIÓN

### Ubicación de la zona de estudio y alcantarillas

La zona de estudio se definió para el área de la GAM donde existen intersecciones entre rutas nacionales con TPD mayor a 30 000 vehículos y alcantarillas de ríos o quebradas. Después de utilizar los diferentes filtros mencionados en la sección de metodología, se definieron los 27 puntos que se analizaron en detalle. Estos, van desde Coyoil de Alajuela al Oeste, hasta el cerro Ochomogo en Cartago en el sector Este de la GAM. Y desde Desamparados en la parte Sur, hasta la entrada a la ciudad de Heredia en el sector Norte de la GAM, según se muestra en la figura N°1.



**Figura N°1.** Ubicación de la zona de estudio y los puntos con alcantarillas evaluadas en detalle.

## **Análisis de zonas inundables de la GAM y su relación con la red vial.**

La Gran Área Metropolitana, (GAM) incluye las ciudades de, San José, Alajuela, Heredia y Cartago. Esta zona concentra aproximadamente al 48 % del total de población (INEC 2012). Además, en este sector es donde se desarrollan las principales actividades económicas y oficiales de Costa Rica. Todo esto genera altos niveles de tránsito en ciertas vías de comunicación de la GAM, de gran importancia estratégica para el país.

En la GAM, la infraestructura básica para la distribución de agua potable, saneamiento, aguas pluviales y drenajes urbanos tuvo un gran impulso y desarrollo a mediados del siglo pasado, cuando la población era muchísimo menor y el uso del suelo era muy diferente al actual (grandes zonas de uso agrícola y potreros). Con el desarrollo y expansión de las principales ciudades, especialmente después de la década de 1980, las obras hidráulicas básicas fueron quedando rezagadas y se empezaron a presentar problemas de capacidad, especialmente en los drenajes de aguas pluviales.

La infraestructura vial por su parte, tuvo un desarrollo importante en la GAM en las décadas de los 70's y 80's con la construcción caminos, puentes, y rutas como: La General Cañas (Ruta Nacional N°1), Bernardo Soto y Circunvalación (Ruta Nacional N°39) tratando de seguir el ritmo creciente de la flota vehicular.

En las últimas décadas, varias zonas de la GAM han experimentado eventos de inundaciones urbanas durante lluvias torrenciales que han afectado la red vial. La afectación en algunos casos ha sido de tipo parcial y breve (cuando se detiene el tránsito momentáneamente por encharcamiento) o de tipo total y extensa (cuando se destruye parte de la red vial y hay que hacer reparaciones complejas que pueden tardar meses).

Estas inundaciones son causadas por la saturación del sistema de alcantarillado o por el rebalse de las aguas de quebradas y ríos que atraviesan estas zonas. Más recientemente, 2012 y 2013, eventos de este tipo han afectado severamente rutas nacionales y específicamente en puntos que son estratégicos para la movilización de la población de la GAM, (alcantarilla de la zona de los Arcos en la Ruta Nacional N°1 y alcantarilla del Río María Aguilar, en la Ruta Nacional N°39, respectivamente).

---

## Factores de generación de inundaciones urbanas que afectan la red vial en la GAM

Existen causas naturales a las que se les puede atribuir la generación de inundaciones urbanas y que tienen afectación directa en la red vial, por ejemplo: Periodos prolongados de lluvias, disposición de la cuenca, morfología del terreno, condición hidrológica y lluvias intensas (Solano et al. 2002).

Sin embargo, aquí se identifican y analizan de forma general, los tres factores antrópicos más importantes que están asociados con las causas de estos eventos en GAM en las últimas décadas: 1. Impermeabilización de suelos, 2. Estrechamiento de cauces y 3. Mal manejo y gestión de desechos sólidos. A continuación se hace una breve descripción de estos factores y se menciona cómo estos influyen en la generación de inundaciones que afectan la red vial.

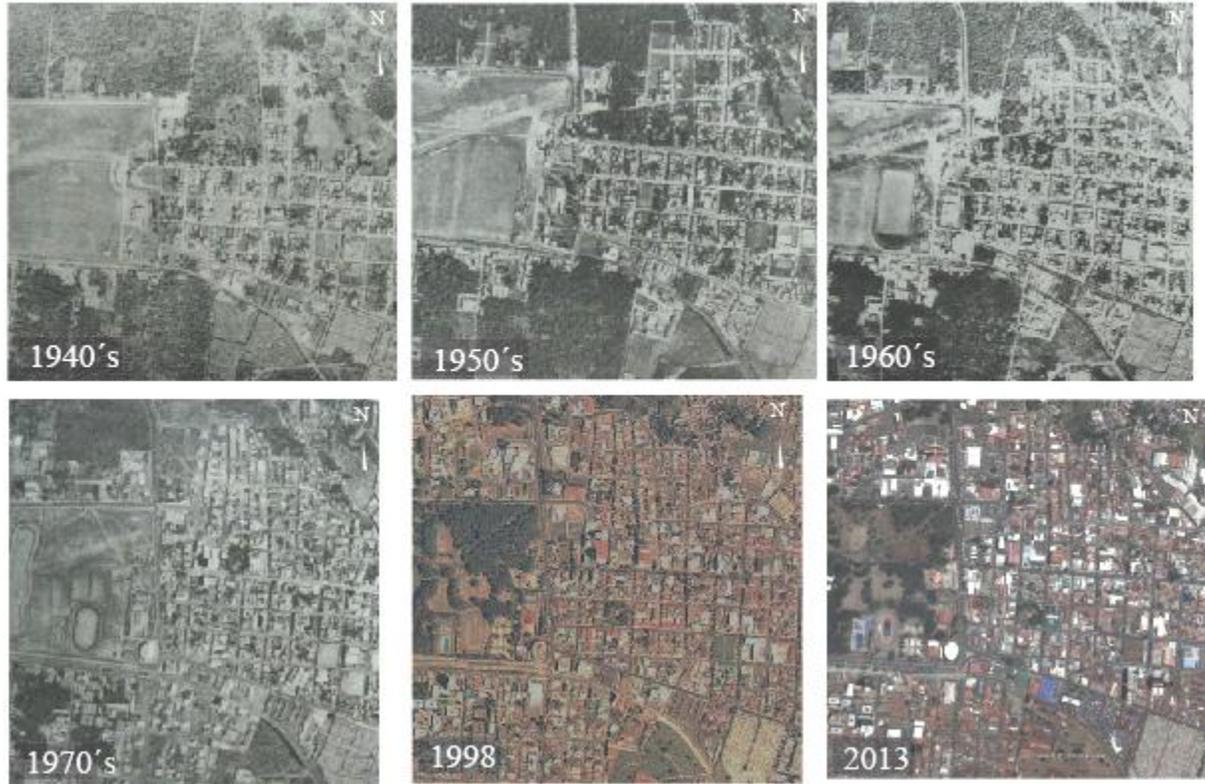
### Impermeabilización de suelos

La urbanización extensiva con la construcción de casas, edificios, centros comerciales, parques, carreteras, y parques industriales en los últimos 50 años, ha generado un cambio de uso de suelo considerable, que implica mayor impermeabilización de los suelos y consecuentemente mayor escorrentía. Esto ha generado que durante lluvias torrenciales de poca duración, la concentración de caudales superiores a los calculados para las antiguas obras de drenaje, no den abasto y se generen inundaciones en zonas residenciales y afecten la red vial.

Conjuntamente a esta situación, el caudal de los ríos y quebradas también se ve directamente afectado por la mayor cantidad de agua que llega a los cauces por escorrentía en periodos de lluvias torrenciales, generando que en sitios donde hay puentes o alcantarillas con una capacidad hidráulica menor se generen crecidas que y afecten parte de la red vial de la GAM.

En países como Chile, Colombia, Brasil, Alemania entre otros, se han implementado medidas correctivas para mejorar la capacidad y áreas de infiltración de agua en las principales ciudades que tienen este problema. En la mayoría de los casos estas soluciones implican una inversión muy grande con presupuestos importantes y políticas de desarrollo para obtener resultados en un periodo de mediano a largo plazo.

El avance de la impermeabilización del suelo puede ser evidenciado mediante la comparación de imágenes de forma cronológica, un ejemplo de estos cambios se presenta en la figura N°2.



**Figura N°2.** Secuencia de fotografías aéreas del sector de La Sabana (Fuentes, IGN y Google Earth). En las 3 imágenes más antiguas (1940-1960) se aprecian importantes extensiones de fincas dedicadas a zonas de cultivo y bosques tanto al sur como al norte de La Sabana. A partir de los 70's se empiezan a extender las construcciones de edificios y carreteras hasta que ya en 1998 y 2013, solo queda La Sabana como sitio sin impermeabilización por construcciones. En el resto de la GAM se ha presentado el mismo fenómeno.

### Estrechamiento de cauces

Este factor está presente en varias quebradas y ríos de la GAM (varios casos fueron evaluados en este trabajo). Se da por invasión y colonización de construcciones dentro de zonas restringidas a orillas de los cauces. Las construcciones pueden ser desde tapias, muros de contención, hasta casas de habitación. Cuando los cauces estrechados llegan a un sitio de intersección con una ruta

vehicular y hay alcantarillas o puentes con una capacidad hidráulica reducida, se generan inundaciones por la salida de las aguas del cauce. En muchos casos, las construcciones que canalizan el cauce son afectadas por las aguas y posteriormente el material removido se convierte en nuevas obstrucciones en los cauces, lo cual contribuye a generar más problemas (Figuras N°3 y N°4).

Pese a que existe una gran vulnerabilidad por inundación para estas construcciones, en la mayoría de los casos, las autoridades correspondientes no han logrado solucionar este problema, ya que implicaría una reubicación de estas estructuras y trabajos posteriores en los cauces para regresar el espacio adecuado a los ríos y quebradas. Este tipo de trabajos también implicaría presupuestos importantes y políticas de desarrollo integral para obtener resultados en un periodo de mediano a largo plazo.

En las siguientes figuras se observa esta condición de estrechamiento en dos de las alcantarillas evaluadas.



**Figura N°3.** Alcantarilla en la Ruta Nacional 109, se observa la Quebrada Barreal completamente estrechada por construcciones a ambos lados, tanto aguas arriba y aguas abajo de la alcantarilla. Este punto es un lugar donde se presentan inundaciones urbanas recurrentes según datos de la CNE y entrevistas con vecinos. (Fuente de la fotografía aérea SNIT-Costa Rica).



**Figura N°4.** Cauce del Río Torres, cerca de Barrio Amón, se observa una tapia colapsada que fue construida para canalizar las aguas y ahora es un obstáculo que podría generar problemas.

### **Mal manejo y gestión de los desechos sólidos**

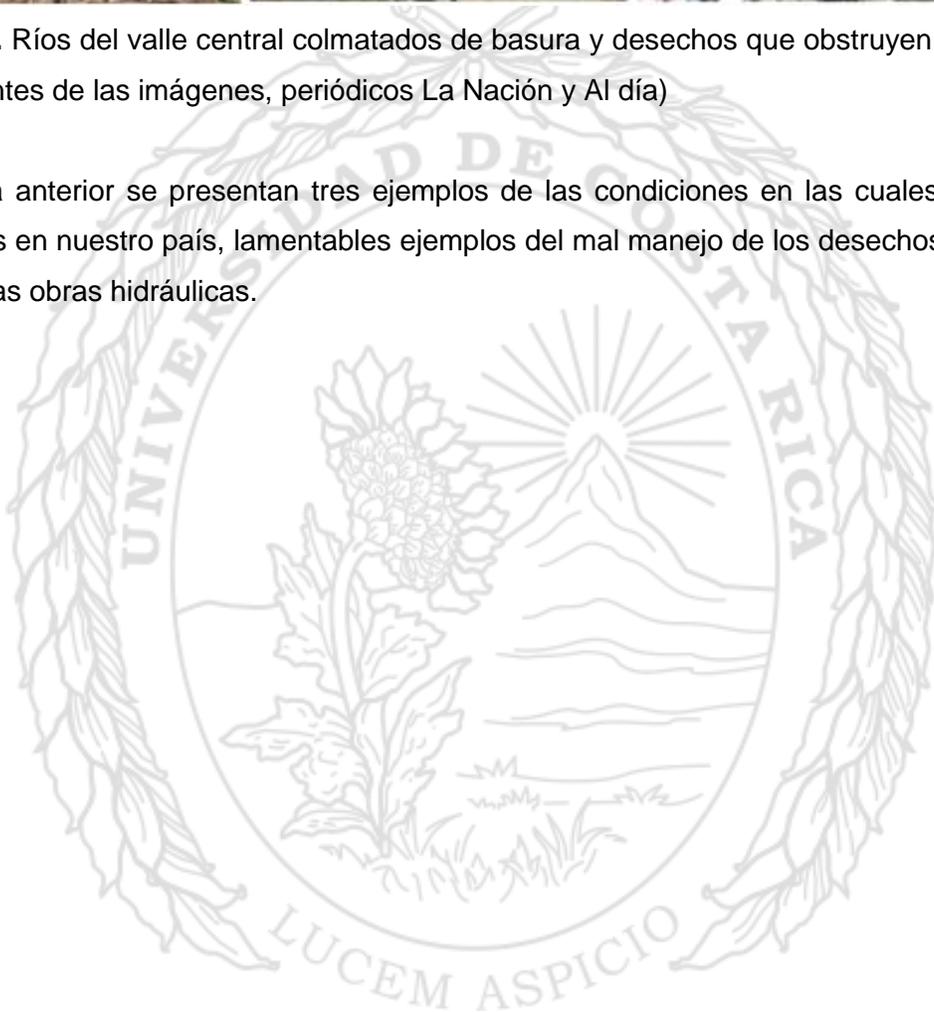
En muchos sitios de la GAM es frecuente que basura, escombros y otros materiales sean arrojados a las quebradas y ríos, generando obstrucciones en estos sistemas de drenaje. Una deficiente recolección de basura en las vías públicas, así como malas prácticas de ciudadanos con respecto al manejo de los desechos sólidos en las calles, también genera que las alcantarillas colapsen al ser obstruidas por basura.

La acumulación de desechos y mantenimiento casi nulo en las entradas de las principales alcantarillas, hacen que este factor sea uno de los más problemáticos y recurrentes en la generación de inundaciones urbanas que afectan la red vial. Sin embargo, es el único de los factores que no requiere de un presupuesto e inversión importante para corregirse. Con mejores programas de educación a la población y una mejor gestión de manejo de desechos sólidos, este factor se podría disminuir en corto o mediano plazo.



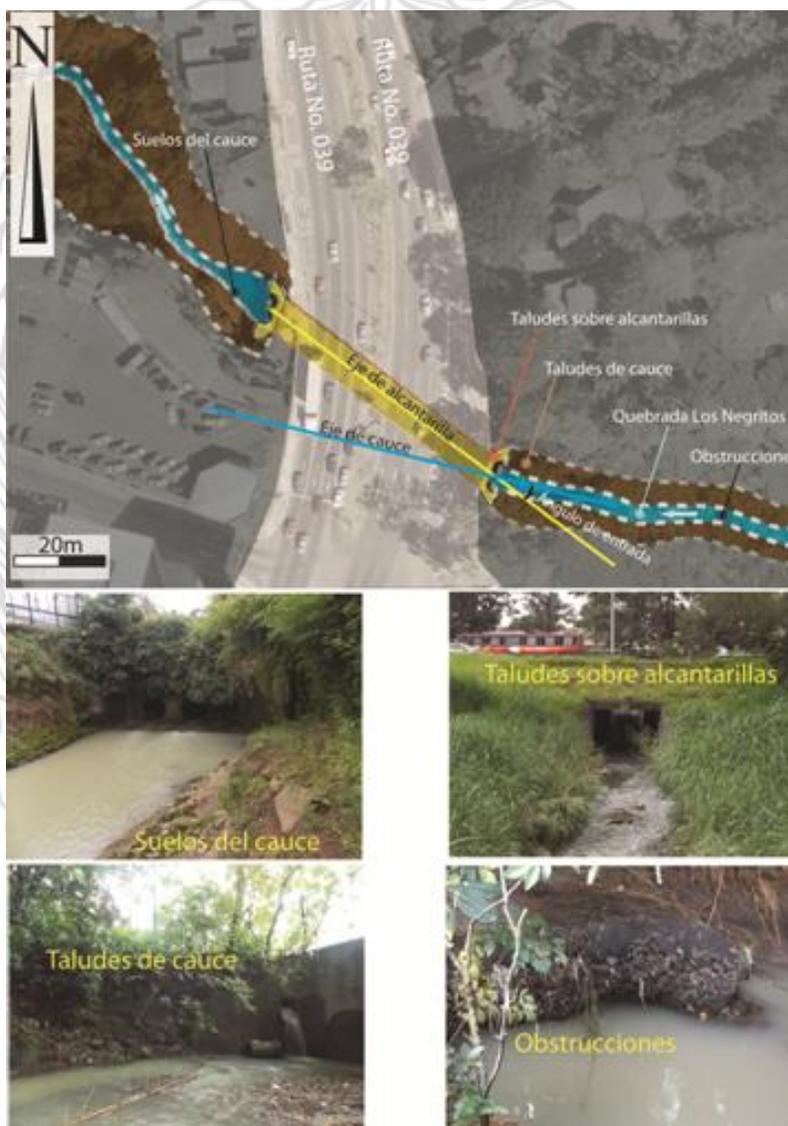
**Figura N°5.** Ríos del valle central colmatados de basura y desechos que obstruyen el libre paso de agua. (Fuentes de las imágenes, periódicos La Nación y Al día)

En la figura anterior se presentan tres ejemplos de las condiciones en las cuales se encuentran muchos ríos en nuestro país, lamentables ejemplos del mal manejo de los desechos con afectación directa en las obras hidráulicas.



## 6. VULNERABILIDAD DEL SITIO

Para el análisis de la vulnerabilidad de las condiciones de sitio y el entorno de las alcantarillas, se tomó en cuenta el estado de siete elementos: 1.) TPD de la ruta, 2.) Historial de inundaciones en el sitio, 3.) Área de la micro-cuenca, 4.) Ángulo de entrada, 5.) Suelos del cauce sobre el que se construyó la alcantarilla, 6.) Obstrucciones presentes en el cauce y entrada de la alcantarilla y 7.) Material de los taludes del cauce, aguas arriba y aguas abajo. En la figura N°6 se identifican la mayoría de los elementos que serán descritos en detalle.



**Figura N°6.** Esquema de los algunos de los elementos estudiados para determinar la vulnerabilidad de las alcantarillas.

## 1. TPD

Como se menciona anteriormente en los alcances de este informe, solamente se analizaron en detalle las alcantarillas relacionadas con rutas que presenten un TPD mayor a 30 000 vehículos. A partir de aquí y con base en información del tránsito promedio diario del MOPT, se clasificaron las rutas que pasan sobre las alcantarillas y se les asignó un valor de vulnerabilidad según la afectación que podría generar su colapso.

El colapso o inundación de las alcantarillas que están relacionadas con las rutas de mayor TPD generarían mayor afectación en el tránsito vehicular que las de menor TPD, por esta razón se les asignó mayor vulnerabilidad a las rutas de mayor TPD y menor vulnerabilidad a las rutas de menor TPD.

Para los fines del estudio las rutas con un tránsito promedio diario menor a 50 000 vehículos por día tienen una vulnerabilidad baja, entre 50 001 y 70 000 presentan una vulnerabilidad media y las rutas con un tránsito promedio diario mayor a 70 000 vehículos tienen vulnerabilidad alta debida a este componente.

## 2. Historial de inundaciones

Este punto se refiere al historial de inundaciones generadas por el rebalse de las agua del río o quebrada sobre la alcantarilla estudiada y que además haya generado afectación en el tránsito normal de vehículos sobre la ruta. La información se tomó de cuatro fuentes específicas a.) Los mapas de amenazas de la CNE, b.) Datos de inundaciones del IMN, c.) Informes de prensa y d.) Entrevistas a vecinos en el sitio.

A partir de los datos recopilados, se determinó la vulnerabilidad de las alcantarillas de ser afectadas por un evento hidrológico extremo. Se definieron tres condiciones para el análisis y clasificación de este elemento: 1.) No registrado, 2.) Evento aislado y 3.) Eventos recurrentes.

En los sitios donde no se han registrado eventos con base en las fuentes de información consultadas, se asignó una vulnerabilidad baja. En las alcantarillas donde según las fuentes de información, al menos se ha dado un evento que haya afectado la operación normal del tránsito vehicular se asignó una vulnerabilidad moderada para este elemento. Mientras que para los sitios

donde las inundaciones han sido recurrentes durante varios años y ha existido afectación de la red vial, se asignó una vulnerabilidad alta para este elemento.

### 3. Tipo de suelo

Se refiere al tipo de material geológico sobre el cual se fundó la estructura de la alcantarilla. Mientras más masivo y resistente sea este material a la erosión y socavación, mejores serán las condiciones para la estructura hidráulica y menor será su vulnerabilidad. Con base en lo observado en las visitas de campo a cada sitio y estudios geológicos-geotécnicos previos de la GAM, se determinó la vulnerabilidad del material geológico sobre el que se construyó cada alcantarilla.

Cuando el material sobre el que está cimentada la alcantarilla corresponde con roca dura a moderadamente dura, de tipo masiva, regular, sin disconformidades y poco alterada se favorece la resistencia de la alcantarilla contra la erosión del agua, además facilita la construcción de una estructura de mayor tamaño en caso que así se requiera. Este tipo de formaciones geológicas, también resultan favorables durante la ocurrencia de un evento sísmico ya que no favorecen la amplificación de las ondas sísmicas ni la generación de efectos de sitio. En la GAM este tipo de material podría corresponder con lavas o ignimbritas de las formaciones Colima y Tiribí respectivamente.

Según la clasificación de macizos rocosos RMR (Bieniawski, 1989) realizada por (Mora, 2004) para las formaciones geológicas Colima y Tiribí en el Cantón Central de San José, este tipo de rocas presenta una susceptibilidad litológica baja al deslizamiento.

Tomando en cuenta los aspectos geológicos-geotécnicos antes mencionados, a los sitios estudiados que corresponden con las formaciones Colima o Tiribí se les asignó una vulnerabilidad baja.

Cuando el suelo sobre el que se cimentan las alcantarillas corresponde con lahares con algún grado de cementación, la resistencia contra la erosión es mucho menor que la de las lavas, pero mayor que la de materiales de relleno y cenizas.

Según la clasificación y valoración de suelos realizada por (Mora, 2004) la formación geológica Lavina (lahares) en el Cantón Central de San José, presenta una susceptibilidad litológica media al

deslizamiento. Con ángulos de fricción efectiva entre  $20^{\circ}$ - $25^{\circ}$ , y cohesión efectiva entre 15-20 kPa. A los sitios estudiados que presentan estas características de suelo se les asignó una vulnerabilidad media y son una gran mayoría en la GAM.

Los suelos que corresponden con aluviones, coluvios, cenizas, arcillas, y material de relleno presentan una susceptibilidad litológica alta al deslizamiento, debido a que son poco o nada cementados, presentan ángulos de fricción efectiva entre  $0$ - $15^{\circ}$  y cohesión efectiva entre 0-10 kPa. Estas características generan que tengan una resistencia baja a la erosión y socavación, además durante un evento sísmico podrían darse afectos de sitio por amplificación de ondas sísmicas. Por todas estas razones se asignó una vulnerabilidad alta para las alcantarillas en sitios donde existan suelos con estas características.

#### 4. Ángulo de entrada

Se analizó la condición del ángulo de entrada que hay entre el eje del cauce y el eje de la alcantarilla. Mediante la utilización de fotografías aéreas (del SNIT-Costa Rica y Google Earth) de cada una de las alcantarillas, se realizaron las proyecciones de los ejes y la medición del ángulo.

La condición óptima para este elemento y el flujo de agua, es que el ángulo entre estos ejes, sea lo menor posible, de esta forma no se estaría forzando la entrada del agua en la alcantarilla, evitando así erosión en taludes, deterioro de cabezales y turbulencia que pueda dañar la estructura. En el presente estudio se utilizó una clasificación de tres categorías según el ángulo medido entre los ejes mencionados.

Ángulos  $< 30^{\circ}$  en el alineamiento entre el eje del cauce y el eje de la alcantarilla, se consideraron favorables para el flujo de agua, además no propicia turbulencia ni erosión en los taludes del cauce o la alcantarilla. Esta condición favorable implica una vulnerabilidad baja para la estructura de drenaje, tal como se observa en la figura N°7.



**Figura N°7.** Ejemplo de alcantarilla (001-04) con ángulo de entrada con vulnerabilidad baja.

Ángulos entre  $31^\circ$ -  $60^\circ$  en el alineamiento entre el eje del cauce y el eje de la alcantarilla, se consideran desfavorables para el flujo de agua, además podrían generar problemas de erosión y turbulencia en los taludes del cauce y la alcantarilla. Se considera que estas condiciones generan una vulnerabilidad moderada. La siguiente figura ilustra esta condición.



**Figura N°8.** Ejemplo de alcantarilla (109-01) con ángulo de entrada con vulnerabilidad moderada.

Ángulos  $> 60^\circ$  en el alineamiento entre el eje del cauce y el eje de la alcantarilla se consideran que están forzado el flujo de agua. La entrada del agua en la alcantarilla genera turbulencia y erosión en los taludes y la estructura de la alcantarilla, implican una vulnerabilidad alta.



**Figura N°9.** Ejemplo de alcantarilla (002-08) con ángulo de entrada con vulnerabilidad alta.

## 5. Obstrucciones

Para el análisis de obstrucciones que podrían afectar las alcantarillas, se consideraron aquellos elementos dentro de los cauces aguas arriba y en la entrada de las alcantarillas que podrían impedir el libre flujo de agua. La condición de obstrucción puede ser libre, parcial o bloqueada. La evaluación de este elemento para cada una de las alcantarillas se realizó durante la visita de campo a cada sitio además del análisis posterior con las fotografías tomadas durante la revisión.

La condición se considera libre, cuando el cauce en la entrada de la alcantarilla no presenta sedimentación, vegetación, basura o detritos. Una alcantarilla con estas condiciones presentaría una vulnerabilidad baja en el análisis de este elemento, en la figura N°10 se muestra un ejemplo de esta condición.



**Figura N°10.** Ejemplo de alcantarilla (039-03) sin obstrucciones en la entrada lo que implica una vulnerabilidad baja para este elemento

La condición es parcial, cuando en la entrada el cauce presenta sedimentación, vegetación, desechos sólidos o detritos que obstaculizan el paso libre del agua en menos de 1/3 del ancho del cauce. Una alcantarilla con estas condiciones presentaría una vulnerabilidad moderada en el análisis de este elemento (ver figura N°11).



**Figura N°11.** Ejemplo de alcantarilla (039-02) con algunas obstrucciones (zacate, basura, sedimentos) en la entrada lo que implica una vulnerabilidad baja media.

Se considera la condición bloqueada, cuando los desechos sólidos, sedimentos y detritos obstaculizan el paso libre del agua en más de 1/3 del ancho del cauce. Una alcantarilla con estas condiciones presentaría una vulnerabilidad alta en el análisis de este elemento, ver el siguiente ejemplo.



**Figura N°12.** Ejemplo de alcantarilla (002-03) con obstrucciones (desechos sólidos, vegetación, sedimentos y detritos en más de 1/3 del ancho del cauce) en la entrada, lo que implica una vulnerabilidad alta para este elemento.

## 6. Taludes de cauce

Este elemento se refiere al tipo de material geológico que aflora en los taludes del cauce aguas arriba y aguas abajo de la alcantarilla. Igual que para los materiales que afloran en el piso del cauce, mientras más masivo y resistente sea este material a la erosión, mejores serán las condiciones para la estructura hidráulica y menor será su vulnerabilidad. Según lo observado en las visitas de campo, así como estudios geológicos-geotécnicos previos de la GAM, se determinó el tipo de material geológico presente en los taludes del cauce.

Cuando el material que aflora en los taludes del cauce corresponde con lavas o ignimbritas masivas y poco alteradas, hay alta resistencia a erosión y socavación, además que la

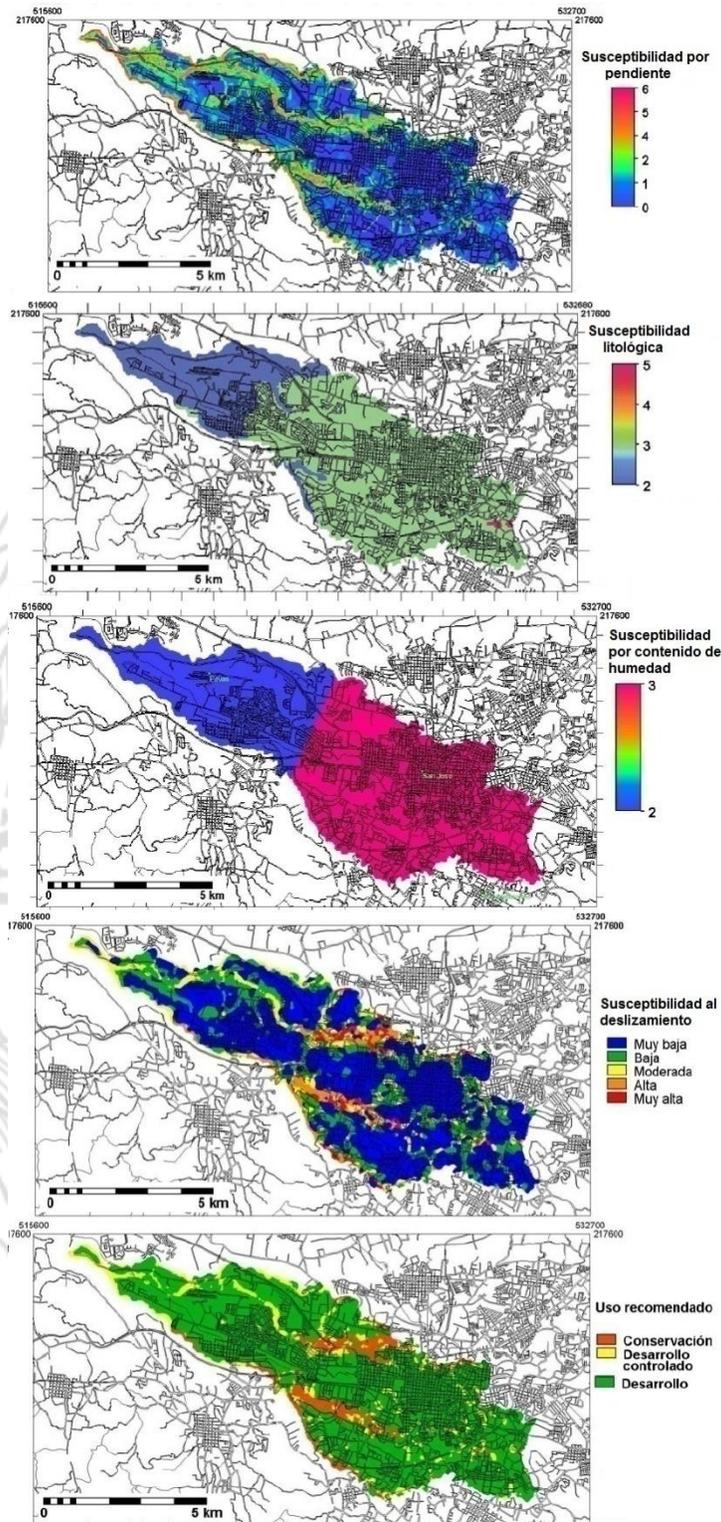
susceptibilidad litológica a deslizarse es menor que materiales más sueltos, de menor resistencia y cohesión. Los sitios que presentan estas características presentan una vulnerabilidad baja para este elemento. Ninguno de los taludes de los sitios visitados presentó esta clasificación.

Si en los taludes del cauce de la alcantarilla se presentan lahares con algún grado de cementación, la resistencia contra la erosión es mucho menor que la de las lavas, pero mejor que materiales de relleno y cenizas. Los sitios estudiados que presentan estas características de suelo tienen una vulnerabilidad media y son una gran mayoría en la GAM.

Los taludes del cauce de las alcantarillas que corresponden con rellenos, cenizas, arcillas y limos poco o nada cementados, presentan una resistencia baja a la erosión y socavación. También, presentan una susceptibilidad litológica mayor para generar deslizamientos que podrían llegar a obstruir el cauce, todo esto implica una vulnerabilidad alta para las alcantarillas.

En el estudio (Mora, 2004), de susceptibilidad al deslizamiento para el cantón central de San José, se concluyó que las laderas de pendiente alta de los principales ríos que atraviesan San José y que estén formadas por rellenos, aluviones y lahares, son las zonas que presentan la mayor susceptibilidad a generar deslizamientos disparados por exceso de lluvia o sismos (ver figura N°12). Este análisis incluyó diferentes parámetros de las formaciones geológicas que existen en San José y otras características que se pueden extender al resto del área de interés del presente estudio.

Los taludes de los ríos ubicados dentro de las zonas de alta susceptibilidad al deslizamiento, determinadas en Mora, 2004, son congruentes con los sitios que fueron identificados en este estudio con mayor vulnerabilidad, en el elemento de taludes de cauce relacionados con las alcantarillas. Eventos de remoción de masa dentro de los cauces podrían originar obstrucciones importantes, represamiento y cabezas de agua que pueden comprometer el flujo de agua por las estructuras de drenaje. Ya se han presentado casos de deslizamientos importantes en las laderas de ríos dentro de la GAM, por ejemplo el deslizamiento, en las laderas del cauce del Río Cañas que afectó parte de la Cárcel de Mujeres El Buen Pastor, Junio 2011, (Fuente, diario Al Día Junio 13, 2010).



**Figura N°12.** Mapas del estudio de susceptibilidad al deslizamiento para el cantón central de San José (Mora, 2004).

## 7. Área de la cuenca

Mediante sistemas de información geográfica (SIG), imágenes satelitales y fotografías aéreas se definieron las micro-cuencas urbanas asociadas a cada una de las alcantarillas estudiadas, según se muestra en la figura N°13. Posteriormente se determinó el área de cada una de ellas y según su tamaño se determinó el grado de vulnerabilidad que representan para la alcantarilla. El tamaño de las cuencas esta directamente asociado con la cantidad de agua que pueden recolectar por escorrentía y que drena hacia el cauce de la alcantarilla analizada. Esto implica para las alcantarillas que al aumentar el área aumenta la vulnerabilidad y viceversa.

Se determinó que una cuenca con un área  $< 1 \text{ km}^2$  representa una vulnerabilidad baja para la alcantarilla, mientras que una cuenca con un área de entre  $1,1$  y  $10 \text{ km}^2$  implica una vulnerabilidad media. Finalmente las cuencas con área  $> 10 \text{ km}^2$  se asociaron a una vulnerabilidad alta.

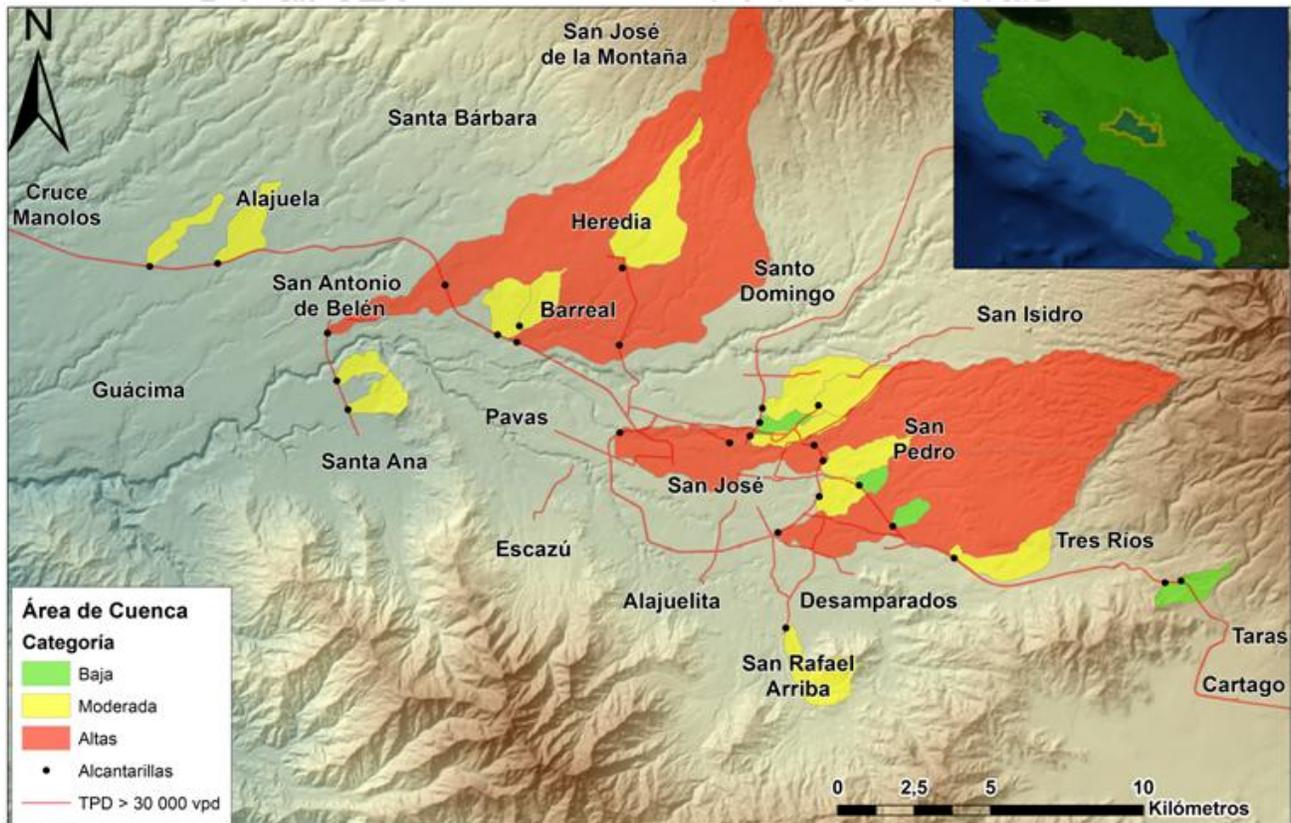


Figura N°13. Micro-cuencas asociadas a cada una de las alcantarillas estudiadas en este trabajo.

## 7. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Los elementos estructurales localizados en la entrada y la salida de una alcantarilla, están relacionados directamente con la forma en la cual el agua es captada, transportada hacia el interior de la tubería y descargada nuevamente hacia el cuerpo de agua, sea un río o una quebrada.

### Cabezales

Los cabezales permiten captar y canalizar el flujo de agua mediante elementos estructurales, típicamente rígidos, los cuales deben ser diseñados y construidos para soportar el empuje y el arrastre generados por el movimiento del agua. El cabezal de entrada debe garantizar la conducción del agua hacia la tubería del alcantarillado, evitando que se produzca socavación en el relleno que confina la tubería.

El cabezal de salida permite la descarga del agua desde el interior de la tubería hacia el cuerpo de agua, debe cumplir la misma función de protección del relleno, además, debe contar con los elementos estructurales necesarios para prevenir el deterioro del suelo y los taludes del cauce aguas abajo.

En el estudio realizado se consideraron tres componentes estructurales para los cabezales de entrada y de salida: 1.) Muro del cabezal, 2.) Aletones y 3.) Delantal. Según se puede apreciar en la figura N°14.



**Figura N°14.** Componentes estructurales de las alcantarillas considerados para determinar su vulnerabilidad.

La condición de cada uno de estos componentes fue evaluada mediante una inspección de campo, con el fin de determinar su estado actual y cómo cada componente está capacitado para desempeñar su función específica.

De esta forma se consideró la presencia o no de grietas en los elementos de concreto, la longitud y el ancho de esas grietas, la correcta unión del muro del cabezal con la tubería, el porcentaje de deterioro superficial y la exposición de la cimentación de estos elementos por efectos de la socavación.

La descripción completa de los criterios utilizados en la evaluación de estos elementos se presenta en los Anexos de este informe.

En las figuras N°15, 16 y 17, se muestran algunos ejemplos de las condiciones estructurales encontradas en las alcantarillas evaluadas, así como la vulnerabilidad asociada a esas condiciones.



**Figura N°15.** Alcantarilla 039-02, presenta el muro del cabezal en condición regular, debido a la presencia de fisuras en el concreto del cabezal y en la unión entre la tubería y el cabezal, lo que implica una vulnerabilidad moderada.



**Figura N°16.** Alcantarilla 002-01 se observa que los aletones del cabezal no existen lo que implica un vulnerabilidad muy Alta.



**Figura N°17.** Alcantarilla 147-03, se observan los delantales del cabezal en condición aceptable, esto implica una vulnerabilidad baja para este componente.

## Talud sobre el cabezal

El relleno que se localiza sobre la tubería y muro del cabezal de la alcantarilla (ver figura N°14) también fue objeto de evaluación como parte en el estudio realizado. Este relleno tiene dos taludes o caras expuestas (aguas arriba y aguas abajo) y es el encargado de dar soporte a la estructura del pavimento.

La condición que presenten estos taludes determina la capacidad de resistir tanto las cargas impuestas por el tránsito vehicular, como eventuales crecidas del río, debido a que si se supera la capacidad hidráulica de la alcantarilla el nivel del agua puede alcanzar estos taludes e incluso sobre pasar estructura de pavimento.

En la inspección realizada se evaluó la condición superficial de los taludes y la condición estructural que es posible apreciar visualmente. Se consideró la altura y la pendiente del talud, la existencia o no de recubrimiento con materiales rígidos como el concreto y la condición de deterioro que éste presenta. En el caso de taludes con vegetación se evaluó la implementación de sistemas para el control de la erosión, el porcentaje del área cubierta por la vegetación, evidencia de deslizamientos o grietas y la erosión superficial.

La descripción completa de los criterios utilizados en la evaluación de este componente se presenta en los Anexos de este informe.

Los siguientes son algunos ejemplos de las condiciones encontradas en los taludes sobre el cabezal de las alcantarillas evaluadas, así como la vulnerabilidad asociada a esas condiciones (Figuras N°18 y 19).



**Figura N°18.** Alcantarilla 039-04, se observa que el talud sobre el cabezal esta en condición deficiente, lo que implica una vulnerabilidad muy alta.



**Figura N°19.** Alcantarilla 039-01, se observa el talud sobre el cabezal en condición regular, lo que implica una vulnerabilidad alta.

## 8. RESULTADOS

Inicialmente, se presentan los resultados del estudio realizado sobre las principales zonas inundables de la GAM y su afectación a la red vial, según los mapas de amenazas de la CNE y el IMN. Posteriormente se presenta una descripción de las principales formaciones geológicas presentes en la GAM y su interacción directa con las estructuras de drenaje estudiadas. Finalmente se presentan los resultados del análisis de vulnerabilidad del sitio y vulnerabilidad estructural de las 27 alcantarillas seleccionadas para este estudio.

### **Análisis de zonas inundables de la GAM según la CNE y su relación con la red vial**

A partir de datos de la CNE y el IMN, se ubicaron un total de 153 puntos donde han ocurrido inundaciones urbanas, o existen ríos y quebradas con un alto potencial de inundación con afectación a la red vial de la GAM.

Se diferenciaron dos tipos de sitios de inundación urbana según las causas:

1. Zonas de inundación urbana por saturación de alcantarillado en las calles (21 puntos).
2. Zonas de inundación por rebalse de las aguas de los cauces de ríos y quebradas con alto potencial de inundación en las intersecciones que corresponden con puentes y alcantarillas mayores (130 puntos).

#### **1. Zonas de inundación por saturación de alcantarillado en la GAM**

Existen zonas en la GAM en las que cuando hay lluvias torrenciales, la capacidad del alcantarillado público no da abasto y se generan inundaciones urbanas, afectando la red vial y el tránsito normal de vehículos (ver fotografía N°1). Estos eventos, son recurrentes en zonas ya identificadas y usualmente ocurren con las primeras precipitaciones de la estación lluviosa. En varios casos, se ha determinado que estas inundaciones ocurren debido a la colmatación con basura de los sistemas de drenaje, evidenciando el poco mantenimiento que reciben las alcantarillas y el mal manejo de desechos sólidos.

Según los datos de la CNE, existen 21 puntos relacionados con zonas de inundación por saturación de alcantarillas. Estos puntos, están ubicados en las calles de los cantones de San José (Central), Montes de Oca y Escazú (Figura N° 20).

Es muy probable que exista una cantidad mayor de sitios que presentan este tipo de inundación y encharcamientos en la GAM que no están incluidos en el inventario de la CNE. En este informe hacemos referencia a los puntos que ya han sido identificados y referenciados por la CNE y el IMN.



**Fotografía N°1.** Sector de Los Yoses, donde es recurrente cada año inundaciones urbanas que afectan la vía pública y el tránsito de vehículos. En este sitio, ocurre un colapso del sistema de alcantarillado por poca capacidad y obstrucciones de basura cuando hay lluvias torrenciales. (Fuente, Diario Digital CRHOY 2013)

## 2. Zonas de inundación por rebalse de ríos y quebradas de la GAM

Los ríos y quebradas que atraviesan la GAM, forman parte la cuenca hidrográfica del río Grande de Tárcoles. El principal sistema de drenaje recolector es el río Virilla, el cual toma las aguas de ríos como el Torres, Tiribí, María Aguilar y sus respectivos afluentes, que forman las micro-cuencas de los ríos Agres, Cañas, Jorco, Damas, Purrál y Puruses. El río Ocloro, también tiene importancia, así como las quebradas Los Negritos, Cangrejos y Rodríguez entre otras. En total las micro-cuencas de la GAM recogen las aguas de un aproximado de 65 quebradas y ríos menores (Solano et al., 2002).

La mayoría de estos ríos y quebradas de la GAM son angostas, nacen aproximadamente entre los 1 200 a 1 800 m s.n.m., desde sus nacientes están bordeados por terrenos no urbanizados y con mucha vegetación. Las condiciones cambian radicalmente a pocos kilómetros (8-10 km en promedio), cuando sus cauces transcurren por las ciudades y barrios de la GAM, pasando de un cauce con lecho montañoso y alta pendiente a zonas relativamente planas y densamente urbanizadas.

Los ríos que usualmente se desbordan cada año, y ocasionan inundaciones que afectan el tránsito sobre la red vial dentro del área de estudio son: María Aguilar, Tiribí, Damas, Ocloro, Guatuso, Cañas, Tibás, Torres, Turales, Virilla, Agres y Uruca. Entre las quebradas que usualmente se desbordan están: Barreal, Rivera, Cangrejos y Negritos.

Varios de los puntos identificados como, intersecciones de estos ríos inundables con la red vial, corresponden con puentes. Entre ellos se pueden mencionar, puente sobre el Río María Aguilar cerca de La Galera (Ruta Nacional No. 2), Puente sobre el río María Aguilar en el sector de Calle Morenos (ver fotografía N°2), Puente sobre Río Torres en Calle Bajo Los Ledezma entre otros.

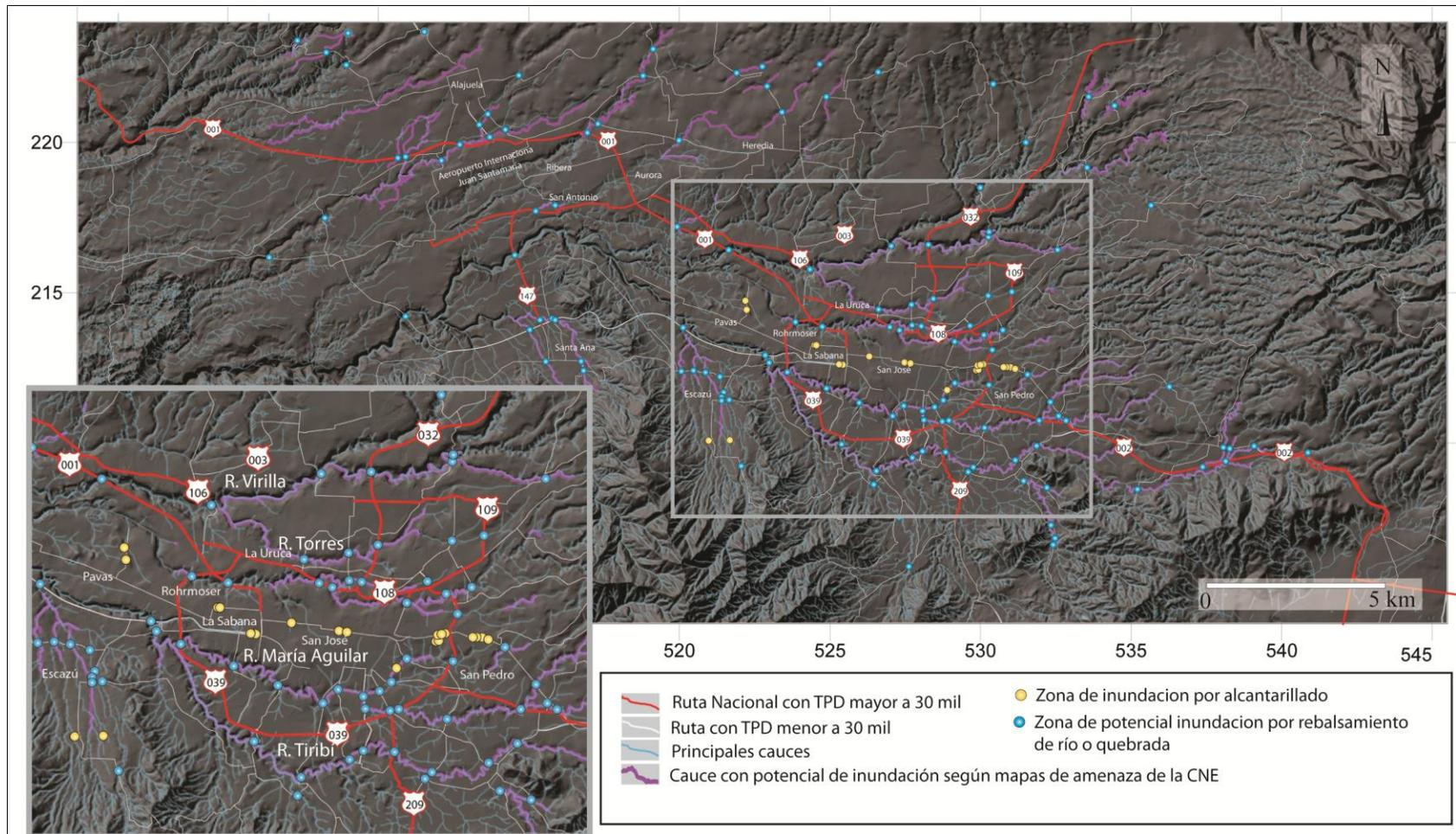
Solamente los pasos que correspondían con alcantarillas mayores y en rutas de TPD mayor a 30 mil vehículos diarios fueron sometidos a un análisis detallado, tal como se aclaró en la metodología.



**Fotografía N°2.** Río María Aguilar cerca en el sector de Calle Morenos desbordado, este es un sitio donde es recurrente que se de este tipo de afectación en la estación lluviosa (Fuente CRhoy)

Los 153 puntos identificados a partir de los datos de la CNE y el IMN, se presentan sobre un modelo de elevación digital de la GAM junto con las rutas de TPD mayor a 30 000 vehículos por día (Figura N°20).

En total se detallaron **27** puntos donde se evaluaron las infraestructuras hidráulicas junto con las condiciones de sitio, que incluyen los taludes del cauce, el tipo de material sobre el que están cimentados, obstrucciones en el cauce entre otras. Las fichas técnicas de cada uno de esos sitios, se presenta más adelante junto con un análisis del área de las micro-cuencas (Anexos).



**Figura N°20.** Mapa de sitios que han presentado inundaciones urbanas o encharcamiento, en la GAM, en magenta se resaltan los cauces que tienen potencial de generar inundaciones y afectar la red vial. Basado en mapas de amenazas de la CNE y IMN.

## **Formaciones geológicas de la GAM y su relación con los sitios estudiados**

Los tipos de suelo y rocas presentes en los sitios donde se ubican las alcantarillas, tienen un papel muy importante en el comportamiento de las estructuras de drenaje y las laderas de los cauces asociadas a ellas. La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores, grado de meteorización, el estado de fracturamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, entre otros, influyen directamente en la estabilidad o inestabilidad de los taludes de los cauces y los sitios sobre los que se construyeron las alcantarillas. Por eso la importancia de definir claramente que tipo de rocas existen en cada sitio analizado.

La geología de la GAM se caracteriza por la presencia de depósitos de origen volcánico del Cuaternario y rocas sedimentarias y volcánicas del Neogeno (Denyer y Arias, 1991). Los sitios analizados en este trabajo, se ubican principalmente sobre los depósitos volcánicos del Cuaternario que están conformados por macizos rocosos de lavas e ignimbritas, depósitos laháricos, cenizas y aluviones.

A continuación se describen los aspectos geológicos más importantes observados en el campo para cada alcantarilla analizada, el resto de las formaciones geológicas que aparecen en el Valle Central, no serán descritas en este informe debido a su alcance.

Del análisis realizado, se determinó, cual podría ser la influencia de las características litológicas de cada sitio, en el basamento de la fundación de las alcantarillas y en los taludes de los cauces y sistemas de drenaje. Se presenta un mapa geológico simplificado del Valle Central, con la ubicación de cada una de las 27 alcantarillas examinadas en detalle (Figura N°21).

### **Formación Colima**

Estas rocas se encuentran principalmente en el fondo de varios de los cañones del Valle Central (Virilla, Tiribí, Torres, y María Aguilar entre otros). Está conformada por tres subunidades cada una con características diferentes (Colima Inferior, Puente de Mulas y Colima Superior). Colima Inferior y Superior, se tratan principalmente de lavas de tipo andesitas vesiculares, porfíricas de color gris claro, densas que presentan un techo brechoso. Mientras que el Miembro Puente de Mulas está

constituido por ignimbritas columnares que se ubican principalmente en el sitio del mismo nombre. Los espesores de estos materiales pueden llegar a ser superiores a 70 metros. Esta formación se encuentra ubicada estratigráficamente debajo de la Formación Tiribí.

Ninguna de las alcantarillas estudiadas en este trabajo, se ubican en sitios donde se encuentre este tipo de litología. Sin embargo, la alcantarilla colapsada en Circunvalación (PK03 + 040, Río María Aguilar) y varios de los puentes más importantes del Valle Central están contruidos sobre estas rocas.

### Formación Tiribí

Son ignimbritas (roca ígnea, formada por un flujo volcánico, que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y cristales vítreos envueltos en la matriz) que han dejado una topografía relativamente plana, que es característica. Afloran principalmente en cortes de camino, ríos y quebradas, a lo largo de la cuenca del río Virilla y sus cañones, así como en otros cauces y en varios tajos en el Valle Central. Su extensión va desde Pavas hasta Santa Ana, y desde Heredia hasta ciertos puntos de Escazú. Presenta espesores de hasta 50 metros. Estratigráficamente esta formación se encuentra por encima de la Formación Colima y por debajo de la Formación Lavina.

Las alcantarillas **001-06, 001-08, 003-02, 106-01, 147-01, 147-02 y 147-03**, se encuentran ubicadas en sitios donde en el cauce de los ríos o quebradas afloran rocas de la Formación Tiribí (ver fotografía N°3). Este tipo de material, por su consistencia y características, puede resultar favorable como basamento para la colocación de las alcantarillas y puentes. Sin embargo, el material de relleno, cenizas y material aluvial que hay en los taludes aguas arriba y aguas debajo de las alcantarillas si podrían presentar problemas de socavación y erosión por lo que es recomendable un revestimiento adecuado.



**Fotografía N°3.** Detalle de los materiales que aparecen cerca de la alcantarilla 001-08. Se observa una sección de la Formación Tiribí en la parte inferior y ceniza y material de relleno sobre ella.

### Formación Barva

Esta formación está constituida por diferentes unidades de flujos de lava y materiales volcánicos, que se presume provienen del volcán Barva. Se ubican principalmente en los sectores de San Antonio de Belén, Cebadilla, San Rafael de Ojo de Agua, Nuestro Amo y Ciruelas. Dentro de una de las unidades de esta formación, está el Miembro Avalancha Coyol, que será descrita más adelante.

La alcantarilla **001-05**, está ubicada en un sector donde aparecen rocas de esta formación volcánica, tal como se aprecia en la fotografía N°4. Este tipo de material, por su consistencia y características, puede resultar favorable como basamento para la colocación de las alcantarillas. Sin embargo, el material de relleno, cenizas y material aluvial que hay en los taludes antes y después de los pasos de aguas si podrían presentar problemas de socavación y erosión por lo que es recomendable un revestimiento adecuado.



**Fotografía N°4.** Detalle de material que aparece en la alcantarilla 001-05, cerca de la Firestone, en la autopista General Cañas.

### Miembro Avalancha Coyol

Los materiales de esta unidad están ubicados en el sector entre el Aeropuerto Internacional Juan Santa María y RECOPE extendiéndose hacia el sector oeste de La Garita de Alajuela y Ciruelas. El origen de los materiales que forman esta unidad geológica se relaciona con eventos de tipo debris avalanche y debris flows (avalanchas y flujos de lodo), provenientes del edificio volcánico más viejo del macizo Barva llamado Paleo-Barva (Méndez & Hidalgo 2004).

En los cortes a los lados de la Ruta Nacional N°1, entre el Aeropuerto Juan Santamaría y RECOPE se encuentran materiales que muestran gran heterogeneidad textural y variaciones laterales. Hay un paleosuelo de tonalidad negra y un espesor máximo de 0.5 m, constituido por bloques decimétricos de lavas hidrotermalizadas dentro de una matriz tobacea consolidada. Dentro de esta matriz o sueltos, se pueden llegar a encontrar bloques de lava de hasta 15 m de diámetro, aunque el tamaño promedio es de entre 0,5 y 1,5 metros de diámetro.

Las alcantarillas **001-02** y **001-04** están ubicadas en sitios donde aparecen rocas y materiales de esta unidad, tal como se observa en fotografía N°5. Los bloques volcánicos sueltos (de tamaño métrico) que están envueltos en la matriz tobacea, podrían generar problemas en las alcantarillas. Si estos bloques son removidos por la erosión del agua y transportados cerca de las estructuras de drenaje, podrían bloquear las entradas y salidas de las alcantarillas. La matriz tobacea, también puede llegar a socavarse por acción de los elementos y generar problemas, por esta razón es conveniente que los taludes de las alcantarillas presenten algún tipo de protección, como revestimientos que den protección al talud y que sean de concreto o materiales similares.



**Fotografía N°5.** Detalle de suelos y material que aparece en las inmediaciones de la alcantarilla 001-02, ubicada cerca de RECOPE/ Cruce Manolo's.

### **Formación Lavina (Lahares cenizas y aluviones del Valle Central)**

Esta unidad geológica se extiende aproximadamente desde Coronado hasta Pavas, desde Tibás a Desamparados y algunos sitios de Escazú. Aflora en los ríos Torres, María Aguilar y Tiribí. Para este informe, también incluimos los lahares que están recubriendo en las ciudades de Heredia y Alajuela, aunque por la ubicación de estos se cree que su origen sean los volcanes Barva y Poás.

Mientras que los lahares que cubren San José y Cartago se atribuyen a eventos generados en el Volcán Irazú y sus edificios más antiguos.

A la combinación de estos materiales se les conoce como Lavina, fueron originados por una mezcla densa de detritos volcánicos y agua en movimiento (debris flows o lahares). Son depósitos heterogéneos con fragmentos volcánicos subangulares a subredondeados, predominando lavas con diámetro máximo de 2 m, generalmente no supera 1 m. Los fragmentos por lo general se encuentran, flotando en una matriz areno-arcillosa compactada. Son comunes sectores deformados e hidrotermalizados rodeados por depósitos sanos.

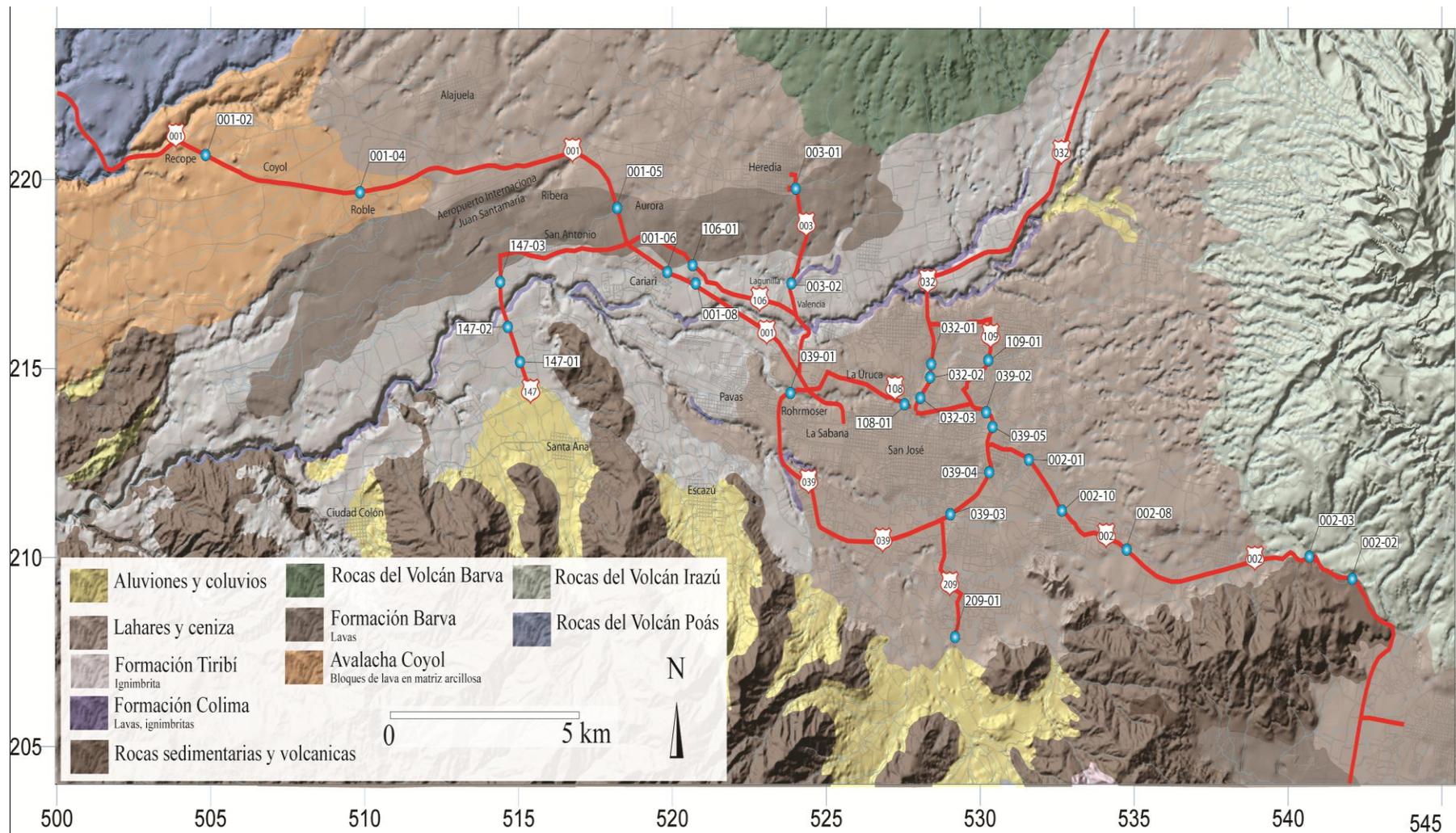
Además, están cubiertos por una capa de ceniza que puede llegar a ser de hasta 20 m de espesor y localmente por depósitos coluviales de procedencias y litologías diferentes. Están ubicados sobre la Formación Tiribí y las lavas de la Formación Colima. Tiene una forma elongada con eje en dirección NE-SW y cubre una área mínima de 130 km<sup>2</sup> en la GAM. Tiene espesores de hasta 80 m aunque varía hasta en 60 m de diferencia en solo 2 km de distancia. Presenta una intensa erosión provocada por la acción fluvial, que alcanza depresiones de hasta 60 m de profundidad, en donde cortan hasta 50 m de lavina, atravesando en sentido E-W la el Valle Central (ríos Virilla, Torres, Tiribí, María Aguilar).

Las alcantarillas **002-01, 002-02, 002-03, 002-08, 002-10, 003-01, 032-01, 032-02, 032-03, 039-01, 039-02, 039-03, 039-04, 039-05, 108-01, 109-01, 209-01**, están ubicadas en sitios donde afloran los materiales de esta formación (ver fotografía N°6). Aunque los lahares al tener cierto grado de compactación son más resistentes a la erosión, los taludes formados por este tipo de litología deberían de estar siempre con algún tipo de revestimiento para su protección.



**Fotografía N°6.** Detalle de materiales que aparecen en los taludes de la alcantarilla 032-01, cerca de Lorente de Tibás.





**Figura N°21.** Mapa geológico simplificado del Valle Central. Se muestran las rutas con TPD mayor a 30 mil vehículos por día en color rojo y los puntos azules corresponden con las alcantarillas analizadas en detalle el presente trabajo.

## Condición de Vulnerabilidad

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología descrita en la sección N°4 de este informe. Estos resultados están sujetos a los alcances y limitaciones descritos en la sección N°3. La escala de valoración empleada para cuantificar el estado de cada uno de los componentes evaluados se presenta en la sección de Anexos, al final de este documento.

En la tabla N°1 se muestran las notas obtenidas para cada una de las alcantarillas evaluadas. Las notas de vulnerabilidad del sitio y la vulnerabilidad estructural son ponderadas para obtener una sola nota de vulnerabilidad asociada a estos dos componentes.

Para establecer esta nota ponderada se consideró que un 60% corresponde a la nota de vulnerabilidad debida a las condiciones propias del sitio y un 40% corresponde a la puntuación obtenida por las condiciones estructurales que presenta la alcantarilla.

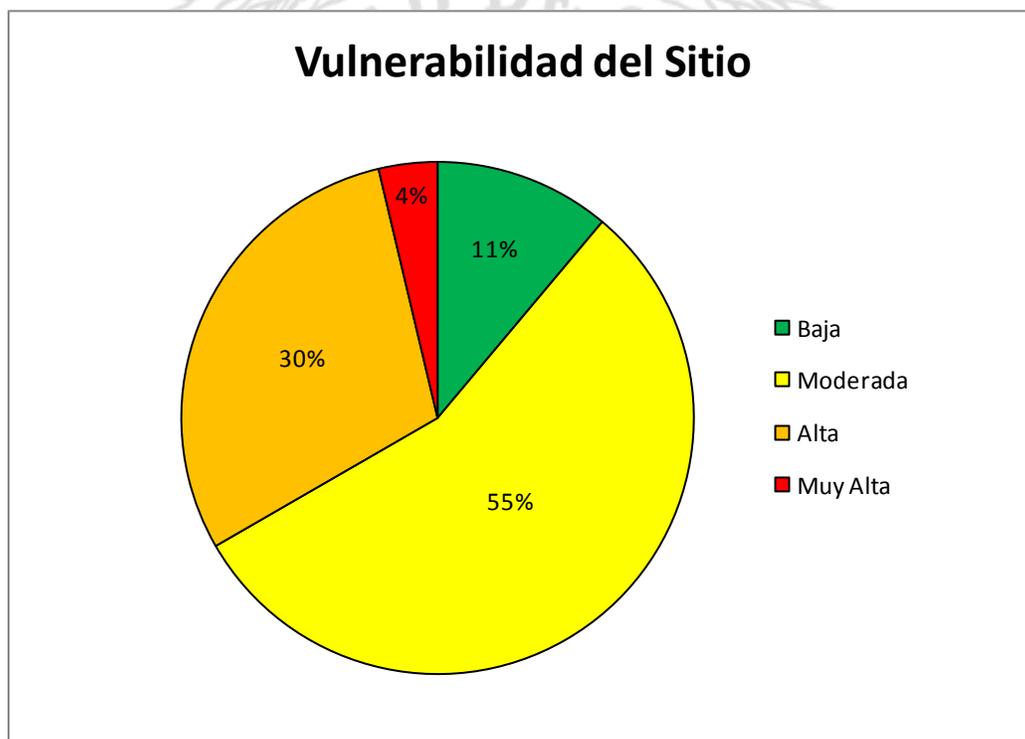
**Tabla N°1. Vulnerabilidad Estructural y del Sitio de las Alcantarillas evaluadas.**

Código	Río o Quebrada	Vulnerabilidad del Sitio	Vulnerabilidad Estructural	Vulnerabilidad Ponderada	Condición de Vulnerabilidad
001-02	Río Siquiares	30	90	54	Alta
001-04	SIN NOMBRE	40	20	32	Moderada
001-05	Quebrada Seca	65	20	47	Moderada
001-06	Quebrada Guaría	55	30	45	Moderada
001-08	Río Bermúdez	65	60	63	Alta
002-01	Río Ocloro	50	60	54	Alta
002-02	SIN NOMBRE	40	20	32	Moderada
002-03	Quebrada Quirazú	45	70	55	Alta
002-08	Río Chagüite	45	60	51	Alta
002-10	Quebrada Zopilote	50	80	62	Alta
003-01	Río Pirro	35	50	41	Moderada
003-02	Río Bermúdez	25	50	35	Moderada
032-01	Quebrada Rivera	35	60	45	Moderada
032-02	SIN NOMBRE	25	90	51	Alta
032-03	Quebrada Cangrejos	40	80	56	Alta
039-01	Río Torres	65	80	71	Alta
039-02	Río Torres	80	60	72	Alta
039-03	Río María Aguilar	55	60	57	Alta
039-04	Río Ocloro	65	100	79	Muy Alta
039-05	Quebrada Negritos	70	50	62	Alta
106-01	Quebrada Guaría	35	80	53	Alta
108-01	Río Torres	45	40	43	Moderada
109-01	Quebrada Barreal	60	70	64	Alta
147-01	Quebrada Rodríguez	25	65	41	Moderada
147-02	SIN NOMBRE	35	45	39	Moderada
147-03	SIN NOMBRE	50	35	44	Moderada
209-01	Río Cucubres	35	45	39	Moderada

En la tabla anterior, los primeros tres dígitos del Código corresponden al número de la ruta en la cual se localiza la alcantarilla, los siguientes dos números fueron asignados de forma consecutiva para identificar cada alcantarilla de manera individual.

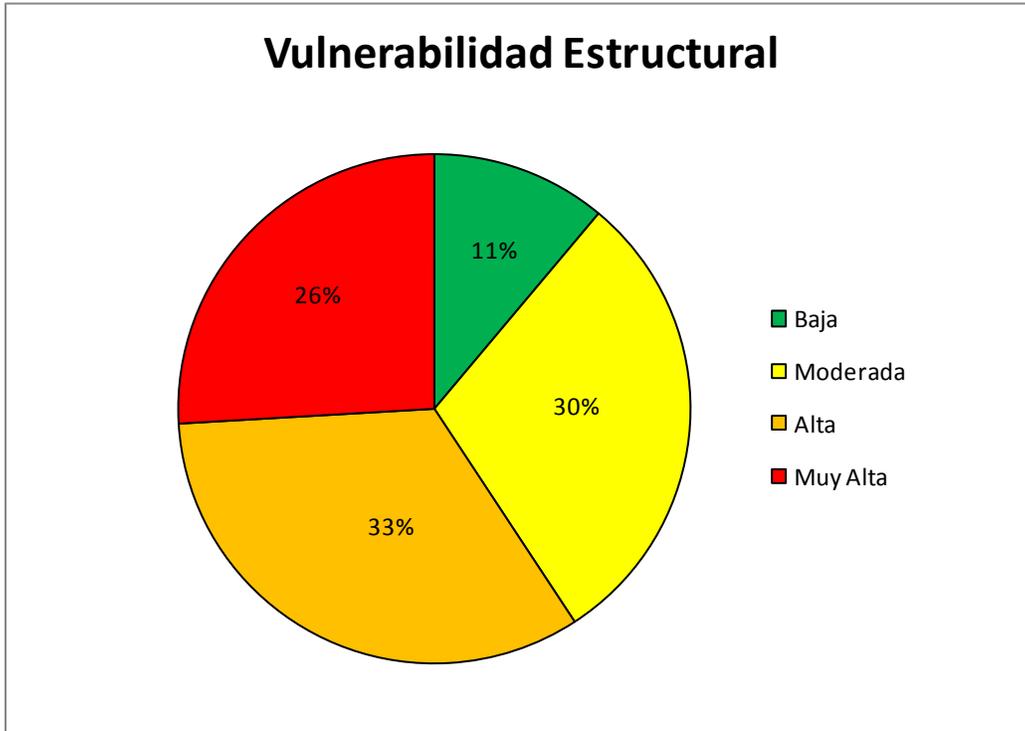
En el gráfico N°1 se presenta la distribución porcentual de los resultados de vulnerabilidad relativa al sitio. Tal como se observa, la mayoría de las alcantarillas presentan una vulnerabilidad “Moderada” por este componente, seguido por un 30% que presentan una vulnerabilidad “Alta” por este mismo concepto.

**Gráfico N°1. Resumen de Resultados Vulnerabilidad del Sitio.**



La vulnerabilidad estructural se distribuye de forma más equitativa en las diferentes categorías. Según se observa en el gráfico N°2, un 33% presenta una vulnerabilidad “Alta” y una cifra similar tiene una condición de vulnerabilidad “Moderada”. Sin embargo, un 26% tiene una vulnerabilidad “Muy Alta”, la cual es mucho mayor que el 4% que se encuentra en esta condición por las condiciones del sitio.

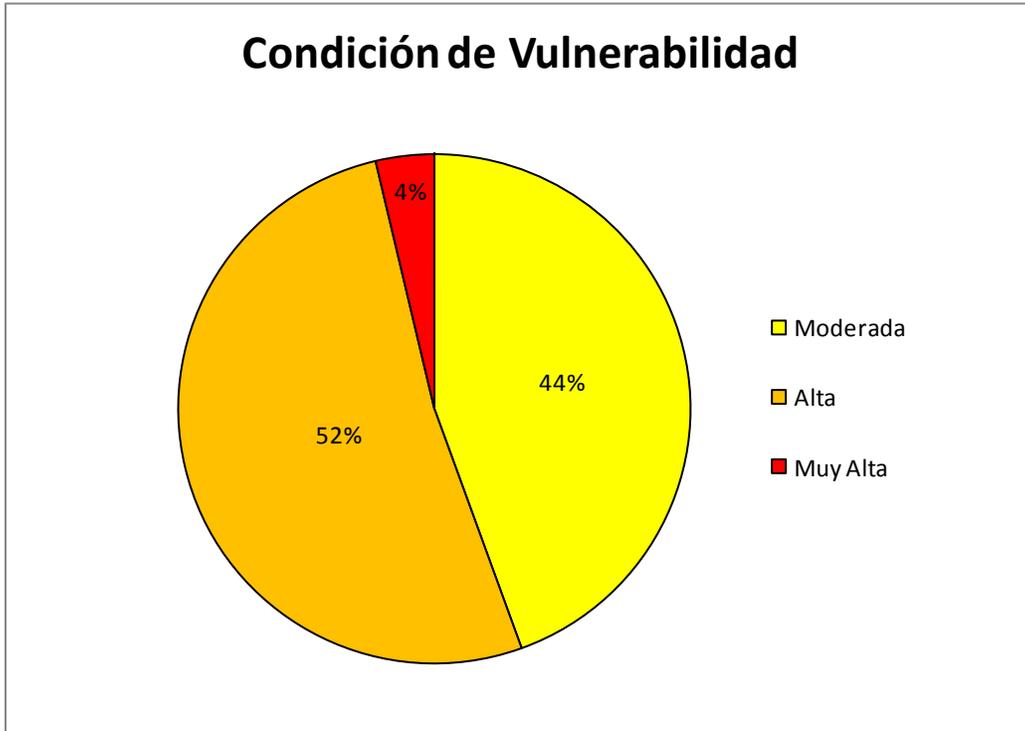
**Gráfico N°2. Resumen de Resultados Vulnerabilidad Estructural.**



Finalmente, en el gráfico N°3 se presentan los resultados obtenidos para la vulnerabilidad ponderada, es decir tomando en cuenta la combinación de los elementos del sitio y los elementos estructurales.

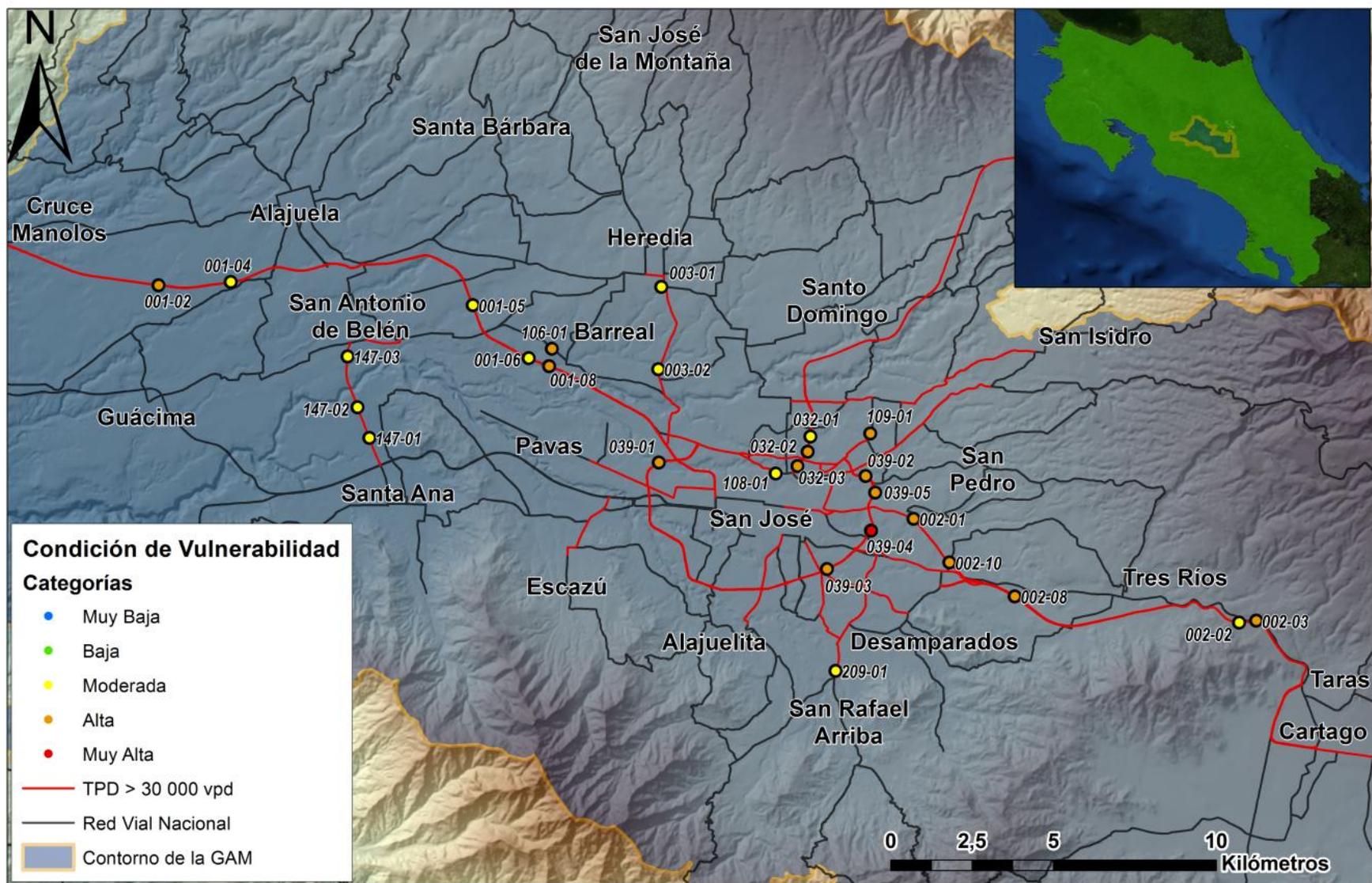
Según se observa en este gráfico, un 52% de las alcantarillas presenta una condición “Alta” de vulnerabilidad, ninguna tiene vulnerabilidad “Baja” y solo una alcantarilla obtuvo una nota que la ubica en la categoría “Muy Alta”.

**Gráfico N°3. Resumen de Resultados Condición de Vulnerabilidad.**



En la figura N°22 se presenta el mapa de la GAM con la ubicación de las 27 alcantarillas evaluadas, cada una con la condición de vulnerabilidad resultante de la aplicación de la metodología utilizada en este estudio.

En la sección de Anexos al final del presente informe, se muestran las fichas con la información recopilada para cada una de las alcantarillas. Esta información incluye la ubicación, las fotografías tomadas y las observaciones realizadas en la inspección de campo.



**Figura N°22.** Condición de Vulnerabilidad asociada a las condiciones del sitio y las condiciones estructurales de las 27 alcantarillas evaluadas.

## 9. CONCLUSIONES

### Conclusión General:

- Según los resultados de la evaluación realizada las alcantarillas de la Gran Área Metropolitana localizadas en las principales Rutas Nacionales, presentan en su mayoría una condición de vulnerabilidad alta, debido a las condiciones propias del sitio en el cual se localizan y a la condición actual de sus componentes estructurales.

### Conclusiones sobre las condiciones del sitio:

- El tipo de litología y suelos presentes en los lugares donde se ubican las alcantarillas está directamente relacionado con la vulnerabilidad del sitio. Rocas masivas como lavas e ignimbritas se relacionan con sitios de vulnerabilidad baja. Mientras que sitios donde afloran lahares, aluviones, ceniza y rellenos, están asociados con vulnerabilidades medias y altas.
- De las 27 alcantarillas estudiadas en detalle, solamente 9, se encuentran en sitios donde no se han registrado o documentado inundaciones. En el resto de las alcantarillas (18), se ubican en sitios donde al menos se ha registrado un evento de inundación y en ocho de estos sitios se dan con recurrencia, siendo estos sitios los más vulnerables por este factor.
- De las 27 alcantarillas estudiadas en detalle, 10 de ellas se construyeron sobre materiales que corresponden con lavas o ignimbritas. Estas alcantarillas, se ubican principalmente al oeste de la zona de estudio y por las características de estos materiales las estructuras de drenaje son menos vulnerables a verse afectadas por problemas de erosión y socavación. Las 17 alcantarillas restantes se construyeron sobre lahares, aluviones, cenizas y rellenos, por lo que sus basamentos son más vulnerables a verse afectados por el flujo constante de agua.
- Del total de las alcantarillas estudiadas, 14 de ellas no presentan problemas serios en el ángulo de entrada de las aguas a la estructura. En 11 de las restantes, el agua entra con un ángulo que podría generar problemas como erosión y socavación de los taludes y de la misma alcantarilla y solamente en 2 alcantarillas el ángulo de entrada se podría considerar como forzado.

- Solamente 4 alcantarillas de las 27 estudiadas presentan vulnerabilidad baja por obstrucciones en el cauce. La gran mayoría (15) de las estructuras presenta una vulnerabilidad media debido a la presencia de obstrucciones y 7 de ellas presentan una vulnerabilidad alta por este factor que podrían eventualmente comprometer la estructura de drenaje.
- La mayoría de los taludes relacionados con las alcantarillas estudiadas, corresponden con materiales como lahares, aluviones, cenizas y rellenos que tienen muy poca resistencia al corte y son poco cohesivos, lo que genera que también sean más propensos a erosionarse y socavarse. Estos sitios, según Mora 2004, tienen otras características como altas pendientes y alto contenido de humedad que los vuelve muy susceptibles a tener deslizamientos en caso de sismos o exceso de lluvia.
- De las 27 alcantarillas estudiadas, 8 están relacionadas con micro-cuencas que superan los 10 km<sup>2</sup> y que según la clasificación usada para este trabajo presentan una vulnerabilidad alta. De las restantes alcantarillas, 14 corresponden con micro-cuencas de entre 1,1 y 10 km<sup>2</sup> y solamente 8 con micro-cuencas de <1 km<sup>2</sup>

#### Conclusiones sobre las condiciones estructurales:

- La mayor parte de las alcantarillas evaluadas presentan, tanto a la entrada como a la salida, condiciones regulares o deficientes en los componentes estructurales de los cabezales, es decir, el muro del cabezal, los aletones y los delantales.
- Aproximadamente una tercera parte de las alcantarillas no tiene aletones o delantales, o los que existen actualmente tienen un nivel de deterioro que no les permite cumplir su función.
- Una cuarta parte de las alcantarillas presenta condiciones regulares o deficientes en el talud de relleno localizado sobre el cabezal. Esto se traduce en una vulnerabilidad alta o muy alta debida a este componente frente a eventos extremos como las inundaciones.
- En términos generales 59% de las alcantarillas evaluadas presenta una condición de vulnerabilidad alta o muy alta, debido a la condición de los elementos estructurales que la componen.

## 10. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Administración activa del Estado costarricense considerar las siguientes acciones relativas a las alcantarillas evaluadas en este informe.

### Recomendaciones Generales:

- Se recomienda implementar planes de mantenimiento periódico para todas las alcantarillas evaluadas en este informe. Se recomienda que estos planes incluyan la limpieza de las obstrucciones que impiden el paso libre del agua en la entrada y salida de la alcantarilla, tales como: Sedimentos, maleza, troncos, basura, escombros, rocas, etc. Se recomienda que estos planes incluyan vigilancia sobre cambios en los componentes del sitio y los componentes estructurales estudiados en este informe, por ejemplo: Fisuras en los cabezales, erosión, grietas o deslizamientos en los taludes del cauce del río o en el talud de relleno sobre el cabezal, etc.
- Dada la importancia de estos elementos en la estabilidad de la Red Vial Nacional pavimentada y como resultado de los análisis realizados en este trabajo, se recomienda incluir los elementos evaluados dentro de un sistema de administración de activos.
- Previo al establecimiento de las acciones de intervención para las obras de drenaje evaluadas en este informe, se recomienda a la Administración considerar la capacidad hidráulica de las alcantarillas para manejar los caudales generados por sus respectivas cuencas hidrográficas. El LanammeUCR en conjunto con la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR trabaja actualmente en los estudios que permitirán contar con esta información.
- Se recomienda a la Administración continuar con la línea de investigación de este estudio e incluir otras alcantarillas asociadas a rutas con TPD menor a 30 000 vehículos diarios.
- Hacer una caracterización geotécnica de los taludes de los principales cauces de la GAM.
- Hacer análisis de susceptibilidad al deslizamiento en los taludes de los principales cauces de la GAM que incluya disparo de eventos de remoción de masa por sismos locales y lluvias extremas.

#### Recomendaciones relativas a las condiciones del sitio:

- Para aquellas alcantarillas que presentan una vulnerabilidad “Alta” o “Muy alta” debido a las condiciones del sitio, se recomienda hacer un análisis detallado de susceptibilidad al deslizamiento de los taludes cercanos a la alcantarilla, el cual incluya disparo de eventos de remoción de masa por sismos locales y lluvias extremas, con el fin de establecer las estrategias de intervención requeridas en cada caso.
- En los cauces de los ríos y quebradas relacionadas con las alcantarillas estudiadas, se recomienda hacer una campaña para eliminar todas obstrucciones antrópicas (muros de contención caídos, escombros, basura, etc) que podrían generar colmatación y taponamientos en las alcantarillas.

#### Recomendaciones relativas a las condiciones estructurales:

- Luego de contar con los resultados del estudio de la capacidad hidráulica de las alcantarillas (estudio adicional), se recomienda evaluar de forma individual la estrategia de intervención para mejorar la condición de los elementos estructurales, de aquellas alcantarillas que resulten con problemas de capacidad hidráulica y que además obtuvieron una nota igual o superior a 50 (cincuenta) en la evaluación del presente informe.
- Para estas alcantarillas se recomienda considerar por ejemplo: Construcción o reconstrucción de aletones y delantales, debidamente cimentados en estratos con la capacidad portante y resistencia a la erosión requeridas, colocación de recubrimientos de concreto o sistemas de control de erosión efectivos en el talud de relleno sobre el cabezal, etc.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Costarricense de Geotecnia. Código de Cimentaciones de Costa Rica. 2da ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2009. Cartago, Costa Rica.
2. Bieniawski, Z. T., 1989: Engineering Rock Mass Classification. John Wiley & Sons, New York. 251 pp
3. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. Código Sísmico de Costa Rica 2010. 4ª ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2011. Cartago, Costa Rica.
4. Denyer P. & Arias O. (1991): Estratigrafía de la region central de Costa Rica. Revista Geologica de América Central, 12: 1-59pp
5. Dirección de Planificación Sectorial. (2013). Anuario de Información de Transito 2013. MOPT, Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación. Costa Rica: MOPT.
6. INEC. (2012). X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011 Resultados Generales. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Area de Censos de Población y Vivienda. Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
7. Méndez, J., & Hidalgo, P.,(2004). Descripción geológica del depósito de debris avalanche El Coyol, Formación Barva, Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 30: 199-202.
8. Ministerio de Obras Públicas y Transportes MOPT (2010). Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010). San José, Costa Rica.
9. Mora R., 2004: Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 17 pág.
10. SIECA-CEPRENAC. (2011) Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras. 3ra ed.
11. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Desamparados. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/desamparados.pdf>
12. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Escazú. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/escazu.pdf>

13. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Goicoechea. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/goicoechea.pdf>
14. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Montes de Oca. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/montes-de-oca.pdf>
15. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Mora. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/mora.pdf>
16. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón San José. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/san-jose.pdf>
17. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Alajuela. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/alajuela/alajuela.pdf>
18. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Belén. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en: <http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/heredia/belen.pdf>
19. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Curridabat. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/curridabat.pdf>
20. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Heredia. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/heredia/heredia.pdf>

21. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón La Unión. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en: <http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/LAUNION.htm>
22. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Moravia. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/moravia.pdf>
23. Sistema de información para emergencias. (2006). Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantón Tibás. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencias. Disponible en:  
<http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/Cantones/san%20jose/tibas.pdf>.
24. Solano J, Retana J., A., Villalobos, R., 2002: Inundaciones. Gestión de desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y oceanográficos. 9 (2) 104-122.
25. Federal Highway Administration, "Culvert Inspection Manual, Report N9. FHWA-IP-86-2", Julio 1986.



## ANEXO A

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE ALCANTARILLAS

FICHAS TÉCNICAS DE

COMPONENTES DEL SITIO Y ESTRUCTURALES

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.251977	Latitud:	9.994321
Código: 001-02	Ruta N°: 001	Río: Siquiaries	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (circular)		Dimensiones: 2 m (2 secciones), hay una tercera de menor capacidad (60 cm)	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 7.5 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentario: El talud aguas arriba presenta vulnerabilidad ante eventuales crecidas, se recomienda valorar una protección para prevenir deterioros que puedan afectar la vía. Considerar también la construcción de aletones en el cabezal de entrada.
Entrada		X		
Salida			X	

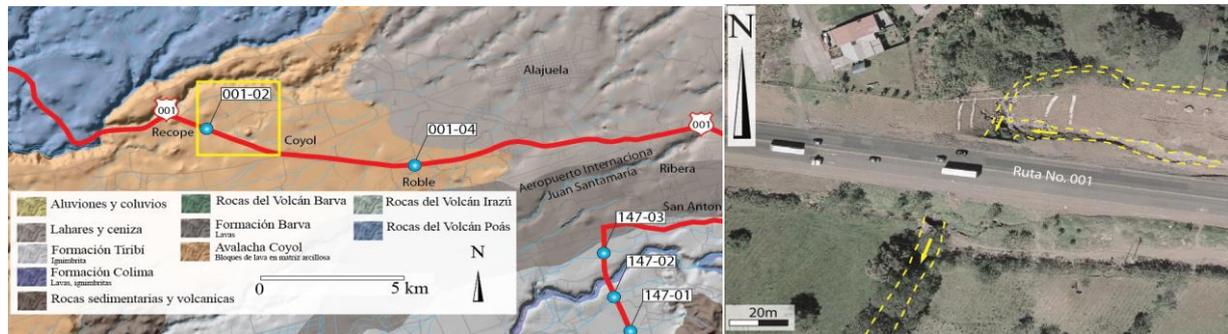
Sedimentación: No se observaron problemas de sedimentación

Maleza u obstrucciones: bloques de roca de tamaño métrico podrían llegar a obstruir las entradas o salidas, el día de la visita estaban despejadas.

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada	X			Mala	Regular	Buena
Salida		X			X	

**Observaciones:** Esta zona es parte de la Avalancha Coyol, donde es típica la presencia de rocas volcánicas entre 0.5 y > 1 metro de diámetro en una matriz arcillosa de color rojizo. Los taludes en la entrada y salida son de poca altura (<2m) y predominan los bloques de rocas, no se observan problemas de estabilización.

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba

Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Muy Deficiente

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.232063	Latitud:	9.995236
Código: 001-04	Ruta N°: 001	Río o Quebrada: Sin Nombre	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 2.5 m x 1.5 m (3 secciones)	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 4 m, los rellenos están cubiertos con un manto para control de erosión.

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentario: Una de las secciones presenta sedimentación y los mantos de control de erosión en los taludes tienen muy pocos pines de anclaje. Se recomienda limpiar los sedimentos y mejorar el anclaje de los mantos para evitar el deterioro prematuro.
Entrada			X	
Salida			X	

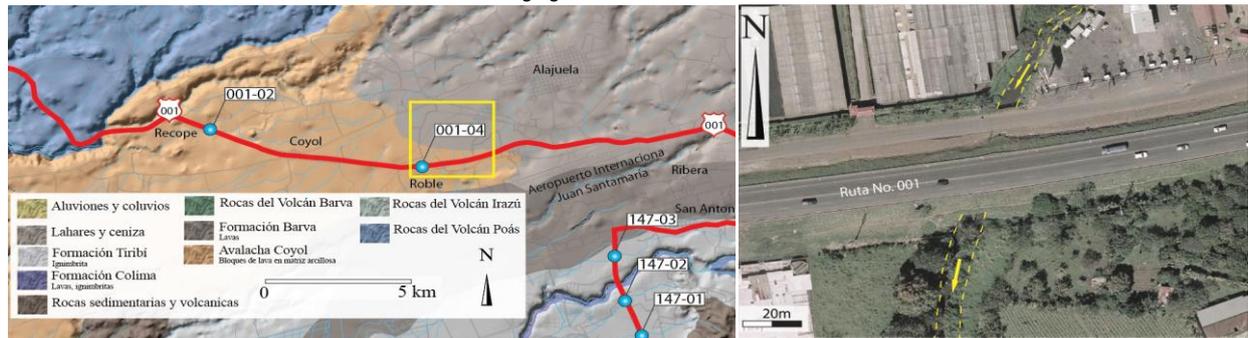
Sedimentación: una de las secciones no presenta flujo en condiciones normales

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida			X		X	

**Observaciones:** Esta zona es parte de la Avalancha Coyol, donde es típica la presencia de rocas volcánicas entre 0.5 y > 1 metro de diámetro en una matriz arcillosa de color rojizo. En este punto no se observaron grandes bloques que puedan generar problemas. Los taludes no presentan problemas de erosión.

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba



Fotografías



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Aceptable

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.16517	Latitud:	9.988834
Código: 001-05	Ruta N°: 001	Quebrada: Seca	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 3 m x 3.5 m (3 secciones)	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 1.5 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentario: Hay un cambio de dirección de la quebrada antes de entrar a la alcantarilla. Esto genera que se erosione el margen Este y que en el margen Oeste haya acumulación de algunos bloques cerca de los cabezales.
Entrada			X	
Salida			X	

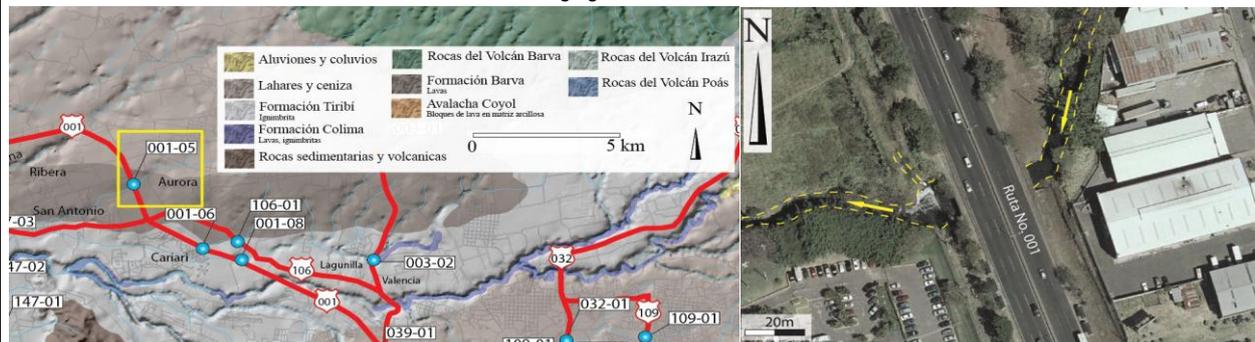
Sedimentación: Un poco de sedimentación (-1/3)

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida		X			X	

**Observaciones:** Aguas arriba hay presencia de rocas arrastradas por la corriente de agua. Los taludes aguas arriba, están formados por lahares y cenizas, han sufrido de erosión y ya han tenido que ser intervenidos con muros de gaviones, hay un sector donde no hay muro y el talud se está socavando. Si ese talud colapsara podría presentar una obstrucción importante.

**Ubicación geográfica**



**Fotografías**

Aguas arriba



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Aceptable

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo:

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.149708	Latitud:	9.974215
Código: 001-06	Ruta N°: 001	Quebrada: Guaria	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 6 m x 9.5 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 2 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentario: no se observan problemas en los cabezales, sin embargo los taludes aguas arriba presentan problemas de erosión por las aguas que bajan de la finca CENADA. En los taludes de entrada y salida se colocaron mantos temporales para control de erosión pero no se sembró vegetación,
Entrada			X	
Salida			X	

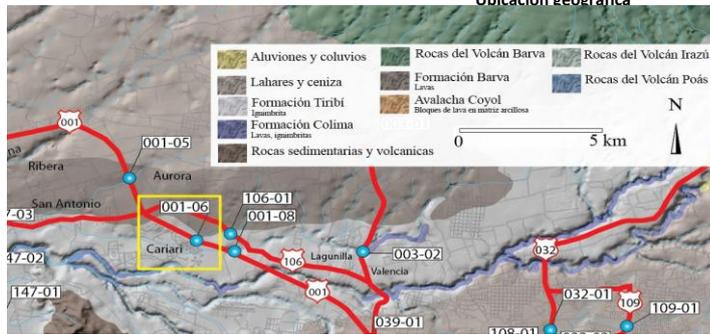
Sedimentación: Un poco de sedimentación (-1/3)

Maleza u obstrucciones: los bloques usados para control de erosión en los taludes, podrían presentar una obstrucción importante si llegaran a colapsar completamente.

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

**Observaciones:** El material de los taludes corresponde con relleno, esta alcantarilla fue reconstruida y ampliada recientemente. Aguas abajo hay un cambio casi de 90o en las aguas y esta erosionando un talud.

**Ubicación geográfica**

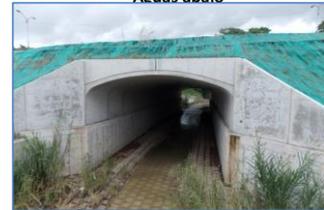


Fotografías

Aguas arriba



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Regular

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo:

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.144102	Latitud:	9.972058
Código: 001-08	Ruta N°: 001	Río: Bermudez	Fecha: 02-10-13

Material: Concreto en arco Dimensiones: 6 m x 12 m  
 Distancia vertical entre alcantarilla y calzada:

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentario: Cabezales con sedimentos en la parte interna (entrada), en la salida erosiona lado izquierdo y deposita del lado derecho
Entrada			X	
Salida			X	

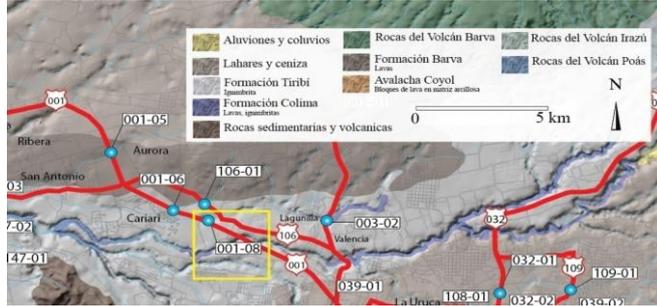
Sedimentación: Un poco de sedimentación (-1/3) al frente de los cabezales

Maleza u obstrucciones: no frente al cauce

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

**Observaciones:** Talud erosionado aguas arriba, río hace una curva antes de entrar a la alcantarilla. Por la basura se observa que el agua sube hasta un poco más de la mitad de la alcantarilla. El muro de gaviones colapsado aguas arriba podría llegar a ser una obstrucción importante.

**Ubicación geográfica**



Fotografía

Aguas arriba



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural de la alcantarilla.  
Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.043446	Latitud:	9.929896
Código: 002-01	Ruta N°: 002	Río: Ocloro	Fecha: 10-09-13
Material: Concreto	Dimensiones: 0.8 m x 1.5 m		

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 6m

Condición Cabezas	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Alcantarilla de cuadro
Entrada	-	-	-	
Salida		X		

Sedimentación: presencia de sedimentos en la salida con menos de 1/3 de cobertura

Maleza u obstrucciones: presencia de maleza en la salida

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada	-	-	-	Mala	Regular	Buena
Salida		X			X	

**Observaciones:** No tiene cabezal de salida ni protección de talud. No se pudo observar aguas arriba ya que se encuentra entubada. En esta zona los suelos son rellenos y cenizas, son muy erosionables.

**Ubicación geográfica**



**Fotografías**  
Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

<b>Condición del Sitio</b> Regular	<b>Condición Estructural</b> Deficiente
<b>Condición ponderada de Vulnerabilidad</b> Alta	

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.  
Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
Permanente: labores demantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-83.953498	Latitud:	9.901262
Código: 002-02	Ruta N°: 002	Río o Quebrada: Sin Nombre	Fecha: 10-09-13
Material: concreto	Dimensiones: 4 m x 2 m		
Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 0.5 m			

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: La maleza podría llegar a obstruir la entrada. Se recomienda dar mantenimiento para mantener el paso libre de maleza.
Entrada		X		
Salida	X			

Sedimentación:  
 Maleza u obstrucciones: obstrucción por maleza en más de un 70% de la entrada

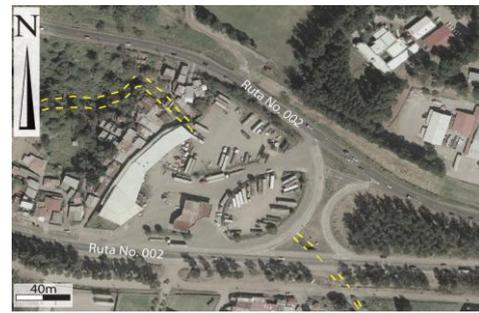
Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada	-	-	-	Mala	Regular	Buena
Salida	-	-	-		X	

**Observaciones:** Los suelos presentes en este sitio son de origen volcánico y están muy alterados. Hay presencia de maleza y sedimentación entre los pasos de alcantarilla.

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba



Aguas abajo

Fotografías



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Regular

Condición Estructural  
Aceptable

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo:

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-83.948785	Latitud:	9.90178
Código: 002-03	Ruta N°: 002	Quebrada: Quirazú	Fecha: 10-09-13
Material: concreto	Dimensiones: 2.5 m X 1 m		

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 0.5 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Consiste de dos alcantarillas, la primera bajo los carriles que van hacia San José, la segunda hacia Cartago. Ninguna presenta aletones. Se recomienda intervenir los taludes para evitar esta posibilidad, así como mantenimiento para limpiar el cauce
Entrada	X			
Salida		X		

Sedimentación: presenta alta sedimentación aguas arriba (0.3 m)

Maleza u obstrucciones: presenta maleza y obstrucciones en más del 70% aguas abajo

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
				Mala	Regular	Buena
Entrada	X			X		
Salida	X					

**Observaciones:** Los suelos que aparecen en este sitio son de origen volcánico y están muy alterados, también hay material de relleno. Tienen muy mala consistencia y son fáciles de erosionar. Es muy evidente la falta de mantenimiento. Los taludes aguas arriba de la primera alcantarilla están muy erosionados y si colapsan, aunque tienen poca altura pueden taponear la entrada y provocar desbordamiento hacia la carretera

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba

Fotografías

Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Deficiente

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.  
Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.015439	Latitud:	9.908507
Código: 002-08	Ruta N°: 002	Río: Chagüite	Fecha: 10-09-13
Material: concreto	Dimensiones: 4 m x 3 m		

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 2 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: No presenta aletones
Entrada			X	
Salida			X	

Sedimentación: presenta baja sedimentación aguas arriba

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
				Mala	Regular	Buena
Entrada			X			
Salida			X			X

**Observaciones:** Los suelos que aparecen en este sitio, corresponden con lahares, cenizas y material de relleno. Este tipo de suelos son muy vulnerables a la erosión. Presencia de maleza abundante en los taludes laterales

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba

Fotografías

Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Deficiente

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Alta

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural. Realizar actualización del diseño hidrológico/hidráulico  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.033543	Latitud:	9.917856
Código: 002-10	Ruta N°: 002	Quebrada: Zopilote	Fecha: 10-09-13
Material: concreto (circular)		Dimensiones: 1 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 2.5

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: La zona presenta problemas de inundación. Revisar el comportamiento hidrológico de la zona y la capacidad hidráulica de la alcantarilla.
Entrada			X	
Salida			X	

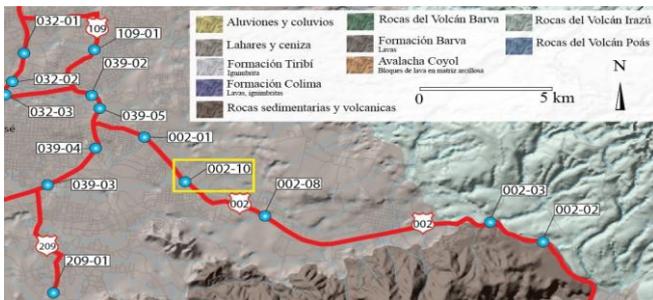
Sedimentación: Poca sedimentación

Maleza u obstrucciones: obstrucciones en la salida

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida			X		Regular	

**Observaciones:** La geometría aguas abajo es de una alcantarilla de cuadro, los taludes están recubiertos con piedra. Esta es una zona inundable que ha dado serios problemas en los últimos años. EL cambio de dirección del Río María Aguilar y el poco espacio que tiene por las construcciones en sus márgenes, genera mas problemas.

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba

Fotografías

Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Regular

Condición Estructural  
Muy Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural .

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.113104	Latitud:	9.993868
Código: 003-01	Ruta N°: 003	Río: Pirro	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (circular)		Dimensiones: 4 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 8 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Dos alcantarillas, la primera en la calle que da acceso a Heredia y la segunda en la calle de salida de Heredia. Dificil acceso a la entrada de la primera y a la entrada de la segunda alcantarilla.
Entrada			X	
Salida			X	

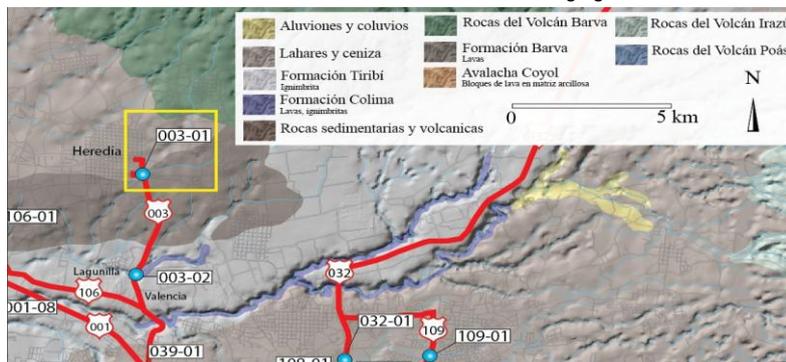
Sedimentación: con poca sedimentación (-1/3)

Maleza u obstrucción: presencia de mucha vegetación

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

**Observaciones:** Esta es una zona inundable. Crecidas del Río Pirro han generado inundaciones en esta zona. La alcantarilla en la calle de acceso a Heredia es mitad puente mitad alcantarilla. Hay mucha maleza. Hay cambios de ángulo en la dirección del cauce que puede generar erosión en los taludes laterales.

**Ubicación geográfica**



**Fotografías  
Aguas Abajo**



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Regular

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural.  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.113978	Latitud:	9.971195
Código: 003-02	Ruta N°: 003	Río: Bermúdez	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 5 m x 4 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 20 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Poca visibilidad
Entrada			X	
Salida			X	

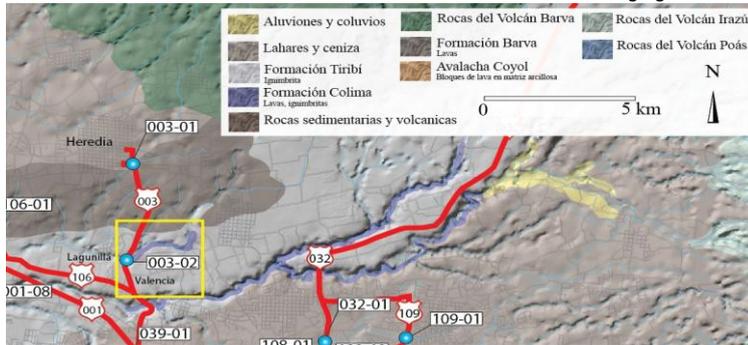
Sedimentación: con poca sedimentación (-1/3)

Maleza u obstrucciones: presencia de mucha vegetación

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

Observaciones: No se observaron problemas en los taludes aguas arriba. Hay muy poca visibilidad aguas abajo.

**Ubicación geográfica**



**Fotografías**

Aguas arriba.



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Aceptable

Condición Estructural  
Regular

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo:

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.071939	Latitud:	9.952577
Código: 032-01	Ruta N°: 032	Quebrada: Rivera	Fecha: 18-09-13
Material: concreto (herradura)		Dimensiones: 3.5 m x 4 m (2 secciones)	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 6 m

Condición Cabezas	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Aguas abajo se ha generado erosión y ya existe un muro de gaviones. El relleno sobre la alcantarilla presenta erosión y algunas grietas.
Entrada		X		
Salida			X	

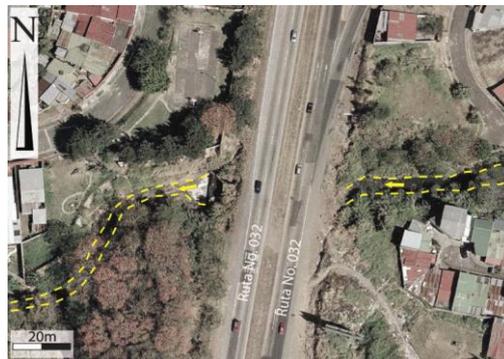
Sedimentación:

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida		X			X	

**Observaciones:** Los suelos que aparecen en este sitio, corresponden con lahares, cenizas y rellenos. Hay una masa de concreto que obstruye aguas abajo en la alcantarilla, el delantal aguas arriba presenta socavación.

**Ubicación geográfica**



Fotografías

Aguas arriba



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Regular

Condición Estructural  
Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural que garantice la estabilidad de la misma.  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.072627	Latitud:	9.94845
Código: 032-02	Ruta N°: 032	Río o Quebrada: Sin Nombre	Fecha: 18-09-13
Material: concreto (circular)	Dimensiones: 2 m		

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 6 m

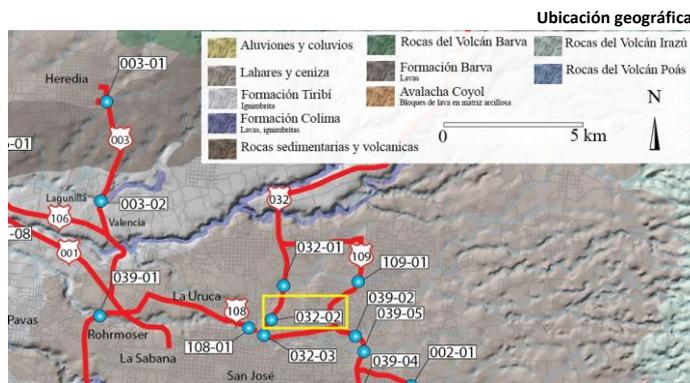
Condición Cabezas	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Aguas abajo mucha presencia de escombros después del delantal. Realizar un estudio que determine si a lo largo de la alcantarilla hay conexiones que viertan agua en la alcantarilla.
Entrada	X			
Salida			X	

Sedimentación:

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
				Mala	Regular	Buena
Entrada	X					
Salida		X			X	

**Observaciones:** Los suelos que aparecen en este sitio, corresponden con lahares, cenizas y rellenos. El talud aguas abajo no se encuentra recubierto en su totalidad, hay una longitud aproximada de 200m entre aguas arriba y aguas abajo. Aguas arriba se encuentra frente a RACSA, Calle Blancos



Fotografías

Aguas arriba



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Aceptable

Condición Estructural  
Muy Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural .  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.075497	Latitud:	9.944463
Código: 032-03	Ruta N°: 032	Quebrada: Cangrejos	Fecha: 18-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 2 m x 1.5 m	
Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 4 m			

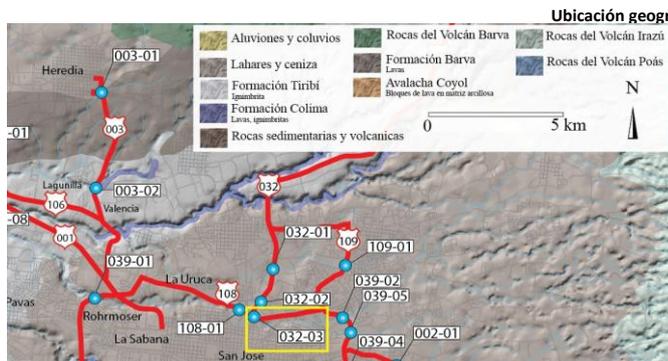
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: La entrada se encuentra en una zona inundable, con vegetación en la entrada del antiguo centro nocturno El Tobogán. No se pudo observar la salida por mucha maleza.
Entrada		X		
Salida				

Sedimentación: Bloques y escombros en la entrada.

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida					X	

Observaciones: Los suelos que aparecen en este sitio, corresponden con lahares, cenizas y rellenos. No se pudo tener acceso aguas abajo



Fotografías  
Aguas arriba



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Regular

Condición Estructural  
Muy Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

- Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.
- Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.
- Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.113814	Latitud:	9.945473
Código: 039-01	Ruta N°: 039	Río: Torres	Fecha: 16-09-13
Material: Acero corrugado		Dimensiones: 3 tubos de 5 m c/u	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 20 m

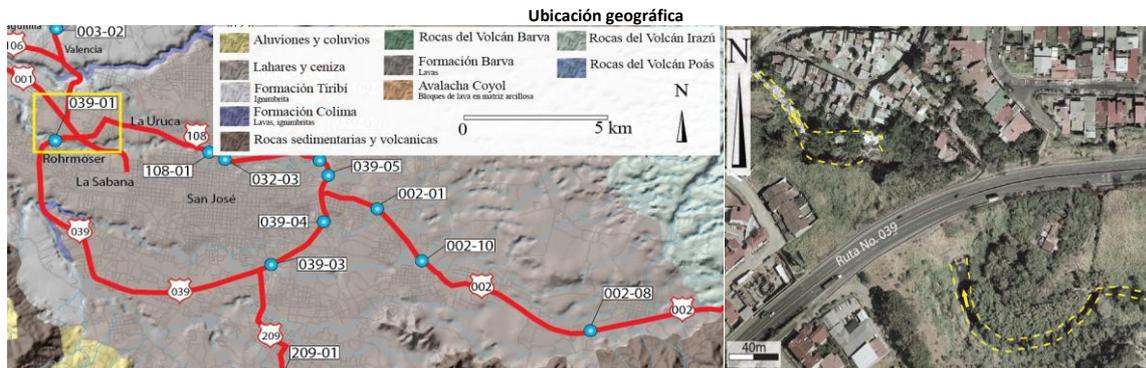
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Los cabezales se encuentran en buenas condiciones. Sobre el talud aguas abajo hay gran cantidad de basura que podría llegar a generar problemas.
Entrada			X	
Salida			X	

Sedimentación: con poca sedimentación (-1/3)

Maleza u obstrucción: Presencia de obstrucciones que reducen la capacidad del cause aguas arriba en un 50 % la margen derecha

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

**Observaciones:** Los suelos de este sitio corresponden con rellenos, lahares y cenizas. Hay ausencia de mantenimiento. Basura, escombros y sedimentos podrían bloquear parcialmente el paso libre de agua en alguna de las 3 alcantarillas.



Aguas arriba



Fotografías

Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Deficiente

**Condición Estructural**  
Muy Deficiente

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.056705	Latitud:	9.941734
Código: 039-02	Ruta N°: 039	Río: Torres	Fecha: 18-09-13
Material: concreto (circular)		Dimensiones: 2 secciones de 4 m c/u	
Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 3 m			

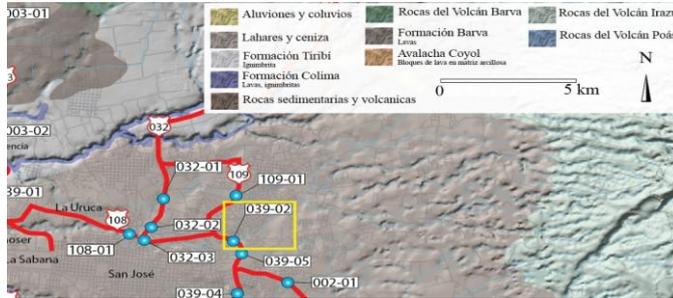
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Hay presencia de maleza y algunos sedimentos, pero en general no hay problemas en los cabezales
Entrada			X	
Salida			X	

Sedimentación: No se observaron problemas de sedimentación  
 Maleza u obstrucción: La basura podría llegar a ser un obstáculo en este sitio.

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

**Observaciones:** Los suelos de este sitio corresponden con rellenos, lahares y cenizas. Hay ausencia de mantenimiento. Hay obstrucción en los aletones de la margen derecha aguas arriba de material del talud. Presencia de una salida de aguas sobre el talud aguas arriba sin protección alguna, socavación en el muro de la margen derecha aguas abajo y en el talud izquierdo.

**Ubicación geográfica**



**Fotografías**

**Aguas arriba**



**Aguas abajo**



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Muy Deficiente

**Condición Estructural**  
Deficiente

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.  
Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.067334	Latitud:	9.91602
Código: 039-03	Ruta N°: 039	Río: María Aguilar	Fecha: 18-09-13
Material: acero corrugado (circular)		Dimensiones: 4 m (2 secciones)	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 2 m

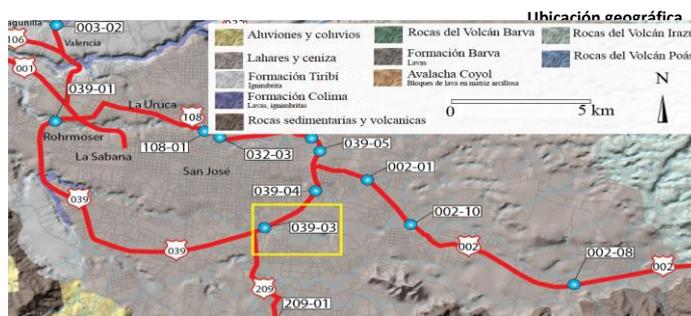
Condición Cabezas	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Hay un cambio de ángulo de casi 90o aguas abajo, esto podría socavar el talud y generar una obstrucción. Los taludes aguas arriba donde el Río hace una vuelta también podrían llegar a socavarse
Entrada		X		
Salida			X	

Sedimentación: No se observa sedimentación importante

Maleza u obstrucciones: No se observan obstáculos importantes

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

Observaciones: Los suelos de este sitio corresponden con rellenos, lahares y cenizas. Es necesario proteger los taludes de las márgenes aguas arriba



**Fotografías**



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.055148	Latitud:	9.926664
Código: 039-04	Ruta N°: 039	Río: Ocloro	Fecha: 19-09-13
Material: acero corrugado		Dimensiones: 3 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 5 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: No presenta cabezales, los taludes laterales se encuentran recubiertos con lajas. Hay un árbol creciendo sobre el talud superior de la entrada.
Entrada	X			
Salida	X			

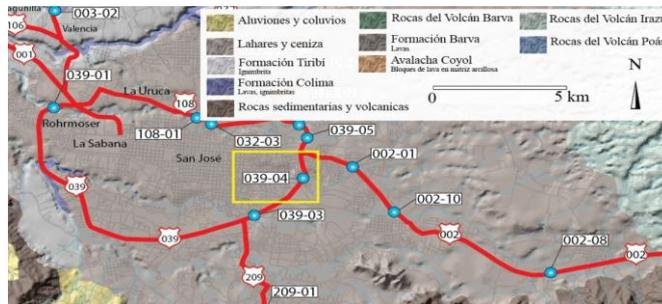
Sedimentación: No se observan problemas de sedimentación

Maleza u obstrucción: Hay un árbol creciendo sobre el talud superior de la alcantarilla aguas arriba.

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
				Mala	Regular	Buena
Entrada	X					
Salida	X				X	

**Observaciones:** Los suelos de este sitio corresponden con rellenos, lahares y cenizas, hay también algunos bloques lávicos de tamaño métrico. Hay erosión superficial en talud aguas abajo y desprendimiento de tubería aguas abajo. Aparente fisuramiento en tubería aguas arriba, el nivel de agua puede cubrir hasta 2/3 del diámetro

**Ubicación geográfica**



**Fotografías**

**Aguas arriba**



**Aguas abajo**



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Muy Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Muy Alta

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural.  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.054021	Latitud:	9.937122
Código: 039-05	Ruta N°: 039	Quebrada: Los Negritos	Fecha: 19-09-13
Material: acero corrugado		Dimensiones: 1.5 m (2 secciones)	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 3 m

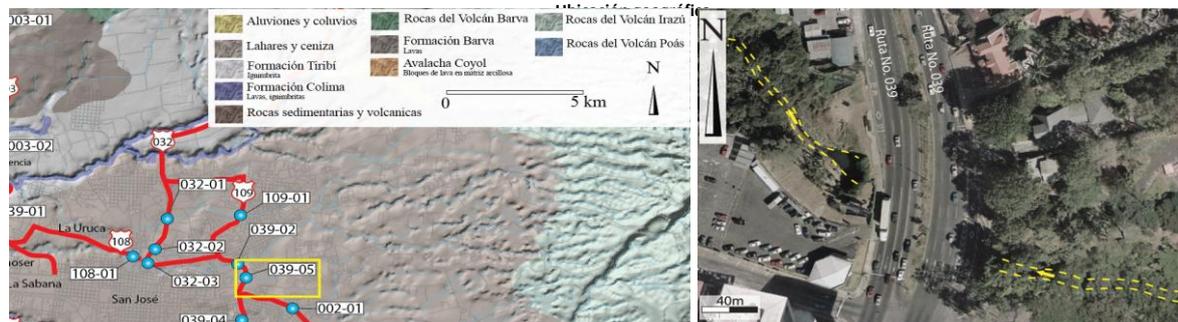
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Se recomienda remover la estructura de gaviones colapsada aguas arriba para prevenir que obstruya la entrada.
Entrada			X	
Salida			X	

Sedimentación: Presencia de sedimento aguas arriba lado derecho

Maleza u obstrucciones: Aguas arriba, hay un muro de gaviones colapsado en medio del cauce, podría convertirse en un obstáculo importante.

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

Observaciones: Los suelos de este sitio corresponden con rellenos, lahares y cenizas.



**Fotografías**



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Regular

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

- Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural.
- Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.
- Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.143329	Latitud:	9.976802
Código: 106-01	Ruta N°: 106	Quebrada: Guaria	Fecha: 13-09-13
Material: concreto (herradura)		Dimensiones: 2.5 m X 3 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 7.5 m

Condición Cabezas	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Hay fragmentos de la alcantarilla colapsada que podría obstruir el paso de agua y generar problemas.
Entrada			X	
Salida	X			

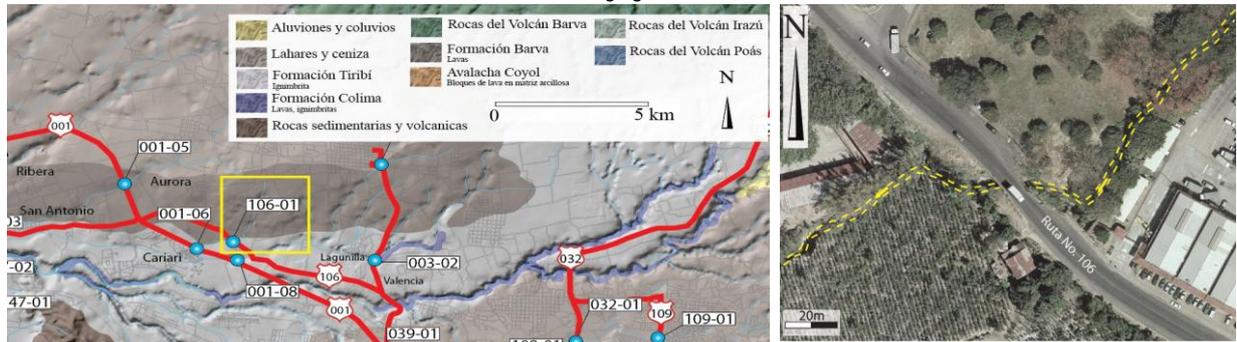
Sedimentación: con poca sedimentación (-1/3)

Maleza u obstrucciones de maleza en ambas márgenes aguas arriba

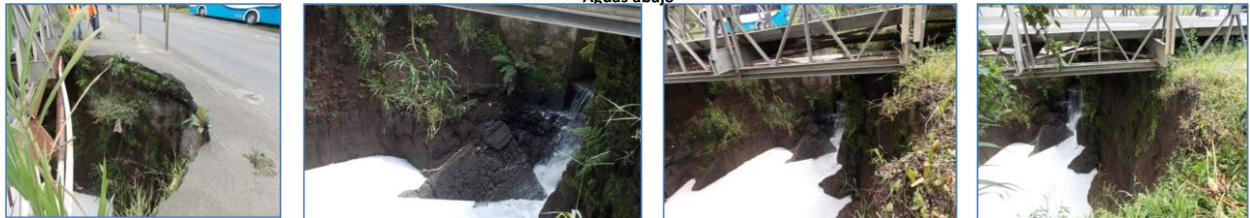
Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
				Mala	Regular	Buena
Entrada						
Salida				X		

Observaciones: aguas abajo la alcantarilla se encuentra destruida, afectando un carril de la vía, se nota desprendimiento en la margen izquierda, peligrando la estabilidad del puente. Los suelos en este sitio corresponden con cenizas y tobas alteradas. Se recomienda reconstruir la sección faltante para habilitar el paso con el ancho de calzada requerido.

**Ubicación geográfica**



**Fotografía  
Aguas abajo**



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Muy Deficiente

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Alta

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.081509	Latitud:	9.9424
Código: 108-01	Ruta N°: 108	Río: Torres	Fecha: 16-09-13
Material: acero corrugado		Dimensiones: 3 secciones de 4 m c/u	
Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 10 m			

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios:
Entrada			X	
Salida			X	

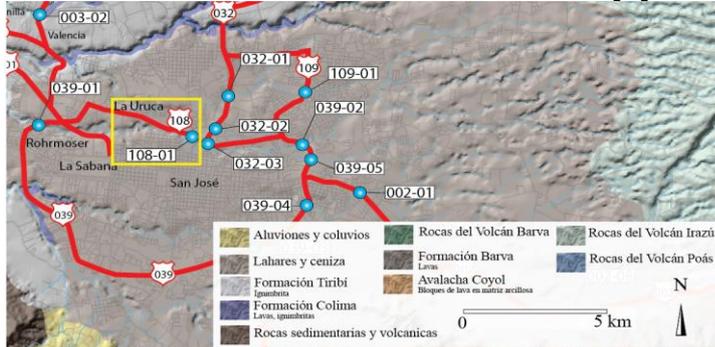
Sedimentación: No se observan problemas de sedimentación

Maleza u obstrucciones: En una de las alcantarillas el agua entra parcialmente por obstrucción del material del cauce.

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada		X		Mala	Regular	Buena
Salida		X			X	

Observaciones:

**Ubicación geográfica**



**Fotografías**

**Aguas arriba**



**Aguas abajo**



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Regular

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.055408	Latitud:	9.953469
Código: 109-01	Ruta N°: 109	Río o Quebrada: Barreal	Fecha: 18-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 2 m x 1 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 0.5 m

Condición Cabezas	Mala	Regular	Buena	Comentarios: taludes laterales recubiertos con rocas
Entrada	X			
Salida		X		

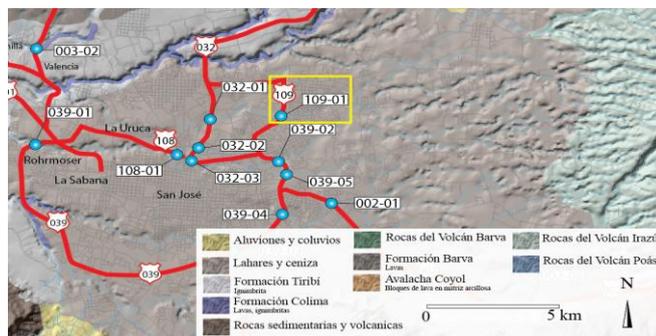
Sedimentación: en 1/3 de la altura

Maleza u obstrucciones: maleza en las márgenes del cause cerca de los aletones

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada				Mala	Regular	Buena
Salida					X	

**Observaciones:** Los suelos de este sitio corresponden con lahares, cenizas y relleno. Hay un estrechamiento importante de la quebrada por las tapias y casa que se construyeron en sus márgenes. Según vecinos, la inundación llega a cubrir hasta 0.5m sobre el nivel de la rasante, hay reducción de la sección del cause

**Ubicación geográfica**



Aguas arriba

Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Deficiente

Condición Estructural  
Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Alta

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural.  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.19373	Latitud:	9.952239
Código: 147-01	Ruta N°: 147	Quebrada: Rodríguez	Fecha: 11-09-13
Material: concreto (circular)		Dimensiones: 1.2 m	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 4 m

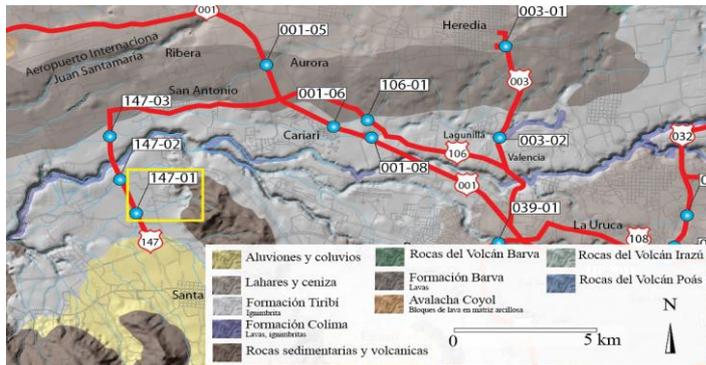
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Hay muy poca visibilidad por mucha maleza aguas arriba
Entrada				
Salida			X	

Maleza u obstrucción:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada				Mala	Regular	Buena
Salida		X			X	

Observaciones: En este sitio hay ignimbritas de la formación Tiribí en la base de los cauces y encima de ella, cenizas y suelos.

**Ubicación geográfica**



**Fotografías Azuas arriba**



**Vulnerabilidad**

Condición del Sitio  
Aceptable

Condición Estructural  
Deficiente

Condición ponderada de Vulnerabilidad  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.

Mediano Plazo:

Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.197055	Latitud:	9.960681
Código: 147-02	Ruta N°: 147	Río o Quebrada: Sin Nombre	Fecha: 11-09-13
Material: concreto (circular)	Dimensiones: 2.5 m x 3 m		

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 3 m

Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Hay muy poca visibilidad por mucha maleza aguas arriba. Los aletones del cabezal aguas abajo presentan socavación y la cimentación está expuesta.
Entrada	X			
Salida			X	

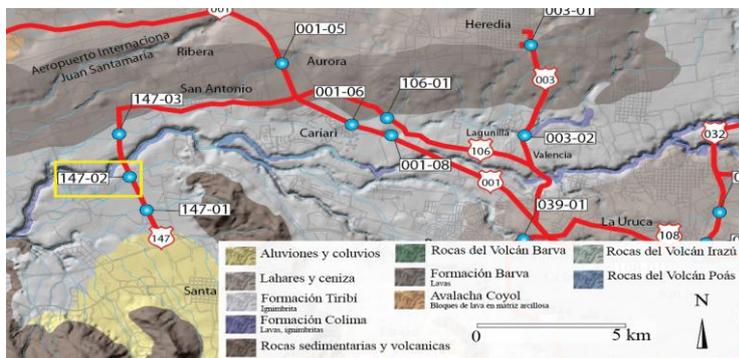
Sedimentación:

Maleza u obstrucciones:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada	X			Mala	Regular	Buena
Salida			X		X	

Observaciones: Hay presencia de gaviones sobre la cuneta

**Ubicación geográfica**



**Fotografías Aguas abajo**



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Regular

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

Corto Plazo: reestablecer la condición estructural.  
Mediano Plazo: valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
Permanente: labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.199775	Latitud:	9.974694
Código: 147-03	Ruta N°: 147	Río o Quebrada: Sin Nombre	Fecha: 11-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 3 secciones de 3 m de altura x 3.5 m de ancho c/u	
Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 1.5 m			

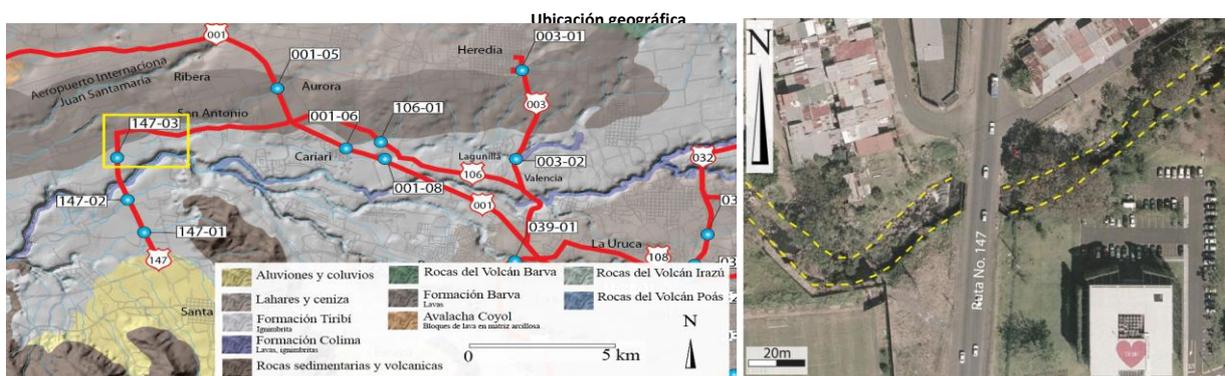
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Hay mucha evidencia de que el caudal que atraviesa la alcantarilla sobrepasa su capacidad. Además el cauce natural es de aprox. 15m y la alcantarilla es de 9m, representando una importante reducción.
Entrada			X	
Salida			X	

Sedimentación:

Maleza u obstrucción:

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada			X	Mala	Regular	Buena
Salida			X			X

**Observaciones:** hay evidencia que en las crecidas sobrepasa el nivel de la calzada sin presentar daños en la estructura. Presenta una tubería de PVC para rebalse, con un diámetro de 1,5 m.



Fotografía

Aguas arriba



Aguas abajo



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Regular

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** reestablecer la condición estructural.  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento

**INVENTARIO DE PASOS DE AGUA**

Longitud:	-84.064988	Latitud:	9.887963
Código: 209-01	Ruta N°: 209	Río: Cucubres	Fecha: 17-09-13
Material: concreto (rectangular)		Dimensiones: 2 m de altura x 7,5 m de ancho	

Distancia vertical entre alcantarilla y calzada: 1.2

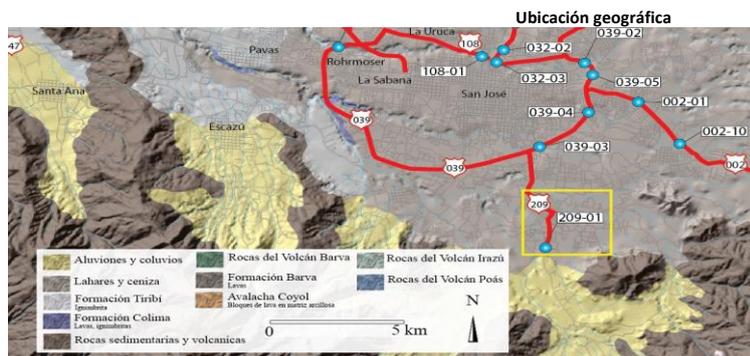
Condición Cabezales	Mala	Regular	Buena	Comentarios: Se recomienda verificar la capacidad hidráulica de la alcantarilla, hay evidencia de rebalse.
Entrada			X	
Salida			X	

Sedimentación: en 1/3 de la altura

Maleza u obstrucciones: maleza en las márgenes del cause cerca de los aletones

Condición del Talud	Mala	Regular	Buena	Condición General		
Entrada				Mala	Regular	Buena
Salida						X

Observaciones:



Fotografías

Aguas abajo



Aguas arriba



**Vulnerabilidad**

**Condición del Sitio**  
Regular

**Condición Estructural**  
Regular

**Condición ponderada de Vulnerabilidad**  
Moderada

**Estrategia de Intervención**

**Corto Plazo:** Realizar actualización del diseño hidrológico/hidráulico. Reestablecer la condición estructural.  
**Mediano Plazo:** valorar la posibilidad de mejorar el ángulo de entrada del cauce y condiciones de entorno.  
**Permanente:** labores de mantenimiento



## **ANEXO B**

### **EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE ALCANTARILAS**

#### **DESCRIPCIÓN Y VALORACIÓN**

#### **COMPONENTES DEL SITIO Y ESTRUCTURALES**

## Condición del sitio

1/3

Elemento	Condición	Descripción	Vulnerabilidad	Puntuación
TPD	Bajo	Tránsito promedio diario menor a 50 000 vehículos	Baja	0
	Mediano	Tránsito promedio diario de 50 001 a 70 000 vehículos	Moderada	15
	Alto	Tránsito promedio diario mayor a 70 000 vehículos	Alta	30
Historial de inundaciones	No registrado	No se cuenta con registro de inundaciones, ni el testimonio de vecinos del lugar o evidencia en el sitio sobre eventos hidrológicos extremos que impactaran de manera significativa la operación de la alcantarilla o el tránsito vehicular	Baja	5
	Evento aislado	Se cuenta al menos con un registro de inundaciones o el testimonio de vecinos del lugar sobre eventos hidrológicos extremos que impactaran de manera significativa la operación de la alcantarilla o el tránsito vehicular	Moderada	10
	Recurrente	Se cuenta con más de un registro de inundaciones o el testimonio de vecinos del lugar sobre eventos hidrológicos extremos que impactaran de manera significativa la operación de la alcantarilla o el tránsito vehicular	Alta	20
Área de la cuenca	Tipo I	El área de la cuenca hidráulica es menor a $1 \text{ km}^2$	Baja	0
	Tipo II	El área de la cuenca hidráulica es $> 1,1 \text{ km}^2$ y $< 10 \text{ km}^2$	Moderada	5
	Tipo III	El área de la cuenca hidráulica es mayor a $10,1 \text{ km}^2$	Alta	10
Ángulo de entrada	Alineado	El ángulo medido entre el eje longitudinal de la alcantarilla y el cauce original del río o quebrada es menor a $30^\circ$	Baja	0
	Intermedio	El ángulo medido entre el eje longitudinal de la alcantarilla y el cauce original del río o quebrada es mayor a $31^\circ$ y menor a $60^\circ$	Moderada	5
	Forzado	El ángulo medido entre el eje longitudinal de la alcantarilla y el cauce original del río o quebrada es mayor a $61^\circ$	Alta	10

## Condición del sitio

2/3

Elemento	Condición	Descripción	Vulnerabilidad	Puntuación
Suelos del cauce	Favorable	El material sobre el cual está cimentada la alcantarilla corresponde con afloramientos de roca extremadamente dura (al golpearla con martillo solo saltan esquirlas) a moderadamente dura (no puede tallarse con una navaja y puede fracturarse con un golpe fuerte de martillo). Es además masiva, regular y sin discontinuidades, con superficies sin alteración o ligeramente alteradas (presenta pátinas de oxidación), con alta resistencia a la erosión y la socavación	Baja	0
	Regular	El material sobre el cual está cimentada la alcantarilla corresponde con depósitos de material de origen volcánico, arrastrados por una corriente de agua y que presentan algún grado de cementación. Son materiales heterogéneos, la matriz arcillosa presenta una dureza que va desde arcilla dura (se puede marcar con una uña) a arcilla firme (se necesita una pequeña presión para intruducir el dedo) con una resistencia media a la erosión y la socavación	Moderada	5
	Deficiente	El material sobre el cual está cimentada la alcantarilla corresponde con cenizas, rellenos, limos, arcillas o una combinación de las anteriores. Son materiales heterogéneos, poco o nada cementados, con presencia de algunos bloques aislados, dureza débil a muy blanda (el puño penetra fácilmente varios centímetros) Con una resistencia muy baja a la erosión y la socavación	Alta	10
Obstrucciones	Libre	El cauce en la entrada de la alcantarilla no presenta sedimentación, vegetación, basura o detritos que obstaculicen el paso libre del agua	Baja	0
	Parcial	El cauce en la entrada de la alcantarilla presenta sedimentación, vegetación, basura o detritos que obstaculizan el paso libre del agua en menos de 1/3 del ancho del cauce	Moderada	5
	Bloqueado	El cauce en la entrada de la alcantarilla presenta sedimentación, vegetación, basura o detritos que obstaculizan el paso libre del agua en más de 1/3 del ancho del cauce	Alta	10

## Condición del sitio

3/3

Elemento	Condición	Descripción	Vulnerabilidad	Puntuación
Taludes del cauce	Favorable	El material de los taludes del cauce cercanos a la alcantarilla corresponden con afloramientos de roca extremadamente dura (al golpearla con martillo solo saltan esquirlas) a moderadamente dura (no puede tallarse con una navaja y puede fracturarse con un golpe fuerte de martillo). Es además masivo, regular y sin discontinuidades, con superficies sin alteración o ligeramente alteradas (presenta pátinas de oxidación), con alta resistencia a la erosión y la socavación	Baja	0
	Regular	El material de los taludes del cauce cercanos la alcantarilla corresponde con depósitos de material de origen volcánico, arrastrados por una corriente de agua y que presentan algún grado de cementación. Es un material heterogéneo, la matriz arcillosa presenta una dureza que va desde arcilla dura (se puede marcar con una uña) a arcilla firme (se necesita una pequeña presión para intruducir el dedo), con una resistencia media a la erosión y la socavación	Moderada	5
	Deficiente	El material de los taludes del cauce cercanos a la alcantarilla corresponde con cenizas, rellenos, limos, arcillas o una combinación de las anteriores. Es un material heterogéneo, poco o nada cementado, con presencia de algunos bloques aislados, dureza débil a muy blanda (el puño penetra fácilmente varios centímetros), con una resistencia muy baja a la erosión y la socavación	Alta	10

## Condición estructural

1/3

Elemento	Condición	Descripción	Vulnerabilidad	Puntuación
Talud sobre el cabezal	No aplica	El talud es inferior a 1 metro, la vulnerabilidad no se asocia a la presencia del talud, tiene impacto poco o nulo	Muy Baja	0
	Muy favorable	Los taludes con revestimiento de concreto o un material equivalente no presentan fisuras ni desprendimiento del revestimiento. Los taludes con vegetación no presentan evidencia de deslizamientos o erosión superficial y la pendiente es favorable para la estabilidad del talud según el tipo de suelo. La vegetación crece de manera permanente y cubre toda el área de la superficie. La distancia horizontal entre el cabezal de entrada y la calzada de la carretera es mayor de 5 m	Baja	10
	Favorable	Los taludes con revestimiento de concreto o un material equivalente presentan fisuras de menos de 1 m de longitud y menos de 3 mm de ancho, se presenta desprendimiento del revestimiento en un área menor a 1/3 de la superficie. Los taludes con vegetación no presentan evidencia de deslizamientos o erosión superficial y la pendiente es favorable para la estabilidad del talud según el tipo de suelo. La vegetación crece de manera permanente y los espacios sin vegetación abarcan menos de 1/3 del total de la superficie. La distancia horizontal entre el cabezal de entrada y la calzada de la carretera es mayor de 3 m	Moderada	20
	Regular	Los taludes con revestimiento de concreto o un material equivalente presentan fisuras de más de 1 m de longitud y más de 3 mm de ancho, se presenta desprendimiento del revestimiento en un área mayor a 1/3 de la superficie. Los taludes con vegetación presentan deslizamientos o erosión superficial en un área mayor a 1/3 de la superficie, la pendiente no favorece la estabilidad del talud y es muy elevada para el tipo de suelo. La distancia horizontal entre el cabezal de entrada y la calzada de la carretera es menor de 3 m	Alta	30
	Deficiente	El talud se encuentra deteriorado superficial y estructuralmente, no cuenta con protección superficial y hay evidencia de deslizamientos y erosión en más de 2/3 de la superficie, con alta probabilidad de afectar la estabilidad del pavimento en la carretera	Muy Alta	40

## Condición estructural

2/3

Elemento	Condición	Descripción	Vulnerabilidad	Puntuación
Muro del cabezal	Aceptable	No presenta grietas ni desplazamiento, unión con la tubería sin fisuras, refuerzo estructural no se encuentra expuesto	Baja	0
	Regular	El deterioro superficial abarca menos de 1/3 del área del muro, presenta agrietamientos de menos de 1 m de longitud y menos de 3 mm de ancho, unión con la tubería sin fisuras, refuerzo estructural no se encuentra expuesto	Moderada	10
	Deficiente	El deterioro superficial abarca más de 1/3 del área del muro, presenta agrietamientos de más de 1 m de longitud y más de 3 mm de ancho, unión con la tubería presenta fisuras, el refuerzo estructural se encuentra expuesto	Alta	15
	Inexistente	No existe muro de cabezal o el existente está deteriorado en más de 2/3 del área y ya no cumple su función	Muy Alta	20
Aletones	Aceptable	No presenta grietas ni desplazamiento, unión con el muro del cabezal sin fisuras, refuerzo estructural no se encuentra expuesto, orientación con respecto al cause es adecuada	Baja	0
	Regular	El deterioro superficial abarca menos de 1/3 del área del aletón, presenta agrietamientos de menos de 1 m de longitud y menos de 3 mm de ancho, orientación con respecto al cause es adecuada, refuerzo estructural no se encuentra expuesto	Moderada	10
	Deficiente	El deterioro superficial abarca más de 1/3 del área del aletón, presenta agrietamientos de más de 1 m de longitud y más de 3 mm de ancho, orientación con respecto al cause es inadecuada, refuerzo estructural se encuentra expuesto. La cimentación de los aletones está expuesta por socavación	Alta	15
	Inexistente	No existen aletones o los existentes están deteriorados en más de 2/3 del área y ya no cumplen su función. La cimentación de los aletones está expuesta por socavación	Muy Alta	20

## Condición estructural

3/3

Elemento	Condición	Descripción	Vulnerabilidad	Puntuación
Delantales	Aceptable	No presenta grietas ni desplazamiento, unión con el muro del cabezal y los aletones no presenta fisuras, refuerzo estructural no se encuentra expuesto, dimensiones con respecto a los aletones es adecuada	Baja	0
	Regular	El deterioro superficial abarca menos de 1/3 del área del delantal, presenta agrietamientos de menos de 1 m de longitud y de menos de 3 mm de ancho, dimensiones con respecto a los aletones es adecuada, refuerzo estructural no se encuentra expuesto	Moderada	10
	Deficiente	El deterioro superficial abarca más de 1/3 del área del delantal presenta agrietamientos de más de 1 m de longitud y más de 3 mm de ancho, dimensiones con respecto a los aletones es insuficiente, refuerzo estructural se encuentra expuesto. La cimentación del delantal está expuesta por socavación	Alta	15
	Inexistente	No existen delantales o los existentes están deteriorados en más de 2/3 del área y ya no cumplen su función. La cimentación del delantal está expuesta por socavación	Muy Alta	20