

# METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y DEL SITIO DE LAS ALCANTARILLAS DE LA GAM

1er. Ronald Naranjo Ureña 2do. Paulo Ruiz Cubillo 3ro. Jairo Sanabria Sandino

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR),

Universidad de Costa Rica, 400 metros norte Muñoz y Nanne, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

T.: (506) 2511-4015 F.: (506) 2207-4442.

E-mail: ronald.naranjo@ucr.ac.cr

## Resumen

El desempeño funcional y la calidad de la infraestructura vial se ven afectados por la condición que presentan las obras de drenaje. Recientemente en Costa Rica ha quedado en evidencia el impacto negativo que puede tener el colapso de uno estos elementos en la vialidad nacional.

El trabajo realizado consistió en el desarrollo y aplicación de una metodología para el análisis de la vulnerabilidad de las alcantarillas. Esta metodología ha sido desarrollada por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR, la cual forma parte del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA).

En el análisis se consideran dos de los componentes que determinan la vulnerabilidad de estas obras hidráulicas:

Condiciones estructurales.

Condiciones propias del sitio.

La metodología permite ponderar cualitativa y cuantitativamente la condición que presentan una serie de elementos que inciden directamente en el nivel de vulnerabilidad de las alcantarillas. El resultado se utilizó para evaluar un total de 27 alcantarillas, seleccionadas dentro de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

## Objetivo

El objetivo principal es desarrollar una metodología de evaluación para determinar el nivel de vulnerabilidad de las alcantarillas de las principales rutas de la Gran Área Metropolitana (GAM), debido a las condiciones estructurales y las condiciones propias del sitio en el cual se localizan.

## Metodología para Análisis de Vulnerabilidad

En primer término se realizó una revisión de documentación relativa a las zonas urbanas con potencial inundación y afectación directa en la red vial. Se revisaron informes y artículos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), reportes y catálogos cantonales de inundaciones de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), informes de prensa y tesis de grado.

La zona seleccionada para el estudio fue la Gran Área Metropolitana (GAM), debido a que en esta zona se concentra cerca de 48% de la población de Costa Rica (INEC 2012) y se localizan rutas estratégicas para el desarrollo de las actividades del país.

Una vez establecida la condición de cada uno de los elementos evaluados, esta condición es asociada con un nivel de vulnerabilidad y con una puntuación proporcional al peso de ese componente en el cálculo de la vulnerabilidad de la alcantarilla. Las puntuaciones altas se relacionan con alta vulnerabilidad y viceversa. La suma y la ponderación de estas

puntuaciones permiten establecer una nota final, asociada al nivel de vulnerabilidad de los diferentes elementos considerados.

## 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 los siguientes siete elementos: 1) Tránsito Promedio Diario (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 la entrada de la alcantarilla y 7) Materiales de los taludes del cauce, de aguas arriba y aguas abajo.

### 1. TPD

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 alcantarillas en rutas de mayor TPD y menor vulnerabilidad a las que se localizan en rutas de menor TPD.

Para los fines de la metodología desarrolladas se estableció que las rutas con un tránsito promedio diario menor a 50 000 vehículos por día tienen una vulnerabilidad baja y una puntuación de 0, entre 50 001 y 70 000 presentan una vulnerabilidad moderada y una puntuación de 15, finalmente las rutas con un tránsito promedio diario mayor a 70 000 vehículos tienen vulnerabilidad alta con un puntaje de 30, debido a la condición de este componente.

### 2. Historial de inundaciones

Este punto se refiere al historial de inundaciones generadas por el rebalse de las aguas del río o quebrada sobre la alcantarilla estudiada y que además haya generado afectación en el tránsito normal de vehículos sobre la ruta. 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 se asigna una vulnerabilidad baja y una puntuación de 5. En las alcantarillas donde según las fuentes de información, se haya dado al menos un evento que haya afectado la operación normal del tránsito vehicular se le asigna una vulnerabilidad moderada para este elemento, con puntaje de 10. 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 debida a este elemento y una puntuación de 20.

### 3. Tipo de suelo

Se refiere al tipo de material 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 observaciones de campo en cada sitio y estudios geológicos-geotécnicos previos, se determina la vulnerabilidad del material sobre el cual 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 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. A estas condiciones se les asignó una vulnerabilidad baja y una puntuación de 0.

Cuando el suelo sobre el que se construyen 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.

A los sitios estudiados que presentan estas características de suelo se les asignó una vulnerabilidad moderada y son una gran mayoría en la GAM, la nota correspondiente es de 5 puntos.

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. 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 y una nota de 10.

### 4. Ángulo de entrada

Se analizó la condición del ángulo que se forma entre el eje del cauce y el eje longitudinal de la alcantarilla. Esta medición se realiza mediante la observación de fotografías aéreas y verificación en campo.

La condición óptima para el flujo de agua debida a este elemento es aquella en la cual el ángulo entre estos ejes sea el 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, por lo tanto tienen una vulnerabilidad baja y una puntuación de 0.

Ángulos entre  $31^\circ$ -  $60^\circ$  en el alineamiento entre el eje del cauce y el eje de la alcantarilla, se consideran más

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 con una puntuación de 5.

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 favorece la generación de turbulencia y erosión en los taludes y la estructura de la alcantarilla, por lo tanto implican una vulnerabilidad alta a la cual corresponde un puntaje de 10.

### 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 realiza mediante la visita de campo a cada sitio, además del análisis posterior con las fotografías tomadas durante la inspección.

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 debida a este elemento, con puntuación de 0.

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 y puntaje de 5 en el análisis de este elemento.

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 con un puntaje de 10.

### 6. Taludes de cauce

Este elemento se refiere al tipo de material 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.

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 con puntuación de 0.

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 que presentan estas características de suelo tienen una vulnerabilidad moderada con puntaje de 5 por esta condición.

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 y una puntuación de 10.

#### 7. Área de la cuenca

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 relativa baja para la alcantarilla y una nota de 0, mientras que una cuenca con un área de entre 1.1 y  $10 \text{ km}^2$  implica una vulnerabilidad moderada y se le asigna una nota de 5. Finalmente las cuencas con área  $> 10 \text{ km}^2$  se asociaron a una vulnerabilidad alta, a la cual le corresponde una puntuación de 10 por este elemento.

#### 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.

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 la metodología propuesta se consideran cuatro componentes estructurales: 1) Talud sobre el cabezal, 2) Muro del cabezal, 3) Aletones y 4) Delantal. Según se puede apreciar en la figura N°1.



**Figura 1.-** Componentes estructurales considerados para determinar la vulnerabilidad de alcantarillas.

La condición de cada uno de estos componentes es evaluada mediante una inspección de campo, con el fin de determinar su estado, 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.

#### 1. Talud sobre el cabezal

El relleno que se localiza sobre la tubería y muro del cabezal de la alcantarilla (ver figura N°1) forma parte de los elementos considerados en esta metodología de evaluación. 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 o incluso sobre pasar la estructura de pavimento.

Cuando el talud es inferior a 1 metro y está construido o protegido con concreto, la vulnerabilidad no se asocia a la condición del talud, ya que tiene un impacto limitado o nulo. La condición del elemento se califica como "no aplica" vulnerabilidad en este caso se considera muy baja, con una calificación de 0.

La siguiente condición se presenta cuando 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. Además la distancia horizontal entre el cabezal de entrada y la calzada de la carretera es mayor de 5 m. Esta condición se considera muy favorable, el nivel de vulnerabilidad es bajo y la nota equivalente es de 10.

Cuando 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. Estas condiciones se consideran favorables, la condición de vulnerabilidad es moderada y la puntuación que se le otorga es de 20.

En la siguiente condición 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. Estas condiciones se consideran regulares, con una vulnerabilidad alta y una puntuación de 30.

En la última condición considerada 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. Esta condición se califica como deficiente con un nivel de vulnerabilidad muy alta y una calificación de 40 por este concepto.

## 2. Muro del cabezal

Cuando el muro del cabezal no presenta grietas, ni desplazamientos o volcamiento, la unión con la tubería no tiene fisuras y el refuerzo estructural no se encuentra expuesto la condición es aceptable, el nivel de vulnerabilidad asociado es bajo y la puntuación correspondiente es 0.

Si 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, la unión con la tubería sin fisuras y el refuerzo estructural no se encuentra expuesto se considera que la condición es regular con vulnerabilidad moderada, la nota en este caso es de 10.

Para el caso en el cual 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 y el refuerzo estructural se encuentra expuesto, esto se considera una condición deficiente, el nivel de vulnerabilidad se eleva a la categoría alta y la puntuación es de 15.

Por último cuando no existe muro de cabezal o el existente está deteriorado en más de 2/3 del área y ya no cumple su función se cataloga como inexistente, la vulnerabilidad consecuentemente es muy alta y la nota correspondiente es de 20.

## 3. Aletones

En el caso de los aletones, cuando este no presenta grietas ni desplazamiento, la unión con el muro del cabezal no tiene fisuras, refuerzo estructural no se encuentra expuesto y orientación con respecto al cause es adecuada, se considera una condición aceptable, la vulnerabilidad es baja y la nota correspondiente es de 0.

Si el deterioro superficial abarca menos de 1/3 del área del aletón, éste presenta agrietamientos de menos de 1 m de longitud y menos de 3 mm de ancho, la orientación con respecto al cause es adecuada y refuerzo estructural no se encuentra expuesto, la condición es calificada como regular, a lo cual se le asocia una vulnerabilidad moderada con nota 10.

En el caso de que el deterioro superficial comprenda más de 1/3 del área del aletón, presente agrietamientos de más de 1 m de longitud y más de 3 mm de ancho, la orientación con respecto al cause es inadecuada, refuerzo estructural se encuentra expuesto y además la cimentación de los aletones está expuesta por socavación, se considera que la condición es deficiente, a lo cual se le asocia un nivel de vulnerabilidad alta y una puntuación de 15.

Cuando no existen aletones o los existentes están deteriorados en más de 2/3 del área y ya no cumplen su función, además la cimentación de los aletones está expuesta por socavación se califica la condición de los aletones como inexistente, la vulnerabilidad consecuentemente es muy alta y la nota que corresponde es de 20.

## 4. Delantal

En el caso del delantal del cabezal, se considera que si este no presenta grietas ni desplazamientos, la unión con el muro del cabezal y los aletones no presenta fisuras, el refuerzo estructural no se encuentra expuesto y las dimensiones con respecto a los aletones es adecuada, la condición es aceptable, con una vulnerabilidad baja y la puntuación correspondiente es 0.

Cuando 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, las dimensiones con respecto a los aletones es adecuada y el refuerzo estructural no se encuentra expuesto, la condición se considera regular, a esta condición se le asocia una vulnerabilidad moderada y una puntuación de 10.

Si el deterioro superficial abarca más de 1/3 del área del delantal, éste presenta agrietamientos de más de 1 m de longitud y más de 3 mm de ancho, las dimensiones con respecto a los aletones es insuficiente, el refuerzo estructural se encuentra expuesto o la cimentación del delantal está expuesta por socavación, la condición es deficiente, generando una vulnerabilidad alta con nota de 15.

Finalmente, cuando no existen delantales o los existentes están deteriorados en más de 2/3 del área y ya no cumplen su función o la cimentación del delantal está expuesta por socavación, se considera que la condición es “inexistente”, con una vulnerabilidad asociada muy alta y una puntuación de 20.

## Aplicación de la Metodología

Para aplicar la metodología se seleccionaron las alcantarillas en rutas nacionales dentro de la GAM con un Tránsito Promedio Diario igual o superior a 30 000 vehículos. Esto se tradujo en una lista de 27 puntos a analizar.

Se realizaron inspecciones de campo para determinar la condición de las 27 alcantarillas elegidas, así como su entorno.

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

En la tabla N°1 se presenta el listado de las 27 alcantarillas seleccionadas para aplicar la metodología que aquí se presenta.

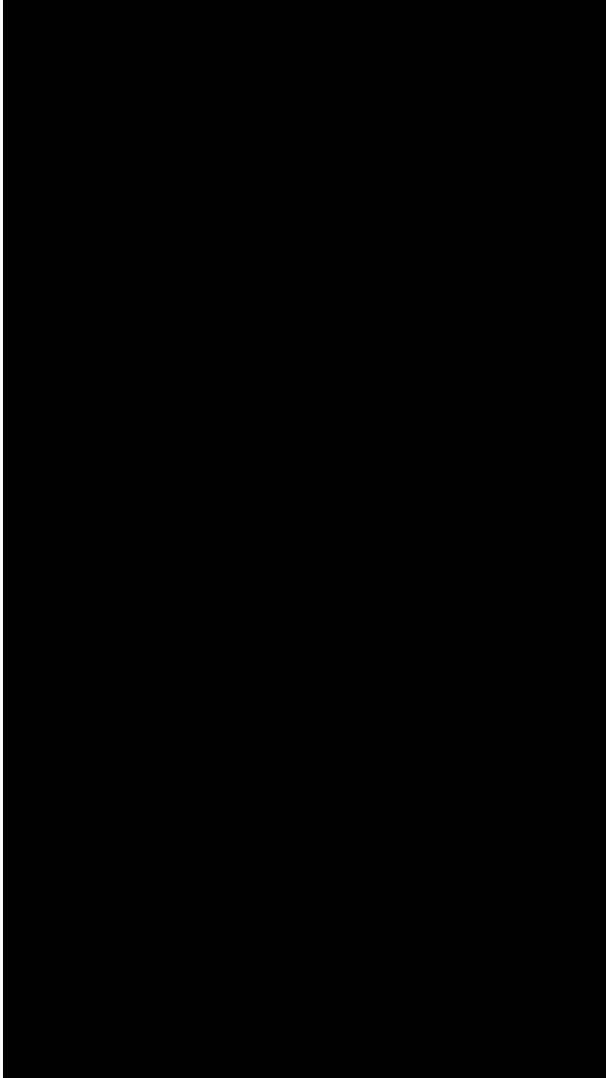
Las tablas subsiguientes resumen las puntuaciones y niveles de vulnerabilidad obtenidos luego de aplicar la metodología objeto de este estudio.

**Tabla 1.-** Alcantarillas seleccionadas para aplicar la metodología.

ID	Río - Quebrada	Otras Señas
001-02	Río Siquiares	Ruta 1 - Bernardo Soto; en el Coyal de Alajuela, de la Entrada a la Zona Franca BES 350 m este
001-04	SIN NOMBRE	Ruta 1 - Bernardo Soto, de la Sub Estación CNFL, 800 m oeste
001-05	Quebrada Seca	Ruta 1 - Autopista General Cañas, del puente de la Firestone 800 m sentido Alajuela - San José
001-06	Quebrada Guaria	Ruta 1 - Autopista General Cañas, alcantarilla de Los Arcos
001-08	Río Bermúdez	Ruta 1 - Autopista General Cañas, del puente peatonal de los Arcos 850 m Alajuela - San José
002-01	Río Ocloro	Ruta 2, Curridabat, contiguo a AutoStar y Yamuni
002-02	SIN NOMBRE	Ruta 2 - Florencio del Castillo, Cuesta del Fierro, contigua a la Bomba Cristo Rey
002-03	Quebrada Quirazú	Ruta 2 - Florencio del Castillo, Cuesta del Fierro, de la Bomba Cristo Rey 600 m este
002-08	Río Chagüite	Ruta 2 - Florencio del Castillo, del paso peatonal frente a PASOCA de San Juan de Tres Ríos 400 m oeste
002-10	Quebrada Zopilote	Ruta 2, en curridabat, del BAC San José 250 m sentido Noroeste contiguo Finca de los Figueres
003-01	Río Pirro	Ruta 3, Heredia de la intersección de la Avenida 8 y calle 7, 150 m sentido Heredia - San José
003-02	Río Bermúdez	Ruta 3, Heredia, de la entrada Los Lagos 200 m sur
032-01	Quebrada Rivera	Ruta 32, del paso a desnivel a Llorente 200 m sur, en dirección a la intersección La República
032-02	SIN NOMBRE	Ruta 32, del cruce de La República 800 m norte, frente a Estación de Servicio Ruta 32
032-03	Quebrada Cangrejos	Ruta 32, del cruce de La República 50 m norte

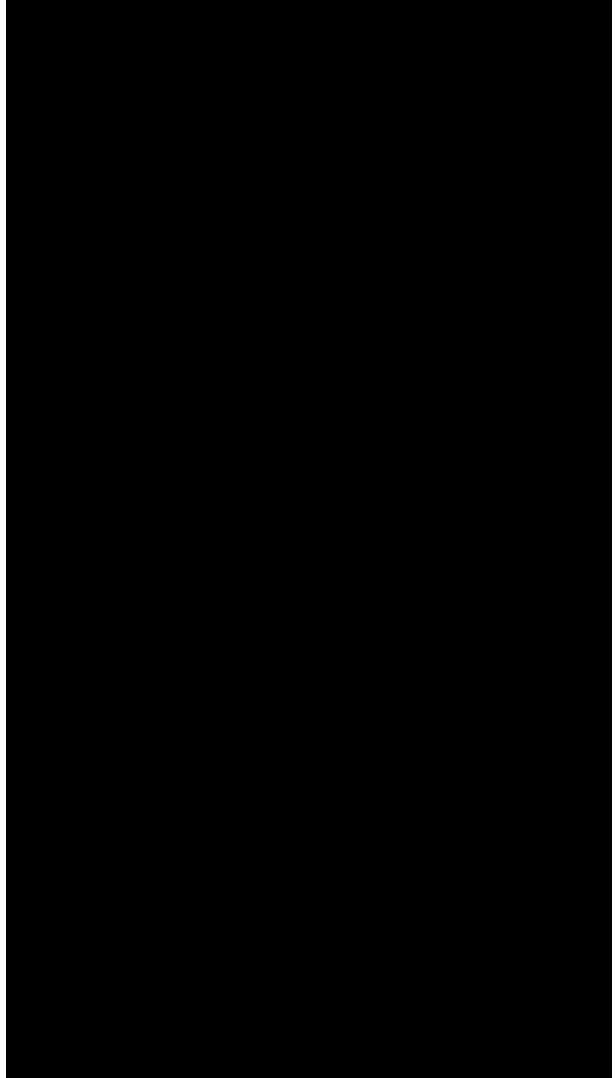
ID	Río - Quebrada	Otras Señas
039-01	Río Torres	Ruta 39 - Circunvalación entre General Cañas y Boulevard Ernesto Rohrmoser
039-02	Río Torres	Ruta 39 - Circunvalación entre Rotonda de la Bandera y Walmart de Guadalupe
039-03	Río María Aguilar	Ruta 39 - Circunvalación contiguo a la Y Griega lado Este
039-04	Río Ocloro	Ruta 39 - Circunvalación entre Rotonda de Zapote y Fuente de la Hispanidad
039-05	Quebrada Negritos	Ruta 39 - Circunvalación entre la rotonda de la Bandera y la Fuente de la Hispanidad, contiguo entrada a la UCR
106-01	Quebrada Guaria	Ruta 106, Barreal de Heredia, de la Zona Franca Metro 350 m este
108-01	Río Torres	Ruta 108, de la Intersección de La República, 500 m oeste, Radial de Concreto
109-01	Quebrada Barreal	Ruta 109 - Del Colegio Saint Francis 700 metros sur, contiguo a Panadería Trigo Bueno
147-01	Quebrada Rodríguez	Ruta 147, en Lindora contiguo a Matra y Servicio Red Total Lindora
147-02	SIN NOMBRE	Ruta 147, de la entrada de Bosques de Lindora 600 m norte, contiguo a Texaco
147-03	SIN NOMBRE	Ruta 147, frente a Proyecto Gol en San Rafael de Alajuela
209-01	Río Cucubres	Ruta 209, Desamparados, de la Clínica Marcial Fallas 600 m sur, frente a Bar Garibaldi

**Tabla 2.-** Notas de Vulnerabilidad del Sitio.

A large black rectangular area that completely redacts the content of Table 2.

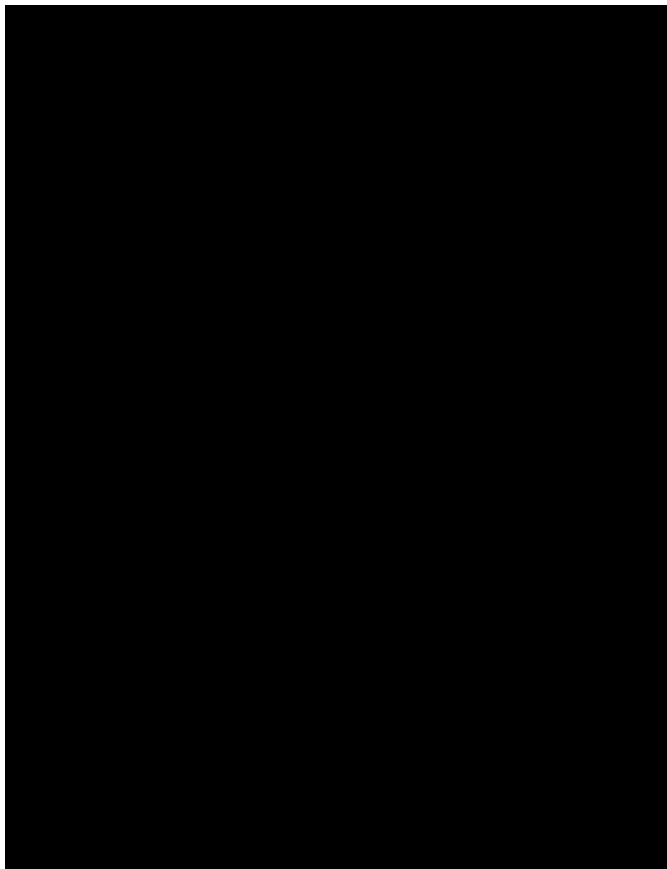
Tal como se observa, la mayoría de las alcantarillas presentan una vulnerabilidad “Moderada” (color amarillo) por este componente, seguido por un 30% que presentan una vulnerabilidad “Alta” (resaltado en naranja) por este mismo concepto.

**Tabla 3.-** Notas de Vulnerabilidad Estructural.

A large black rectangular area that completely redacts the content of Table 3.

La vulnerabilidad estructural se distribuye de forma más equitativa en las diferentes categorías. Según se observa, 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” (color rojo), la cual es mucho mayor que el 4% que se encuentra en esta condición por las condiciones del sitio.

Tabla 4.- Nota ponderada de Vulnerabilidad.



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.

## Conclusiones

La metodología desarrollada permite ponderar de forma objetiva la condición de los diferentes componentes que determinan la vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad del sitio en el cual se localizan las alcantarillas.

Producto de aplicar la metodología de evaluación en las 27 alcantarillas seleccionadas, se logró establecer que debido a las condiciones propias del sitio en el cual se localizan, un 11% de las alcantarillas presentan una vulnerabilidad “Baja”, un 55% presentan una vulnerabilidad “Moderada”, un 30% “Alta” y un 4% tiene vulnerabilidad “Muy Alta” por este mismo concepto.

La vulnerabilidad estructural se distribuye de forma más equitativa en las diferentes categorías. 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 categoría debido a las condiciones del sitio.

Al tomar en cuenta la combinación de los elementos del sitio y los elementos estructurales un 52% de las alcantarillas presenta una condición “Alta” de vulnerabilidad, ninguna tiene vulnerabilidad “Baja” y una alcantarilla obtuvo una nota que la ubica en la categoría “Muy Alta”.

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

La mayoría de las alcantarillas evaluadas presentan, tanto a la entrada como a la salida, componentes estructurales en condiciones regulares o deficientes.

## Bibliografía

**Asociación Costarricense de Geotecnia.** (2009) Código de Cimentaciones de Costa Rica. 2da ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2009. Cartago, Costa Rica.

**Bieniawski, Z. T.,** 1989: Engineering Rock Mass Classification. John Wiley & Sons, New York. 251 pp

**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.

**Denyer P. & Arias O.** (1991): Estratigrafía de la region central de Costa Rica. Revista Geologica de América Central, 12: 1-59pp

**Dirección de Planificación Sectorial.** (2013). Anuario de Información de Transito 2013. MOPT, Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación. Costa Rica: MOPT.

**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.