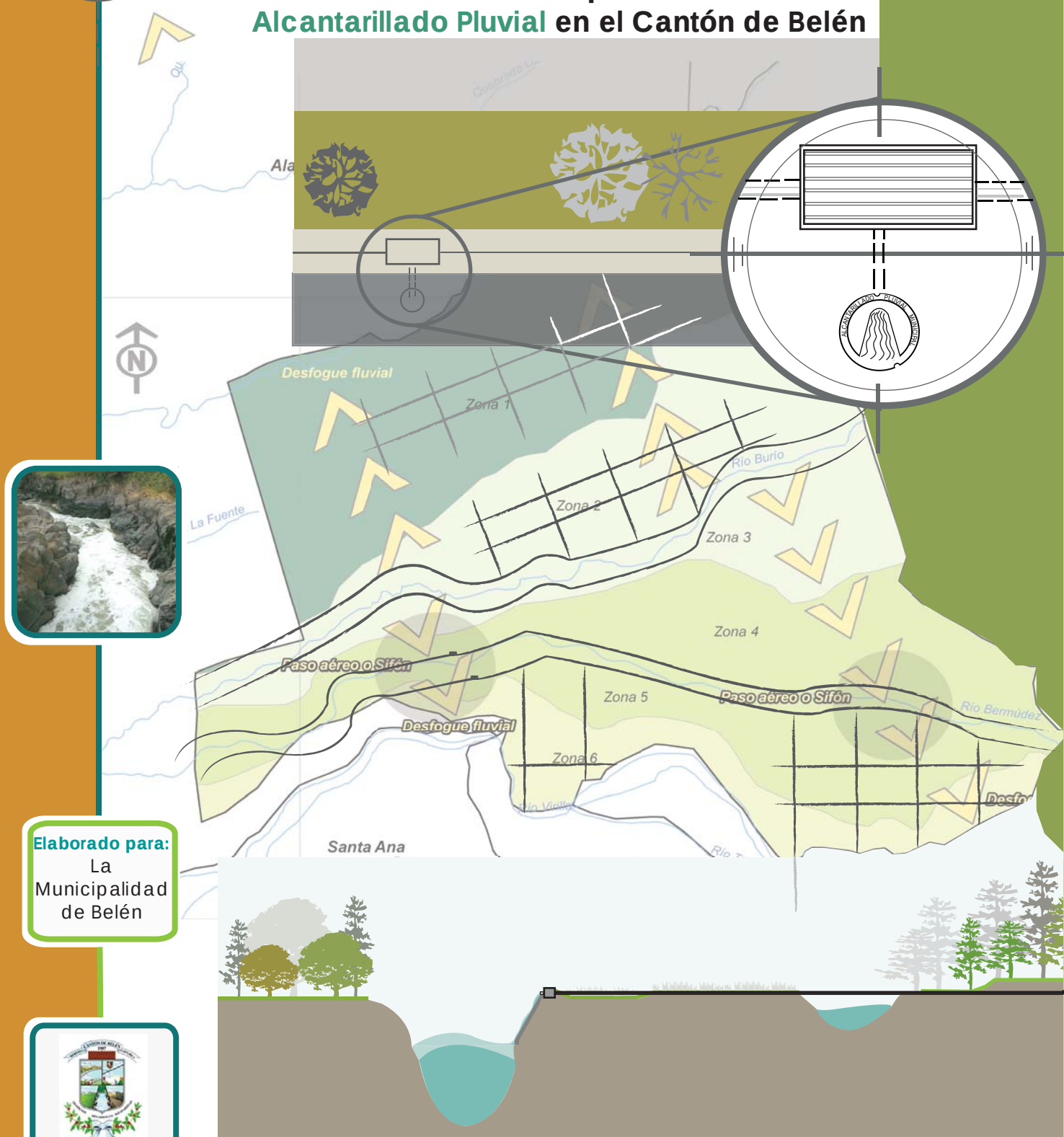


Informe Final

Términos de Referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el Cantón de Belén



Elaborado para:
La
Municipalidad
de Belén



ProDUS
Programa de Investigación en
Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS)

Escuela de ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

Telefax: 22 83 76 34 / 22 83 49 27

Página en Internet: www.produc.ucr.ac.cr

E-mail: produc@produc.ucr.ac.cr

CRÉDITOS

Dirección

Rosendo Pujol Mesalles

Redacción

Erick Gerardo Orozco Orozco

Coordinación y Edición

Rosendo Pujol Mesalles
Erick Gerardo Orozco Orozco
Luis Manuel Zamora González

Asistentes

Eduardo Rodríguez
Alexander Vega
Mabé Villar
Josselyne Murillo

Apoyo Administrativo

Ana Lorena Bolaños Sedó

ÍNDICE GENERAL

1. ASPECTOS GENERALES.....	TdR:APB 2-1
1.1 Introducción.....	TdR:APB 1-1
1.2 Objetivo general del proyecto.....	TdR:APB 1-1
1.3 Alcances del Proyecto	TdR:APB 1-2
1.4 Enfoque general del proyecto.....	TdR:APB 1-2
 2. TÉRMINOS DE REFERENCIA: DIAGNÓSTICO Y FACTIBILIDAD TÉCNICA	TdR:APB 2-1
2.1 Introducción.....	TdR:APB 2-1
2.2 Listado de información y análisis requeridos para la etapa de diagnóstico	TdR:APB 2-1
2.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de diagnóstico	TdR:APB 2-3
2.3.1 Revisión de inventarios y clasificación de información.....	TdR:APB 2-3
2.3.1.1 Información topográfica.....	TdR:APB 2-3
2.3.1.2 Cuerpos de agua superficial.....	TdR:APB 2-3
2.3.1.3 Carreteras y caminos	TdR:APB 2-3
2.3.1.4 Información meteorológica	TdR:APB 2-4
2.3.1.5 Uso del suelo.....	TdR:APB 2-4
2.3.2 Información de campo, integración e informes detallados de análisis	TdR:APB 2-4
2.3.2.1 Caracterización Geotécnica preliminar	TdR:APB 2-4
2.3.2.2 Caracterización hidrogeológica	TdR:APB 2-5
2.3.2.3 Propuesta de trazado de colectores principales	TdR:APB 2-6
2.3.2.4 Estudio sobre nuevas técnicas de diseño y constructivas de alcantarillados pluviales	TdR:APB 2-9
2.3.2.5 Análisis del efecto de las inundaciones en el cantón de Belén y generación de propuestas conceptuales para mitigar el impacto.....	TdR:APB 2-9
2.3.3 Viabilidad técnica	TdR:APB 2-10
 3. TÉRMINOS DE REFERENCIA: FACTIBILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA.....	TdR:APB 3-1
3.1 Introducción.....	TdR:APB 3-1
3.2 Productos esperados de la etapa de factibilidad ambiental y económica.....	TdR:APB 3-1
3.3 Detalles específicos de la información requerida en la etapa de factibilidad ..	TdR:APB 3-2
3.3.1 Evaluación ambiental preliminar.....	TdR:APB 3-2
3.3.2 Viabilidad económica y financiera.....	TdR:APB 3-3
3.3.3 Análisis económico	TdR:APB 3-3
3.3.4 Evaluación institucional.....	TdR:APB 3-7

4. TÉRMINOS DE REFERENCIA: DISEÑO Y PLAN MAESTRO.....	TdR:APB 4-1
4.1 Introducción.....	TdR:APB 4-1
4.2 Productos finales de la etapa de diseño	TdR:APB 4-1
4.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de diseño	TdR:APB 4-2
4.3.1 Diseño hidráulico.....	TdR:APB 4-2
4.3.2 Análisis geotécnico	TdR:APB 4-2
4.3.3 Diseño estructural	TdR:APB 4-3
4.3.4 Planos y especificaciones técnicas.....	TdR:APB 4-4
4.3.5 Memoria de cálculo	TdR:APB 4-4
4.3.6 Presupuesto	TdR:APB 4-5
4.4 Detalles específicos de la información requerida en la etapa de Plan Maestro TdR:APB 4-5	
5. TÉRMINOS DE REFERENCIA: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	TdR:APB 5-1
5.1 Introducción.....	TdR:APB 5-1
5.2 Productos finales de la etapa de diseño.....	TdR:APB 5-1
5.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de diseño	TdR:APB 5-1
5.3.1 Estudio de impacto ambiental	TdR:APB 5-1
5.3.2 Descripción y caracterización del sistema ambiental afectado	TdR:APB 5-2
5.3.2.1 Áreas de Influencia.....	TdR:APB 5-2
5.3.2.2 Medio Natural	TdR:APB 5-2
5.3.2.3 Medio Antrópico.....	TdR:APB 5-4
5.3.2.4 Áreas de valor patrimonial, natural y cultural	TdR:APB 5-6
5.3.2.5 Aspectos adicionales.....	TdR:APB 5-6
5.3.3 Esquema en el que se presentará el estudio	TdR:APB 5-6
6. TÉRMINOS DE REFERENCIA: SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE LAS OFERTAS	TdR:APB 6-1
6.1 Aspectos generales para todas las consultorías	TdR:APB 6-1
6.1.1 Aspectos comunes en la calificación de ofertas	TdR:APB 5-1
6.1.2 Sistema de calificación de equipo consultor en las ofertas	TdR:APB 5-2
6.1.3 Sistema de calificación de la empresa.....	TdR:APB 5-3
6.1.4 Personal y servicios de apoyo.	TdR:APB 5-4
6.1.5 Oficinas.	TdR:APB 5-4
6.1.6 Instalaciones que debe proporcionar el consultor.	TdR:APB 5-4
6.1.7 Gastos Imprevistos.	TdR:APB 5-4
6.2 Etapa de diagnóstico y factibilidad técnica.....	TdR:APB 6-4
6.2.1 Plazo	TdR:APB 5-4
6.2.2 Precio	TdR:APB 5-5
6.2.3 Especialistas principales.....	TdR:APB 5-5
6.2.4 Puntos para la evaluación.....	TdR:APB 5-7
6.3 Etapa de factibilidad ambiental y económica.....	TdR:APB 6-8
6.3.1 Plazo	TdR:APB 5-8
6.3.2 Precio	TdR:APB 5-8
6.3.3 Especialistas principales	TdR:APB 5-8
6.3.4 Puntos para evaluación	TdR:APB 5-11
6.4 Etapa de diseño y plan maestro	TdR:APB 6-12
6.4.1 Precio	TdR:APB 5-12
6.4.2 Plazo	TdR:APB 5-12
6.4.3 Especialistas principales.....	TdR:APB 5-12
6.4.4 Puntos para evaluación	TdR:APB 5-15
6.5 Estudio de impacto ambiental	TdR:APB 6-15
6.5.1 Plazo	TdR:APB 5-15
6.5.2 Precio	TdR:APB 5-15



6.5.3 Especialistas principales	TdR:APB 5-15
6.5.4 Puntos para evaluación	TdR:APB 5-17

7. COMENTARIOS GENERALES.....	TdR:APB 7-1
7.1 Sobre la importancia de manejar en paralelo los proyectos de alcantarillado pluvial y sanitario.....	TdR:APB 7-1
7.2 Sobre la forma en que convendría realizar la consultoría.....	TdR:APB 7-2

ANEXOS	TdR:APB A-1
A.1 Introducción	TdR:APB A-1
A.2 Información adicional	TdR:APB A-2

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Una red de alcantarillado pluvial, es un conjunto de tuberías y canales, estructuras de entrada (tragantes) y unión (pozos) así como de desfogue, que conforman el sistema de evacuación de las aguas de lluvia, y al cual descargan las acometidas de sistemas de drenaje de los inmuebles (canoas), y al que se deben conectar los sumideros pluviales dispuestos en vías y zonas públicas. Todas estas aguas, finalmente son dispuestas en cuerpo receptor con capacidad hidráulica tal, que pueda soportar el volumen de agua de escorrentía sin generar inundaciones.

Los procesos de impermeabilización del suelo (normalmente asociados a la urbanización), así como la deforestación en las zonas altas, generan grandes cambios en su comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas, el cual se ve reflejado en una insuficiencia de la capacidad hidráulica de los cauces de los ríos. Se presentan incrementos sustanciales en los volúmenes de escorrentía que debe manejar el cauce original, y disminuyen los tiempos de concentración de las cuencas, lo cual genera caudales mayores, con menor tiempo para controlarlos, y esto normalmente hace que se presenten inundaciones en las partes medias y bajas, lo que provoca grandes riesgos asociados y pérdidas materiales y en el peor de los casos humanas. Al mismo tiempo, los procesos de recarga se ven afectados, debido a la imposibilidad de infiltración del agua de la lluvia hacia las capas inferiores del suelo.

El cantón de Belén, es uno de los casos en Costa Rica en los cuales se ha dado un proceso de este tipo. El incremento en la frecuencia de las inundaciones, y los impactos causados por las mismas han aumentado con los años. La presión por la construcción de desarrollos inmobiliarios sobre terrenos actualmente cultivados o en pastos, ha sido constante en los cantones de las zonas altas de las cuencas, tales como Heredia, San Pablo, San Rafael, Flores y Santa Bárbara, como en el cantón mismo de Belén; esto, aunado a la invasión de las zonas de protección de los principales ríos, son dos procesos que han acrecentado los impactos provocado por las inundaciones.

Ante este riesgo, se han elaborado estudios en donde se analiza el comportamiento de las inundaciones en el cantón, al mismo tiempo que se proponen soluciones, las cuales generan mejoras de forma parcial. El origen del problema trasciende más allá de lo que la Municipalidad de Belén pueda proponer como solución dentro de su jurisdicción. Para este caso particular, debe ser el manejo integrado de las cuencas que tienen influencia sobre el cantón, lo que genere soluciones integrales.

La construcción de un alcantarillado pluvial, es una necesidad en el cantón de Belén, y forma parte del conjunto de proyectos requeridos para generar la integralidad sistémica en la respuesta hacia el manejo adecuado de las aguas superficiales. En el presente documento se presentarán los requerimientos técnicos necesarios, el enfoque metodológico así como parte de la información base requerida para el desarrollo del alcantarillado pluvial. En las etapas posteriores se describirán, los aspectos relacionados con la factibilidad técnica – ambiental - económica, así como la estrategia de diseño integral. Finalmente, todos estos elementos deberán quedar plasmados en un Plan Maestro, el cual será el producto final, en donde se brinden las pautas para el mantenimiento, ampliaciones, conexiones, entre otros, así como soluciones integrales para

el problemas de las inundaciones y estrategias de inversión en materia del manejo de las aguas pluviales.

1.2 Objetivo general del proyecto

Generar un proyecto de Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén, basado en las proyecciones dadas por el Plan Regulador, donde se analicen opciones tecnológicas para mejorar el drenaje de las aguas superficiales, sin afectar las zonas en donde se presentan problemas de inundaciones y con los mínimos impactos ambientales.

1.3 Alcances del Proyecto

El desarrollador del Plan Maestro de Alcantarillado Pluvial estará en la obligación de incorporar en el estudio:

- Propuestas de soluciones basadas en los estudios previos sobre inundaciones en el cantón, las cuales en la medida de lo posible disminuyan los problemas actualmente existentes.
- Propuestas de soluciones basadas en nuevas tecnologías y los costos involucrados en la utilización de estas, en donde se den beneficios tanto técnicos, económicos, sociales y ambientales.
- El desarrollo de un estudio en tres etapas: Diagnóstico; Factibilidad; Diseño y Plan Maestro.
- Una estrategia de inversión por etapas basada en el crecimiento actual (establecido por el uso del suelo existente) y futuro (establecido en primera instancia por el Plan Regulador del cantón y posteriormente por el planteamiento de escenarios).
- Requerimientos constructivos que garanticen la seguridad ciudadana producto de accidentes en obra, y no incidan en el deterioro ambiental, al mismo tiempo que disminuyan al máximo los impactos viales generados por la construcción del alcantarillado.
- Estudio de impacto ambiental.

1.4 Enfoque general del proyecto

Dadas las potestades legales concernientes a la Municipalidad, como administradora del proyecto de alcantarillado pluvial, y aunque se requieren soluciones integrales en materia del manejo de las inundaciones en el cantón, el enfoque del presente proyecto debe ser específico en primera instancia, lo cual significa que este solo generará soluciones a la escorrentía superficial generada dentro los límites políticos de la jurisdicción de la Municipalidad de Belén.

Sin embargo, no se debe dejar de lado en el proceso de análisis, el contexto hidrográfico en el cual se encuentra Belén, y todos los riesgos asociados al mismo. Los ríos Bermúdez y Quebrada Seca, afluentes del río Virilla, presentan actualmente una capacidad hidráulica

muy limitada, lo cual genera inundaciones y provoca grandes pérdidas materiales en el cantón.

La causa principal de las inundaciones en el cantón de Belén, es el mal manejo de las cuencas hidrográficas, relacionado principalmente con prácticas inadecuadas de uso de suelo, como sobre urbanización en zonas de recarga, y además de la deforestación en las zonas altas.

De ahí que, como parte del enfoque específico, también el diseñador del Plan Maestro de Alcantarillado Pluvial del cantón de Belén, deberá realizar:

- un análisis integral en donde generará propuestas para mitigar los efectos de las inundaciones, enfocado a nivel de cuenca.
- este análisis estará basado en estudios e información previa, y sustentado en las conclusiones obtenidas en la etapa de diseño.
- las propuestas quedarán dirigidas a un nivel conceptual, es decir, no se plantearán diseños como tal, sino solamente se hará mención a posibles soluciones, las cuales serán analizadas específicamente en estudios posteriores que contrate la Municipalidad, o realicen instituciones académicas.

Este análisis debe ser enfocado a nivel de cuencas hidrográficas, de ahí que se incorporarán soluciones en otros cantones, aunque esté fuera de la jurisdicción del cantón de Belén.

2. TÉRMINOS DE REFERENCIA: DIAGNÓSTICO Y FACTIBILIDAD TÉCNICA

2.1 Introducción

La etapa del diagnóstico, implica la búsqueda y evaluación de las variables implicadas en el diseño posterior del sistema de alcantarillado pluvial. Algunas de ellas son la topografía, geología y geomorfología, crecimiento urbano, geotecnia, entre otros aspectos, los cuales influirán sobre la estrategia metodológica y la escogencia de las opciones tecnológicas de diseño. Otros, como la vulnerabilidad de la contaminación de aguas subterráneas, así como la distribución y la escogencia en los alineamientos de los colectores principales, son dos de los temas que se analizarán posteriormente con la información generada en el diagnóstico.

Esta es una fase de gran importancia en el Plan Maestro, ya que define las condiciones en las que tendrá que operar el sistema, entre las que sobresalen aspectos técnicos como las pendientes que tendrán los conductos, pero también se presentan aspectos como la vulnerabilidad ambiental, entendida desde toda su perspectiva integral y sistémica (recurso hídrico, impacto de la construcción sobre los sistemas de transporte, por citar dos casos).

Como parte del diagnóstico, el diseñador debe elaborar una lista taxativa de variables que se deberán incorporar, actualizar y completar. Algunas de estas son:

- topografía
- red vial
- red hídrica
- entre otros

También se realizarán algunos estudios específicos, enfocados a definir el marco de diseño, construcción y operación del sistema, así como sus posibles impactos.

La factibilidad técnica representa en el esquema conceptual, la definición de la estrategia que seguirá el proyecto. Es decir, a partir de esta fase, se escogerá una alternativa, que regirá la ejecución de la etapa de diseño, en donde se determinarán propiamente los aspectos específicos, como los elementos hidráulicos, geotécnicos, estructurales y ambientales que operarán.

Al ser una etapa intermedia, la factibilidad técnica involucra los análisis basados en la información proveniente de la etapa del diagnóstico. Algunos insumos son: la caracterización geotécnica, la caracterización hidrogeológica, el estudio sobre nuevas técnicas de diseño y construcción de alcantarillados. Se liga directamente con el estudio de factibilidad económica e institucional que corresponderá a la siguiente fase en ejecución.

2.2 Listado de información y análisis requeridos para la etapa de diagnóstico

Como parte del diagnóstico se debe incorporar información básica para los estudios. Alguna se obtiene en campo, mientras que otra puede obtenerse de fuentes secundarias como estudios previos, o información cartográfica existente y publicada en el país. No obstante en el anexo se presentan una serie de mapas que contienen gran parte de la información necesaria, así como artículos y tablas que aportan información adicional. Esta información debe ser analizada y mejorada durante la etapa del diagnóstico.

La lista general consiste en:

- Curvas de nivel a cada 0,5 metros para de todo el cantón, las cuales permitan desarrollar un modelo de elevación digital con suficiente precisión en altimetría para el diseño posterior.
- Mapa de pendientes del cantón.
- Un inventario actualizado y georreferenciado de todos los ríos, quebradas, canales y cuerpos de agua existentes, con el fin de determinar todos los posibles cauces receptores en el diseño.
- Un inventario actualizado y georreferenciado de calles y caminos, en donde se muestre cuales son nacionales, municipales, públicas y privadas.
- Información de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio con datos de intensidad de precipitación, las cuales puedan ser utilizadas en la etapa de diseño para determinar los caudales en las tuberías.
- Un mapa de uso de suelo actualizado como mínimo al año 2005.
- Una caracterización geotécnica, la cual permita identificar a nivel superficial cuales son los estratos de suelo presentes, sus comportamiento y sus características mecánicas como material de cimentación para un sistema de alcantarillado.
- Información geológica, y geomorfológica para el cantón, proveniente de estudios previos realizados. Puede ser necesaria la realización de estudios adicionales, mediante la cual sea posible determinar el tipo de material y el comportamiento hidrogeológico, así como la vulnerabilidad ante la contaminación de acuíferos por aguas superficiales en caso de fugas en el sistema de alcantarillado.
- Propuestas de trazado de los colectores principales, en donde se busque de una forma técnica y económicamente viable, el desfogue del total de escorrentía solamente en los ríos Segundo y Virilla.
- Un estudio de propuestas de nuevas tecnologías de diseño y construcción de alcantarillados pluviales, y los costos asociados a la implementación de estas. En el estudio se deben incorporar también las opciones tradicionales que se utilizan en Costa Rica.
- Un análisis comparativo de los estudios realizados previamente en materia de inundaciones en el cantón por las diferentes instituciones del país, en donde al final, luego de un análisis integral basado en el enfoque de cuenca, se presenten propuestas para mitigar el problema de inundaciones en el cantón de Belén.

Como parte de la fase de factibilidad técnica y ambiental, deben obtenerse opciones que permitirán establecer un diseño en la etapa posterior. El producto que el consultor deberá entregar es:

- La escogencia de dos o más opciones técnicas para el posterior análisis económico y evaluación ambiental preliminar. La decisión estará dirigida tanto en el aspecto referido a la propuesta espacial de colectores, la forma en que se trasladarán las aguas hacia los distintos ríos; y desde la perspectiva propiamente tecnológica, el sistema constructivo que se usará y su validez en cuanto a los costos que genere.

2.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de diagnóstico¹

2.3.1 Revisión de inventarios y clasificación de información

2.3.1.1 Información topográfica

Esta información será aportada por la Municipalidad antes del arranque del proceso de elaboración del diagnóstico. Las curvas de nivel deben estar separadas cada 0,5 m de elevación. Al mismo tiempo la municipalidad entregará los perfiles topográficos obtenidos para secciones de los ríos Quebrada Seca y Bermúdez, elaborados previamente para otros estudios. Se deberán elaborar perfiles adicionales a cada 200 metros de longitud de los ríos Virilla y Segundo, con anchos de cien metros a cada lado de la línea centro de los cauces.

Como parte del insumo, se presentan los mapas de topografía y de pendientes en el anexo (mapas A-4 y A-5), los cuales han sido elaborados con curvas de nivel a cada 5 metros de diferencia en elevación, proveniente de las hojas cartográficas 1:10000 del IGN.

La información topográfica de calidad es fundamental para el diseño de tuberías de alcantarillado en zonas tan planas como el caso de Belén. Junto con las curvas de nivel, deberá también el levantamiento de las redes subterráneas actuales, las cuales se puedan ver afectadas posteriormente durante la etapa de construcción del proyecto. Entre las principales, deben ubicarse las redes de acueducto, así como colectores actuales que existan tanto de alcantarillado pluvial como sanitario, y redes eléctricas subterráneas.

2.3.1.2 Cuerpos de agua superficial

Durante la etapa de diagnóstico, se debe hacer un estudio exploratorio de los cuerpos de agua existentes en el cantón. Como base se tomará el mapa A-6 que se muestra en el anexo, el cual corresponde a la red hídrica de Belén, la cual fue obtenida de las hojas cartográficas 1:10000 del IGN. En la etapa del diagnóstico el consultor tendrá la obligación de entregar este mapa actualizado, incorporando cauces que no estén inventariados ni georreferenciados en la escala mostrada, o en su defecto, validando el mapa actual.

El detalle de los cauces sobre los cuales puedan ser vertidas las aguas pluviales, generará opciones adicionales para no verter sobre los ríos Quebrada Seca y Bermúdez, los cuales actualmente presentan problemas con su capacidad hidráulica.

2.3.1.3 Carreteras y caminos

El trazo de los sistemas de alcantarillado, debe realizarse sobre la red de carreteras y caminos públicos, de ahí que el inventario de los mismos y su clasificación en carreteras nacionales, y cantonales, así como los caminos privados es una tarea durante la etapa del diagnóstico.

En el mapa A-7 del anexo, se presenta la red vial del cantón de Belén, basada en las hojas cartográficas 1:10000 del IGN. Esta se tomará como base para definir el mapa que se entregará al final de etapa de diagnóstico. Al ser este mapa del año 1989, es fundamental su actualización, por lo cual se le deben adicionar nuevas calles públicas que no estén incorporadas en la red que se presenta.

¹ Toda la información cartográfica de esta etapa se entregará en formato shapefile (.shp) compatible con los sistemas de cómputo GIS.

2.3.1.4 Información meteorológica

Uno de los datos más importantes en la etapa de diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial es la información meteorológica. Estos serán los que brindarán una economía en el diseño, o por el contrario generan una falla del proyecto durante el proceso de operación si son subestimados.

Para este caso se dispone de información meteorológica proveniente de un estudio específico. Este es el caso del estudio realizado por Murillo, 1994. En el anexo se muestra en el mapa A-8 las estaciones meteorológicas con datos de intensidad de precipitación. Se presentan también las tablas con los datos de intensidad de las estaciones Aeropuerto Juan Santamaría y Aeropuerto Pavas, las cuales serán las que se utilizarán en el diseño. Para detalles adicionales, es posible consultar la fuente original de dicho estudio.

- Murillo, Rafael. *Estudio de intensidades de lluvia en la cuenca del Río Virilla*. Proyecto de graduación. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, 1994.

En caso de que el diseñador considere conveniente actualizar el estudio de Murillo, o disponga de información más reciente y validada, podrá utilizar esta para el diseño. En caso contrario, será el estudio de Murillo el que se utilizará como base para la información meteorológica.

2.3.1.5 Uso del suelo

Uno de los parámetros que define el volumen de escorrentía que debe evacuar el sistema de alcantarillado pluvial, es el porcentaje de impermeabilización del suelo. Este se define en función del uso actual, y se debe proyectar a futuro basado en las propuestas hechas por el Plan Regulador del cantón. No obstante, dada la vigencia que puede tener un Plan Regulador, se debe plantear un escenario futuro, con las condiciones que de forma conservadora, se acerquen a las que podrían fungir en la etapa de operación del proyecto.

Al final de diagnóstico, el consultor estará en la tarea de verificar y actualizar el mapa de uso de suelo (mapa A-9), el cual será uno de los insumos base para la etapa de diseño.

Para la actualización de este uso del suelo, se recomiendan además de la inspección de campo, el uso de las fotografías aéreas escala 1:5000 del proyecto BID-Catastro, del año 2005.

2.3.2 Información de campo, integración e informes detallados de análisis

2.3.2.1 Caracterización Geotécnica preliminar

El comportamiento geotécnico del suelo de cimentación es uno de los factores que inciden directamente sobre la propuesta de diseño del sistema de alcantarillado, y por ende del costo del mismo.

En el caso de los sistemas flexibles, la tubería en sí misma no provee una resistencia estructural, por lo cual esta es aportada por el confinamiento que generan los materiales de relleno. Estos deben ser escogidos e incorporados adecuadamente para que protejan el conducto.

En el caso de Belén, se presenta una caracterización geotécnica a escala general, la cual permite al diseñador tener datos preliminares sobre las características de los suelos en los cuales se desarrollará el proyecto. Esta fue elaborada por Bogantes et al, 2002. En el mapa A-10 se muestra la clasificación geotécnica para el cantón de Belén, y además el artículo que da origen a esta zonificación de suelos para el país.

Al final de la etapa de diagnóstico se deberá tener un listado general de las características geotécnicas de estos suelos, lo cual permitirá en la etapa posterior de diseño definir que tipología constructiva es conveniente utilizar según el material de cimentación.

Como parte también del análisis geotécnico, se deberá incorporar como mínimo la información que aportan los siguientes estudios:

- Bogantes, Roy. *Propuesta de zonificación geotécnica para el área metropolitana*. Tesis Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, 1999.
- Lacayo, Luis Gonzalo. *Suelos residuales de origen volcánico en el Valle Central Occidental de Costa Rica*. Proyecto de graduación. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, 2004.

2.3.2.2 Caracterización hidrogeológica

La zona de Belén presenta una gran fragilidad en materia de recurso hídrico producto de la permeabilidad de los estratos presentes.

Para la caracterización hidrogeológica se tienen dos mapas base, la geología (mapa A-11) y la geomorfología (mapa A-12). Para la explicación de estos mapas, y la caracterización de las unidades, el diseñador puede consultar las siguientes fuentes:

- *Atlas Geológico de la Gran Area Metropolitana*. Compilado por Percy Denyer y Siegfried Kussmaul. Editorial Tecnológica Costarricense. 1994.
- Bergoeing, Jean Pierre et al. *Carta geomorfológica del Valle Central de Costa Rica*. Publicado por el Instituto Geográfico Nacional. 1981.

Como elementos para el análisis hidrogeológico, se presentan dos insumos más, los mapas A-13 y A-14 muestran las capacidades de recarga y de potencial de captación de aguas subterráneas en el cantón, y en los cantones vecinos. Junto con estos mapas, el diseñador deberá analizar como mínimo los siguientes estudios:

- Gómez, Alicia. *Evaluación del potencial de los acuíferos y diseño de las captaciones de agua subterránea en la zona de Puente de Mulas provincia de Heredia, Costa Rica*. Tesis. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias. Escuela Centroamericana de Geología, 1987.
- Losilla, M et Agudelo, C. Hidrogeología del área de Puente de Mulas y Tajo Pedregal, San Antonio de Belén, Heredia. Dirección General de Geología y Minas (MINAE), Productos Pedregal, S.A. Recomendación 2 de la resolución #590 DGM del 3 de agosto de 2001.
- Torres, Laura. Análisis de la vulnerabilidad del recurso hídrico de un sector de la Gran Área Metropolitana. Proyecto de graduación. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, 2003.

Al final de la etapa de diagnóstico, el diseñador estará en la tarea de presentar un informe detallado sobre los riesgos ambientales de contaminación del recurso hídrico subterráneo,

así como una estrategia para mitigarlos, enfocada a las técnicas constructivas adecuadas, así como el control de fugas de los sistemas de alcantarillado pluvial.

Sobre este último aspecto, se debe destacar que las aguas residuales domiciliarias (tanto negras como jabonosas), no deben incorporarse a la red de alcantarillado pluvial. De ahí la importancia de desarrollar el alcantarillado sanitario como proyecto paralelo.

2.3.2.3 Propuesta de trazado de colectores principales

Como parte del diagnóstico, y a partir de toda la información generada previamente, el diseñador presentará un trazo preliminar de los colectores principales de escorrentía superficial. Este trazo buscará en principio transportar toda el agua del cantón a los ríos Segundo y Virilla, incluidas propuestas de pasos aéreos por los ríos Quebrada Seca y Bermúdez, mediante obras que se incorporarán posteriormente en los costos para la etapa de factibilidad. En el mapa 2-1 se describe la forma en que se trasladará la escorrentía para la propuesta como alternativa A.

Se presentan perfiles basados en la topografía 1:10000 del IGN en el anexo (mapa A-15), los cuales solamente ejemplifican algunas de las rutas viales principales del cantón y sus diferenciales de elevación con respecto a los ríos.

Como objetivo en este caso, se deben realizar el menor número de pasos de tuberías sobre los ríos que atraviesan el centro del cantón en el sentido este – oeste.

Adicionalmente debe elaborarse otra propuesta, la alternativa B de trazado la cual se muestra en el mapa 2-2, que tenga las siguientes características:

- Se tenga el trazo de los colectores principales sin realizar pasos aéreos por los ríos Quebrada Seca y Bermúdez.
- Se de el vertido de las aguas de escorrentía superficial en las zonas aguas abajo, en las cuales se generen el menor impacto para los pobladores.
- Territorio entre los ríos Segundo y Quebrada Seca drenará hacia el río Segundo.
- Territorio entre los ríos Quebrada Seca y Bermúdez, drenará hacia estos ríos (incluye todo el centro del cantón).
- Terrenos al sur del río Bermúdez deberán drenar sus aguas pluviales hacia el río Virilla.

Mapa 2- 1: Alternativa A de trazado para diseño que debe ser evaluada

Simbología

— Ríos

— Límite Cantonal

Cuencas hidrográficas

■ Río Segundo

■ Río Burio (Queb. Seca)

■ Río Bermúdez

■ Río Virilla

Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:30 000

0 250 500 1 000
Metros

Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén



Alternativa A = zona 1 y zona 2 hacia Río Segundo
zona 3 y zona 4 hacia Río Virilla (mediante pasos aéreos u otras opciones)
zona 6 y zona 7 hacia Río Virilla

Zona 1 = Cuenca Río Segundo

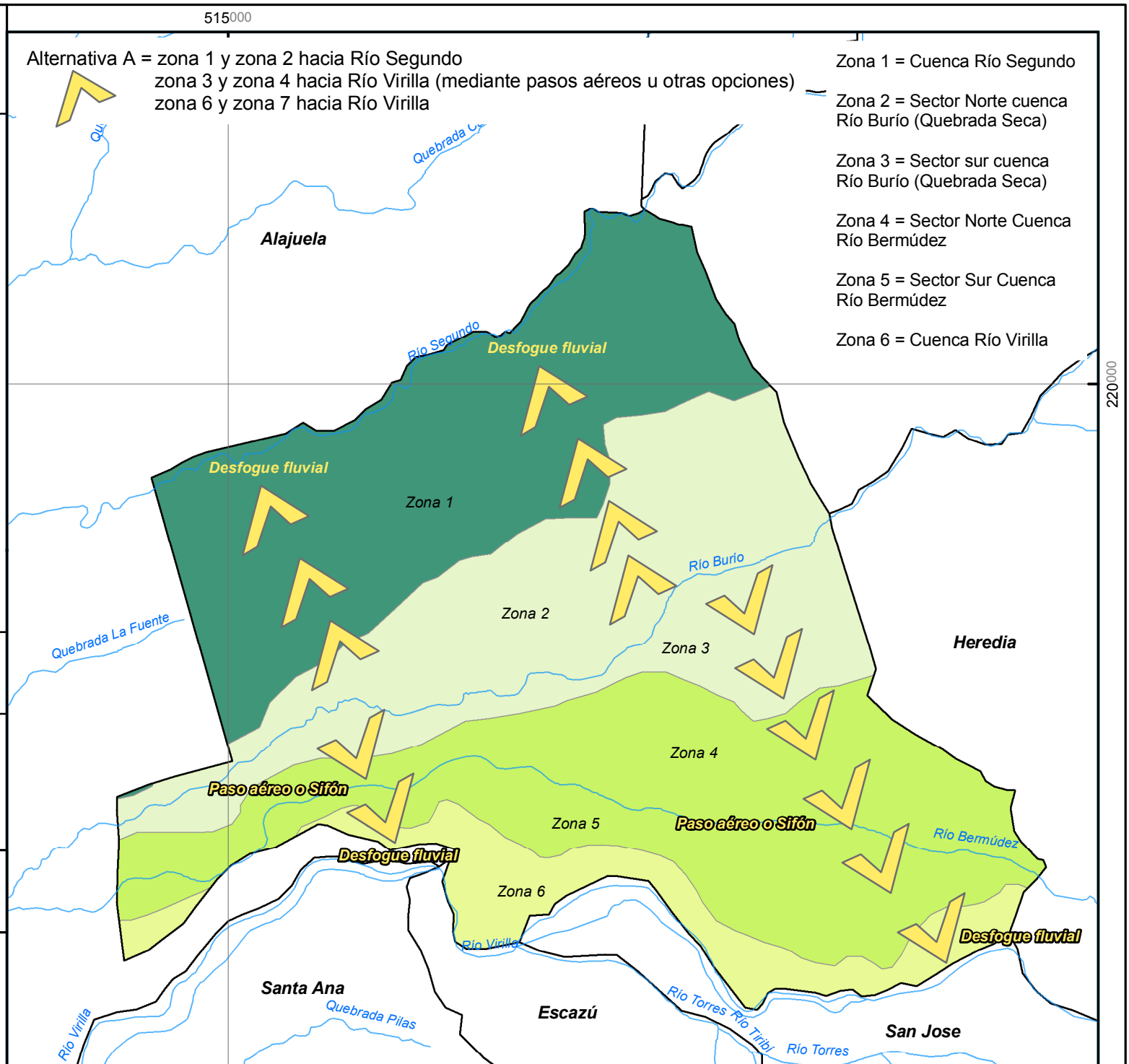
Zona 2 = Sector Norte cuenca
Río Burio (Quebrada Seca)

Zona 3 = Sector sur cuenca
Río Burio (Quebrada Seca)

Zona 4 = Sector Norte Cuenca
Río Bermúdez

Zona 5 = Sector Sur Cuenca
Río Bermúdez

Zona 6 = Cuenca Río Virilla



Mapa 2- 2: Alternativa B de trazado para diseño que debe ser evaluada

Simbología

— Ríos

— Límite Cantonal

Cuencas hidrográficas

■ Río Segundo

■ Río Burio (Queb. Seca)

■ Río Bermúdez

■ Río Virilla

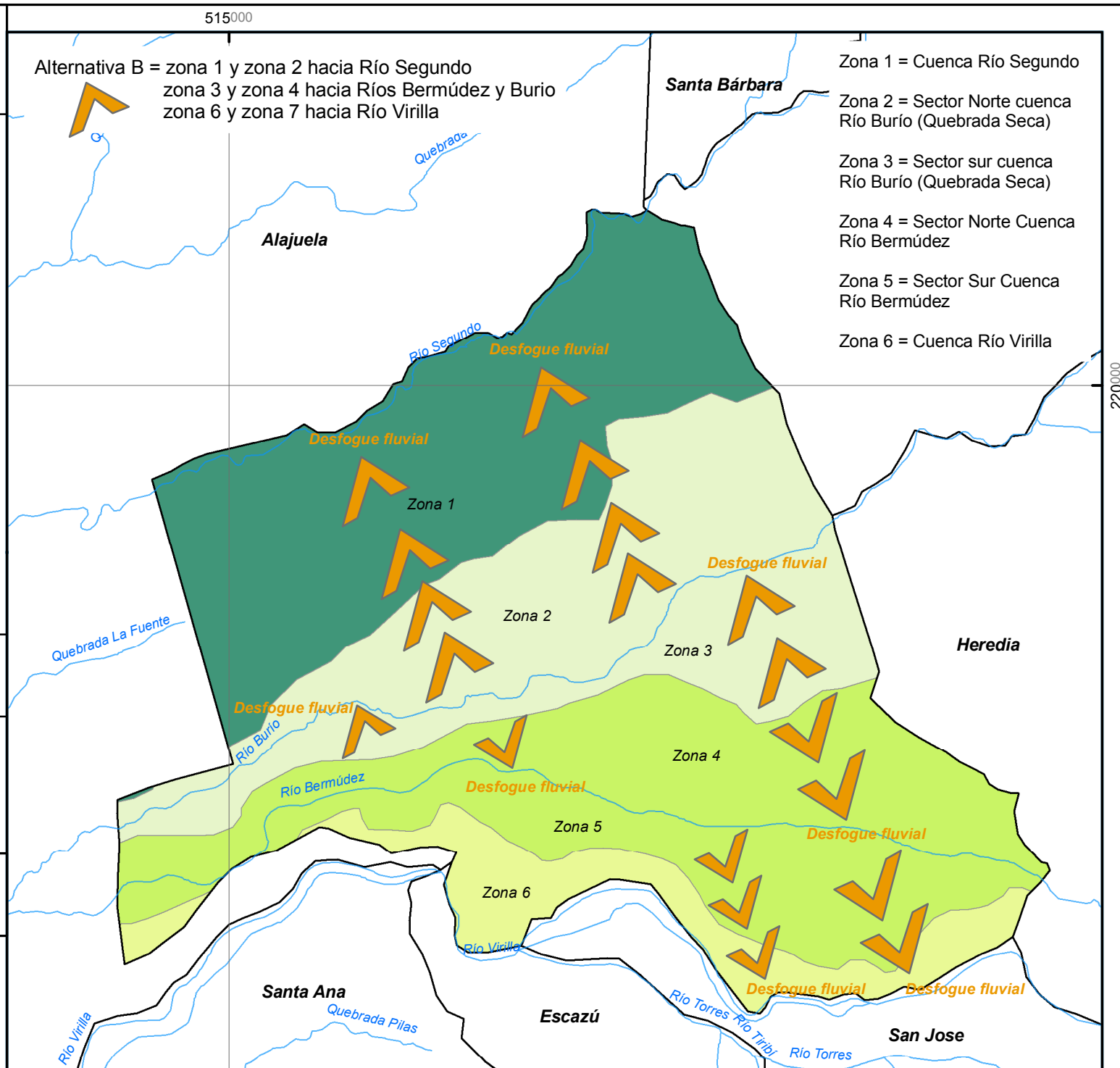
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:30 000

0 250 500 1 000 Metros

Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



En caso de considerarse por parte del equipo consultor que existe una tercera alternativa, deberá incluirla como parte del proceso de análisis, pero desde toda perspectiva, esta deberá estar enfocada a que se presenten mejoras en la condición de inundabilidad que actualmente sufre el cantón.

2.3.2.4 Estudio sobre nuevas técnicas de diseño y constructivas de alcantarillados pluviales

En esta sección, el diseñador deberá presentar cuales son actualmente las tecnologías de punta en la construcción de alcantarillados pluviales. De ellas, junto con el detalle técnico que caracteriza a cada una, se deben también incorporar aspectos financieros que permitan tener la base para el análisis en la etapa posterior de factibilidad.

Se deben buscar opciones que puedan permitir una adecuada aplicación del sistema al área metropolitana costarricense. Se deben destacar como puntos fundamentales los beneficios, tanto técnicos, como sociales y económicos que puedan generar, pero al mismo tiempo las desventajas y limitaciones tecnológicas y constructivas, así como de costos, con lo cual se disponga de información a un nivel de detalle suficiente para decidir cual es la alternativa más adecuada.

Finalmente, el estudio concluye definiendo un diámetro estándar de tubería, y los costos asociados para las diferentes técnicas propuestas, dentro de las cuales se incluirán los sistemas de tubería rígida y flexible, los cuales han sido y son de los más utilizados en el país.

2.3.2.5 Análisis del efecto de las inundaciones en el cantón de Belén y generación de propuestas conceptuales para mitigar el impacto

El último de los estudios que se debe incorporar al diagnóstico, es un análisis de las investigaciones realizadas para el tema de las inundaciones en el cantón de Belén.

El diseñador estará en la tarea de incorporar como mínimo en el estudio las siguientes investigaciones:

- Marín, Mario. *Estudio del escurrimiento y la contaminación en la cuenca de la quebrada seca*. Informe de Proyecto final de graduación presentado para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. Enero 1991
- Calderón, Pablo. *Modelación hidrológica e hidráulica para el control de inundaciones en la quebrada seca*. Proyecto de Tesis presentado para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica, Enero 1999.
- Solís, Hernán y Calderón, Pablo. *Evaluación y solución de áreas inundables en San Antonio de Belén, usando modelos hidrológicos e hidráulicos*. Revista Ingeniería, Número 9. Páginas 135 – 147. Universidad de Costa Rica. 1999
- Segura, Laura. *Modelación hidráulica de la Quebrada Seca para el manejo de inundaciones en el cantón de Belén*. Proyecto de Tesis presentado para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica, 2004.
- Instituto Costarricense de Electricidad. *Valoración del Traspase del Río Quebrada Seca*. Elaborado para la Municipalidad de Belén. Junio 2008.
- Mapa oficial de amenazas del cantón de Belén por la Comisión Nacional de Emergencias.

No obstante de disponerse de otros estudios elaborados en instituciones estatales, el diseñador deberá integrarlos al análisis.

A partir del análisis y brindando un enfoque global de cuenca, el diseñador propondrá conceptualmente soluciones al problema de las inundaciones en el cantón, involucrando las responsabilidades y los cambios u obras requeridos por otras municipalidades para mejorar la condición del cantón de Belén en materia de riesgo por inundaciones.

2.3.3 Viabilidad técnica

En la etapa del diagnóstico se plantearon las diferentes tecnologías existentes en las propuestas de diseño y construcción de los sistemas de alcantarillado pluvial. Al mismo tiempo se realizó una propuesta preliminar del trazado de los principales colectores.

A partir de estas dos condiciones, junto con los demás estudios elaborados (hidrogeológico, geotécnico y sobre inundaciones), que se deben presentar durante la etapa del diagnóstico por parte del equipo consultor, será posible determinar la viabilidad técnica en la ejecución del proyecto.

Uno de los productos principales de esta etapa, es la evaluación y propuestas para que en el diseño sea posible evacuar el agua de escorrentía de todo el cantón bajo dos condiciones:

- sin realizar bombeo
- sin realizar vertidos a los ríos Quebrada Seca y Bermúdez.

En caso de determinarse que no es posible realizar esta operación producto de las condiciones tanto topográficas como hidráulicas de los distintos cauces, se procederá a plantear una nueva alternativa por parte del consultor, en donde se minimice la cantidad de agua que se verterá en los ríos Bermúdez y Quebrada Seca. Esta se basará en la propuesta B de trazado presentada por el equipo consultor en la sección 2.3.2.3.

Al mismo tiempo al final de esta etapa se deberá tener una alternativa tecnológica escogida y valorada, para que en el diseño posterior sea enfocado hacia la ejecución de esta tecnología.

3. TÉRMINOS DE REFERENCIA: FACTIBILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA

3.1 Introducción

La importancia ambiental que reviste el proyecto de alcantarillado pluvial como conjunto de soluciones para mitigar los problemas de inundaciones en el cantón, genera la necesidad realizar una evaluación ambiental preliminar, la cual permita definir la viabilidad ambiental de acuerdo a parámetros generales.

En este caso se presentan dos elementos de afectación principales, uno positivo como es parte de la solución al problema de las inundaciones, mientras que otro de impacto que pudiese ser negativo, como lo es la afectación de los sistemas hídricos subterráneos del cantón. No obstante existen otros elementos ambientales que podrían verse impactados, los cuales serán definidos por parte del equipo consultor, así como las acciones generales impactantes que se darán dentro del proyecto.

El tipo de desarrollo en la infraestructura del cantón que se propone, debido a la importancia que reviste, debe ser considerado desde toda perspectiva un proyecto de inversión, y no de gasto genérico.

Desde el plano económico, la trascendencia financiera, y ante todo en materia de requerimientos de infraestructura para un cantón con tanto desarrollo actual como el caso de Belén, implica concebir la alternativa que permita desarrollar de la forma más segura la inversión que se realizará, por lo cual un análisis económico y financiero preciso y delimitado por las condiciones actuales y futuras, es fundamental para el éxito del proyecto.

El estudio de factibilidad económica, será el paso final antes de seleccionar la alternativa base, para luego iniciar con la etapa de diseño. Para esta se requerirán profesionales adecuadamente entrenados en materia económica y financiera, los cuales permitan en conjunto con la Administración Municipal y el diseñador del alcantarillado pluvial, definir cual será la mejor alternativa para el desarrollo del proyecto.

3.2 Productos esperados de la etapa de factibilidad ambiental y económica

Como parte de la fase de factibilidad ambiental y económica, se generara desde la perspectiva tanto técnica (la cual se presentó en la etapa anterior), como principalmente económica y financiera, una alternativa, la cual será la que permitirá establecer un diseño en la etapa posterior. Esta alternativa estará dirigida hacia los beneficios sociales y ambientales generados con la construcción del alcantarillado.

La lista general de productos de esta etapa es:

- La factibilidad ambiental reflejada a partir de los estudios elaborados en la etapa del diagnóstico, e información adicional. Se realizará una evaluación ambiental preliminar, en donde se definirá si ambientalmente el proyecto es viable, y cuales serían aspectos en el diseño que se deben considerar para mitigar posibles impactos durante la construcción y operación.
- Un estudio sobre la viabilidad tanto económica como financiera, en donde a partir de las propuestas técnicas y ambientales establecidas, así como la información del diagnóstico en cuanto a costos asociados a cada una de las tecnologías, se definirá el valor económico asociado a cada una de las opciones.

- La evaluación institucional, que en este caso se entiende por definir cual será la estrategia que empleará la municipalidad para la recuperación de la inversión a los beneficiados directos e indirectos. Aun siendo la Municipalidad de Belén, la que presenta mejores niveles de recaudación y administración de recursos a nivel nacional y centroamericano, un proyecto de este tipo, por su magnitud, su importancia y el costo asociado, requiere un análisis detallado desde la perspectiva económica y legal e institucional, así como la metodología de cobro, la cual se implementará por primera vez en el país.

3.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de factibilidad

La meta principal es que el equipo consultor pueda desarrollar una metodología acorde con las necesidades económicas, técnicas, ambientales e institucionales de la municipalidad de Belén.

De considerarse pertinente por parte del equipo consultor, se incorporarán observaciones adicionales, y análisis que no se incluyen en estos términos de referencia, los cuales enriquezcan y permitan tomar decisiones más fundamentadas en la escogencia de la mejor alternativa, tanto desde la perspectiva ambiental como económica.

3.3.1 Evaluación ambiental preliminar

En la ejecución del proyecto de alcantarillado pluvial, la elaboración del estudio de impacto ambiental es necesaria, según lo establece el “*REGLAMENTO GENERAL SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)*”.

No obstante, por el costo asociado y la precisión en la definición de los impactos, el estudio de impacto ambiental (EslA) formal se realizará después de que esté concluida la etapa de diseño. Durante esta fase de factibilidad ambiental preliminar, el equipo consultor, basado en los estudios previos que se realizaron durante el diagnóstico e información adicional, deberá realizar una evaluación ambiental previa y proponer guías con consideraciones del contexto ambiental que tienen que ser consideradas durante el diseño para mitigar los impactos ambientales.

Dentro de la evaluación se determinará:

- Impactos positivos en la ejecución del proyecto. Entre los principales debe proponerse la disminución de escorrentía sobre los ríos Quebrada Seca y Río Bermúdez, lo cual beneficie al cantón en materia de control de inundaciones. De ahí la importancia de la alternativa que se escoja para el trazado de los colectores durante la determinación de la viabilidad técnica.
- Impactos negativos del proyecto, los cuales estarían ligados principalmente a la contaminación de las aguas subterráneas. Este aspecto se vería disminuido con la construcción del alcantarillado sanitario, ya que en ese caso las aguas grises de las viviendas no irían al alcantarillado pluvial. Así mismo, propiamente los aspectos constructivos también deben evaluarse en esta etapa previa, así como los impactos en la erosión de las márgenes por desfogues, entre otros que se consideren importantes por parte del equipo consultor. Mejoras tecnológicas beneficiarían este aspecto, de ahí que la investigación y la escogencia de una alternativa que genere menores impactos en el aspecto constructivo, que sea tanto económica como financieramente viable, es de gran importancia.

Otro de los aspectos relevantes que se tendrán, es que el estudio de impacto ambiental se deberá realizar en conjunto para los alcantarillados pluvial y sanitario como un solo proyecto. Pero esto después de tener completa la etapa de diseño. Esto ahorrará costos para la municipalidad.

Al final de esta etapa, se deberá emitir un criterio, en donde se demuestre la factibilidad ambiental en la ejecución del proyecto, ya que en caso de considerarse no adecuado habría que plantear una nueva alternativa. Además deben generarse medidas ambientales, que serán criterios que deben ser tomados en consideración durante la etapa de diseño.

3.3.2 Viabilidad económica y financiera

Una de las premisas de todo proyecto es buscar la solución más económica. No obstante, no siempre la propuesta que minimiza los costos de inversión y los costos anuales de operación y mantenimiento (costos contables), es la que a la postre puede satisfacer las necesidades que dan origen a la misma, esto producto de los beneficios que generan aspectos como los ambientales y sociales, y las pérdidas que se dan por la ausencia de la infraestructura propuesta.

En este caso particular, los beneficios sociales y ambientales tienen valores muy elevados, los cuales deben ser considerados como parte del análisis.

La municipalidad deberá aprobar previamente el estudio de viabilidad económica para seguir adelante con el desarrollo del proyecto, en esta etapa, se definirá si realmente se sigue con el diseño o no es factible, desde la perspectiva económica y financiera.

Otro de los aspectos en los que se tener certeza antes de continuar con las etapas posteriores, es en la capacidad financiera municipal. De ahí que la interacción municipal en conjunto con el consultor para la determinación de la capacidad de inversión y de recuperación juega un papel fundamental en esta consultoría como medio en la toma de decisiones. Esto se justifica dado el hecho de que, plantear proyectos de alto costo y realizar inclusive diseños, es una pérdida de recursos, si desde un inicio no se disponen de las condiciones financieras que favorezcan la ejecución de ese proyecto.

Al final de esta etapa, se debe tener como base un estimado para el proyecto, de cual sería el costo global, en función de la alternativa tecnológica escogida.

3.3.3 Análisis económico

Para determinar la opción más favorable, se escogerá la de mayores beneficios, y que sea financieramente viable, además de tener la viabilidad técnica previamente aprobada en la fase anterior.

Las estimaciones se realizarán aplicando la metodología del Valor Actual Neto (VAN). Se deberá realizar además un análisis de sensibilidad para evaluar el comportamiento del VAN ante las variaciones en los parámetros principales.

Uno de esos parámetros es la escogencia de la alternativa de diseño que se utilizará. Existen dos opciones base, más las que sean añadidas por parte del equipo consultor. Durante la fase de diagnóstico estas se definieron con la propuesta para transportar las aguas pluviales hacia los ríos del cantón. Estas son:

- A. Una propuesta que incluye el traslado de un alto porcentaje de la escorrentía hacia los ríos Virilla y Segundo, en donde se incorporarán los costos asociados a la

colocación de las tuberías aéreas, sifones u otras opciones que se presenten por parte del equipo consultor, por los pasos sobre el río Bermúdez que transportarán el agua pluvial colectada entre ambos cauces (este sector incorpora el todo el centro del cantón). El detalle se muestra en el mapa 3-1.

B. La propuesta del alcantarillado pluvial dividiendo en sectores siguiente forma:

- La zona entre los ríos Segundo y Quebrada Seca drenará hacia el río Segundo.
- El territorio entre los ríos Quebrada Seca y Bermúdez, drenará hacia estos ríos (incluye todo el centro del cantón).
- Los terrenos al sur del río Bermúdez deberán drenar sus aguas pluviales hacia el río Virilla.
- En este caso no se realizarán pasos aéreos de tuberías de agua pluvial. El detalle se muestra en el mapa 3- 2.

Mapa 3- 1: Alternativa A de trazado para diseño que debe ser evaluada

Simbología

— Ríos

☞ Límite Cantonal

Cuencas hidrográficas

■ Río Segundo

■ Río Burío (Queb. Seca)

■ Río Bermúdez

■ Río Virilla

Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:30 000

0 250 500 1 000
Metros

Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*

Alternativa A = zona 1 y zona 2 hacia Río Segundo
zona 3 y zona 4 hacia Río Virilla (mediante pasos aéreos u otras opciones)
zona 6 y zona 7 hacia Río Virilla

Zona 1 = Cuenca Río Segundo

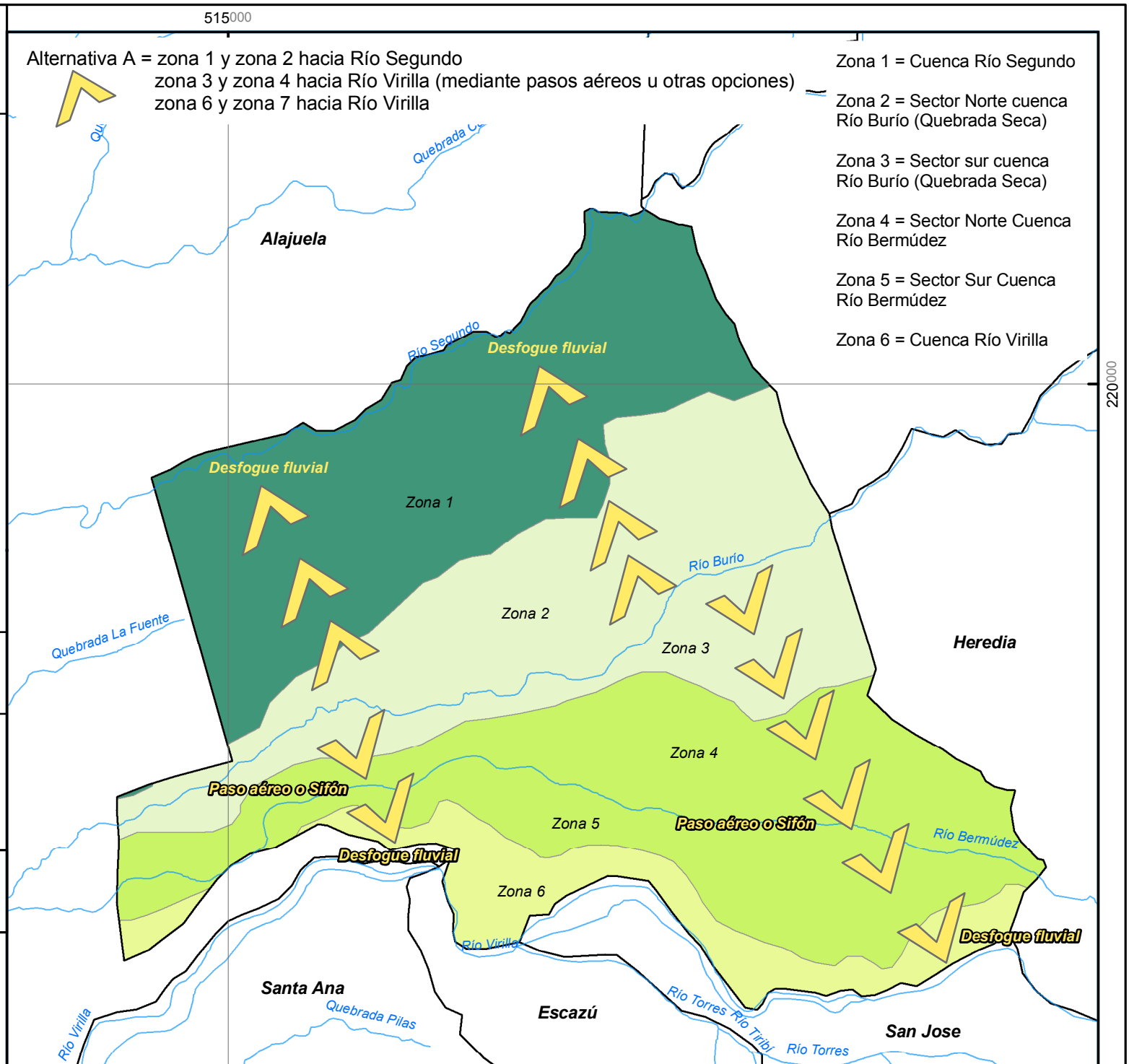
Zona 2 = Sector Norte cuenca
Río Burío (Quebrada Seca)

Zona 3 = Sector sur cuenca
Río Burío (Quebrada Seca)

Zona 4 = Sector Norte Cuenca
Río Bermúdez

Zona 5 = Sector Sur Cuenca
Río Bermúdez

Zona 6 = Cuenca Río Virilla



Mapa 3- 2: Alternativa B de trazado para diseño que debe ser evaluada

Simbología

— Ríos

— Límite Cantonal

Cuencas hidrográficas

■ Río Segundo

■ Río Burio (Queb. Seca)

■ Río Bermúdez

■ Río Virilla

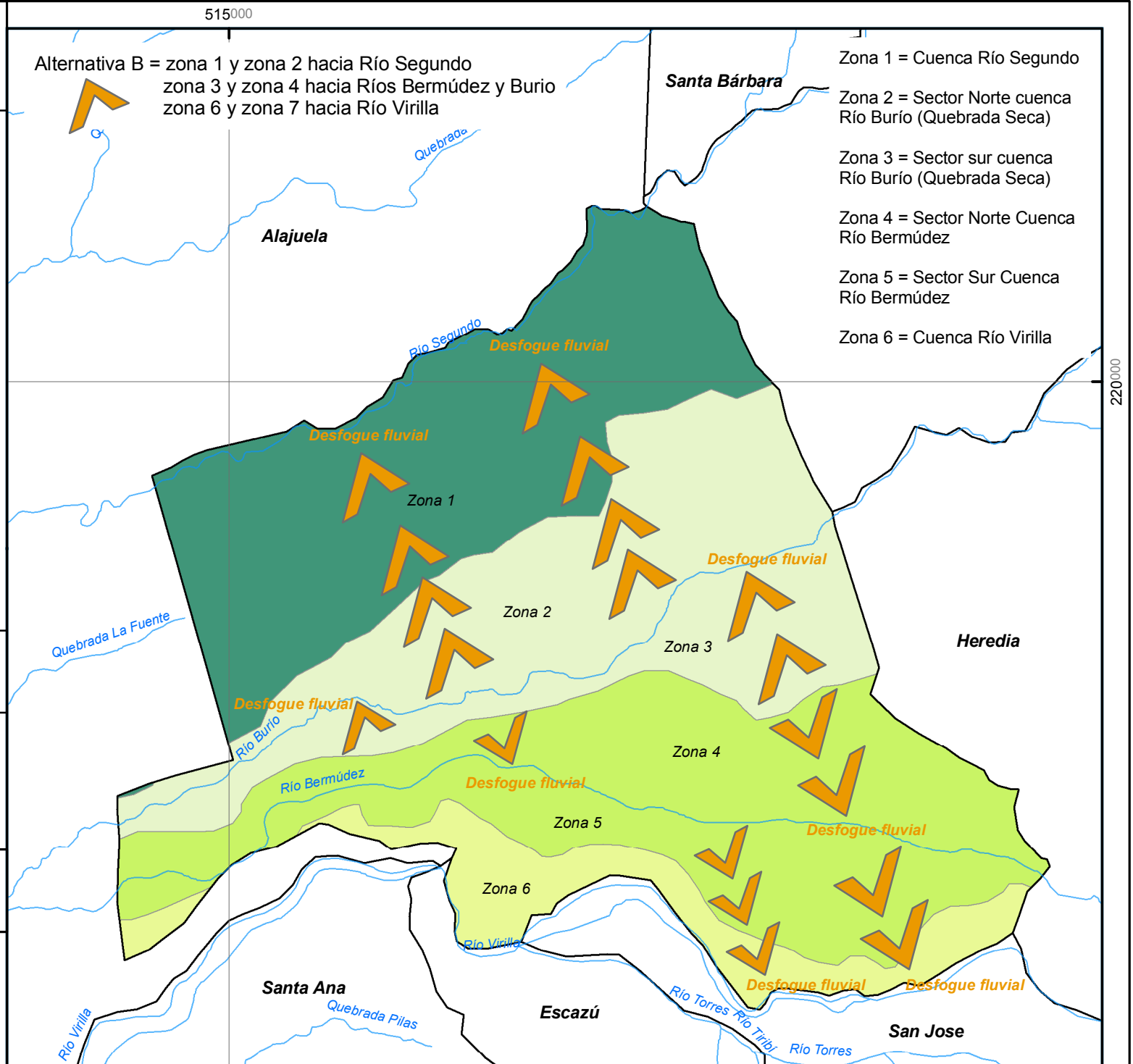
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:30 000

0 250 500 1 000 Metros

Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



Para cada una de las opciones planteadas, el equipo consultor deberá elaborar la estimación de las inversiones requeridas. Para esto:

Los precios de mercado deberán ser convertidos a precios económicos que reflejen los costos de oportunidad de los recursos económicos del país, aplicando los factores de conversión pertinentes.

Los principales reajustes que se deben incorporar como parte del análisis son:

- La eliminación de los impuestos de los precios de mercado, ya que en las obras públicas el factor de impuestos representa el valor que ingresa en el presupuesto nacional y al mismo tiempo emana del él.
- Se deberán utilizar las series históricas para proyectar las variaciones de la inflación a futuro, en donde se pueda determinar los cambios en las inversiones.
- Otros de relevancia que considere el consultor.

Los flujos serán calculados para el período de años correspondiente al horizonte de estudio, el cual a nivel internacional para proyectos de este tipo se toma como 25 años. Los costos de distribuirán categoría económica según corresponda a divisas, a equipo, materiales e insumos locales, a mano de obra calificada, a mano de obra profesional, a terrenos, a transferencias, entre otras.

3.3.4 Evaluación institucional

En esta etapa, ya con los valores determinados sobre los costos y la inversión que debe realizarse para el proyecto de alcantarillado, así como una alternativa planteada, se procederá a determinar la forma en la cual se realizará el cobro a los beneficiarios, y con ello la municipalidad recuperará la inversión.

De acuerdo con la legislación costarricense, existe la posibilidad de que sea directamente la municipalidad quien lleve a cabo la construcción de sistemas de alcantarillado, y posteriormente los gastos pueden ser cobrados a los beneficiados directos e indirectos. Tal y como lo establece el artículo 71 de la Ley de Planificación Urbana 4240, contenido en el capítulo cuarto de las contribuciones especiales:

“Artículo 71.- El costo total de las obras de pavimentación y de construcción de caminos públicos cuando éstos crucen zonas urbanas, aceras, cordones y cunetas, alcantarillado pluvial y sanitario, acueductos y distribución e iluminación eléctricas, deberá ser cargado y cobrado a los propietarios de los fundos directamente beneficiados, mediante la correspondiente tasa de valorización que fije, previa publicación de audiencia a los interesados en el Diario Oficial, la entidad estatal competente ejecutora de las obras y que apruebe la Contraloría General de la República. En el costo total se incluirá, además de los materiales y la mano de obra con sus respectivas cargas sociales, los gastos de administración e ingeniería, el precio de los terrenos a adquirir, el pago de mejoras o indemnizaciones por edificaciones que han de ser demolidas o reparadas y, en su caso, los costos financieros.

Entre lo que debe pagarse por concepto de terrenos y mejoras y lo que corresponda por importe de la tasa de valorización, se efectuará compensación directa e inmediata en cuanto a la parte correspondiente.

Quien tuviere que pagar algún valor con motivo de la compra-venta o expropiación podrá disponer hasta de diez años de plazo sujeto a un interés del ocho por ciento anual para la cancelación de lo adeudado, previa calificación de la Contraloría General de la República.

Los proyectos u obras de evidente interés público pueden ser exceptuados total o parcialmente del pago de la tasa de valorización.

(Así reformado por el artículo 1º de la ley No. 4971 de 28 de abril de 1972)."

Además, es en este mismo artículo en el que se establecen los lineamientos generales de cómo debe ser cobrada por la municipalidad esta contribución especial.

Los costos mencionados serán cancelados por los propietarios de los fundos a través de una **tasa de valorización**, esta tasa será fijada por la municipalidad a través de una audiencia a la que se convocarán únicamente los interesados, o sea, aquellos individuos que deben cumplir con la cuota de la contribución, la fecha de realización de la mencionada audiencia debe ser publicada en La Gaceta, y una vez creada la tasa ésta debe ser aprobada por la Contraloría General de la República para poder ser efectiva.

También se hace mención en el artículo, a aquella situación en la que se debe pagar a uno de los propietarios por concepto de terrenos y mejoras, como en el caso de que se le deba pagar por terrenos que se van a utilizar para la construcción, frente a esta situación el monto que debe recibir se compensa en relación al importe de la tasa, en otras palabras, en lugar de que se le pague lo que se le debe, se le rebaja del total de la tasa que debe pagar, por lo que deberá pagar un importe inferior al de los otros individuos.

La aplicación del artículo 71 de la Ley de Planificación Urbana 4240, es posible en la medida en que exista un reglamento municipal aprobado por la Contraloría General de la República en el que se establezca el monto de la tasa que se cobrará a los beneficiados directos de las obras.

De ahí que existe una necesidad concreta de ponderar el valor monetario de los diversos servicios, materiales y productos que se van a utilizar en la construcción de las obras. Debido a la gran variedad de factores que se deben tomar en cuenta en esta tasa es que se vuelve necesario la realización de diversos estudios económicos por parte del gobierno municipal, ya que son valoraciones que van a crear una tasa municipal nueva que se cobrará a varios habitantes del cantón por lo que es necesario que se cuente con el mejor fundamento posible.

Por otro lado, regular la aplicación de este artículo 71 de la Ley de Planificación Urbana es posible solamente a través de un Reglamento que determine la creación de la respectiva tasa, esto en ejercicio de sus potestades reglamentarias establecidas en el ordenamiento jurídico costarricense, tal y como lo establece el artículo 4 del Código Municipal 7494:

"Artículo 4.- La municipalidad posee la autonomía política, administrativa y financiera que le confiere la Constitución Política.

Dentro de sus atribuciones se incluyen:

a) Dictar los reglamentos autónomos de organización y de servicio, así como cualquier otra disposición que autorice el ordenamiento jurídico."

De igual forma el mismo Código Municipal desarrolla en su artículo 74 la potestad que tienen los gobiernos locales de cobrar tasas por los servicios que estos presten a sus habitantes:

“Artículo 74.- Por los servicios que preste, la municipalidad cobrará tasas y precios, que se fijarán tomando en consideración el costo efectivo más un diez por ciento (10%) de utilidad para desarrollarlos. Una vez fijados, entrarán en vigencia treinta días después de su publicación en La Gaceta.

Los usuarios deberán pagar por los servicios de alumbrado público, limpieza de vías públicas, recolección de basuras, mantenimiento de parques y zonas verdes, servicio de policía municipal y cualquier otro servicio municipal urbano o no urbano que se establezcan por ley, en el tanto se presten, aunque ellos no demuestren interés en tales servicios.

*Se cobrarán tasas por los servicios *(de policía municipal), y mantenimiento de parques, zonas verdes y sus respectivos servicios. Los montos se fijarán tomando en consideración el costo efectivo de lo invertido por la municipalidad para mantener cada uno de los servicios urbanos. Dicho monto se incrementará en un diez por ciento (10%) de utilidad para su desarrollo; tal suma se cobrará proporcionalmente entre los contribuyentes del distrito, según la medida lineal de frente de propiedad. La municipalidad calculará cada tasa en forma anual y las cobrará en tractos trimestrales sobre saldo vencido. La municipalidad queda autorizada para emanar el reglamento correspondiente, que norme en qué forma se procederá para organizar y cobrar de cada tasa.”*

**(Por Resolución de la Sala Constitucional N° 10134-99, de las 11:00 horas, del 23 de diciembre de 1999, se anula de este párrafo la frase entre paréntesis)*

De ahí que uno de los productos finales de la etapa de factibilidad, será la creación de este reglamento en donde se fije la tasa de valorización, así como los mecanismos para el cobro de la obra planteada.

En este reglamento se debe establecer también el procedimiento de sanciones a quienes realicen conexiones ilícitas, u otros aspectos relevantes que afecten la parte operativa.

En el se podrían definir estrategias regulatorias también, en materia del control de la cobertura sobre el terreno, así como la obligatoriedad del manejo de los propietarios de un porcentaje del agua pluvial del cantón, lo cual bajaría los costos del proyecto de alcantarillado, ya que el tamaño de los colectores sería sustancialmente menor. No obstante este proceso debe ser en conjunto entre la municipalidad y el equipo consultor para definir las políticas que podrían tomarse en función del plan regulador vigente y cambios que pudieran realizarse sobre el mismo.

4. TÉRMINOS DE REFERENCIA: DISEÑO Y PLAN MAESTRO

4.1 Introducción

En el proceso de diseño del alcantarillado pluvial intervienen variables desde tres enfoques principales:

- El diseño hidrológico e hidráulico, en donde a partir de la información meteorológica, uso de suelo, topografía, entre otras, se definen las dimensiones de la tuberías, así como las obras complementarias, tales como pozos, tragantes, desfuegos, y el proceso del transporte y evacuación de la escorrentía hacia los ríos, entre otras.
- El análisis geotécnico, el cual definirá las condiciones del suelo de cimentación y las características de los materiales de relleno que se utilizarán. También se calculan en esta etapa aspectos constructivos tales como las técnicas adecuadas de manejo de taludes en las zanjas, y el control de los niveles. La caracterización del tipo de material de relleno es fundamental en los casos en donde se emplean tuberías flexibles, en las cuales el confinamiento es el que da estabilidad a la estructura y limita las deformaciones.
- El diseño estructural, basado en las dimensiones de los elementos calculadas durante la etapa de diseño hidráulico, y tomando como insumo la información disponible de la etapa de análisis geotécnico. El diseño estructural reviste especial importancia en elementos de gran tamaño, los cuales se requieren en los casos en donde sus dimensiones, no hacen posible utilizar los diseños típicos que propone la *REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS*, establecida por el AyA. Algunos de los principales componentes del sistema que requieren diseños estructurales detallados son: pozos de colectores primarios, desfuegos pluviales, pasos aéreos de tuberías, entre otros.

Por otro lado, el Plan Maestro de Operación y Mantenimiento, definirá el procedimiento para que el sistema opere de forma adecuada durante la vida útil establecida para el proyecto. Además plantea la forma en que serán incorporadas posibles ampliaciones, así como las estrategias de inversión para estas y la forma en que deben realizarse. Otro de los elementos que aporta el Plan es la planificación vial que debe utilizarse durante el proceso constructivo, aspecto de gran relevancia para la mitigación de impactos ambientales.

4.2 Productos finales de la etapa de diseño

Al concluir la etapa de diseño, el consultor deberá presentar como productos finales:

- Planos y especificaciones técnicas del proyecto, los cuales estarán basados en la normativa nacional, establecida por la *Ley Orgánica del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos*, así como el *REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS*, el Ministerio de Salud, el INVU y todas las demás instituciones involucradas en la revisión y aprobación de los permisos para construcción y entrada en vigencia de este proyecto.

- Memoria de cálculo, en donde se proporcionen los criterios, lineamientos, suposiciones, y los fundamentos que generan el diseño final de las obras.
- Presupuesto estimado del proyecto.
- El Plan Maestro de Operación y Mantenimiento de alcantarillado pluvial.

4.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de diseño

4.3.1 Diseño hidráulico

Como parámetros de diseño hidráulico se tomará la normativa establecida por la *REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS*, establecida por el AyA y que forma parte de la regulación nacional.

No obstante como elementos adicionales y restricciones de diseño, se deberán respetar los siguientes aspectos:

- La metodología que se empleará será la de diseño por hidrogramas, la cual genera ahorros significativos en los diámetros de diseño para tuberías de diámetros mayores a 1,5 m.
- Se deben dimensionar los pozos bajo criterios hidráulicos, en los cuales se diseñen caídas y radios para cambios de dirección adecuados, lo cual evite la formación de vórtices, elevación del nivel del agua en los pozos y levantamiento de las tapas de registro.
- Los desfogues fluviales deberán contar con estructuras disipadoras de energía, las cuales eviten la erosión de los taludes de los ríos a los cuales se vierten las aguas. Durante la fase del análisis geotécnico, podría determinarse que los materiales que componen las márgenes y el lecho de esos ríos son no erosionables (formaciones de rocas estables), en esos casos podrían no requerirse estructuras de este tipo.

4.3.2 Análisis geotécnico

Las siguientes actividades forman parte de los aspectos geotécnicos:

- Estudios y diseños geotécnicos para la construcción de zanjas y la estabilidad de taludes.
- Investigación del subsuelo, en donde se determinarán características de los materiales de cimentación, así como niveles freáticos.
- Características geotécnicas que deben tener los rellenos y compactación de zanjas y terraplenes.

La exploración de campo consiste en la ejecución de procedimientos como excavaciones y perforaciones estáticas o dinámicas, u otros procesos exploratorios reconocidos en la práctica. Esto con el fin de ejecutar pruebas directas o indirectas en el terreno y obtener muestras para ensayos de laboratorio, de donde se obtendrá la información para el análisis.

La exploración debe ser amplia y suficiente para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad de influencia de la excavación.

Los muestreos se realizarán a cada cuatrocientos metros como mínimo, tomando menores distancias cuando se considere que la variabilidad de las condiciones geotécnicas así lo haga necesario.

La profundidad de exploración será realizada como mínimo a dos veces la profundidad prevista para la cimentación de las tuberías, pero esta no será menor a dos metros en ningún caso. Uno de los elementos básicos que se debe conocer la profundidad del nivel freático.

Dentro del estudio geotécnico otro de los aspectos que debe quedar definido es el diseño de la excavación. Debe incorporar las exigencias mínimas para la construcción de rellenos en zanjas para instalación de tuberías. Dentro del alcance se deben tener claros los siguientes aspectos:

- El control del agua y sus impactos durante la fase constructiva.
- La explotación y obtención de materiales en bancos de préstamo y tajos.
- La colocación, riego y compactación, semicompactación o conformación del material de relleno para el cumplimiento de especificaciones de las normas (Próctor).
- La disposición y transporte de material de desperdicio.

Como parte del análisis geotécnico debe también realizarse el estudio respectivo para las obras de gran magnitud, tales como los cabezales de descarga y los pasos aéreos de tuberías. Esta información debe ser lo suficientemente específica para que permita elaborar el diseño estructural en la fase posterior.

4.3.3 Diseño estructural

Aquí se deberán incorporar todos los elementos del sistema que por su complejidad, requieran un análisis y diseño estructural. Entre ellos están pozos de inspección con tamaños mayores al establecido como diseño típico por la *REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS*, establecida por el AyA, así como cabezales de descarga, pasos aéreos de tuberías, entre otros.

Para el caso de las tuberías flexibles, deberá comprobarse mediante el diseño que las características del sistema -tubería-suelo de confinamiento- tengan un adecuado comportamiento estructural. Este dependerá de variables como:

- Las características reales del suelo donde se instalará, las cuales se determinan en la etapa de análisis geotécnico.
- Una instalación cuidadosa y adecuada que incluya al menos:
 - Inspección exhaustiva previa de las condiciones
 - Preparación de la fundación
 - Preparación de los encamados
 - Manejo y colocación de las tuberías
 - Material y procedimientos de relleno adecuados

Todas las tuberías deben tener adecuada resistencia estructural para soportar cargas externas causadas por:

- Operaciones de los equipos de construcción
- Cargas de tierra y del relleno
- Cargas de tráfico y vehicular
- Cargas sísmicas

Todas las obras que se desarrollen deberán además apegarse a la normativa estructural fijada por el Código Sísmico de Costa Rica y el Código de Cimentaciones de Costa Rica.

4.3.4 Planos y especificaciones técnicas

Los planos y especificaciones técnicas, deben incluir toda la información básica necesaria para la construcción e inspección, dentro de la que se destaca:

- Referenciación planimétrica y altimétrica de los distintos elementos que componen el sistema, la cual estará basada en puntos en bancos de nivel oficiales.
- Requerimientos, características y propiedades de los materiales que se deben usar en la construcción.
- Especificaciones e instrucciones de instalación de maquinaria y equipo.
- Detalles de conexión, empalmes, juntas y demás casos que merecen explicación particular
- Identificación de las redes existentes de acueducto, alcantarillado, energía y teléfonos
- Suposiciones básicas utilizadas en el diseño y que puedan afectar el uso futuro de la construcción, como cargas supuestas en los análisis, tipo de uso supuesto en el diseño, presiones máximas y mínimas de utilización, precauciones especiales que deben tenerse en cuenta en la construcción o instalación de elementos
- Demás instrucciones y explicaciones que se requieran para poder realizar la construcción e instalación de maquinaria y equipo acorde con el diseño previsto.

4.3.5 Memoria de cálculo

Las memorias de cálculo de cada uno de los sistemas pluviales, deben incluir entre otros aspectos:

- Las suposiciones utilizadas en los diseños
- Las metodologías empleadas
- La verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por el *REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE URBANIZACIONES, CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTOS*.
- Referencia a normas técnicas nacionales o internacionales para los materiales, equipos y procedimientos específicos.
- Los esquemas base en los cuales se realizan los planos de construcción
- Especificaciones detalladas e instrucciones de instalación de maquinaria y equipo

- Las memorias deben especificar en manuales impresos para tal fin, los procedimientos detallados par puesta en marcha, operación y mantenimiento de cada uno de los sistemas, así como, el nivel de complejidad del sistema asignado al proyecto.
- En el caso que se utilice procesamiento automático de información, debe entregarse una descripción detallada de los principios en que se basa el procesamiento automático, así como una descripción de los datos de entrada y salida en el proceso.
- Las memorias deben especificar el nivel de complejidad del sistema utilizado en los diseños, en los procedimientos detallados y demás actividades del proyecto.

4.3.6 Presupuesto

Se realizará por parte del equipo consultor un presupuesto detallado del costo de las obras que se están diseñando. Este presupuesto será utilizado posteriormente para la elaboración del cartel de licitación de la construcción del alcantarillado y sus obras.

4.4 Detalles específicos de la información requerida en la etapa de Plan Maestro

El Plan Maestro constará de las indicaciones técnicas y propiamente administrativas de operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado pluvial.

Este se redactará en forma simple y directa, para facilitar su uso por los operadores. Debe contener como elementos básicos la siguiente información:

a) Descripción del Proceso de evacuación de aguas pluviales: Se debe representar en un plano, el flujo del agua durante el proceso operativo, así como las áreas que tributan a cada uno de los tragantes. Al mismo tiempo señalar de forma clara la ubicación de los pozos y de los desfuegos fluviales. Al mismo tiempo, se elaborará una descripción del sistema de conducción y cada una de sus partes, de modo que esté claro al constructor y al operador las funciones de cada una. Se deberá incluir un diagrama descriptivo donde estén relacionados los elementos del sistema.

b) Información básica de diseño: Volúmenes de diseño y capacidad de las tuberías. Se debe indicar en cada uno de los tramos de tubería, su capacidad en cuanto a caudal, la pendiente y las características geométricas de los tubos.

c) Personal: Se caracterizará el perfil del personal necesario para llevar a cabo las diferentes actividades y procedimientos descritos en el manual, tales como limpieza de tuberías, pozos, entre otras y su respectiva frecuencia, así como reparaciones.

d) Equipo: se listarán y describirán los equipos, herramientas, vehículos, reactivos y demás implementos necesarios para llevar a cabo las diferentes actividades y procedimientos descritos en el manual.

e) Puesta en marcha: secuencia detallada de los procedimientos necesarios para una adecuada puesta en marcha del sistema de alcantarillado.

f) Operación: se listarán y describirán cada una de las actividades necesarias para una adecuada operación de los procesos involucrados en el sistema.

g) Control operacional: Descripción de las actividades y pruebas de campo necesarias para verificar que se mantienen condiciones adecuadas de operación del sistema.

h) Posibles problemas: se enumerarán las dificultades operativas más comunes para el sistema de propuesto, acompañada cada una con las medidas recomendadas para su solución.

i) Mantenimiento: se enlistarán y describirán cada una de las actividades necesarias para un óptimo mantenimiento del alcantarillado. Se describirán los procesos de limpieza, así como de reparaciones de los elementos del sistema.

j) Ampliaciones y conexiones de nuevas urbanizaciones al sistema: Se describirá de forma detallada cual será la forma en que se deberán realizar la incorporación de nuevas ramificaciones del sistema de alcantarillado a la red principal. Al mismo tiempo se deberá estipular cuanto volumen de agua será permisible de incorporar al sistema por los nuevos desarrollos inmobiliarios que se den en el cantón. De existir un excedente de volumen del permisible según el diseño del sistema, este deberá ser manejado con obras de almacenamiento o control por los nuevos desarrollos que se den.

k) Propuestas viales: Para el proceso constructivo, se deberán proponer las rutas auxiliares que se utilizarán, así como la logística de cierre de vías, horarios constructivos, y otros aspectos relacionados con la propuesta para la mitigación de los impactos viales.

5. TÉRMINOS DE REFERENCIA: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

5.1 Introducción

Una vez definido el diseño del alcantarillado pluvial, se deberán considerar sus diferentes etapas que incluyen desde la preparación del lugar, construcción, operación y mantenimiento.

Sobre estas etapas del proyecto se realizará el estudio de impacto ambiental, en donde para cada una de las fases debe desarrollarse la identificación, predicción y finalmente la evaluación de los efectos ambientales que tendría el proyecto.

Una vez evaluados los impactos, se deben elaborar propuestas y medidas de prevención y mitigación de los impactos negativos.

5.2 Productos finales de la etapa de diseño

Al concluir la etapa de diseño, el consultor deberá presentar como productos finales:

- Estudio de Impacto Ambiental, bajo las normas que rigen en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, las cuales se presentan en el *REGLAMENTO GENERAL SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)* y el *Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)- Parte IV*.

5.3 Detalles específicos de la información requerida para la etapa de diseño

5.3.1 Estudio de impacto ambiental

Al final de la etapa de diseño, el consultor deberá evaluar el impacto ambiental sobre la base de las normas establecidas en Costa Rica, especialmente las aprobadas por la SETENA.

Para realizar este estudio el consultor deberá tomar en consideración al menos los siguientes aspectos:

- Identificación de impactos (diagnóstico): El consultor deberá completar sus investigaciones con visitas de campo al área donde se construirá el proyecto a fin de tener una visión realista y objetiva para definir los impactos potenciales y sus áreas de influencia. Así mismo como tareas adicionales deberá:
 - Efectuar un diagnóstico entre las interacciones y el medio natural y socioeconómico, con las acciones inherentes al proyecto previo a su construcción y puesta en operación.
 - Se deberá determinar el área de influencia del proyecto previo a su construcción y puesta en operación.
 - Se deberán determinar la fragilidad y valor de la conservación de áreas relevantes. En este caso el enfoque irá dirigido a la disminución en la generación de la escorrentía superficial, así como la variación en el impacto

de las inundaciones en el cantón mediante la construcción del alcantarillado pluvial.

- El impacto ambiental sobre los recursos (evaluación de impactos): se deben involucrar los aspectos positivos y negativos que ocasionaría la construcción, el funcionamiento y el mantenimiento del proyecto. Se realizará el estudio del efecto que puedan tener los recursos naturales principales; aire, agua, suelo, flora, fauna; así como sobre las actividades y asentamientos humanos, tanto en la fase de construcción como en la de operación del proyecto.
- Las medidas preventivas, correctivas y de conservación que se deben tomar para minimizar o sostener los efectos de los impactos.

El análisis de estas variables, se realizará de acuerdo con los lineamientos establecidos por la normativa técnica ambiental bajo la cual se rige SETENA.

5.3.2 Descripción y caracterización del sistema ambiental afectado

Se deberá realizar un análisis selectivo del estado de situación del ambiente afectado, pertinente al proyecto, incorporando sus aspectos de disponibilidad, adecuación y calidad, como así también sus aspectos dinámicos y sus interrelaciones.

5.3.2.1 Áreas de Influencia

El área de influencia (AI) del proyecto comprende el entorno ambiental susceptible de ser impactado desde los medios físico, biótico y social. El AI se compone como mínimo de dos niveles: el contexto regional (Área de Influencia Indirecta, AII) y el contexto local (Área de Influencia Directa, AID).

Deberá definirse el AII y el AID, teniendo en cuenta que tal definición debe considerar como mínimo:

- Área de Influencia Indirecta (AII): abarca los cantones con influencia del proyecto y aquellos que posean importantes relaciones de accesibilidad al mismo.
- Área de Influencia Directa (AID): incluye el área de localización de la infraestructura asociada al proyecto, y un área de su entorno, de perímetro irregular y no necesariamente continua, acorde a las características propias del proyecto y de la sensibilidad del medio receptor (natural y antrópico).
- La caracterización de cada uno de los medios deberá realizarse desde el contexto regional (AII) hasta el contexto local y puntual (AID), según corresponda.

5.3.2.2 Medio Natural

A. Geología, geomorfología, suelo y topografía

- Geología y geomorfología del sitio de proyecto y áreas circundantes
- Características del suelo del sitio (permeabilidad, porosidad, densidad, contenidos orgánicos, perfiles estratigráficos)
- Pendientes, posibilidad de deslizamientos o movimientos de tierra

- Mapa general y topográfico en escala adecuada con indicación del sitio de proyecto, municipios circundantes, cuerpos de agua y áreas verdes
- Documentación fotográfica relevante del sitio

B. Clima y Meteorología

- Descripción general de la zona del proyecto
- Datos meteorológicos (tomados de estaciones cercanas, actualizados y que comprendan de un período apropiado), que incluyan:
 - Temperaturas (media, inferiores y superiores a la media)
 - Precipitaciones (medias, inferiores y superiores a las medias), tipo, intensidades e indicación del números de días con precipitación
 - Vientos (frecuencias, velocidades y dirección), rosa de los vientos
 - Posibilidades de ocurrencia de fenómenos naturales

C. Hidrología, hidrogeología y recursos hídricos

- Descripción de cuerpos y cursos de agua, drenajes naturales y cuencas hidrográficas, acuíferos, entre otras.
 - Aguas superficiales: caracterización del sistema de drenaje del área. Para ello, entre otros aspectos, deberá/n delimitarse la/s cuenca/s, realizar un estudio del régimen de los cursos de agua existentes: caudales, crecientes, etc., estimaciones de descargas en el área con sus variaciones estacionales y definición de las cotas de inundación por crecidas. Deberán detallarse las consideraciones referidas a la inundabilidad del sitio de emplazamiento de las obras.
 - Aguas subterráneas: se deberán realizar las determinaciones necesarias para la correcta caracterización de las aguas subterráneas para todos los tipos de acuíferos (libres, semiconfinados y confinados). Entre otros aspectos, extensión, geometría y relación entre las unidades hidrogeológicas, niveles -promedios, máximos y mínimos-, gradiente hidráulico, caudal y dirección de flujo, con su variación temporal.
- Recursos hídricos y usos del agua.
 - Aguas superficiales: se deberán identificar fuentes de abastecimiento y realizar el inventario de usos actuales y proyectados (de consumo, industriales, comerciales, recreativos, etc.).
 - Aguas subterráneas: se deberá realizar el inventario de puntos de toma de agua (pozos, aljibes y manantiales), identificando la unidad geológica captada, calidad, uso y caudales de explotación.

D. Paisaje

Se deberán analizar y describir los siguientes aspectos:

- Visibilidad y calidad paisajística
- La ecología del paisaje
- Identificación de sitios de interés paisajístico. Paisajes singulares.
- Se podrán utilizar imágenes satelitales o fotografías aéreas para establecer las unidades de paisaje regional y su interacción con el proyecto.

E. Calidad del agua

- Para los cuerpos de agua de probable afectación por el proyecto, deberá presentarse el aforo y la caracterización físico-química, y bacteriológica y biológica.
- Deberá realizarse la caracterización de la calidad físico química de los distintos acuíferos identificados en la zona.
- Los sitios de muestreo deben georreferenciarse, ubicarse en un plano e indicar la época climática en que se realizaron los muestreos. Dado que los sitios de muestreo y/o estaciones del relevamiento de línea de base deben mantenerse durante todo el desarrollo del proyecto.
- Se deberán describir las actividades existentes, localización y tipo de vertidos que puedan estar afectando la calidad del agua superficial y subterránea, tales como aportes municipales, y aquellos provenientes del uso agrícola, pecuario, minero e industrial.
- Se deberá evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por aguas pluviales contaminadas y otras sustancias.

F. Calidad del aire – Ruido

- Niveles de ruido ambiental en el sitio y alrededores durante el proceso constructivo.

5.3.2.3 Medio Antrópico

A. Usos del Suelo

- Medio construido. Asentamientos humanos.
- Planificación urbana; proyecciones de evolución de los distintos usos del suelo.
- Establecer los posibles conflictos de uso del suelo y sus posibles interacciones con los propósitos de uso del proyecto.
- Mapa de uso del suelo.

B. Ambiente socioeconómico

El estudio deberá incluir un perfil poblacional y socioeconómico de los municipios afectados al proyecto. Entre otros aspectos, dicha información deberá incluir:

- Población total y población afectada por el proyecto. Distribución, densidad y características de la población (niveles educativos, sexos, edad, etc). Datos de salud, morbilidad y mortalidad. Dinámica poblacional. Tendencia de crecimiento y proyecciones poblacionales, por metodología apropiada, a lo largo de la vida útil del proyecto.
- Caracterización de la familia señalando tamaño y tipo.
- Estructura socioeconómica de la población. Calidad de vida. Descripción de los modos de vida, necesidades y problemas. Calidad, cobertura e infraestructura de servicios públicos.
- Actividades y empleo; economía local y regional.
- Transportes, vías de comunicación y condiciones de tránsito. Calidad, cobertura e infraestructura de servicios públicos.

C. Organización y presencia institucional

- En cuanto tenga relación con el proyecto, identificar y analizar la gestión de las instituciones y organizaciones públicas y privadas, organizaciones cívicas y comunitarias que tienen una presencia relevante en la región. Asimismo, la capacidad de gestión, convocatoria y población cubierta.
- Evaluar la gestión institucional de las administraciones municipales frente a los retos del desarrollo teniendo en cuenta:
 - Capacidad de inversión social y la eficiencia para canalizar y atender las demandas sociales.
 - Capacidad para atender los cambios y demandas introducidos por el proyecto de acuerdo con la infraestructura existente y proyectada.
- Identificar formas y grados de participación de la comunidad e interlocutores para la gestión ambiental.
- Identificar eventuales situaciones de tensiones y conflictos existentes, que pudieran afectar al proyecto o que pudieran ser afectados por éste.
- Identificar los posibles espacios de participación y concertación con la comunidad, los interlocutores para el proceso de información del proyecto y la consulta de los propios aspectos pertinentes al Estudio de Impacto Ambiental.

- Determinar el tipo de percepción y respuesta frente al proyecto de parte de las administraciones municipales, los grupos afectados, y otros actores de interés (ONG, organizaciones comunitarias, etc.).

Todo lo anterior debe permitir hacer el análisis de la asimilación o rechazo del proyecto por parte de la comunidad, organizaciones e instituciones, así como de prever la posibilidad que el mismo genere o potencie los conflictos, y su compatibilidad con los proyectos existentes o proyectados.

5.3.2.4 Áreas de valor patrimonial, natural y cultural

Describir las áreas de valor patrimonial, natural y cultural que pudieran existir en el área de influencia del proyecto.

- Reservas
- Parques nacionales y provinciales
- Monumentos y asentamientos históricos
- Sitios arqueológicos
- Comunidades protegidas

Al concluirse con la caracterización del medio ambiente, y tomando en consideración las actividades relacionadas con el proyecto, se definirán y evaluarán los efectos e impactos previstos.

5.3.2.5 Aspectos adicionales

Dentro del estudio también se deberán analizar los siguientes aspectos:

- A. Impacto sobre las fuentes actuales y potenciales de abastecimiento de agua, especialmente sobre el acuífero del Valle Central.
- B. Influencia sobre los usos y ocupaciones actuales y futuros del suelo del área de influencia del proyecto.
- C. Las opciones que se estudien considerarán las obras, acciones y por lo tanto los costos para mitigar los aspectos ambientales negativos con referencia a las metas ambientales que se deseen alcanzar o mantener.

5.3.3 Esquema en el que se presentará el estudio

En cuanto al esquema que se debe seguir para la elaboración del estudio se tendrán las siguientes fases:

- A. Evaluación ambiental preliminar: Se delimita el marco temporal y espacial del proyecto y se tamiza la información para enfocar los elementos adicionales que han de enfocarse. Esta fue realizada durante la fase de Factibilidad Ambiental y Económica, pero de existir complementos durante el proceso de diseño podrán ser adicionados a la misma.
- B. Descripción del proyecto: Debe incluirse el nombre del proponente, el monto de la inversión involucrada, objetivos y justificación del proyecto, descripción de

actividades en las diferentes fases del proyecto, marco de referencia legal y administrativo, localización, entre otros.

- C. Estado del ambiente o descripción del área de influencia del proyecto: Incluye descripción geográfica del área de influencia y del estado de los factores ambientales antes del proyecto. Comprende aspectos sociales, culturales, de la fauna, de la flora, de los suelos, del agua, del aire, del clima, bienes materiales, paisajes visuales, y sus posibles interacciones.
- D. Identificación, análisis y valoración de impactos: Se incluirá una descripción de los efectos importantes (directos, indirectos, acumulativos, a corto, mediano y largo plazo, permanentes o temporales, positivos o negativos), del proyecto sobre el medio ambiente, con particular énfasis en la utilización de los recursos naturales y emisión de contaminantes.
- E. Identificación y análisis de las etapas del proyecto: Debe ser considerada la magnitud, la importancia y la temporalidad de los impactos ambientales identificados para evitar los no deseados.
- F. Medidas de mitigación y planes de gestión ambiental y de contingencias: Se diseñarán las medidas que prevendrán o disminuirán los efectos ambientales negativos, así como los que mejorarían los factores ambientales beneficiosos. Se debe aquí realizar el plan de gestión ambiental y el de contingencia, en donde se considerarán las medidas ante eventuales emergencias por fallas en el sistema, producto tanto de eventos naturales como humanos.
- G. Programa de seguimiento vigilancia y control: Se debe plantear un programa que controle el desarrollo del proyecto y su futuro desempeño, enfocado hacia la prevención de un posible daño ambiental.
- H. Comunicación de resultados: es una síntesis, en un lenguaje simple, de los resultados obtenidos al mostrar la información relevante, problemas críticos, descripción de impactos positivos y negativos, metodologías de estudio, análisis y valoración de impactos.

La presentación formal del estudio de impacto ambiental se realizará según lo establecen el *REGLAMENTO GENERAL SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)* y el *Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)- Parte IV*.

6. TÉRMINOS DE REFERENCIA: SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE LAS OFERTAS

6.1 ASPECTOS GENERALES PARA TODAS LAS CONSULTORÍAS

6.1.1 Aspectos comunes en la calificación de ofertas

Todas las ofertas que sean presentadas por los equipos consultores para participar en las licitaciones de los distintos estudios, deberán contener algunos elementos comunes, de los cuales se destacan:

- A. Esquema conceptual de resolución del problema: En el se darán los lineamientos propuestos por el consultor para llegar a la solución requerida en cada uno de los casos. Se describirá el esquema conceptual que se seguirá por parte del equipo, las principales metodologías que seguirán, así como la información requerida y que se utilizará. Esta parte de la oferta tiene un valor de **14 puntos**.
- B. Cronograma de actividades: El planteamiento de las tareas y su ubicación temporal en el plazo establecido por la administración. La presentación del cronograma no tendrá puntos dentro de la licitación, no obstante es requisito fundamental para concursar, y en caso de que se presente un cronograma mal elaborado, o el tiempo propuesto para la realización del estudio sea superior al plazo máximo, la empresa consultora quedará excluida.
- C. Precio: La Oferta Económica tendrá un valor de **20 puntos** dentro de la licitación. El procedimiento para la valoración de las ofertas participantes, es el siguiente:
 - Se toma como base la oferta económica más baja presentada entre las empresas consultoras participantes; a esta se le adjudica la máxima puntuación, siempre y cuando cumpla con todos los requisitos del cartel.
 - No se considerarán aquellas ofertas que en la evaluación técnica no alcancen un 60% del puntaje total, por lo se les asignará un cero en la calificación.
 - A las restantes ofertas se les aplicará la siguiente fórmula:

$$y = a - bx$$

y = puntaje, según la oferta económica presentada.

a = puntaje máximo otorgado a la oferta económica menor (20 puntos).

b = índice que disminuye el puntaje obtenido según se incremente el precio de las ofertas, el cual tiene un valor de 20.

- De ahí que finalmente la ecuación para valoración del precio de las ofertas es:

$$puntaje = 20 - 20x$$

- Por otro lado, x se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$x = \frac{(\text{evaluado}) - (\text{mínimo})}{(\text{máximo}) - (\text{mínimo})}$$

evaluado = es el monto de la oferta que está en evaluación

mínimo = es el monto mínimo presentando entre todas las ofertas

máximo = es el monto máximo establecido por la administración para la consultoría.

- De ahí, para la oferta mínima, el valor de x = 0, mientras para una oferta que tenga como monto el valor máximo establecido para la consultoría x = 1.

6.1.2 Sistema de calificación de equipo consultor en las ofertas

Además de los 35 puntos que aportan los tres parámetros de calificación descritos en los párrafos anteriores, se tendrá un número de puntos adicional, el cual será aportado por las condiciones que ofrece el equipo profesional oferente.

Las ofertas en todos los casos serán calificadas de acuerdo a la puntuación más alta, y la puntuación final será aritmética por suma directa de todos uno de los elementos que la componen.

6.1.2.1 Puntuación del Jefe o director de proyecto

Para el caso del jefe o director de proyecto, en todos los casos, se tendrá una puntuación máxima de **20 puntos**. De ellos, se asignarán puntajes tanto producto del grado académico como de la experiencia profesional, por partes iguales. La forma de asignación de puntos según el grado académico y la experiencia profesional se muestran en la siguiente tabla:

Evaluación del Director de Proyecto			
Grado académico Valor Total = 10 puntos		Experiencia profesional Valor total = 10 puntos	
Grado académico	Puntos	Años de experiencia	Puntos
Licenciatura	3	Menos de 3 años	0
Maestría	6	De 3 a 6 años	6
Doctorado	10	Mayor a 6 años	10

6.1.2.2 Puntuación de los demás miembros del equipo

Los demás miembros del equipo de proyecto serán evaluados **bajo una escala de 1 a 10**, mediante la cual se asignarán los puntajes. El puntaje respectivo de cada profesional dentro del equipo varía según la consultoría, ya que algunas requieren cuatro, cinco o seis profesionales. No obstante en todos los casos, el puntaje que aporta el equipo profesional en su conjunto tiene un valor de **30 puntos**.

Evaluación de los miembros del equipo			
Grado académico Valor Total = 5 puntos		Experiencia profesional Valor total = 5 puntos	
Grado académico	Valor en la escala	Años de experiencia	Valor en la escala
Licenciatura	2	Menos de 2 años	0
Maestría	3	De 2 a 4 años	3
Doctorado	5	Mayor a 4 años	5

6.1.3 Sistema de calificación de la empresa

El equipo consultor estará evaluado desde la perspectiva de su trayectoria según el número de estudios que ha realizado:

- Se anexará una lista de las consultorías realizadas por la firma, así como cartas de constancia de entrega de las mismas y satisfacción por parte del cliente. De los trabajos realizados por el equipo consultor, la municipalidad se reserva la potestad de solicitar copias en formato digital del estudio para su revisión y análisis si así lo considera conveniente.
- Según el número de consultorías elaboradas, así como los años de experiencia de la firma, se tendrán un total de **16 puntos** como máximo, los cuales se asignarán de la siguiente forma:

Evaluación de la empresa			
Consultorías realizadas Valor Total = 10 puntos		Años de experiencia Valor total = 10 puntos	
Total de consultorías	Puntos	Años de experiencia	Puntos
Ninguna	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8 o más	8	8 o más	8

Al mismo tiempo, todas las empresas que deseen participar en las licitaciones, deberán aportar una garantía de participación cuyo monto será fijado por la administración Municipal.

Además como parte de los requisitos para que una empresa pueda postularse como licitante en las distintas consultorías, es que tenga una liquidez contable, de las cual los montos también serán fijados por la administración municipal. Si no se cumple con este requisito, la empresa quedará excluida de la licitación.

6.1.4 Personal y servicios de apoyo.

Se considera que los costes de otro personal y de los servicios de apoyo, que requerirán los especialistas principales y otros expertos para el cumplimiento de la consultoría, están incluidos en el precio global del presente contrato.

6.1.5 Oficinas.

La municipalidad de Belén no proporcionará oficinas, por lo que los costes de las oficinas de los profesionales están incluidos en el precio global del contrato.

6.1.6 Instalaciones que debe proporcionar el consultor.

El consultor garantizará el apoyo y equipamiento adecuado de los miembros del equipo consultor. En particular, garantizará la existencia de una provisión administrativa, de secretaría e interpretación suficiente que permita a los profesionales concentrarse en sus responsabilidades primarias. También debe transferir fondos, en función de las necesidades, para apoyar sus actividades al amparo del contrato y garantizar el pago a sus empleados regularmente y a su debido tiempo. Asimismo, contemplar todos aquellos temas que tiene que ver con la seguridad social o seguros (salud, accidentes, vida, prestaciones, etc.).

Si el consultor es un consorcio, los acuerdos deberán permitir una máxima flexibilidad en la ejecución del estudio. Deberán evitarse los acuerdos que ofrezcan a cada socio del consorcio un porcentaje fijo del trabajo que debe realizarse en virtud del contrato.

6.1.7 Gastos Imprevistos.

El monto fijado por la empresa consultora al día de la licitación será definitivo, salvo los ajustes por inflación de ley. No se consideran gastos imprevistos para esta contratación.

6.2 ETAPA DE DIAGNÓSTICO Y FACTIBILIDAD TÉCNICA

6.2.1 Plazo

El plazo establecido para esta etapa es de 80 días hábiles, lo cual es equivalente aproximadamente a tres meses calendario.

6.2.2 Precio

El precio máximo permisible es de 20 000 000 (veinte millones de colones a octubre de 2008).

6.2.3 Especialistas principales

Para todos los especialistas principales y como parte de las cualificaciones y habilidades, se consideraran los siguientes:

- Comprobar su idoneidad profesional para ejercer sus respectiva profesión, requisito tanto para las y los profesionales nacionales como extranjeros, en la República de Costa Rica o el país de origen, a través de una certificación expedida por la autoridad competente.
- Disponibilidad completa de participación activa y permanente durante el período completo de ejecución del contrato en los procesos que requiere el estudio.
- El dominio excelente (escritura, lectura y comunicación) del idioma español es imprescindible.
- Alta capacidad de síntesis y preparación de documentos técnicos a nivel de resumen.
- Profesionales con nivel de licenciatura y postgrado (en el caso de jefe de equipo) en las áreas de ingeniería, geología, entre otros.
- Tener conocimiento práctico de los conceptos básicos del perfil profesional concordante con las necesidades del proyecto en ingeniería ambiental, sanitaria, hidráulica, manejo de recursos hídricos, economía ambiental, política económica, planificación urbana u ordenamiento territorial, y otras áreas afines.
- Tener una experiencia de trabajo en materia de administración pública, proyectos similares o gestión ambiental sostenible en Costa Rica y/o el exterior.
- Un buen conocimiento de la normativa urbana y técnica.

6.2.3.1 Especialista principal 1: Jefe/a de equipo – Especialista en Hidráulica o Hidrología

Cualificaciones y habilidades

- Tener como profesión base a nivel de licenciatura completa la carrera de ingeniería, o profesión afín al estudio de los sistemas hídricos.
- Preferentemente contar con estudios de postgrado a nivel de maestría o doctorado en hidráulica, hidrología o amenazas naturales con énfasis en inundaciones.
- Manejo de metodologías de planificación de sistemas de alcantarillados.

Experiencia profesional general

- Al menos 3 años de experiencia profesional y conocimiento práctico de los conceptos básicos de estudios previos en sistemas de alcantarillados, así como análisis de zonas en riesgo de inundaciones y elaboración de modelos hidráulicos e hidrológicos.

- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación y conceptualización de sistemas de alcantarillados y búsqueda de soluciones a zonas urbanas afectadas por inundaciones.
- Experiencia General comprobable del consultor/a, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/a, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Un buen conocimiento de la normativa técnica, tanto a nivel nacional como internacional.
- Experiencia en dirección y gestión de Proyectos similares.

6.2.3.2 *Especialista principal 2: Especialista en Infraestructura urbana.*

Cualificaciones y habilidades

- Tener como profesión a nivel de licenciatura completa la carrera de ingeniería civil con especialidad en infraestructura de alcantarillados.
- Contar con estudios postgrado preferiblemente a nivel de maestría en proyectos de impacto urbano o especialidades afines, comprobable.
- Habilidades eficaces en el manejo de herramientas de computadora en ambiente Windows (p.e. Word, Excel, Power Point, entre otros), así como al menos conocimiento básico de otras herramientas informáticas para el abordaje de la temática de infraestructuras.

Experiencia profesional general

- Al menos 2 años de experiencia profesional y manejo de metodologías de planificación y prospección, particularmente en la temática de infraestructuras a nivel de alcantarillados.
- Experiencia General comprobable del consultor/consultora en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación de sistemas de alcantarillado y manejo de inundaciones similares.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/consultora, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Manejo de aguas pluviales, énfasis en infraestructura amigable con el medio ambiente.
- Estudios sobre el manejo de inundaciones en zonas urbanas.

6.2.3.3 *Especialista principal 2: Especialista en hidrogeología*

- Especialista en hidrogeología para generar la información y los criterios referentes al tema de las aguas subterráneas, en donde se describan los acuíferos de la zona así

como la vulnerabilidad de los mismos, y además describa los aspectos geológicos relacionados al proyecto.

- Al menos 2 años de experiencia profesional.
- Experiencia general comprobable del consultor/consultora en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación de sistemas de alcantarillado y manejo de inundaciones similares.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/consultora, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.

6.2.3.4 *Especialista principal 2: Especialista en geotecnia*

- Especialista en geotecnia, el cual emita criterios preliminares sobre las condiciones del suelo de cimentación que se utilizará.
- Al menos 2 años de experiencia profesional.
- Experiencia general comprobable del consultor/consultora en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación de sistemas de alcantarillado y manejo de inundaciones similares.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/consultora, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.

6.2.4 *Puntos para la evaluación*

Para esta consultoría se presenta la siguiente puntuación máxima que se puede obtener para una empresa durante su evaluación:

ITEM DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Esquema conceptual de resolución	14
Precio	20
Experiencia de la empresa	16
Director de proyecto	20
Profesionales	30
Puntaje máximo obtenible	100 puntos

6.3 ETAPA DE FACTIBILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA

6.3.1 Plazo

El plazo establecido para esta etapa es de 80 días hábiles, lo cual es equivalente aproximadamente a tres meses calendario.

6.3.2 Precio

El precio máximo es de 18 000 000 (dieciocho millones de colones a octubre de 2008).

6.3.3 Especialistas principales

Para todos los especialistas principales y como parte de las cualificaciones y habilidades, se consideraran los siguientes:

- Comprobar su idoneidad profesional para ejercer sus respectiva profesión, requisito tanto para las y los profesionales nacionales como extranjeros, en la República de Costa Rica o el país de origen, a través de una certificación expedida por la autoridad competente.
- Disponibilidad completa de participación activa y permanente durante el período completo de ejecución del contrato en los procesos que requiere el estudio.
- Tener una experiencia de trabajo en materia de administración pública, proyectos similares o gestión ambiental sostenible en Costa Rica y/o el exterior.
- El dominio excelente (escritura, lectura y comunicación) del idioma español es imprescindible.
- Alta capacidad de síntesis y preparación de documentos técnicos a nivel de resumen.

6.3.3.1 Especialista principal 1: Jefe/a de equipo – Especialista en Sistemas de alcantarillados

Cualificaciones y habilidades.

- En complemento a las señaladas anteriormente, deberá tener como profesión, a nivel de licenciatura completa, la carrera de ingeniería, o alguna afín al diseño de alcantarillados.
- Preferentemente contar con estudios de postgrado a nivel de maestría o doctorado en estudios sobre hidráulica, hidrología o amenazas naturales.
- Manejo de metodologías de planificación de sistemas de alcantarillados.

Experiencia profesional general.

- Al menos 3 años de experiencia profesional y conocimiento práctico de los conceptos básicos de estudios previos en sistemas de alcantarillados, así como análisis de zonas en riesgo de inundaciones y elaboración de modelos hidráulicos e hidrológicos.

- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación y conceptualización de sistemas de alcantarillados y búsqueda de soluciones a zonas urbanas afectadas por inundaciones.
- Experiencia General comprobable del consultor/a, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/a, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Tener una experiencia de trabajo en materia de diseño de alcantarillados así como de la problemática de las inundaciones en las zonas urbanas, tanto para el caso de Costa Rica y/o el exterior, con al menos 3 años de experiencia.
- Un buen conocimiento de la normativa técnica, tanto a nivel nacional como internacional.
- Experiencia en dirección y gestión de Proyectos similares.

6.3.3.2 Especialista principal 2: Medio ambientalista

Cualificaciones y habilidades:

- Licenciado en ciencias ambientales o carrera a fin, con especialidad en ambiente y recursos naturales.

Experiencia profesional general

- Un especialista en Ambiente preferiblemente en gestión ambiental. Con experiencia mínima en la gestión de Planes y Evaluaciones de Impacto Ambiental.
- Al menos 2 años de experiencia en el desarrollo de planes de gestión ambiental para diversos tipos de actividades de desarrollo, particular de tipo urbano e industrial.

6.3.3.3 Especialista principal 3: Especialista en Infraestructura urbana.

Cualificaciones y habilidades

- Tener como profesión a nivel de licenciatura completa la carrera de ingeniería civil con especialidad en sistemas de alcantarillados.
- Contar con estudios postgrado preferiblemente a nivel de maestría en infraestructura vial, ordenamiento del territorio, proyectos de impacto urbano o especialidades afines, comprobable.
- Habilidades eficaces en el manejo de herramientas de computadora en ambiente Windows (p.e. Word, Excel, Power Point, entre otros), así como al menos conocimiento básico de otras herramientas informáticas para el abordaje de la temática de infraestructuras.

Experiencia profesional general

- Al menos 2 años de experiencia profesional y manejo de metodologías de planificación y prospección, particularmente en la temática de infraestructuras.

- Experiencia General comprobable del consultor/consultora en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación y ordenamiento territorial similares, en el país y preferiblemente también a nivel internacional, con énfasis en infraestructura.
- Experiencia documentada en la incorporación de los fundamentos teórico metodológicos de la perspectiva de género al ámbito de las investigaciones.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/consultora, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Propuestas viales y proyectos de infraestructura y transporte.

6.3.3.4 *Especialista principal 4: Especialista en Economía.*

Cualificaciones y Habilidades

- Tener como profesión a nivel de licenciatura completa la carrera de: Economía, o profesión afín a la planificación y al análisis económico urbano regional.
- Tener postgrado, de preferencia Maestría en Economía sobre valoración de proyectos.

Experiencia profesional general

- Experiencia comprobable del consultor/consultora, al menos 2 años, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia de trabajo en el sector financiero y/o comercial.
- Experiencia en la formulación de políticas de desarrollo (deseable).
- Tanto las y los profesionales nacionales como extranjeros deben comprobar su idoneidad profesional para ejercer sus respectivas profesiones.
- Experiencia previa del consultor en la elaboración de estudios de los sectores comercial, financiera, laboral de la economía en Costa Rica ó a nivel internacional.
- Experiencia en trabajos anteriores de análisis similares, particularmente en donde se haya hecho una evaluación de la capacidad del consultor/consultora de proponer soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas detectados, como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Experiencia en métodos de valoración de proyectos de infraestructura y desarrollo y urbano.

6.3.3.5 *Especialista principal 5: Especialista en Legislación*

Cualificaciones y habilidades.

- Tener como profesión a nivel de licenciatura completa la carrera de Derecho.
- Especialidad en el manejo o desempeño del Derecho Urbano, contratos de derecho público y privado, ambiental o especialidades afines, comprobable.

- Habilidades eficaces en el manejo de herramientas de computadora en ambiente Windows (p.e. Word, Excel, Power Point, entre otros).

Experiencia profesional general.

- Al menos 2 años de experiencia y manejo de metodologías de análisis institucional.
- Experiencia General comprobable del consultor/consultora en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de generación de reglamentos, en el país y preferiblemente también a nivel internacional, con énfasis en infraestructura y tasas de impuestos.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/consultora, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Al menos 2 años de experiencia y conocimiento de planes urbanos.
- Planificación del desarrollo urbano.
- Legislación municipal costarricense y comparada para el cobro de impuestos.

6.3.4 Puntos para evaluación

En este caso, existen cuatro profesionales adicionales al director de proyecto.

Estos serán evaluados con la escala de 1 a 10, se suma el total de puntos obtenidos por el equipo de cuatro profesionales y ese resultado se multiplica por 0,75. Finalmente se obtendrá una puntuación máxima de 30 puntos.

Para esta consultoría se presenta la siguiente puntuación máxima que se puede obtener para una empresa durante su evaluación:

ITEM DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Esquema conceptual de resolución	14
Precio	20
Experiencia de la empresa	16
Director de proyecto	20
Profesionales	30
Puntaje máximo obtenible	100 puntos

6.4 ETAPA DE DISEÑO Y PLAN MAESTRO

6.4.1 Precio

El precio máximo es de 70 000 000 (setenta millones de colones a octubre de 2008)

6.4.2 Plazo

El plazo establecido para esta etapa es de 140 días hábiles, lo cual es equivalente aproximadamente a siete meses calendario.

6.4.3 Especialistas principales

Para todos los especialistas principales y como parte de las cualificaciones y habilidades, se consideraran los siguientes:

- Comprobar su idoneidad profesional para ejercer sus respectiva profesión, requisito tanto para las y los profesionales nacionales como extranjeros, en la República de Costa Rica o el país de origen, a través de una certificación expedida por la autoridad competente.
- Disponibilidad completa de participación activa y permanente durante el período completo de ejecución del contrato en los procesos que requiere el estudio.
- El dominio excelente (escritura, lectura y comunicación) del idioma español es imprescindible.
- Alta capacidad de síntesis y preparación de documentos técnicos a nivel de resumen.
- Profesionales con nivel de licenciatura y postgrado (en el caso de jefe de equipo) en las áreas de Ingeniería; planificación urbana; ordenamiento territorial y afines:
- Tener conocimiento práctico de los conceptos básicos del perfil profesional concordante con las necesidades del proyecto en ingeniería ambiental, sanitaria, hidráulica, manejo de recursos hídricos, economía ambiental, política económica, planificación urbana u ordenamiento territorial, y otras áreas afines.
- Un buen conocimiento de la normativa técnica internacional.

6.4.3.1 Especialista principal 1: Jefe del equipo

Cualificaciones y habilidades

- En complemento a las señaladas anteriormente, deberá tener como profesión, a nivel de licenciatura completa, la carrera de ingeniería, o alguna afín al diseño de alcantarillados.
- Tener postgrado, mínimo a nivel de Maestría Académica, ingeniería ambiental, sanitaria, hidráulica, manejo de recursos hídricos, economía ambiental, política económica, planificación urbana u ordenamiento territorial.
- Conocimiento básico de SIG y programas de cómputo tipo CAD.

Experiencia profesional general

- Al menos 3 años de experiencia profesional y conocimiento práctico de los conceptos básicos de estudios previos en sistemas de alcantarillados, así como análisis de zonas en riesgo de inundaciones y elaboración de modelos hidráulicos e hidrológicos.
- Experiencia General comprobable del consultor/a, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/a, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Publicaciones, artículos, libros. Conferencias, incluyendo también la docencia sobre estos temas
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas, como también del cumplimiento eficiente de los contratos anteriores.
- Experiencia como director de proyectos similares
- Desarrollo de diseños para infraestructura del sector hidráulico y sanitario.

6.4.3.2 Especialista principal 2: Coordinador técnico del equipo – Ingeniero hidráulico

Cualificaciones y habilidades

- Tener como profesión, a nivel de licenciatura completa, la carrera de ingeniería o afín a la temática.
- Conocimiento básico de SIG y programas de cómputo tipo CAD.

Experiencia profesional general

- Experiencia general comprobable del consultor, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas de por lo menos 2 años.
- Experiencia como consultor de proyectos similares
- Asistencia en el desarrollo de estudios, obras civiles o propuestas e el campo de ingeniería hidráulica, sanitaria o pluvial. Se valorara positivamente el diseño, desarrollo o ejecución de proyectos afines.

6.4.3.3 Especialista principal 3: Ingeniero estructural

Cualificaciones y habilidades

- Tener como profesión, a nivel de licenciatura completa, la carrera de ingeniería o afín a la temática.
- Conocimiento básico de programas de cómputo tipo CAD.

Experiencia profesional general

- Experiencia general comprobable del consultor, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas de por lo menos 2 años.

- Experiencia del consultor en diseño de puentes y pasos aéreos, así como estructuras que sufran afectación producto de cargas provocadas por el agua.
- Experiencia en proyectos similares.
- Asistencia en el desarrollo de estudios, obras civiles o propuestas e el campo de ingeniería hidráulica, sanitaria o pluvial. Se valorara positivamente el diseño, desarrollo o ejecución de proyectos afines.

6.4.3.4 Especialista principal 4: Especialista en Infraestructura urbana.

Cualificaciones y habilidades

- Tener como profesión a nivel de licenciatura completa la carrera de ingeniería civil con especialidad en infraestructura urbana.
- Contar con estudios postgrado preferiblemente a nivel de maestría en infraestructura vial, ordenamiento del territorio, proyectos de impacto urbano o especialidades afines, comprobable.
- Habilidades eficaces en el manejo de herramientas de computadora en ambiente Windows (p.e. Word, Excel, Power Point, entre otros), así como al menos conocimiento básico de otras herramientas informáticas para el abordaje de la temática de infraestructuras.

Experiencia profesional general

- Al menos 2 años de experiencia profesional y manejo de metodologías de planificación y prospección, particularmente en la temática de infraestructuras.
- Experiencia General comprobable del consultor/consultora en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia previa del consultor en la participación en procesos de planificación y ordenamiento territorial similares, en el país y preferiblemente también a nivel internacional, con énfasis en infraestructura.
- Experiencia documentada en la incorporación de los fundamentos teórico metodológicos de la perspectiva de género al ámbito de las investigaciones.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/consultora, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Propuestas viales y proyectos de infraestructura y transporte.

6.4.4 Puntos para evaluación

Para esta consultoría se presenta la siguiente puntuación máxima que se puede obtener para una empresa durante su evaluación:

ITEM DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Esquema conceptual de resolución	14
Precio	20
Experiencia de la empresa	16
Director de proyecto	20
Profesionales	30
Puntaje máximo obtenible	100 puntos

6.5 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.5.1 Plazo

El plazo establecido para esta etapa es de 80 días hábiles, lo cual es equivalente aproximadamente a tres meses calendario.

6.5.2 Precio

El precio máximo es de 29 000 000 (veintinueve millones de colones a octubre de 2008).

6.5.3 Especialistas principales

Para todos los especialistas principales y como parte de las cualificaciones y habilidades, se consideraran los siguientes:

- Comprobar su idoneidad profesional para ejercer sus respectiva profesión, requisito tanto para las y los profesionales nacionales como extranjeros, en la República de Costa Rica o el país de origen, a través de una certificación expedida por la autoridad competente, así como estar debidamente inscritos como consultores en SETENA.
- Disponibilidad completa de participación activa y permanente durante el período completo de ejecución del contrato en los procesos que requiere el estudio.
- Tener una experiencia de trabajo en materia de administración pública, proyectos similares o gestión ambiental sostenible en Costa Rica y/o el exterior.
- El dominio excelente (escritura, lectura y comunicación) del idioma español es imprescindible.
- Alta capacidad de síntesis y preparación de documentos técnicos a nivel de resumen.

6.5.3.1 *Especialista principal 1: Jefe/a de equipo*

Cualificaciones y habilidades.

- En complemento a las señaladas anteriormente, deberá tener como profesión, a nivel de licenciatura completa, la carrera de ingeniería, biología, geografía, geología, o alguna carrera afín a las ciencias ambientales.
- Preferentemente contar con estudios de postgrado a nivel de maestría o doctorado.
- Manejo de metodologías de planificación de sistemas de alcantarillados.

Experiencia profesional general.

- Al menos 3 años de experiencia profesional y conocimiento práctico de los conceptos básicos de estudios previos en sistemas de alcantarillados, y su enfoque a los sistemas de alcantarillados.
- Experiencia General comprobable del consultor/a, en el desempeño profesional de las áreas antes mencionadas.
- Experiencia en trabajos anteriores, particularmente en la evaluación que se haya hecho de la capacidad del consultor/a, de obtener soluciones prácticas, económicas y expeditas a los problemas como también del cumplimiento eficiente de contratos anteriores.
- Un buen conocimiento de la normativa técnica, tanto a nivel nacional como internacional.
- Experiencia en dirección y gestión de Proyectos similares.

6.5.3.2 *Demás profesionales principales*

Los demás Especialistas del equipo deberán contar como mínimo con los siguientes requisitos:

Cualificaciones y habilidades:

- Licenciatura académica.

Experiencia profesional general

- Mínimos 2 años de experiencia en labores relacionadas con estudios de impacto ambiental.

La lista de Especialistas se completa con los siguientes profesionales:

- Especialista en geografía o planificación territorial.
- Ingeniero/a civil con especialidad en Hidrología.
- Ingeniero/a civil con especialidad en Geotecnia.
- Ingeniero/a civil con especialidad en transportes.
- Geólogo/a.
- Especialista en hidrogeología.
- Especialista en ciencias sociales (trabajador/a social, antropólogo/a, sociólogo/a,).

- Arqueólogo/a.

6.5.4 Puntos para evaluación

En este caso, existen ocho profesionales adicionales al director de proyecto.

Estos serán evaluados con la escala de 1 a 10. Posteriormente se suma el total de puntos obtenidos por el equipo de ocho profesionales y ese resultado se multiplica por 0,375. Finalmente se obtendrá una puntuación máxima de 30 puntos.

Para esta consultoría se presenta la siguiente puntuación máxima que se puede obtener para una empresa durante su evaluación:

ITEM DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
Esquema conceptual de resolución	14
Precio	20
Experiencia de la empresa	16
Director de proyecto	20
Profesionales	30
Puntaje máximo obtenible	100 puntos

7. COMENTARIOS GENERALES

7.1 Sobre la importancia de manejar en paralelo los proyectos de alcantarillado pluvial y sanitario

Existen varios aspectos que reflejan una necesidad en la ejecución conjunta de los alcantarillados pluvial y sanitario, los principales motivos que justifican la realización paralela son:

- Las curvas de nivel son requeridas y presentan el mismo nivel de detalle para ambos proyectos, al mismo tiempo que son un insumo básico para el diseño en los dos casos.
- La construcción paralela de los alcantarillados pluvial y sanitario generaría un ahorro en el costo de construcción, así como los costos sociales y pérdidas relacionadas con los sistemas de transporte. En este caso se vincula con los procesos tales como la rotura de carreteras y afectación de zonas de comerciales, gastos directos de los usuarios por congestión de tránsito, uso de rutas alternas, entre otros factores que si se ejecutaran dos proyectos paralelos sería una sola inversión.
- Si se realiza un estudio geotécnico para los dos alcantarillados, se tendría un costo sustancialmente menor en la ejecución del mismo, ya que los parámetros que se deben obtener para ambos diseños son muy semejantes.
- En otro de los aspectos que sería conveniente desarrollar integradamente los proyectos de alcantarillado sanitario y pluvial es en el tema del estudio de impacto ambiental. Al elaborar un solo estudio de impacto ambiental para ambos alcantarillados se reducen costos significativamente, pues comparten aspectos es común como lo son los impactos en los sistemas de transporte durante la fase constructiva, entre otros.
- Para el caso del alcantarillado pluvial, y los posibles impactos en la contaminación de aguas subterráneas, es necesario que se disponga de un alcantarillado sanitario en donde sean vertidas las aguas grises. De tenerse únicamente el pluvial, se corren riesgos de que las aguas jabonosas de la cocina y del baño puedan ir al alcantarillado pluvial, así como el hecho de que se den conexiones ilícitas de tanques sépticos, lo cual generaría un impacto ambiental muy negativo para el sistema hídrico.
- En caso de buscar opciones tecnológicas de construcción modernas (microtuneleo, "pipe jacking" (tuberías hincadas), u otros), existiría una mayor viabilidad para traer las empresas al país que desarrollan este tipo de obra, producto del volumen, lo cual genera grandes beneficios sociales y en los sistemas de transporte pues no requiere la ruptura de las calles, exceptuando en los puntos donde se colocan los pozos (aunque el costo contable es alto, los beneficios sociales y ambientales también son altos). En todo caso, si se lograsen construir los dos proyectos en conjunto, y se desarrollan tecnologías tradicionales con zanja, solamente habría que romper las calles una vez.

7.2 Sobre la forma en que convendría realizar la consultoría

Debido a los enfoques tan importantes que tiene cada una de las etapas, así como el nivel de especialistas requeridos, se recomienda que en lugar de una sola consultoría para todo el proyecto de alcantarillado pluvial, se desarrollen consultorías distintas con calificaciones profesionales diferentes para cada una. Estas estarían divididas de la siguiente forma:

1. Topografía: Una licitación para la medición y elaboración de las curvas de nivel del cantón.
2. Diagnóstico y factibilidad técnica: Una consultoría en donde se contrate la ejecución de la etapa de diagnóstico y factibilidad técnica.
3. Factibilidad técnica y ambiental: Una consultoría en donde se contrate la ejecución de la factibilidad tanto ambiental como económica. En ella el perfil del especialista que se buscarán serán con formación en evaluaciones de impacto ambiental, así como especialistas en economía.
4. Estudio geotécnico: Una consultoría en donde se elabore el estudio de los parámetros geotécnicos requeridos en los diseños del alcantarillado tanto sanitario como pluvial.
5. Diseño y plan maestro de operación y mantenimiento: Una consultoría para que se elabore el diseño con los respectivos planos y especificaciones técnicas, el estudio de impacto ambiental y plan maestro de operación y mantenimiento, en donde el perfil será de una empresa con experiencia en diseño de alcantarillados.
6. Estudio de impacto ambiental: Una consultoría en donde se realice el estudio de impacto ambiental conjunto para los alcantarillados pluvial y sanitario.

Uno de los aspectos en los cuales es conveniente que la Municipalidad vaya trabajando es en la elaboración de las curvas de nivel. Esto, ya que estas son la información base para todos los estudios, y al mismo tiempo es una de las tareas que podría demandar mayor tiempo en su ejecución producto de la extensión del territorio del cantón.

ANEXOS

A.1 Introducción

La información base que se presenta en este anexo, es parte esencial para la etapa de diseño de un sistema de alcantarillado sanitario. Ella definirá en gran medida, la metodología empleada, así como los problemas básicos existentes, y los retos que se deben plantear en el tema de la evacuación de las aguas de lluvia.

En primera instancia, se deben conocer los límites del proyecto, de ahí que tener claro cual es el área, la ubicación espacial y sus límites, es muy útil. En el caso de Belén, se tienen al norte y al sur ríos, lo cual favorece en materia de diseño. El área que se debe drenar mediante la red de alcantarillado, es de 1246 hectáreas, lo cual equivale a 12,5 km². En el mapa 1 se presentan los límites tanto cantonales como distritales.

Por otra parte se anexa también aquí, en el mapa 2, la fotografía aérea del cantón. Esta permite tener una perspectiva del desarrollo y la cobertura del suelo, así como la intensidad de la actividad inmobiliaria que se ha desarrollado, y en el caso de Belén muy enfocada hacia la construcción industrial.

Se debe tener claridad también del contexto hidrológico en el que se encuentra el cantón. En el mapa 3, se muestran las cuencas hidrográficas que tienen incidencia sobre el cantón de Belén, y los cantones vecinos que comparten territorio en esas cuencas. Las cuatro existentes son las de los ríos Segundo, Quebrada Seca, Bermúdez y el Río Virilla. De ellas, a pesar de que todas presentan índices de impermeabilización muy elevados, las que más afectan son las de los ríos Quebrada Seca y Bermúdez, las que se inundan con frecuencia dada la poca capacidad hidráulica de los cauces. En el caso de los ríos Segundo y Virillas, tienen cañones profundos, lo cual genera buenas opciones como colectores de aguas pluviales.

Una de las primeras variables de diseño, que se debe considerar es la topografía. Como se puede observar en el mapa 4, el cantón presenta una topografía muy plana, la cual se ve alterada solamente en los límites norte y sur, en donde están los cañones de los ríos Segundo y Virilla. Las pendientes existentes en la mayor parte del área del cantón oscilan entre 0 y 5%, lo que corresponde entre 0 y 2,86°. El tema de la topografía es fundamental, ya que la pendiente define en gran medida el tamaño de los conductos de la red de colectores de agua pluvial. A mayor pendiente, se pueden tener colectores de menor diámetro. Además la precisión de la información base puede ser menor. Para el caso de Belén, al ser tan plano, la información base mínima requerida son curvas de nivel a cada 0,5 m en elevación.

Otro de los aspectos significativos, son los cuerpos receptores de las aguas. Para el caso de Belén se tienen cuatro ríos principales que atraviesan el cantón en forma prácticamente paralela, en orientación este – oeste. En el mapa 6 se puede observar la red hídrica de Belén, en donde dos de los ríos principales pasan muy cerca del centro de la Ciudad, y son los que causan los principales daños por inundaciones.

La red de alcantarillado va colocada sobre la red vial principal del cantón. Definir cuales caminos llega hacia los ríos principales, permite definir las rutas de los colectores, e ir planteando perfiles y las posibilidades que ofrece la topografía para el diseño. La compra de terrenos debe realizarse solo como última alternativa, ya que comparativamente con el costo de la red es muy caro, por lo cual debe evitarse al máximo la inversión en este ítem.

En el mapa 7 se presenta la red de carreteras y caminos del cantón de Belén, los cuales fueron tomados de las hojas cartográficas 1:10000 del IGN, publicadas en el año 1991.

Finalmente se presenta información meteorológica para diseño. Se tiene en el mapa 8 la ubicación de las estaciones pluviográficas principales, así como dos tablas con la información de los datos de intensidad para distintas duraciones y períodos de retorno en estas estaciones. Como datos para Belén, por su cercanía se disponen los de las estaciones Aeropuerto Juan Santamaría y Aeropuerto Pavas.

Toda esta información representa una base, la cual junto con los datos de uso del suelo, para determinar la cobertura y con ello aproximar el porcentaje de escorrentía generado, se podría realizar el diseño hidráulico del alcantarillado.

Por otro lado, es requerida en la etapa de análisis específicos e integrados, información territorial y geográfica. Para la determinación de los coeficientes de escorrentía en el diseño, se requiere un mapa en donde se muestre el uso de suelo actual, el cual debe ser complementado con el reglamento de zonificación propuesto por el Plan Regulador de Belén para determinar el posible uso de suelo a futuro. En el mapa 9 se muestra el uso de suelo actual en el cantón.

En los mapas 10, 11 y 12 se muestran variables geotécnicas, geológicas y geomorfológicas del cantón. Las cuales al ser complementadas con los mapas 13 y 14m los cuales reflejan las condiciones hidrogeológicas, permiten generar criterios ambientales en lo referente a las aguas subterráneas.

Finalmente el mapa 15 muestra un conjunto de perfiles topográficos que representan elevaciones del cantón sobre algunas de las rutas viales principales, en las cuales podrían eventualmente colocarse algunos de los colectores.

A.2 Listado de información

- Mapa 1: Límites distritales del cantón de Belén.
- Mapa 2: Fotografía aérea del cantón de Belén.
- Mapa 3: Cuencas hidrográficas con ingerencia sobre el cantón de Belén.
- Mapa 4: Topografía del cantón de Belén.
- Mapa 5: Distribución de pendientes en el cantón de Belén.
- Mapa 6: Red hídrica del cantón de Belén.
- Mapa 7: Red de carreteras y caminos en el cantón de Belén.
- Mapa 8: Estaciones meteorológicas con valores de intensidad calculados cercanas a Belén.
- Valores de intensidad de precipitación para distintas duraciones y distintos períodos de retorno en la estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría.
- Valores de intensidad de precipitación para distintas duraciones y distintos períodos de retorno en la estación 84074, Aeropuerto Pavas.
- Mapa 9: Uso de suelo en el cantón de Belén.
- Mapa 10: Clasificación geotécnica del cantón de Belén.

- Artículo: "Zonificación geotécnica de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos". Por Bogantes et al, 2002.
- Mapa 11: Clasificación geológica en el cantón de Belén.
- Mapa 12: Caracterización geomorfológica en el cantón de Belén.
- Mapa 13: Caracterización hidrogeológica en el cantón de Belén: capacidad de recarga.
- Mapa 14: Caracterización hidrogeológica en el cantón de Belén: capacidad de captación.
- Mapa 15: Perfiles topográficos del cantón de Belén sobre vías principales.
- Perfiles topográficos para las distintas secciones propuestas sobre las carreteras principales del cantón.

Mapa A-1: Límites distritales del cantón de Belén

Simbología

- Poblados principales
- ~ Carreteras Nacionales
- ~ Ríos
- 3 Límite Distrital
- ~ Límite Cantonal

Distrito	Area (Ha)	%
San Antonio	355,2	28,5%
La Ribera	432,6	34,7%
Asunción	458,1	36,8%
Total	1245,9	100,0%

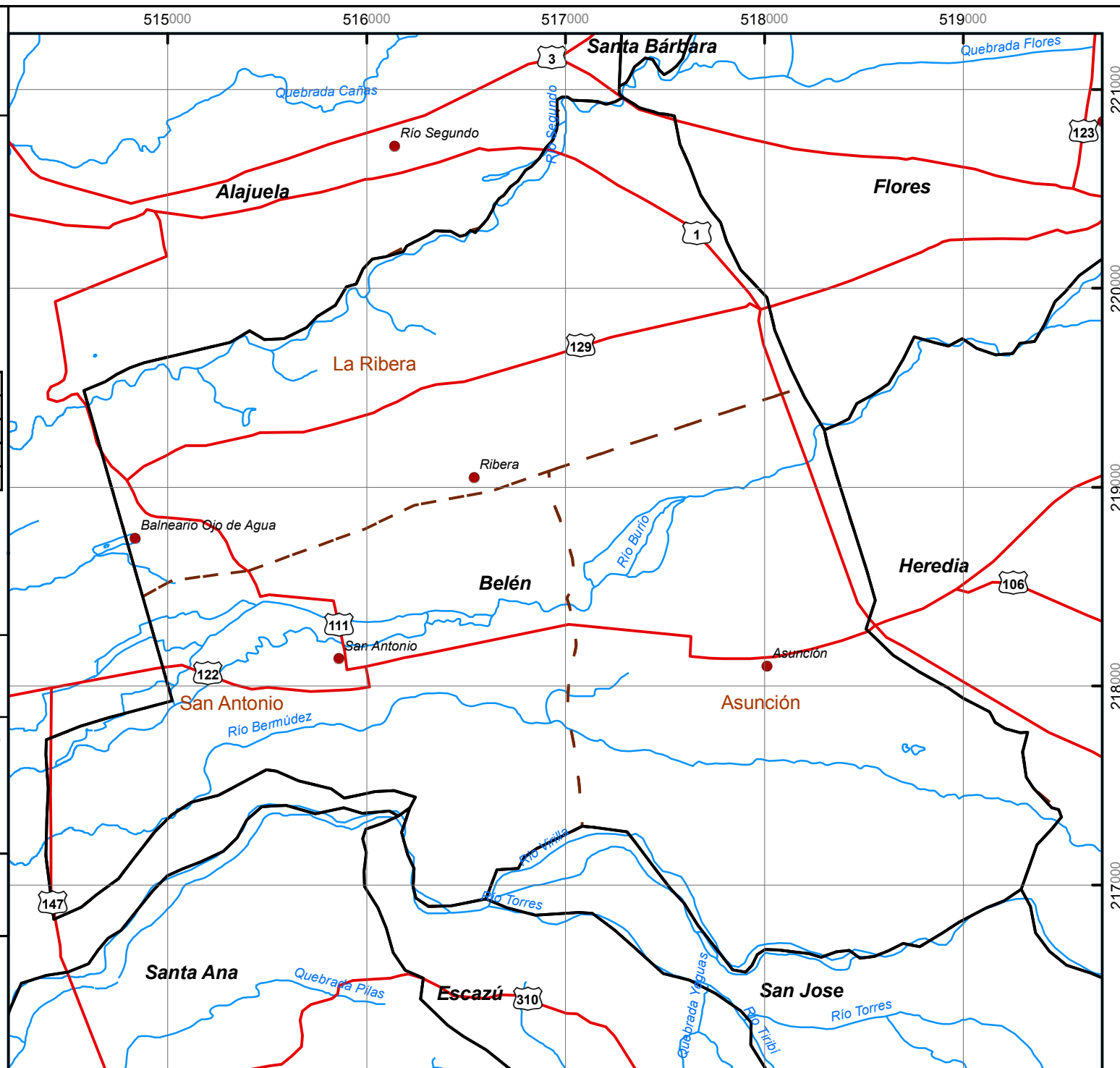
Fuente: ProDUS-UCR 2008.

Escala 1:27 500



Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



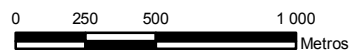
Mapa A-2: Fotografía aérea del cantón de Belén.

Simbología

- Carreteras Nacionales
- Ríos
- Calles
- Límite Cantonal

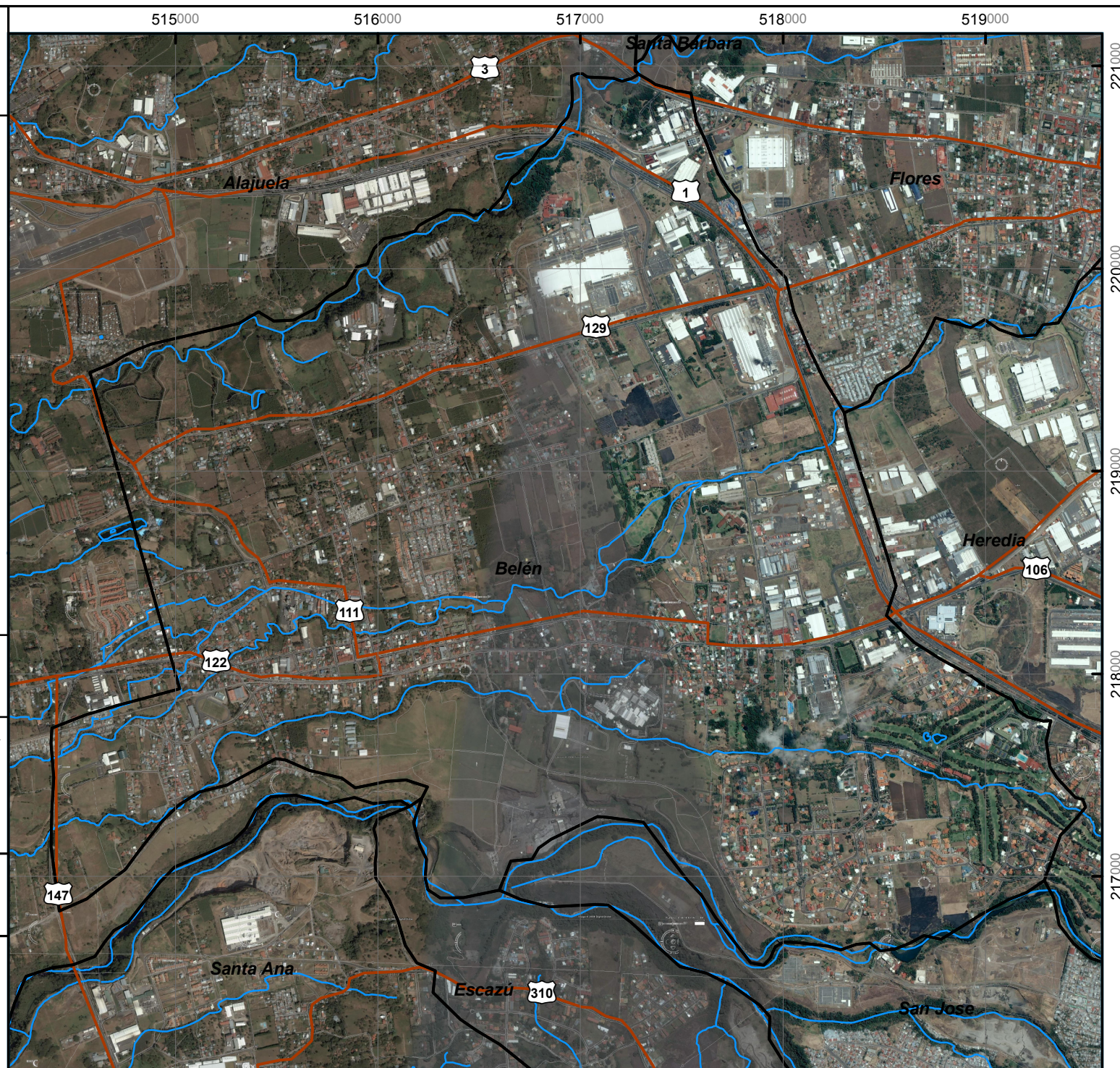
Fuente: Programa Google Earth;
hojas cartográficas 1:10 000 IGN;
ProDUS-UCR 2008.

Escala 1:27 000



Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*



Mapa A-3: Cuencas hidrográficas con ingerencia en el cantón de Belén

Simbología

— Ríos

⬮ Límite Cantonal

Cuencas hidrográficas

■ Río Segundo

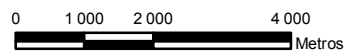
■ Quebrada Seca

■ Río Bermúdez

■ Río Virilla

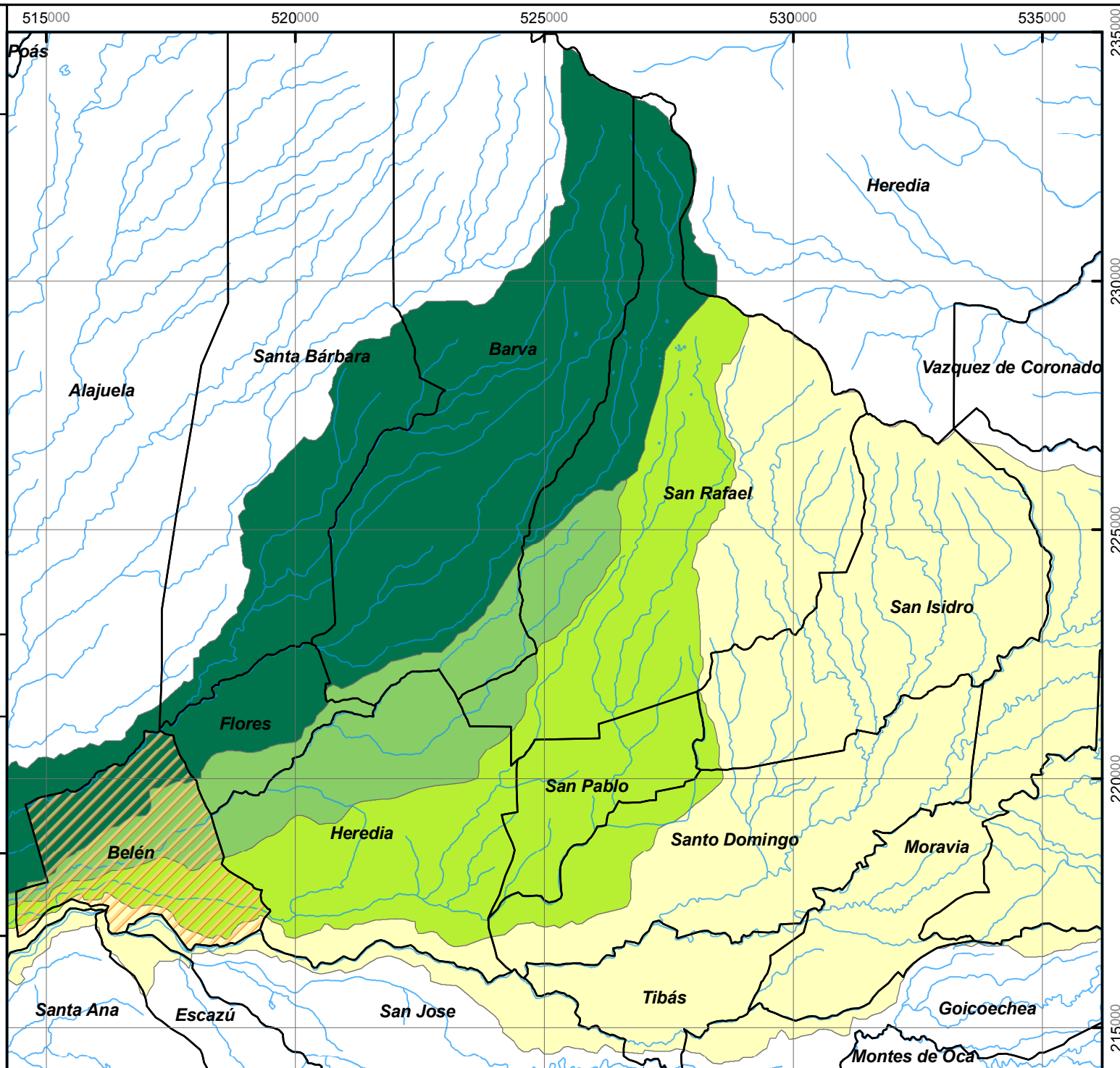
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:110 000



Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



Mapa A-4: Topografía del cantón de Belén.

Simbología

Carreteras Nacionales

Ríos

Límite Cantonal

Elevaciones (m.sn.m.)

Menor a 850

850 - 875

875 - 900

900 - 925

925 - 950

950 - 975

975 - 1000

1000 - 1025

1025 - 1050

Mayor a 1050

Curvas auxiliares cada 5m.

Fuente: Hojas cartográficas 1:10000 IGN,
ProDUS-UCR 2008.

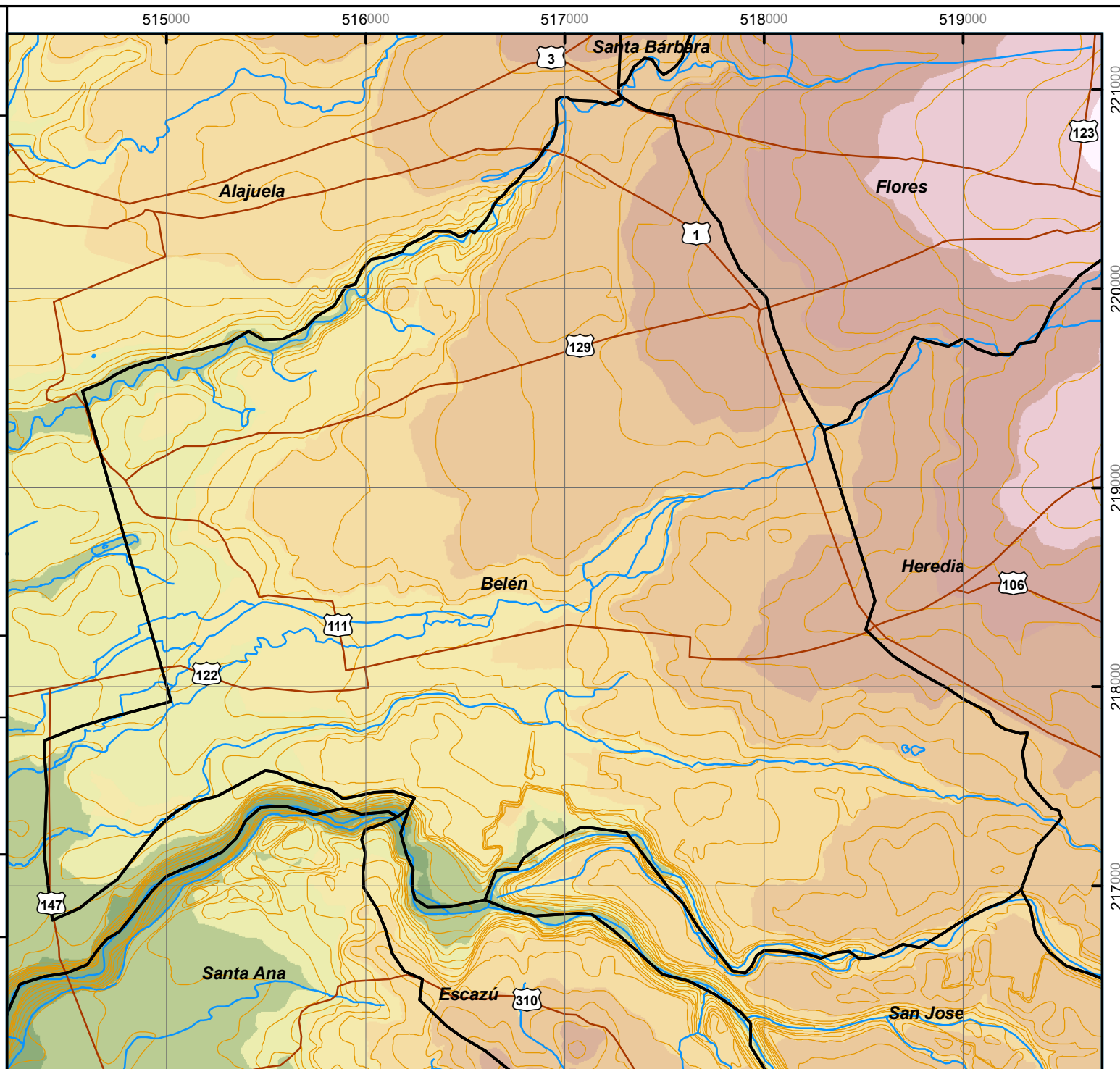
Escala 1:27 500

0 250 500 1 000
Metros



Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*



Mapa A-5: Distribución de pendientes en el cantón de Belén

Simbología

— Carreteras Nacionales

— Ríos

— Límite Cantonal

Pendientes (%)

0 - 5

5 - 10

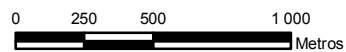
10 - 20

20 - 30

Mayor a 30

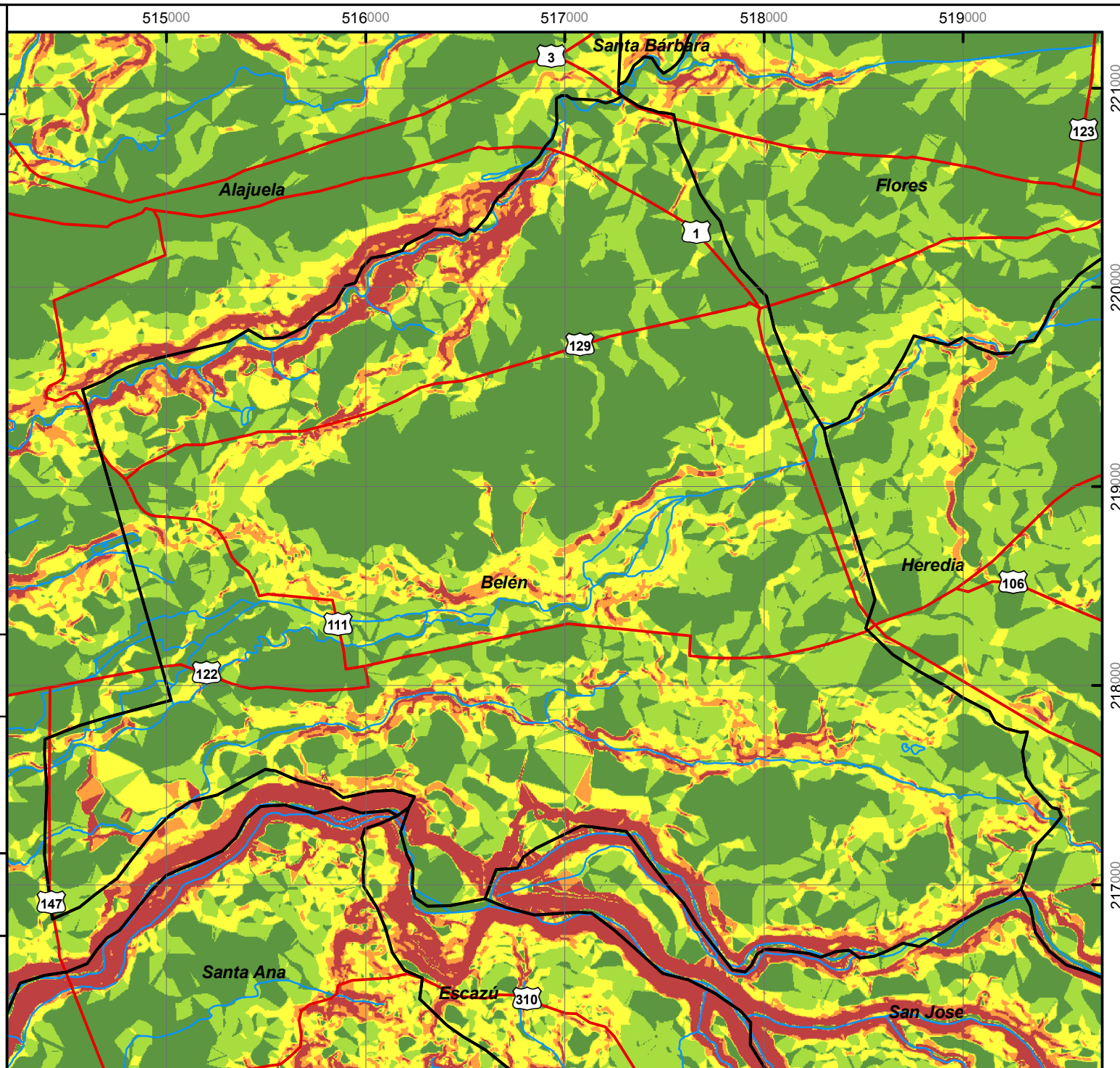
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:27 500



Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



Mapa A-6: Red hídrica del cantón de Belén.

Simbología

-  Límite Cantonal
-  Carreteras Nacionales
-  Ríos

Fuente: Hojas cartográficas 1:10000 IGN,
ProDUS-UCR 2008.

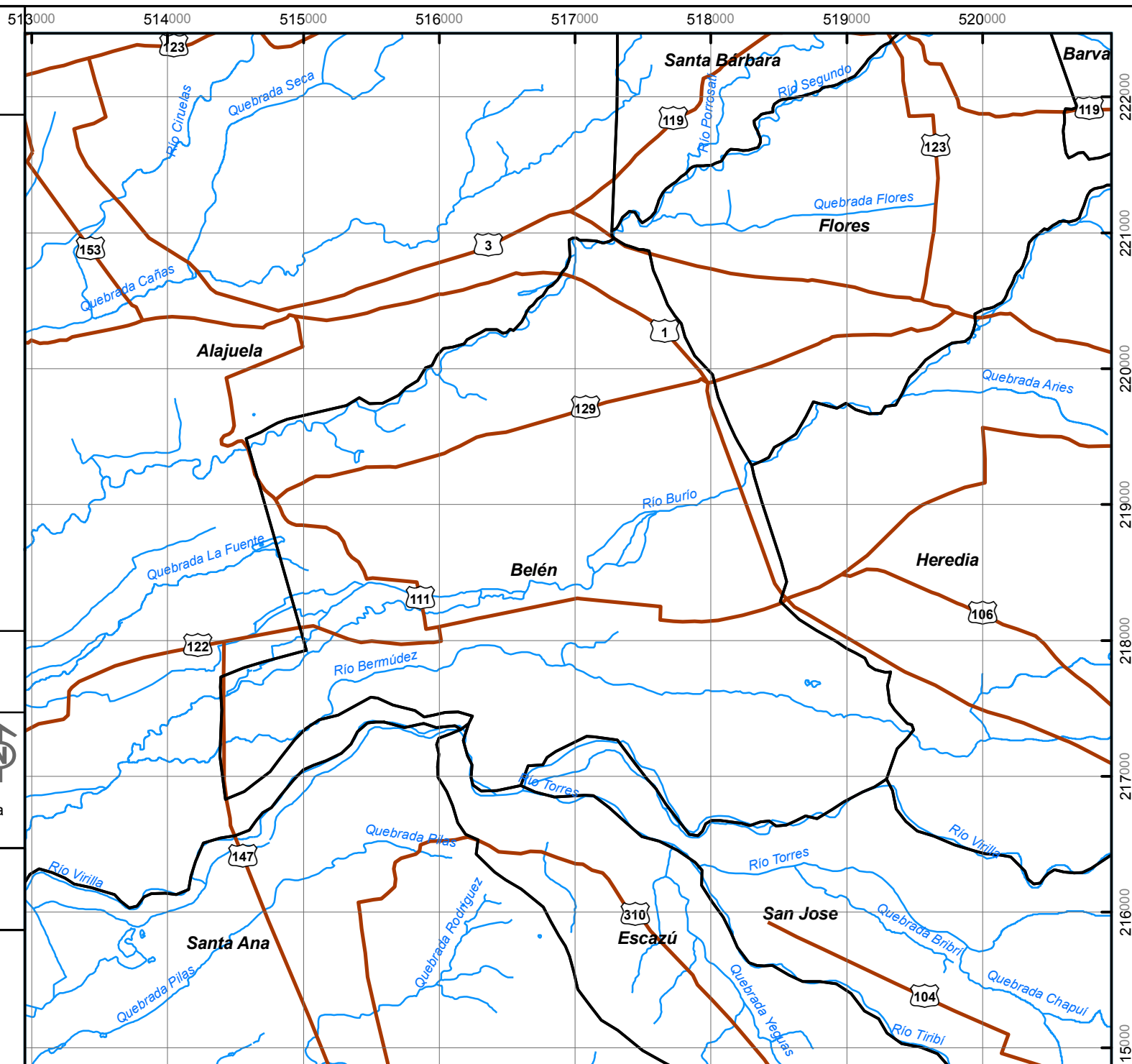
Escala 1:40 000

0 250 500 1 000
Metros



Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*



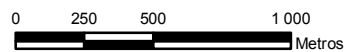
Mapa A-7: Red de carreteras y caminos en el cantón de Belén

Simbología

- Carreteras Nacionales
- Ríos
- Calles
- Límite Cantonal

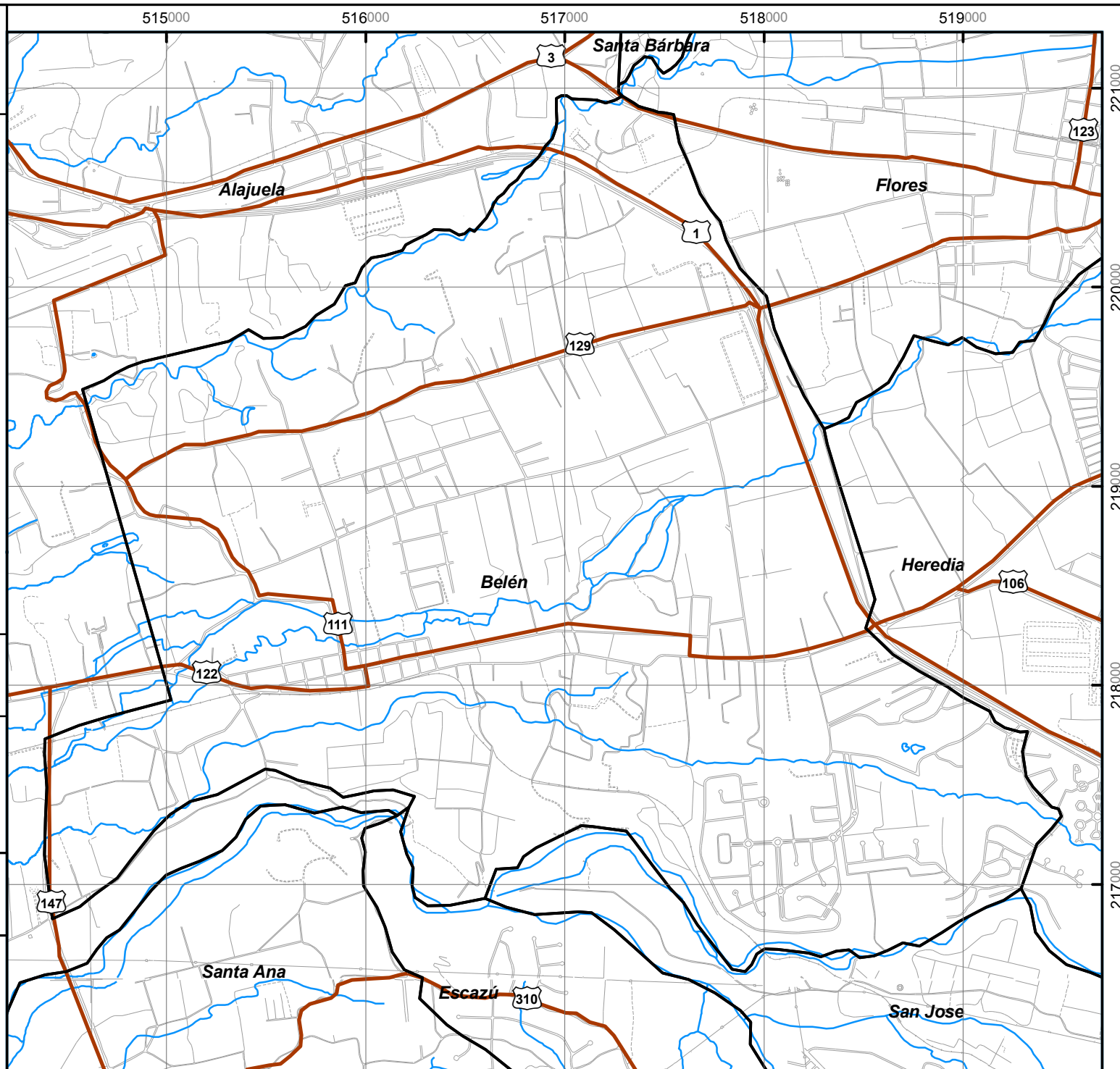
Fuente: Hojas cartográficas 1:10000 IGN; ProDUS-UCR 2008.

Escala 1:27 500



Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



The map displays the northwestern part of Costa Rica, with a grid showing coordinates from 512,000 to 521,000 on the x-axis and 215,000 to 224,000 on the y-axis. Key locations include:

- A. J. Santamaría**: Marked with a yellow star near Alajuela.
- Towns and Cities**: Santa Bárbara, Barva, Flores, Belén, San José, Escazú, Santa Ana, and Alajuela.
- Rivers**: Several blue lines represent rivers, including the Río San José and Río Escazú.
- Roads**: Major roads are shown as orange lines with route numbers (e.g., 1, 3, 111, 123, 125, 130, 147, 153, 171, 310, 104, 106, 128, 129, 122).
- Regions**: The map shows the borders of Costa Rica and neighboring regions like Heredia.

The map displays the northwestern region of Costa Rica, highlighting the location of A. J. Santamaría. The map includes the following details:

- Geographic Features:** Rivers (blue lines) and roads (orange lines) are shown. Major roads are labeled with numbers in white boxes (e.g., 130, 125, 123, 119, 128, 124, 153, 3, 129, 1, 111, 122, 147, 310, 104, 171, 106).
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, San Jose, Escazú, and Aeropuerto Pavas are labeled. A. J. Santamaría is marked with a yellow star.
- Grid:** The map is overlaid with a grid of coordinates. The x-axis (top) ranges from 512,000 to 521,000. The y-axis (right) ranges from 215,000 to 224,000.

The map displays the northwestern region of Costa Rica, highlighting the location of A. J. Santamaría. The map includes the following details:

- Geographic Features:** Rivers (blue lines) and roads (orange lines) are shown. Major roads are labeled with numbers in white boxes (e.g., 130, 125, 123, 119, 128, 124, 153, 3, 129, 1, 111, 122, 147, 310, 104, 171, 106).
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, San José, Escazú, and Aeropuerto Pavas are labeled. A. J. Santamaría is marked with a yellow star.
- Grid System:** The map is overlaid with a grid of coordinates. The x-axis (top) ranges from 512,000 to 521,000. The y-axis (right) ranges from 215,000 to 224,000.

The map displays the northwestern region of Costa Rica, highlighting the location of A. J. Santamaría. The map includes the following details:

- Geographic Features:** Rivers (blue lines) and roads (orange lines) are shown. Major roads are labeled with numbers in white boxes (e.g., 130, 125, 123, 119, 123, 128, 124, 153, 3, 129, 1, 111, 122, 147, 310, 104, 171, 106).
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, San Jose, and Aeropuerto Pavas are labeled. A. J. Santamaría is marked with a yellow star.
- Grid:** The map is overlaid with a grid of coordinates. The x-axis (top) ranges from 512,000 to 521,000. The y-axis (right) ranges from 215,000 to 224,000.

The map displays the northwestern region of Costa Rica, highlighting the location of A. J. Santamaría. The map includes the following features:

- Geographic Features:** Rivers (blue lines), roads (orange lines), and a grid of coordinates (black lines).
- Locations:**
 - A. J. Santamaría:** Marked with a yellow star in the northwestern region.
 - Other Towns:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, San José, Escazú, and Aeropuerto Pavas (marked with a yellow star).
- Roads:** Major roads are labeled with numbers in white boxes: 130, 125, 123, 119, 128, 124, 153, 3, 129, 1, 122, 111, 147, 310, 104, 171, and 106.

The map displays the northwestern region of Costa Rica, with a grid overlay showing coordinates from 512,000 to 521,000 on the x-axis and 215,000 to 224,000 on the y-axis. Key locations and features include:

- Locations:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, San Jose, and A. J. Santamaría (marked with a star near Alajuela).
- Rivers:** Blue lines represent rivers, including the Rio San Juan and Rio San Carlos.
- Roads:** Orange lines represent major roads, with route numbers 1, 3, 111, 123, 125, 128, 129, 130, 147, 153, 171, 310, and 104.
- Neighboring Countries:** The map shows the borders with Nicaragua to the north and Panama to the west.

The map displays the geographical context of A. J. Santamaría, located in the northwestern region of Costa Rica. Key features include:

- Major Roads:** Routes 1, 3, 111, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 147, 153, 171, 104, 310, and 106 are shown.
- Rivers:** The Rio San Juan and Rio San Carlos are prominent water bodies.
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, and San Jose are labeled.
- Geographical Features:** The map shows the rugged terrain of the northwestern region, including the Cordillera de Talamanca.

The map displays the geographical context of A. J. Santamaría, located in the northwestern region of Costa Rica. Key features include:

- Major Roads:** Routes 1, 3, 111, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 147, 153, 171, 104, 310, and 106 are shown.
- Rivers:** The Rio San Juan and Rio Nece are prominent water bodies.
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, and San José are labeled.
- Geographical Features:** The map shows the border between Costa Rica and Nicaragua to the north and the Pacific Ocean to the west.

The map displays the geographical context of A. J. Santamaría, located in the northwestern region of Costa Rica. Key features include:

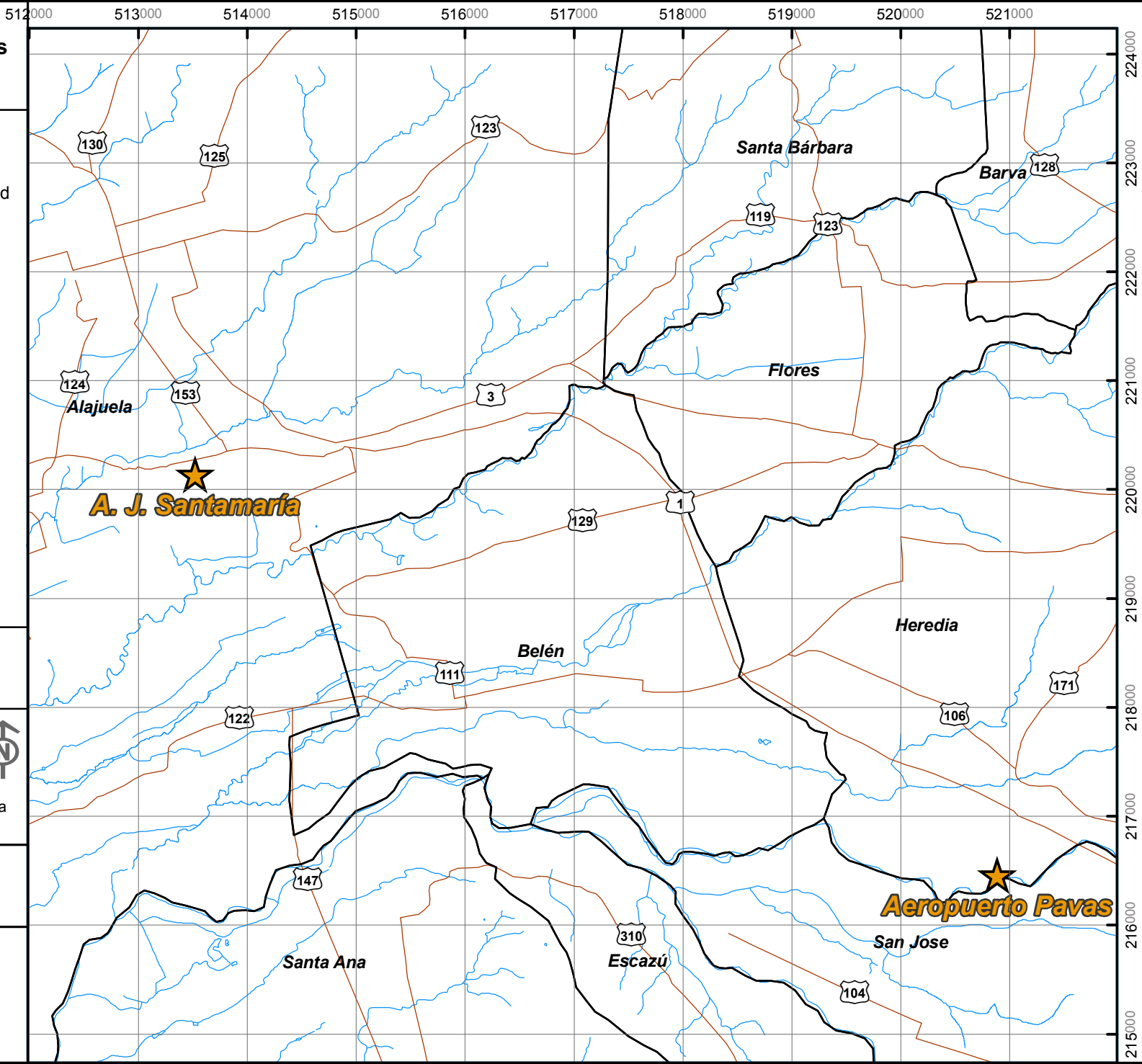
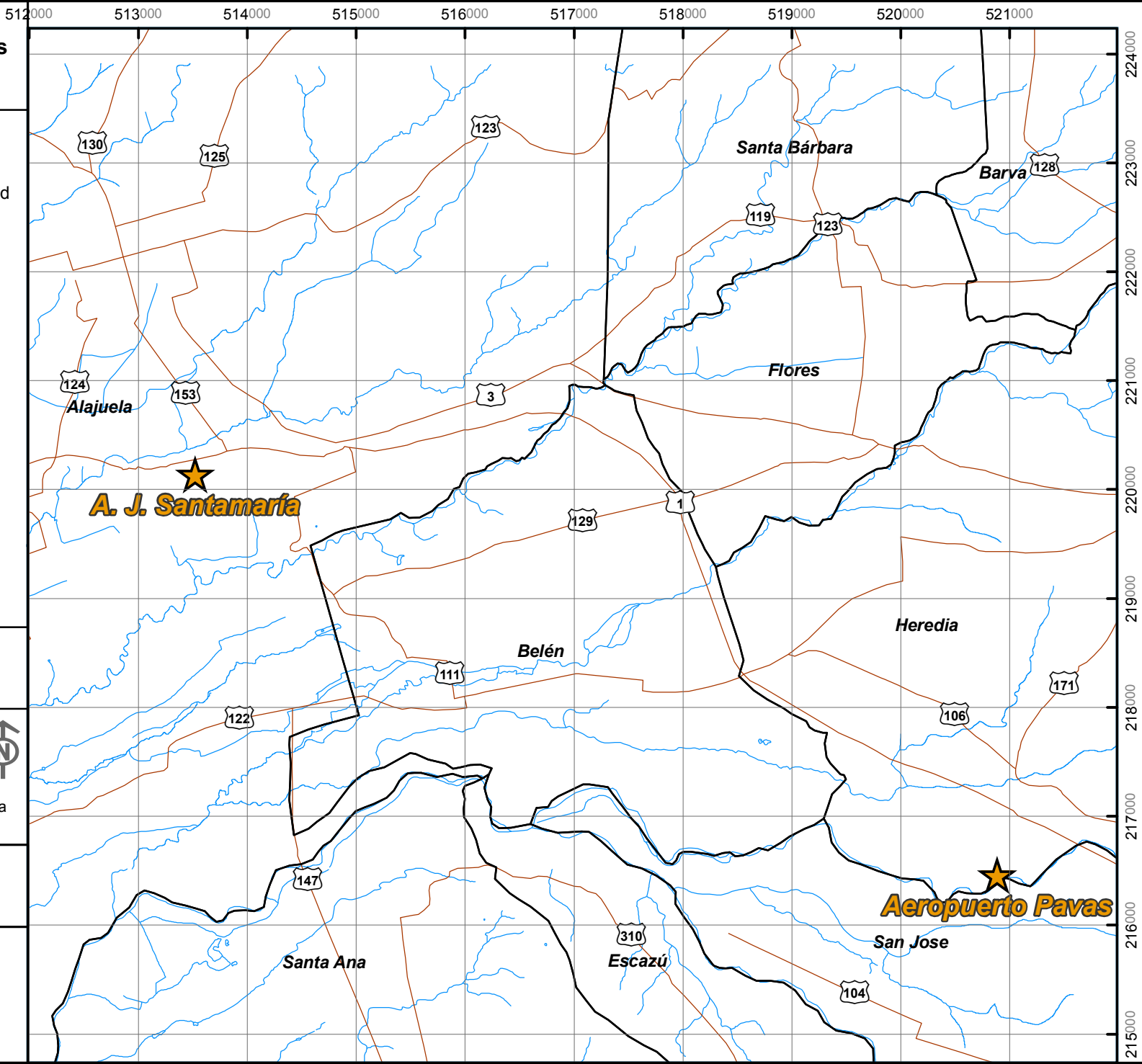
- Major Roads:** Routes 1, 3, 111, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 147, 153, 171, 104, 310, and 106 are shown.
- Rivers:** The Rio San Juan and Rio San Carlos are prominent water bodies.
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, and San José are labeled.
- Geographical Features:** The map shows the rugged terrain of the northwestern region, including the Cordillera de Talamanca.

The map displays the geographical context of A. J. Santamaría, located in the northwestern region of Costa Rica. Key features include:

- Major Roads:** Routes 1, 3, 111, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 147, 153, 171, 104, 310, and 106 are shown.
- Rivers:** The Rio San Juan and Rio Sarapiquí are visible in the northwestern part of the map.
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, and San José are labeled.
- Geographical Features:** The map shows the border between Costa Rica and Nicaragua to the north and the Pacific Ocean to the west.

The map displays the geographical context of A. J. Santamaría, located in the northwestern region of Costa Rica. Key features include:

- Major Roads:** Routes 1, 3, 111, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 147, 153, 171, 104, 310, and 106 are shown.
- Rivers:** The Rio San Juan and Rio San Carlos are prominent water bodies.
- Towns and Cities:** Santa Bárbara, Barva, Flores, Alajuela, Belén, Heredia, Santa Ana, Escazú, and San José are labeled.
- Geographical Features:** The map shows the rugged terrain of the northwestern region, including the Cordillera de Talamanca.



Valores de intensidad de precipitación en mm/hr para distintas duraciones y distintos períodos de retorno en la estación 84021, Aeropuerto Juan Santamaría.

Tiempo (Minutos)	Periodo de Retorno (Años)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	190,2	214,4	234,7	247,5	257,0	264,6	289,7	317,1
10	139,7	157,5	172,4	181,8	188,7	194,3	212,7	232,9
15	116,6	131,5	143,9	151,7	157,6	162,2	177,6	194,4
20	102,6	115,7	126,6	133,5	138,6	142,7	156,2	171,0
25	92,9	104,7	114,6	120,9	125,5	129,2	141,5	154,9
30	85,7	96,6	105,7	111,4	115,7	119,1	130,4	142,8
60	62,9	70,9	77,6	81,9	85,0	87,5	95,8	104,9
120	33,8	40,0	45,4	49,0	51,6	53,8	61,0	69,3
360	12,9	15,3	17,4	18,7	19,7	20,5	23,3	26,5
720	6,7	7,9	8,9	9,6	10,2	10,6	12,0	13,6
1440	3,4	4,0	4,5	4,9	5,1	5,3	6,1	6,9

Fuente: Murillo, 1994.

Valores de intensidad de precipitación en mm/hr para distintas duraciones y distintos períodos de retorno en la estación 84074, Aeropuerto Pavas.

Tiempo (Minutos)	Periodo de Retorno (Años)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	144,8	163,5	179,2	189,0	196,4	202,2	221,6	242,9
10	118,2	133,5	146,3	154,3	160,3	165,1	181,0	198,3
15	102,2	115,4	126,5	133,5	138,6	142,8	156,5	171,5
20	91,3	103,0	112,9	119,1	123,8	127,5	139,7	153,1
25	83,2	93,9	102,9	108,6	112,8	116,2	127,3	139,5
30	76,9	86,8	95,1	100,3	104,2	107,4	117,7	128,9
60	55,9	63,2	69,2	73,0	75,9	78,1	85,6	93,8
120	29,4	34,7	39,2	42,1	44,4	46,2	52,2	59,1
360	12,0	14,1	16,0	17,2	18,1	18,8	21,3	24,0
720	6,7	7,9	9,0	9,6	10,1	10,5	11,9	13,5
1440	3,8	4,4	5,0	5,4	5,7	5,9	6,7	7,5

Fuente: Murillo, 1994.

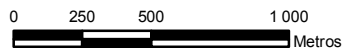
Mapa A-9: Uso de suelo en el cantón de Belén.

Simbología

- Carreteras Nacionales
- Ríos
- Límite Cantonal
- Uso del suelo
 - Bosque
 - Pastos y árboles dispersos
 - Cultivos
 - Suelo desnudo
 - Tajo
 - Uso urbano
 - Cuerpos de agua

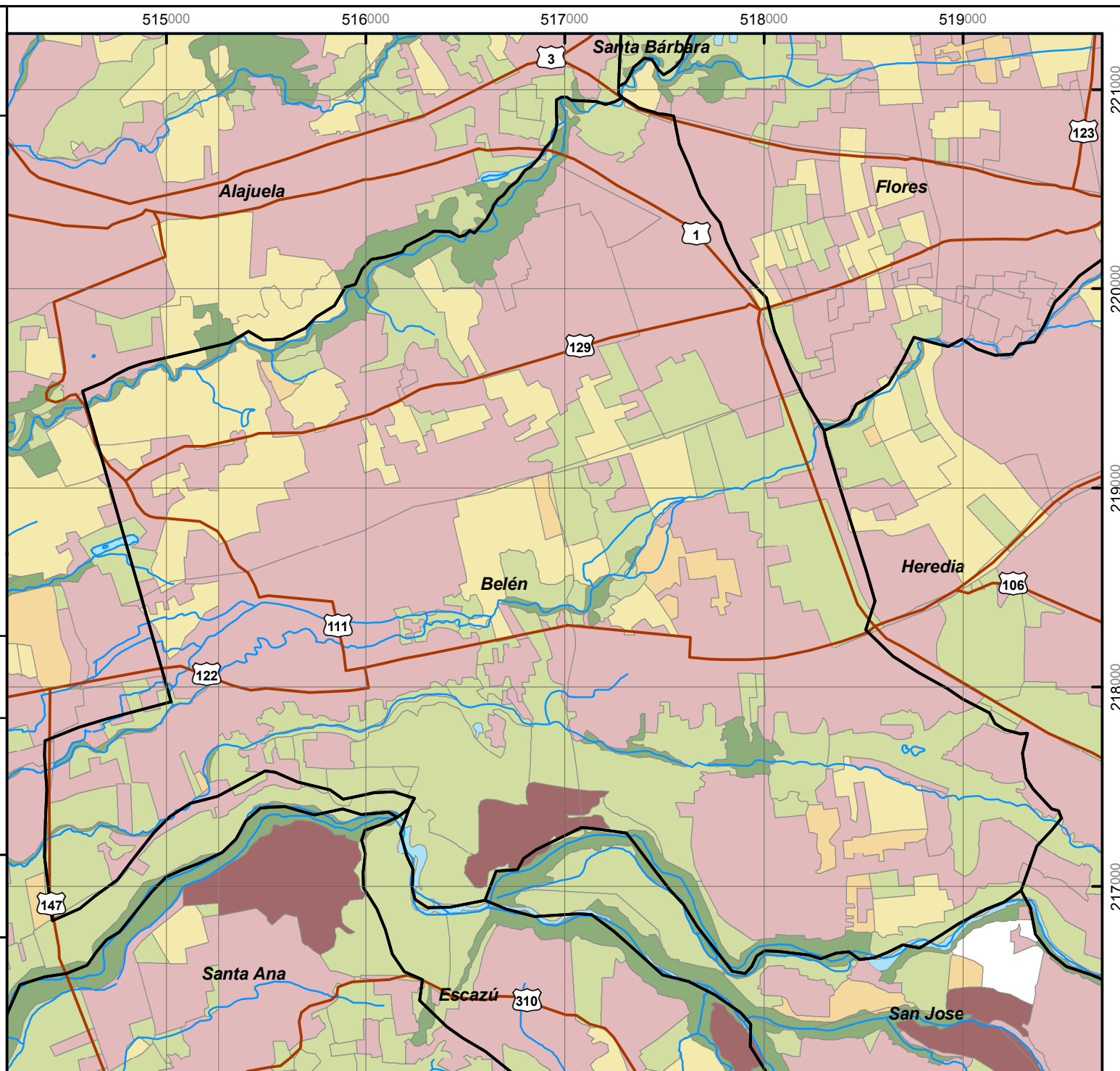
Fuente: ProDUS-UCR 2008.

Escala 1:27 500



Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



Mapa A-10: Clasificación geotécnica del cantón de Belén.

Simbología

— Carreteras Nacionales

~ Ríos

☞ Límite Cantonal

Tipo de Suelo

Am

Arc

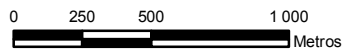
Lat

Roc

V3

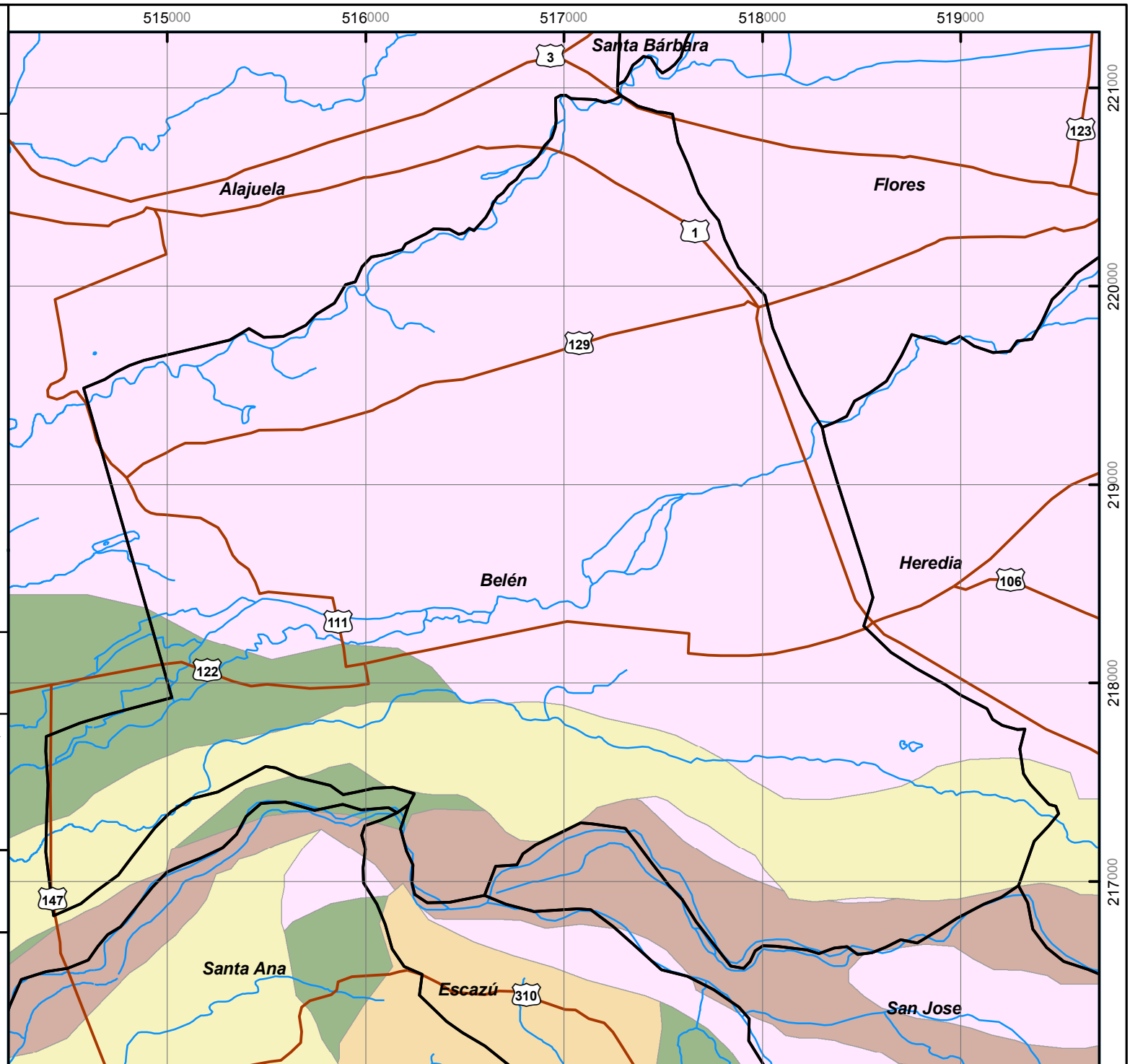
Fuente: Bogantes et al. 2002.
ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:27 500



Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*



Zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos.

Por Roy Bogantes¹, Gastón Laporte², Carlos Quesada³ y Alexis Vásquez⁴

Costa Rica es un país con gran variedad de climas, litologías y condiciones topográficas, lo que da como resultado que en un territorio relativamente pequeño se encuentren una gran variedad de suelos, algunos de ellos con condiciones geotécnicas que dificultan la construcción de cualquier tipo de infraestructura.

El presente trabajo se enfoca en la ubicación general (a partir de información básica en mapas a escala 1:200000) de las zonas en donde pueden encontrarse con frecuencia algunas de las siguientes condiciones: suelos expansivos, suelos potencialmente licuables, suelos limo-arcillosos blandos o colapsables, u otros suelos con características singulares.

La metodología que se aplicó para la elaboración de los mapas, se basó en el análisis e interpretación por medio de Sistemas de Información Geográfica de mapas de dos factores fundamentales: génesis del suelo (interpretada a partir de edafológicos de suelos) y clima.

Basándose en la interpretación de mapas de suelos con enfoque agronómico, y considerando el efecto del régimen de precipitación de las distintas zonas, se indica una serie de características de interés para el ingeniero, así como también se llama la atención sobre los principales problemas geotécnicos que, en forma muy general, pueden presentar las diferentes unidades de suelos delimitadas.

El resultado es un mapa de escala nacional, en el cual se señalan las áreas con suelos de características geotécnicas problemáticas. Debe tenerse en cuenta que la escala es muy general, y no permite entrar en detalles, sin embargo se considera que el mapa puede ser un elemento valioso en la prevención de problemas geotécnicos que usualmente son muy difíciles o imposibles de resolver una vez que se ha construido la obra, pero que pueden ser evitados o mitigados si se identifican con anterioridad a la construcción.

El mapa muestra zonas en donde es común la ocurrencia de determinadas condiciones del medio soportante, sin embargo estas condiciones pueden encontrarse aisladamente en otras zonas no señaladas en el mapa lo cual se debe principalmente a efectos de escala en la información básica utilizada.

General geotechnical zonification of Costa Rica considering agricultural soil survey and climatic maps.

By Roy Bogantes¹, Gastón Laporte², Carlos Quesada³ and Alexis Vásquez⁴

Costa Rica is a country with a great variety of climates, lithologies and topographical conditions, this conditions gives as a result that in a relatively small territory there are numerous types of soils, some of which having geotechnical conditions that hinder the construction of any infrastructure type.

The present work focuses on the general location (starting from basic information in maps to scale 1:200000) of the areas where some of the following conditions can frequently be present: highly expansive clays, sandy soils potentially susceptible to liquefaction, soft or collapsible mud soils, and other soils with singular characteristics.

The methodology that was applied for the elaboration of the maps, was based on GIS the analysis of maps of two fundamental factors: origin of the soils (interpreted from agricultural soil survey maps) and climate.

Being based on the interpretation of maps of soils with agronomic focus, and considering the effect of the precipitation of the different areas, a number of geotechnical characteristics are pointed out, including the main geotechnical problems that, in a very general form, can be present in the different soil units delimited.

The result is a map at a national scale, in which areas with soils of problematic geotechnical characteristics area defined. It should be kept in mind that the scale is very general, and does not allow further details. However the map can be considered as element for the prevention of geotechnical problems that are usually very difficult or impossible of solving once a civil work has been built, but that can be avoided or mitigated if they are identified previously to the construction.

The map shows areas where it is common the occurrence of certain conditions of the soils, in common; however these conditions can be found in other areas not pointed out in the map, fact that is owed mainly to scale effects in the basic information used.

¹ Ing. Civil, Investigador, Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES), Universidad de Costa Rica

² Ing. Civil, M.Sc. Consultor INSUMA.SA, y Catedrático Universidad de Costa Rica

³ Ing. Civil, Ph.D. Director CIEDES, Catedrático Universidad de Costa Rica

⁴ Ing. Agr, Consultor particular especialista en taxonomía y cartografía de suelos.

1. Introducción

La elaboración de “*mapas geotécnicos*” es un proceso que no tiene una metodología “*estándar*” de trabajo, y este tipo de mapas se desarrollan en función de una serie de variables, entre las más influyentes cabe destacar:

- Aplicaciones del mapa geotécnico: el nivel de detalle requerido depende en mucho del uso que se le quiera dar al mapa. Las grandes escalas de trabajo no pueden ofrecer más que información de tipo cualitativo, mientras que zonificaciones para proyectos específicos aportan información cuantitativa de los parámetros geotécnicos de los distintos tipos de suelos
- Cantidad de información disponible: incluye escala de mapas básicos (geológicos, agronómicos, densidad de perforaciones y otros reconocimientos puntuales, etc.). Tal vez el principal error en el uso de este tipo de mapas es la intención de aplicar la información obtenida del mapa a casos muy específicos, que escapan del nivel de resolución del mapa. El mapa geotécnico resultante no puede ser más detallado que la información básica que se utilizó en su elaboración
- Características físicas del medio que se requieren cartografiar: existe una gran diversidad de mapas que pueden considerarse como geotécnicos: mapas de riesgo de deslizamiento, mapa de características del suelo, mapas de “*ripabilidad*” de materiales (muy utilizados en construcción de carreteras). Las características físicas del medio representadas en el mapa geotécnico son determinadas por la aplicación que se requiera hacer del mismo.

El presente trabajo ilustra el uso de mapas agronómicos de suelos y climáticos como información básica para elaborar mapas geotécnicos, concretamente se sugiere una zonificación geotécnica general para todo el país

Para poder utilizar para fines de ingeniería la información contenida en mapas agronómicos, debe realizarse una descripción (muy básica, pero suficiente para fines ingenieriles) de los principios de la Taxonomía de Suelos.

2. Principios generales del sistema agronómico de clasificación de suelos:

El sistema de clasificación usado en Costa Rica y en gran parte de América Latina es el sistema de taxonomía del suelo de los Estados Unidos de

América conocida como la “séptima aproximación” publicada por primera vez en 1960, ampliada en 1962 a través de lo que se denominó “Suplemento a la Séptima Aproximación” y modificada en su quinta edición en 1967. A partir de este momento, se publicaron diversas claves taxonómicas mejoradas (Keys to Soil Taxonomy), hasta que en 1975 se publicó la primera edición del Soil Taxonomy. Luego, se publicaron otras claves taxonómicas de este sistema, siendo la última la octava edición (1998), haciendo ajustes progresivos al mismo, y ya en 1999 se publicó finalmente el documento Soil Taxonomy, segunda edición, que es el documento hoy día en uso en el mundo entero (USDA, 1999).

La taxonomía de suelos del USDA¹ se divide en categorías que son un conjunto de clases definidas al mismo nivel de generalización y que en conjunto, incluyen todos los suelos existentes.

Estas categorías son 6 y van desde el nivel más alto de generalización (el Orden), hasta el nivel más bajo (la serie), por lo que aumentan progresivamente tanto en el número de clases como en la cantidad de características diferenciadoras que definen cada categoría (Bertsch, 1995). La jerarquía se puede apreciar en la Fig.1.

El nombre de cada suelo se forma de partículas o sílabas que constituyen los elementos formativos de cada categoría.

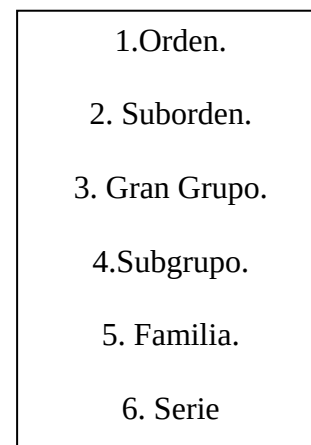


Figura 1. Categorías de la taxonomía de suelos del USDA (Bertsch, 1995)

Al unir todos ellos de derecha a izquierda, se acuña un nombre particular para cada clase que, por tener estos elementos formativos significados previamente conocidos, permite conocer una gran cantidad de

¹ United States Department of Agriculture.

información sobre el suelo clasificado y una síntesis inmediata de sus principales características.

Existen mapas de suelo del tipo netamente taxonómico, y los hay más prácticos, del tipo interpretativo, en los que dichas características se asocian a potencialidades para su uso en diferentes actividades. Estos últimos se conocen como mapas de potencialidad de uso o mapas de capacidad de uso del suelo. Los mapas pueden hacerse a muy diferentes niveles o escalas, implicando muestreos más numerosos mientras mayor sea la escala. Una escala 1:200000 implica 1 observación (barrenada) por km², mientras que para construir un mapa con escala 1:50000 se requiere realizar 20 descripciones por km². (Berstch, 1995).

A continuación se realiza una descripción general de los órdenes de suelos que se encuentran en Costa Rica (según Berstch, 1995):

Entisoles:

Origen: Los entisoles son los suelos con menor desarrollo, o sea aquellos en los que no es posible aún distinguir una secuencia de horizontes definidos en el perfil.

El subgrupo más frecuente en el área estudiada es el *orthents* que puede encontrarse en las partes más altas de las montañas debido a que no se puede formar un suelo por las limitaciones climatológicas o debido a que la mayor parte de los materiales originales que constituían esos suelos se han perdido por una fuerte erosión de modo que la roca o material parental aflora o está muy cerca de la superficie. También pueden encontrarse *orthens* en posiciones bajas del relieve cuando se depositan aluviones o coluvios muy gruesos, o cuando el material parental no se meteoriza por alguna razón específica.

Inceptisoles:

Origen: Un *inceptisol* es un suelo que presenta más desarrollo pedogénico que un *entisol* pero no tiene suficiente desarrollo para pertenecer a otro orden de suelos, lo cual refleja la inmadurez pedológica que lo caracteriza.

Es un suelo en el cual es posible distinguir una secuencia de horizontes moderadamente desarrollados, sin embargo en la mayoría de los casos los procesos de formación se encuentran en una etapa incipiente de desarrollo y por lo tanto, las características que expresa el perfil no son en ningún modo acentuadas.

No obstante se pueden distinguir en ellos los horizontes A, B y C².

Andisoles:

Origen: Los andisoles o suelos derivados de materiales volcánicos ocupan las zonas centrales del país: el Valle Central y las faldas de sus volcanes en todos sus flancos. La arcilla dominante en estas condiciones es la alofana, que aparece como producto obligatorio de la descomposición de las cenizas volcánicas en zonas húmedas. La alofana es una arcilla inestable, de modo que imprime comportamientos peculiares a estos suelos, que cambian su plasticidad al secarse y tienen estructuras sumamente porosas y consecuentemente de bajo peso unitario, normalmente menor al del agua.

Algunas características de estos suelos son: buen drenaje, retienen más que su propio peso en agua, baja densidad, baja plasticidad.

Basándose en el sistema taxonómico se separaron los suelos con desarrollo moderado del perfil y con propiedades únicas, que comúnmente se asocian con cenizas volcánicas como material original, en el suborden *Andepts* y el Gran Grupo *Andaquepts*, dentro del orden *Inceptisols*. Los *Andepts* comprenden muchos de los que se han llamado suelo *Ando* o Andosol (Los *Andepts* se redefinieron en un nuevo orden llamado Andisoles, que se subdividen por su régimen de humedad, temperatura y mineralogía en Udands, Ustands, Vitrans, Torrands, Aquands, Cryands y Xerands. Los *Andepts* corresponden en la actualidad a *Ustepts* y *Udepts*; por su parte, los antiguos *Andaquepts* son muy escasos en Costa Rica; los que predominan en esos subórdenes son los *Eutrudepts*, *Dystrudepts*, *Eustrustepts* y *Dystrustepts*).

Estos suelos generalmente están asociados con limos colapsables y suelos blandos, y el potencial de colapso aumenta conforme la ceniza volcánica se encuentre menos meteorizada a arcillas. Tienen un alto contenido de arena, baja cohesión y estructura muy porosa, producto de la forma de depositación del material parental (depositación aérea de la ceniza volcánica).

Es reconocida la tendencia de la ceniza volcánica a meteorizar en forma de arcilla montmorillonítica, especialmente en condiciones de saturación o alta humedad permanente. Esta arcilla usualmente tiene un color gris, o se presenta como un moteado gris – amarillento en la matriz del suelo.

² Ver Figura 2 para identificar estos horizontes

Vertisoles:

Origen: Para que se origine este tipo de suelo es necesaria la confluencia de varios factores: una zona depresional que impida el buen drenaje, materiales ricos en Si, Ca y Mg y de tamaños coloidales, en el caso de Costa Rica se desarrollan en zonas de una estacionalidad muy bien definida. Estas condiciones propician la formación de arcillas 2:1 de tipo montmorillonítico, que por sus reacciones de agrietamiento y expansión en presencia de agua, origina el perfil típico de estos suelos, generalmente de color muy oscuro, uniformes y arcillosos (ingenierilmente se hace referencia a ellos como arcillas negras muy expansivas).

La arcilla montmorillonítica le confiere las propiedades de expansión, gran superficie específica, alta cohesión, alta plasticidad y alta capacidad para retener agua.

La abundancia de arcillas expansivas ocasiona serias dificultades en el movimiento vertical del agua, como consecuencia los suelos resultan prácticamente impermeables. Además, al secarse lo hacen en forma extrema, formando bloques masivos que se fracturan en grandes grietas que afectan obras de infraestructura como canales de riego, postes, cercas, etc.

Deben resaltarse las características expansivas de los suelos del orden *Vertisol*, las cuales se expresan en cualquier referencia bibliográfica que se refiera a ellos (Arias (1995), Strahler (1978), Young (1976), Probert y otros (1980)).

Estas características se presentan también, aunque en menor grado, en cualquier suelo que aunque no sea del orden *Vertisol*, contenga el sufijo “*Vertic*” en su nombre, o se encuentren suelos asociados con ese sufijo en su respectivo nombre.

En Costa Rica se encuentran suelos de este tipo en Santa Ana, en Ciruelas de Alajuela, en Guanacaste, Peñas Blancas y Santa Cecilia de Upala (Mata y otros, 1996).

Alfisoles y Ultisoles:

Origen: A estos dos órdenes de suelos pertenecen los suelos más viejos y meteorizados del país. Estos suelos se originan por el efecto prolongado de los factores climáticos (principalmente alta precipitación) sobre prácticamente cualquier tipo de material parental. Su principal rasgo distintivo es su fuerte color rojizo, producto de la acumulación de óxidos de hierro.

Para que la lixiviación ocurra con intensidad, el nivel freático debe encontrarse muy profundo.

Mineralógicamente presentan un predominio de arcilla del tipo caolinita, y un buen drenaje.

En aplicaciones de ingeniería, estos suelos son considerados como suelos “*lateríticos*”, sin embargo, en un sentido taxonómico estricto, este término está mal empleado, ya que “*laterita*” se refiere a suelos que desarrollan un horizonte cementado el cual tiene una consistencia rocosa como la de un ladrillo. En Costa Rica no se conoce la existencia de este tipo de “*lateritas*”.

Los suelos anteriormente descritos corresponden al nivel más alto de la jerarquía (el orden), y se agrupan según ciertas características comunes. Conforme el número de características diferenciadoras aumenta, se desciende en la jerarquía y los suelos se agrupan en sub-órdenes, gran grupo, sub-grupo, familia y serie, según se mostró en la Figura 1.

El nombre científico de un suelo se integra con elementos formativos de los diferentes niveles jerárquicos de la Taxonomía, los cuales provienen de raíces griegas y latinas, por lo que si se entienden las reglas de nomenclatura, se puede extraer gran cantidad de información de las características físicas del suelo a partir de su nombre taxonómico.

Por ejemplo: si el nombre de un suelo a nivel de sub-grupo es *Vertic Ustifluvent*, los niveles jerárquicos de los elementos formativos deben describirse de derecha a izquierda (*Vertic* *usti* – *fluv* – *ent*), lo que se interpreta como:

- *ent*: suelo perteneciente al orden *Entisol* (poco desarrollado, poco profundo)
- *fluv*: depositado por la acción de un río (planicies aluviales)
- *usti*: suelo seco por mas de tres meses al año (ubicado en zona con estación seca definida, nivel freático profundo)
- *Vertic*: características asociadas al *Vertisol* superficialmente: gran contenido de arcilla montmorillonita, muy expansiva.

Si se determina cuales elementos formativos representan características relevantes para fines de ingeniería, y se identifican las nomenclaturas correspondientes, entonces puede tomarse un mapa edafológico de suelos y re – interpretarse para obtener información útil en aplicaciones ingenieriles. Este fue

el procedimiento utilizado para la elaboración de los mapas geotécnicos generales de todo Costa Rica presentados en este trabajo.

Es importante resaltar que los mapas son producto de un trabajo interdisciplinario entre agrónomos e ingenieros civiles. Una interpretación parcial por parte de profesionales en una sola disciplina, puede resultar en serios errores de interpretación, como se comprobó a lo largo del proceso de elaboración de los mapas geotécnicos.

3. Interpretación ingenieril de algunas características de suelos identificados en mapas agronómicos a escala 1:200000

En la Tabla 1 se muestran los elementos formativos que representan características del suelo relevantes para aplicaciones ingenieriles. Nótese que estos elementos formativos se consideran independientemente de su nivel jerárquico en la formación del nombre científico de la unidad de suelo, lo cual para la aplicación requerida, es una suposición válida y simplifica en mucho el trabajo de interpretación.

Con el fin de comprender las limitaciones y ventajas que puede tener el uso de mapas agronómicos para fines de ingeniería, en la Figura 2 se muestra la ubicación de los horizontes genéticos de clasificación taxonómica de suelos, en el contexto de un perfil de suelo residual típico, como usualmente se define en aplicaciones de ingeniería y de geología.

Puede observarse en esa figura, que en un perfil de suelo residual no necesariamente tienen que presentarse todos los horizontes de alteración mostrados, pudiendo en algunos casos carecer de 1 o varios de ellos. Por ejemplo, puede darse el caso de que el horizonte IB de suelo residual sea muy delgado en cuyo caso se tendría un material de consistencia muy dura (sea roca completamente meteorizada o roca altamente meteorizada) a poca profundidad de la superficie, y taxonómicamente el suelo tendría el sufijo “*lithic*” en su nombre científico

Es evidente que la clasificación agronómica de suelo trata únicamente con las zonas más superficiales del suelo, aquellas que se ubican a una profundidad inferior a los 2m.

Los principales errores de interpretación en el momento de utilizar un mapa agronómico de suelos en aplicaciones ingenieriles, se producen cuando se quieren aplicar a todo el perfil de suelos residual (en el contexto ingenieril y geológico del término),

características que solamente corresponden a las capas más superficiales.

Tabla 1. Elementos formativos de nombre taxonómicos de suelos, que representan características relevantes en aplicaciones de ingeniería (basado en Vásquez, 1997)

Elemento formativo del nombre científico del suelo	Características ingenieriles asociadas
“ <i>vertic</i> ”	Suelos muy arcillosos y con características expansivas. Se refiere a arcillas negras con un muy alto contenido de monmorillonita.
“ <i>and</i> ”	Se refiere a <i>Andisoles</i> , suelos de origen volcánico, blandos, con presencia de minerales como alofana y halloisita, sus características cambian con el secado y usualmente son de estructura muy porosa y en ocasiones colapsable. Altos contenidos de limo y arena, ésta última constituida por ceniza volcánica no meteorizada. En condiciones de saturación permanente pueden meteorizar en arcillas de tipo montmorillonítico, usualmente de color gris (<i>zonsocuite</i>)
“ <i>alf</i> ”	Se refiere a <i>Alfisoles</i> , suelos residuales profundos (mínimo 2m de espesor de materiales completamente alterados) de color rojizo con un alto contenido de hierro. Erróneamente llamados “lateritas” en el contexto de la mecánica de suelos. En zonas de altas pendientes, es usual la ocurrencia de deslizamientos traslacionales en estos suelos, desatados por lluvias o por sismos. En estos suelos el nivel freático se encuentra relativamente profundo (mayor de 5m), ya que los procesos de lixivado de minerales que le dan el color rojizo al suelo no pueden ocurrir si la tabla de aguas se ubica muy cerca de la superficie
“ <i>ult</i> ”	Se refiere a <i>Ultisoles</i> , para fines de ingeniería pueden considerarse las mismas características que los

	<i>Alfisoles</i>
<i>“aqu”</i>	Características de saturación, nivel freático a menos de 60cm de la superficie del terreno. Estos suelos se presentan en las llanuras o en zonas muy planas. Las condiciones de saturación constante favorecen el desarrollo de minerales arcillosos montmorilloníticos, y usualmente estos suelos tienen un estrato de arcilla gris (zonzoquite) de espesor variable. Cuando estos suelos se ubican en las llanuras y se forman sobre un abanico aluvial, pueden tener estratos arenosos muy blandos y saturados, por lo que son muy propensos a presentar un comportamiento licuable ante la ocurrencia de sismos. Si el nombre tiene además el sufijo <i>“epi”</i> , el agua se encuentra sobre el suelo, por lo que son sitios pantanosos. Si en cambio el nombre tiene el sufijo <i>“endo”</i> , el agua se encuentra dentro del suelo, pero a muy poca profundidad de la superficie.
<i>“fluv”</i>	Suelos de origen fluvial, formados por la depositación de materiales finos (arenas, limos y arcillas) arrastrados y depositados por un río cercano. Son suelos transportados de características muy variables, pero que pueden presentar estratos arenosos potencialmente licuables.
<i>“vitr”</i>	Suelos con abundante contenido de vidrio volcánico fresco (no meteorizado). Tienen todas las características de los <i>Andisoles</i> , aunque presentan un mayor contenido de arena y plasticidad nula.
<i>“hydr”</i>	Suelos formados por arcillas muy sensitivas, con contenidos naturales de humedad cercanos a la saturación. Tienen todas las características de los <i>Andisoles</i> , sin embargo un contenido especialmente alto de minerales arcillosos de alofana y halloisita, que los hacen muy susceptibles a los cambios de humedad, y una vez secos, pierden toda su plasticidad.
<i>“Lithic”, “orthents”</i>	Suelos muy poco desarrollados, con un contacto lítico somero (a menos de 60cm). Para fines de ingeniería,

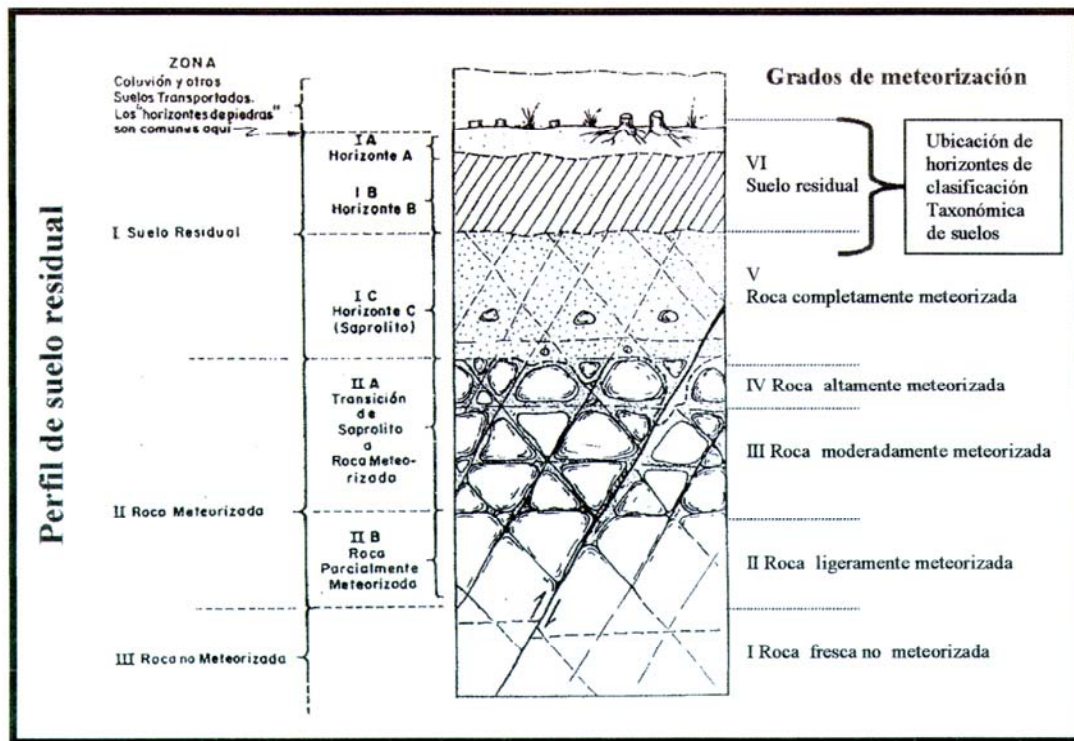
	este contacto debe considerarse como roca meteorizada, ya que no necesariamente el material subyacente presenta las características físicas de una roca.
<i>“psamn”</i>	Suelos con un alto contenido de arena, ubicados en las llanuras costeras. Por su material constitutivo, son suelos potencialmente licuables en condiciones de saturación.
<i>“sapr”</i>	Suelo orgánico en descomposición, usualmente pantanoso.
<i>“ert”</i>	Características de Vertisol, aunque el suelo pertenezca a otro orden.
<i>“ept”</i>	Suelos residuales color amarrillento

Por ejemplo, existen suelos formados por una sucesión de estratos, cada uno de los cuales puede tener características físicas completamente diferentes. Así, en la zona del valle del Tempisque en Guanacaste, existen suelos del tipo vertisol (arcillosos muy expansivos) que se desarrollan sobre abanicos aluviales, por lo que la capa de suelo subyacente al vertisol puede perfectamente ser arenosa y propensa a la licuefacción en caso de un sismo, por lo tanto, la geología del sitio juega un papel importante en una acertada previsión de los posibles problemas geotécnicos que pueden presentarse. De la misma forma, aunque todos los suelos volcánicos se califican como “blandos” en superficie, esta consistencia puede mantenerse hasta más de 10m de profundidad (caso de muchos sitios en el Valle Central).

Debe realizarse la aclaración de que la taxonomía de suelos se basa en horizontes de diagnóstico de un espesor del orden de centímetros o decenas de centímetros, dentro de los primeros 1 o 2m de profundidad.

Estos horizontes incluyen pero no se limitan al horizonte llamado “orgánico” en el ámbito ingenieril, por lo que no debe cometerse el error de creer que la taxonomía de suelos trata únicamente con los suelos “orgánicos” más superficiales. En realidad, la clasificación agronómica de suelos se basa en una serie de procesos que ocurren dentro de la masa de suelo como por ejemplo lixiviación (lavado) de minerales arcillosos, acumulación de estos minerales en otros horizontes, procesos de degradación de ciertos minerales férricos, cálcicos, etc, y toma en cuenta también la mineralogía de las partículas, principalmente los minerales arcillosos.

Figura 2. Perfil típico de suelo residual y grado de alteración de la roca en los diversos horizontes. (adaptado de Suárez, 1998)



4. Descripción de las unidades de suelos mostradas en el mapa geotécnico:

A continuación se describe cada una de las unidades de suelos identificadas, y se realizan algunas observaciones adicionales, relacionadas con ciertas características ingenieriles de cada tipo de suelo.

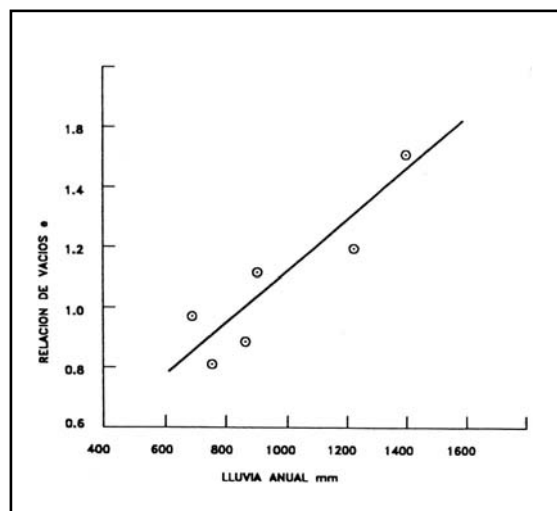
En ciertos tipos de suelos se ha realizado una diferenciación según el clima de la zona en que se ubican. Se utilizó el mapa de Unidades Bióticas de Herrera y Gómez, 1994 y se identificaron aquellas áreas que presentan regímenes de precipitación con menos de 1 mes seco al año. Aunque esta división de climas es muy sencilla (simplemente divide el país en dos zonas climáticas: húmeda y seca), parece reflejar en forma general el efecto del clima en las características de los suelos, según la experiencia de los autores. Adicionalmente, se incluyen como zonas de suelos húmedos aquellas zonas que se encuentran en un clima de “bosque pluvial”, según el mapa de Zonas de Vida de Holdbridge, ya que se observó que en algunas zonas de la Vertiente Pacífica Central y Sur este criterio resulta en la inclusión de algunas zonas húmedas que quedaban excluidas al utilizar el mapa de Herrera y Gómez.

Por ejemplo, es evidente que un suelo residual rojizo (o “laterítico”, como equivocadamente se le denomina en el ámbito ingenieril) ubicado en Guanacaste, con un clima seco por lo menos cinco meses al año, presenta características muy distintas que el mismo suelo ubicado en la zona Atlántica. Evidentemente, el contenido de humedad natural tiende a ser mucho mayor en la zona lluviosa, también el suelo desarrolla una estructura más porosa y por lo tanto es de consistencia más blanda. La relación lluvia – porosidad del suelo no ha sido estudiada para suelos de Costa Rica, sin embargo Suárez, 1998 afirma:

“el perfil de meteorización y las propiedades de suelos tropicales dependen principalmente del régimen de lluvias y en general del ambiente climático de su formación. En zonas de alta precipitación la relación de vacíos es alta y existe una dependencia directa de la relación de vacíos con la precipitación”

La Figura 3 muestra una correlación particular, pero sugiere una tendencia general, para un suelo residual de granito.

Figura 3. Relación de vacíos y la precipitación en un granito altamente meteorizado y lavado, en Suráfrica (modificado de Suárez, 1998)



El mapa presentado se elaboró tomando como referencia el Mapa Preliminar de Suelos de Costa Rica, (MAG, 1978). Cuando este mapa presentaba algunas unidades indiferenciadas, se complementó con el “*Mapa de suelos de Costa Rica*” (MAG, 1995), para diferenciar cada unidad edafológica. Finalmente, se identificaron los suelos de tipo *Vertisol* y los suelos de origen fluvial en el mapa más reciente, ya que a criterios de los autores, en este caso se obtenía un mejor detalle en esta referencia.

En la Tabla 2 se muestra la interpretación realizada de las diferentes unidades edafológicas en el mapa MAG, 1978. Las características sociadas con cada símbolo se describen en los párraos posteriores.

Tabla 2. Interpretación de las características ingenieriles de las unidades de suelos mostradas en el mapa MAG, 1978, Esc. 1:200000

Símbolo MAG, 1978	Nombre	Clasificación geotécnica
Ah	Haplustalfs	Lat
Dh	Hydrudands	V2
Dx	Fulvudands	V3
Ef	Ustifluvents	Lic
Em	Ustipsamments	LicA
Eo	Udorthents	Roc
Ep	Udipsamments	LicA
Et	Endoaquents	Sat
Eu	Ustorthents	Roc
Ev	Udifluvents	Lic

Hs	Haplosaprist	Pant
Id, Im	Dystrudepts	Am
Ie	Eutrudepts	Am
It	Epiaquepts	Pant
Iv, Dv	Udivitrands	V1
Iw	Haplustepts	Am
Mt	Haplustolls	Am
Ua	Haplustults	Lat
Ul	Hapludults	Lat
Um	Palehumults	Lat
Ut	Haplohumults	Lat
Vi	Hapluderts	Arc
Vm	Haplusterts	Arc

Suelos arcillosos de alto potencial de expansión (símbolo “Arc”):

Descripción:

Esos suelos están asociados con los *Vertisoles* de la taxonomía de suelos. En el ámbito ingenieril se les conoce como *zoncucitiles* o “*barro de olla*”.

Superficialmente presentan un estrato de arcilla color negro de muy alto potencial de expansión, de al menos 60 cm de espesor usualmente subyacente por un estrato de arcilla gris, también con gran capacidad de expanderse. En ambos tipos de arcilla, el contenido de montmorillonita es lo suficientemente elevado como para darle al suelo una consistencia pegajosa cuando está húmedo (alta adherencia), y para agrietarlo cuando se seca durante el verano. Este tipo de suelo sólo puede presentarse en zonas con un clima de estacionalidad bien definida, ya que los ciclos de humedecimiento – secado – agrietamiento son básicos para su desarrollo, por lo que se encuentran en la Vertiente Pacífica y en algunas zonas del Valle Central de Costa Rica. Son suelos de topografías muy planas, lo que dificulta su drenaje y a la vez favorece su desarrollo.

Características ingenieriles:

Son suelos sumamente impermeables, y el potencial de expansión de estas arcillas pueden ocasionar problemas en cualquier obra liviana que se cimiente sobre ellos (pavimentos, bodegas, casas, etc). Sin embargo, una vez eliminada la capa superficial de arcilla, usualmente el material subyacente es de muy buena capacidad soportante y sin características expansivas. Este material es la roca original y, en el caso del Valle Central, estos suelos se desarrollan sobre rocas de tipo ignimbrítico. En la zona del Tempisque se desarrollan sobre materiales aluviales.

Suelos aluviales (símbolo “Lic”):

Descripción:

Estos suelos tienen su origen en la depositación de los materiales finos (limos y arcillas) arrastrados por los ríos, por lo que son típicos de las llanuras aluviales del país, principalmente en la Zona Atlántica.

Por ser suelos de tipo transportado, sus características y estratigrafía son muy variables, tanto en planta como en profundidad. Por la topografía plana en la que se ubican, frecuentemente presentan un nivel freático superficial, lo que aunado a su bajo contenido de arcilla los hace susceptibles a licuarse en caso de sismo.

Características ingenieriles:

Destacan por su susceptibilidad a licuarse durante sismos fuertes (por ejemplo, durante el terremoto de Limón de 1991 gran parte de los problemas de licuación que se presentaron se dieron en este tipo de suelos). Por su origen transportado, son suelos en general blandos, y por sus constituyentes no cohesivos (limos y arenas) son suelos permeables.

Como en otros suelos transportados, es muy factible encontrar estratos blandos sub-yacientes.

Suelos arenosos (símbolo “LicA”):

Descripción:

Son suelos de zonas costeras, sumamente arenosos, originados por la deposición de materiales producto del oleaje y corrientes marinas.

Características ingenieriles:

Por su origen transportado son suelos poco consolidados, y se gran contenido de arena y un nivel freático usualmente superficial, los hace especialmente susceptibles a licuarse en caso de sismos fuertes. Su comportamiento mecánico es netamente friccionante.

Suelos de poco espesor (símbolo “Roc”):

Descripción:

Son suelos poco desarrollados por la existencia de un material resistente a poca profundidad, usualmente menos de 60 cm (este material usualmente es el horizonte C del perfil de meteorización, sin embargo en el caso de algunos aluviones este material son

bloques de roca sana). El desarrollo de estos suelos se ve limitado por dos factores principales: en primer lugar, si el suelo se ubica en fuertes pendientes, los procesos de erosión superan los de formación del suelo, y no pueden desarrollar espesores importantes. En este caso, el suelo presenta un color rojizo, signo de que la roca sub – yacente se encuentra muy meteorizada. En segundo lugar, en muchos aluviones se presentan gran cantidad de bloques resistentes a la meteorización, con lo que el suelo tampoco se puede desarrollar, aunque se ubique sobre topografía plana.

Características Ingenieriles:

En el caso de ubicarse en zonas montañosas, el suelo prácticamente no existe, y se encuentra roca alterada superficial (grado de alteración IV a V en la Figura 2). Dependiendo de la formación geológica y de las condiciones locales, pueden presentarse deslizamientos en roca en algunas zonas. Al estar constituidos por roca alterada, el material es de muy baja permeabilidad, ya que las fracturas usualmente se encuentran rellenas de minerales arcillosos.

Si se ubican sobre aluviones en zonas planas, el suelo se caracteriza por la gran cantidad de bloques, lo que puede dificultar su excavación. Su permeabilidad es alta, ya que estos aluviones no están cementados y usualmente contienen cantidades apreciables de materiales limosos y arenosos, que le confieren una buena permeabilidad.

Estos suelos también pueden presentarse sobre ignimbritas masivas resistentes a la meteorización, como se observa en algunas zonas de Guanacaste. En este caso, la topografía puede ser plana y se presentan excelentes condiciones de cimentación, tanto de estructuras puntuales como en obras viales. Son suelos poco permeables, por la presencia de la ignimbrita o toba masiva a poca profundidad.

Suelos volcánicos (símbolos “V1”, “V2”, “V3”)

Descripción:

Son suelos derivados principalmente de cenizas volcánicas y de la meteorización de rocas volcánicas, y el contenido de estas cenizas y su grado de alteración es lo que determina en gran medida sus características. El símbolo asignado varía en función de la influencia de la ceniza volcánica en el comportamiento de suelo, de esta forma el suelo volcánico “V1” está compuesto casi enteramente por cenizas frescas no meteorizadas, por lo que es una arena. El suelo tipo “V3” presenta apenas una leve influencia de la ceniza volcánica en su estructura, reflejándose tal vez solamente en la presencia de minerales típicos de la alteración de cenizas, como lo son la halloisita y la alofana.

Todos los suelos de origen volcánico presentan en menor o mayor grado las siguientes características:

- Estructura porosa y altas relaciones de vacíos, producto del transporte aéreo de la ceniza volcánica. En algunos suelos, esta estructura es inestable y puede colapsar por saturación
- Alta humedad natural
- En general, son suelos muy permeables
- Por su estructura porosa, son suelos blandos para fines de cimentación
- Bajos pesos unitarios

En el Cuadro 3 se ilustra la variación del contenido de arena con la altura (y cercanía al cráter), con datos obtenidos en las cercanías del Volcán Irazú:

Tabla 3. Variación del contenido de arena con la altura para suelos volcánicos en los alrededores del Volcán Irazú (Alvarado y otros, 2000).

Altura (m.s.n.m)	Contenido de arena (%)
1200	37.5
1600	38.6
2000	56.8
2400	64.0

Una característica marcada en estos suelos es su tendencia a disminuir su resistencia conforme la zona en que se ubican es más lluviosa, producto del aumento en la porosidad de la estructura y en su contenido de humedad natural.

A continuación se describen cada uno de estos suelos volcánicos detalladamente:

V1 (Suelos volcánicos compuestos por ceniza fresca): Son suelos con gran contenido de vidrio volcánico no meteorizado, arenosos. Se ubican solamente en los alrededores del Volcán Arenal. Por su granulometría son suelos extremadamente permeables, y en términos ingenieriles pueden ser considerados como materiales friccionantes (arenas). Mediciones realizadas en Costa Rica, indican un contenido de arcilla inferior al 5% (Alvarado y otros, 2000).

V2 (Suelos volcánicos con gran contenido de minerales amorfos): suelos que se ubican en los alrededores de algunos edificios volcánicos de Costa Rica. Tienen un contenido de arena superior al 30%, estructura muy porosa y cambian drásticamente sus propiedades de plasticidad al secarse, por su alto

contenido de alofana y otros minerales amorfos. La experiencia en el Valle Central, y estudios realizados con muestras de suelo obtenidas en la zona de San Isidro de Coronado, muestran que estos suelos son profundos, blandos y con estructura colapsable ante una eventual saturación del terreno.

V3 (Suelos residuales de origen volcánico) Estos suelos se ubican inmediatamente después de los V2, alejándose del foco de emisión de cenizas (cráter). Son los suelos en los que se cimientan la mayor parte de las estructuras del Valle Central, incluyendo las ciudades de Alajuela, Heredia y San José. Su contenido de arena es de alrededor de un 20%, y generalmente son del tipo MH o ML según clasificación SUCS. Son suelos en general blandos, de buena permeabilidad con minerales arcillosos como la halloisita, alofana y caolinita. En condiciones de saturación o de alta humedad permanente, las cenizas volcánicas contenidas en estos suelos meteorizan en arcillas grises de alto potencial de expansión, este es el origen de las arcillas grises del sur de la ciudad de San José, así como en ciertas zonas de Alajuela y Desamparados. En algunos sitios, estos suelos pueden presentar comportamiento colapsable, aunque en menor grado que los suelos del tipo V2.

Suelos residuales rojizos (símbolo “Lat”):

Descripción:

Son suelos rojizos, mal llamados “*lateríticos*” en el ámbito ingenieril. Son suelos residuales de gran desarrollo, lo que se traduce en un espesor de la capa de suelo (material con grado de alteración VI) con un espesor superior a los 2m. Se encuentran extendidos a lo largo y ancho del país, y pueden desarrollarse prácticamente a partir de cualquier roca madre y en cualquier clima. Los óxidos de hierro le confieren la coloración, y mineralógicamente predominan los minerales arcillosos caolíníticos, con la presencia de halloisita ocasionalmente. Son arcillas limosas de alta plasticidad (generalmente MH), con límites líquidos superiores al 70%. Usualmente contienen más del 65% de arcilla caolínica en su granulometría.

Características ingenieriles:

En general presentan buenas condiciones de cimentación para obras livianas como casas y carreteras. Su principal problema radica en su susceptibilidad a fenómenos de inestabilidad de taludes como reptación y deslizamientos superficiales. El fenómeno de reptación se aprecia en este tipo de suelos sobre todo en la zona de Puriscal, y los deslizamientos superficiales con frecuencia son

desatados por lluvias, aunque como sucedió durante el terremoto de Limón, los sismos también pueden ser factores desencadenantes de la inestabilidad. La propensión a la inestabilidad de estos suelos puede explicarse si se considera el perfil típico de un suelo residual (Figura 2), en la cual se observa que existe una superficie preferencial de falla entre los horizontes de suelo residual y roca meteorizada. Su permeabilidad buena, por su alto contenido de arcilla, caolinítica. Son suelos difíciles de compactar, por su alta humedad natural y óptima. Se han encontrado casos en los que su consistencia es muy blanda, principalmente en zonas lluviosas.

Suelos aluviales saturados (símbolo “Sat”)

Descripción:

Son suelos permanentemente saturados, de origen aluvial. Las condiciones de saturación permanente favorecen la formación de minerales arcillosos color gris, usualmente de alto potencial de expansión. A estos se les denomina “hidromórficos” en el ámbito agronómico y se caracterizan por presentar un horizonte gris arcilloso a menos de 60 cm de profundidad. Por ser suelos transportados, tienen estratigrafía muy variable en profundidad.

Características ingenieriles:

Son suelos muy blandos, y el horizonte arcilloso a poca profundidad los hace muy impermeables. Por ser suelos transportados, en profundidad pueden encontrarse estratos limo – arenosos mal graduados y saturados, potencialmente licuables en caso de sismo. Presentan grandes problemas de estabilidad en excavaciones a cielo abierto, y la cimentación directa de estructuras importantes requiere algún tipo de mejora o sustitución del material de fundación.

Suelos residuales de color amarillento (símbolo “Am”)

Son suelos del orden de los entisoles, tienen un proceso de formación similar al los suelos rojizos, sin embargo estos suelos pardo – amarillentos se caracterizan por estar permanentemente húmedos durante todo el año, lo cual les confiere el color pardo amatillento que los caracteriza, en vez del color rojizo de los suelos con ciclos de humedecimiento y secado bien definidos. Estos suelos tienen menos contenido de arcilla que los suelos lateríticos, y pueden ser pedregosos, sobre todo en zonas de relieve ondulado. Mineralógicamente presentan una predominancia de caolinita.

Características ingenieriles:

Son suelos residuales cuyas características mecánicas tienden a mejorar en profundidad. Su alto contenido de humedad durante todo el año los hace difíciles de compactar, tanto por su consistencia como por la dificultad debido al clima de secarlos al aire para alcanzar la humedad óptima. Son suelos en general blandos, aunque aptos para la cimentación de estructuras livianas. Estructuras pesadas probablemente requerirían de algún tipo de mejoramiento o sustitución de las capas más superficiales del suelo. Son suelos con buena permeabilidad, mayor que la de los suelos rojizos.

Suelos aluviales pantanosos (símbolo “Pant”)

Descripción:

Son suelos de origen aluvial, el nivel de aguas se encuentra sobre la superficie del suelo. Típicamente presentan condiciones geológicas de sedimentos no consolidados ya sean abanicos aluviales o depósitos costeros recientes.

Características ingenieriles:

Presentan las condiciones más desfavorables para la construcción de cualquier tipo de infraestructura, ya que son suelos permanentemente inundados y sumamente blandos hasta grandes profundidades, además son propensos a la licuación de suelos.

Suelos en zonas húmedas (V1w, V2w, V3w, Latw, Amw):

Como se explicó en párrafos anteriores, estos suelos tienen humedades naturales sumamente altas, con frecuencia superiores al 100%, aparte de tener una estructura más porosa que suelos del mismo tipo ubicados en regiones más secas, lo cual los hace en general más blandos. Es común que los suelos rojizos o volcánicos de gran espesor en estas zonas presenten valores de NSPT nulos en ciertos tramos, e inferiores a 5 en otros, con lo cual pueden encontrarse 5m o más de suelos de consistencia muy blanda.

La compactación de estos suelos es especialmente difícil, dadas las altas humedades óptimas de compactación que requieren, lo cual hace el material difícil de trabajar, y las bajas densidades secas que se consiguen. Por otra parte las condiciones climáticas y el alto contenido de humedad natural del suelo, dificultan la disminución del contenido de humedad del material para alcanzar la humedad óptima.

5. Conclusiones y recomendaciones:

- 1- Se ha elaborado un mapa de suelos generalizado que describe a grandes rasgos las características mas relevantes de estas grandes unidades de suelos para aplicaciones de ingeniería. Dado el nivel nacional del mapa, no es posible en solamente un artículo entrar en detalle en las características particulares de cada tipo de suelo, sin embargo los autores creen que es un aporte importante al conocimiento geotécnico de los suelos de Costa Rica, además de constituir un sólido fundamento para futuras investigaciones de mayor detalle.
- 2- En una segunda etapa del trabajo, debe compararse la zonificación realizada con estudios geotécnicos puntuales que permitan una caracterización más detallada de las propiedades mecánicas de los materiales, llegando incluso al punto de ofrecer rangos de variación típicos de algunos parámetros básicos, como pueden ser parámetros de resistencia, plasticidad, granulometría, pesos unitarios, etc.
- 3- El mapa elaborado puede tener aplicaciones en otros cambios de la ingeniería, como puede ser la hidrología superficial de grandes cuencas. Un aspecto interesante puede ser el relacionar los distintos tipos de suelos con ciertas características de infiltración – escorrentía e incluso con parámetros hidrológicos como el Número de Curva², de la misma forma, en hidrología de aguas subterráneas e hidrogeología pueden encontrarse aplicaciones útiles de la información mostrada en los mapas
- 4- Los mapas agronómicos de suelos proporcionan información útil para fines de caracterización geotécnica de suelos, al menos sobre grandes zonas de estudio. Probablemente para estudios más puntuales, su aplicación sea muy limitada.
- 5- Debe tenerse en cuenta el carácter regional del mapa de suelos, y comprender que la información presentada es útil en etapas muy preliminares de los estudios para obras específicas, y más bien pretende ser una guía cualitativa para que el ingeniero pueda prever y estudiar específicamente los problemas geotécnicos más comunes de la zona en la que se ubica su proyecto
- 6- Dada la escala de la información básica, es evidente que las características geotécnicas asignadas a cada unidad de suelos pueden no cumplirse en el 100% del área delimitada. Existen dos causas principales de esta inexactitud en los datos:
 - A- Por la metodología de elaboración de los mapas de suelos agronómicos, puede esperarse que las condiciones descritas en la leyenda para cada unidad de suelos, se cumplan en al menos el 80% del área dentro de esa unidad. Debido a la altísima variabilidad espacial de los suelos, se acepta en cartografía agronómica de suelos que si 8 de cada 10 muestreos en un área previamente definida son coincidentes, se le asigna a esa área las características del suelo más común.
 - B- Se ha definido internacionalmente el concepto de “*Area Mínima Cartografiable (AMC)*” como parámetro de exactitud de mapas agronómicos. El AMC depende de la escala del mapa que se quiera elaborar, y para un mapa a escala 1:200000, como el utilizado en este trabajo, se acepta que islas de tipos de suelos de hasta 40 has de extensión pueden pasar inadvertidas en el levantamiento (Ortiz, 2000), y por lo tanto no aparecer diferenciadas en el mapa final.

² “Soil Curve Number”, método de clasificación hidrológica de suelos del “Soil Conservation Service” de los Estados Unidos de América, según el cual a cada suelo de acuerdo a sus características de permeabilidad se le asigna un parámetro (número de curva), que describe la relación infiltración-escorrentía, parámetro que es utilizado por gran cantidad de programas especializados para realizar estimaciones de la respuesta de una cuenca ante un evento de precipitación

6. Bibliografía:

Alvarado, Alfredo; Bertsch, Floria; Bornemisza, Elemer; Cabalceta, Gilberto; Forsythe, Warren; Henríquez, Carlos; Mata, Rafael; Molina, Eloy; Salas, Rafael. "Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas (Andisoles) de Costa Rica". Editorial EUNED, San Pedro, Costa Rica, 2000

Arias, Cecilia. "Suelos Tropicales". Editorial UNED. San José, Costa Rica, 1995

Bertsch, Floria. "La fertilidad de los suelos y su manejo". Asociación Costarricense de la Ciencia de los Suelos. San José, Costa Rica, 1995

Herrera, Wilbert y Gómez, Diego. "Mapa de Unidades Bióticas de Costa Rica". Esc. 1:785000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica, 1994

Mata, Rafael; Molina, Eloy; Alvarado, Alfredo. "Principales Vertisoles de Costa Rica". II Congreso Nacional de Suelos, EUNED, EUNA, 1996

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). "Mapa Preliminar de Suelos de Costa Rica". Esc. 1:200000, San José, Costa Rica, 1978

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). "Mapa de Suelos de Costa Rica". Esc. 1:200000, San José, Costa Rica, 1994

Ortiz Solorio, Carlos. "Fundamentos de Pedología". Apuntes del curso Cartografía de Suelos, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, octubre del 2001

Probert y otros. "The properties and management of Vertisols". CAB International. Wallingford, United Kingdom, 1980

Strahler y Straher. "Modern Physical Geography". John Wiley y Sons. New York, 1978

Suárez Díaz, Jaime. "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Instituto de Investigaciones en Erosión y Deslizamientos, Colombia, 1998.

USDA. Natural Resources Conservation Service. "Soil Taxonomy". Agricultural Handbook Number 436. Second Edition. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1999

Vásquez Morera, Alexis. "Procedimientos generales para la Realización de Estudios Semidetallados de Suelos". Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra: Bases para el Ordenamiento Territorial. Proyecto PNUD 95/006/A/01/99. Asunción, Paraguay, 1997

Mapa A-11: Clasificación geológica en el cantón de Belén.

Simbología

— Carreteras Nacionales

— Ríos

— Límite Cantonal

Geología

Qv3

Qv5

Tv

Fuente: Denyer et al, 1993;
ProDUS-UCR 2008.

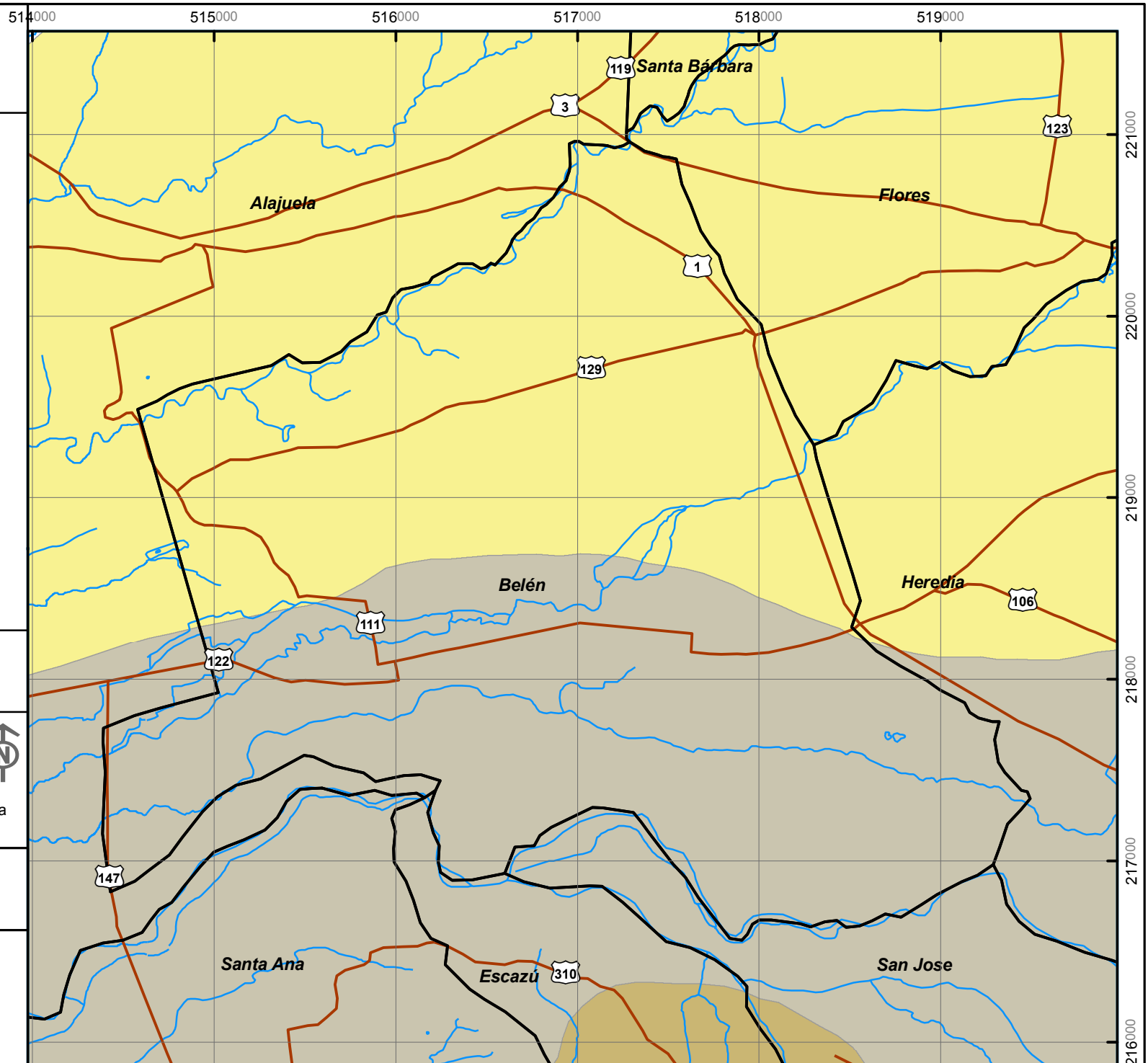
Escala 1:30 000

0 250 500 1 000 Metros



Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén



Mapa A-12: Caracterización geomorfológica en el cantón de Belén.

Simbología

-  Límite Cantonal
-  Ríos
-  Planos y mesetas
-  Terrazas
-  Talud Erosión
-  Nivel Terrazas
-  Conos Coluvio-Aluviales
-  Conos Coluvio-Aluviales
-  Cañones Fluviales
-  Lahares

Litología - Cronología

-  Áreas Sedimentarias Holoceno
-  Áreas Sedimentarias Pleistoceno
-  Áreas Volcánicas Pleistoceno
-  Áreas Volcánicas Terciario

Fuente: Bergoeing, 1981;
ProDUS-UCR 2008.

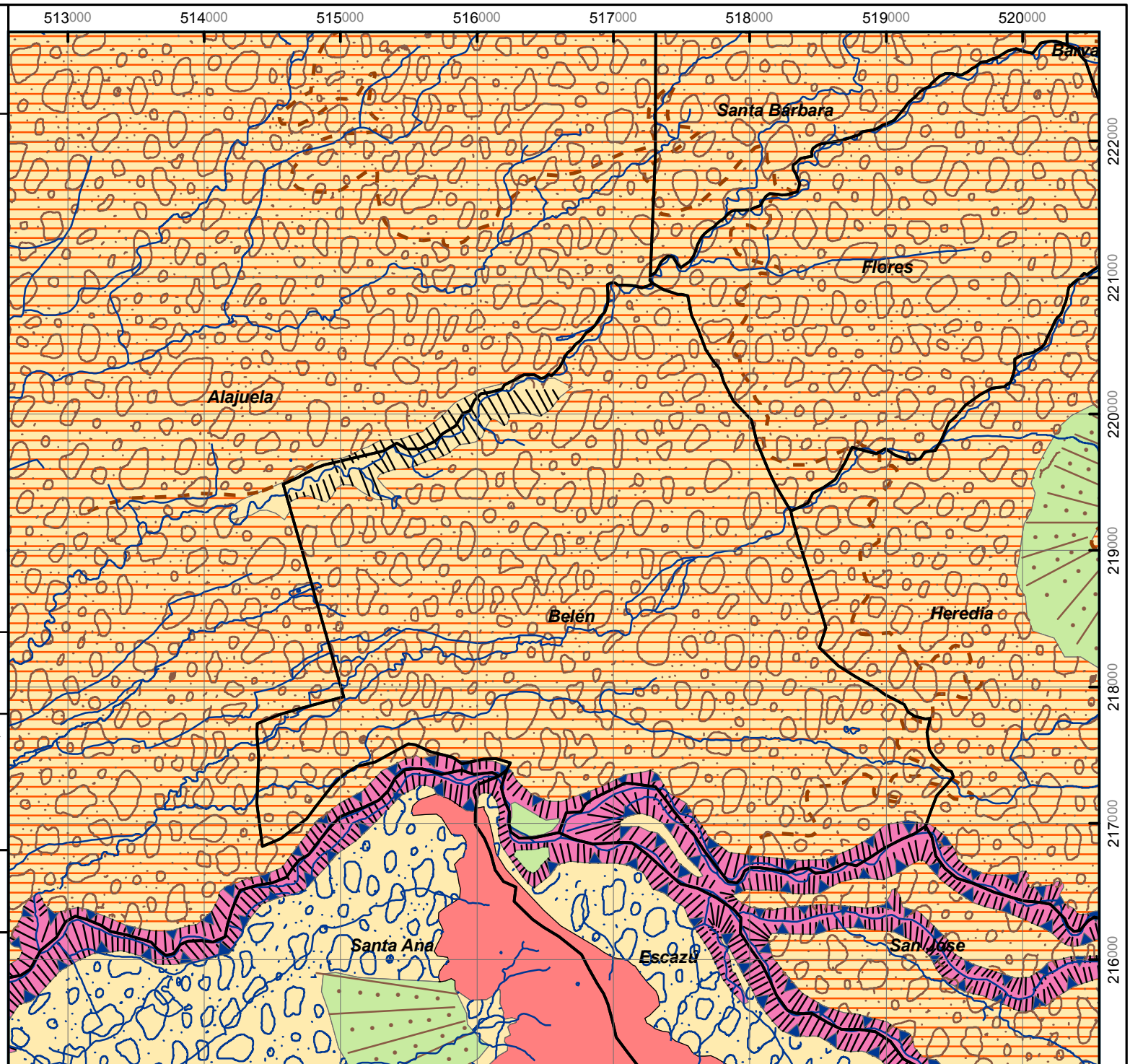
Escala 1:40 000

0 250 500 1 000
Metros



Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*



Mapa A-13: Caracterización hidrogeológica del cantón de Belén: capacidad de recarga

Simbología

 Límite Cantonal

 Zona de captación de pozos

 Zona de recarga

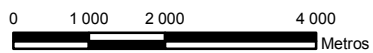
 Zona con información disponible para generar curvas de recarga

Recarga Promedio Anual (mm/año)

 0
 500
 600
 1200
 1800

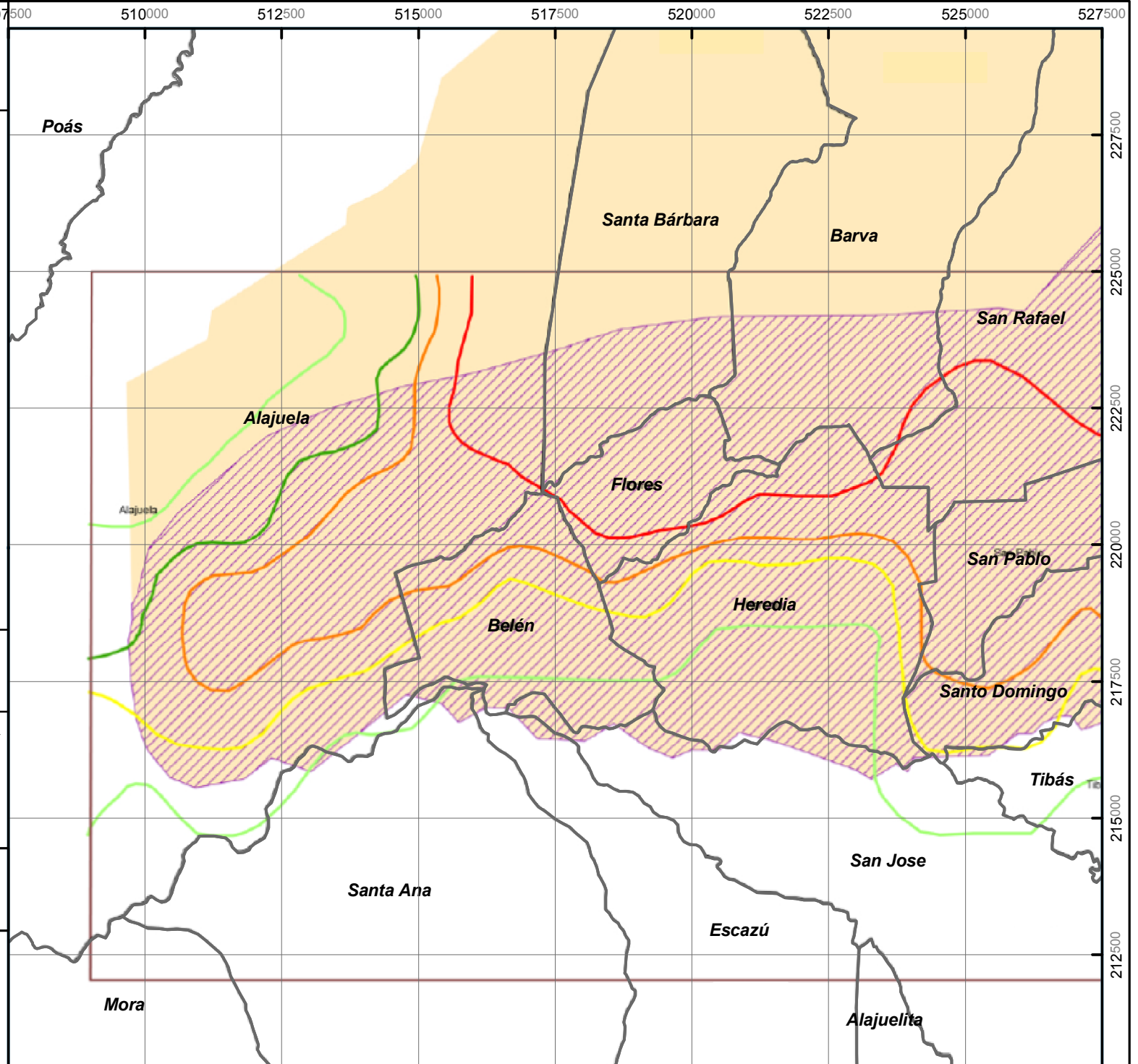
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:100 000



Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



Mapa A-14: Caracterización hidrogeológica para el cantón de Belén: capacidad de captación

Simbología

-  Ríos
-  Límite Cantonal

Clasificación de acuíferos en Zona Norte de la GAM

-  Acuíferos de potencial alto:
Caudal de más de 50 l/s por pozo y más de 400 l/s por manantial
-  Acuíferos de potencial medio:
Caudal de 5 a 15 l/s por pozo y 20 a 100 l/s por manantial
-  Acuíferos de potencial bajo:
Caudal de menos de 5 l/s por pozo y menos de 20 l/s por manantial.

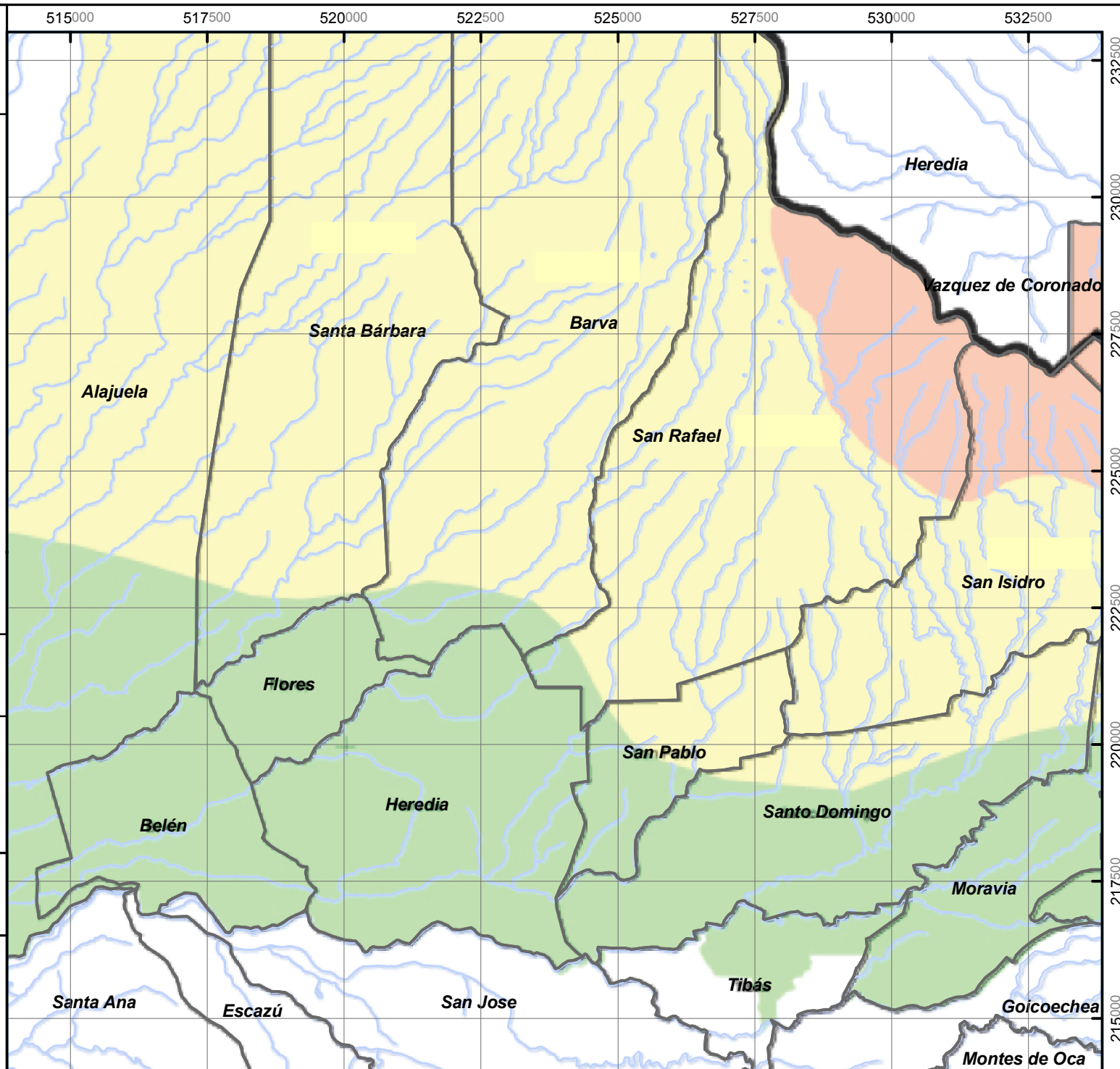
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:100 000

0 250 500 1 000
Metros

Coordenadas en metros en el Sistema
Costa Rica Lambert Norte

*Términos de referencia para el diseño
de un Alcantarillado Pluvial en
el cantón de Belén*



Mapa A-15: Perfiles topográficos del cantón de Belén sobre vías principales

Simbología

Carreteras Nacionales

Ríos

Calles

Perfiles de terreno

Límite Cantonal

Elevaciones (m.sn.m.)

Menor a 850

850 - 875

875 - 900

900 - 925

925 - 950

950 - 975

975 - 1000

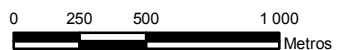
1000 - 1025

1025 - 1050

Mayor a 1050

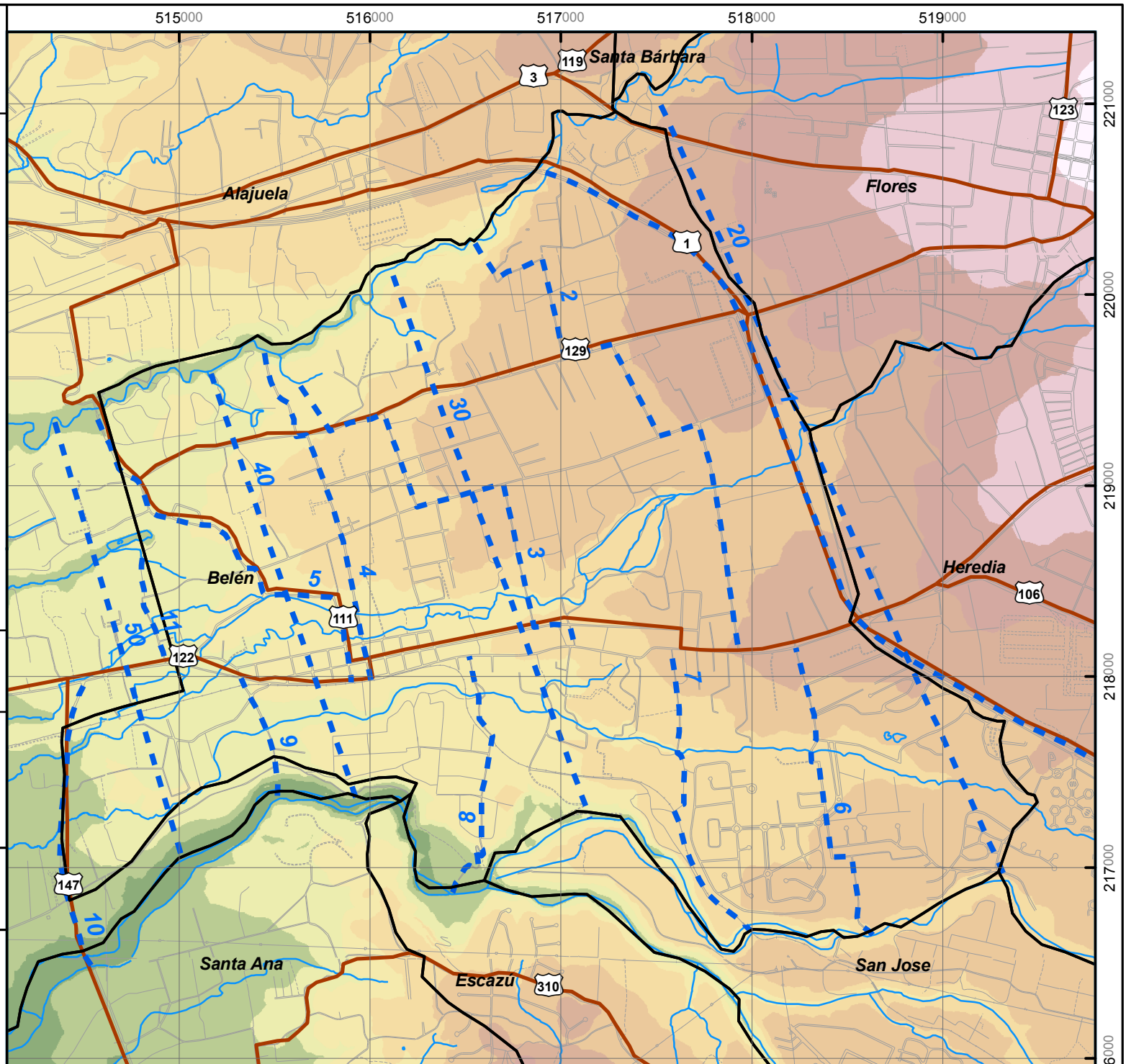
Fuente: ProDUS-UCR 2007.

Escala 1:28 500

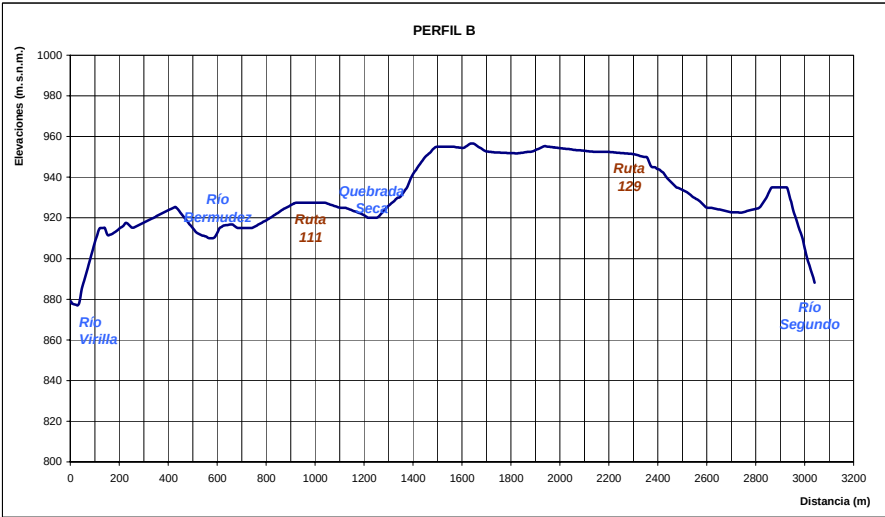
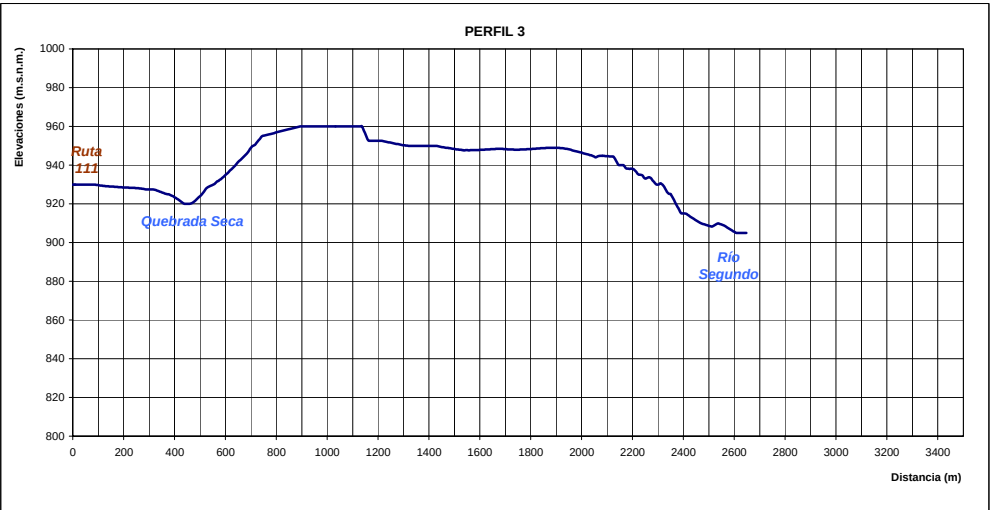
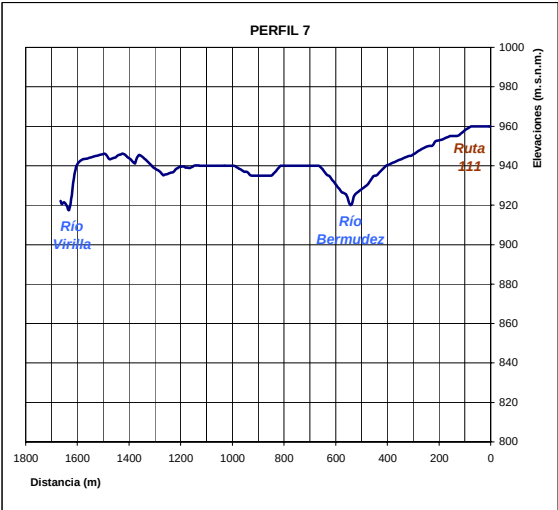
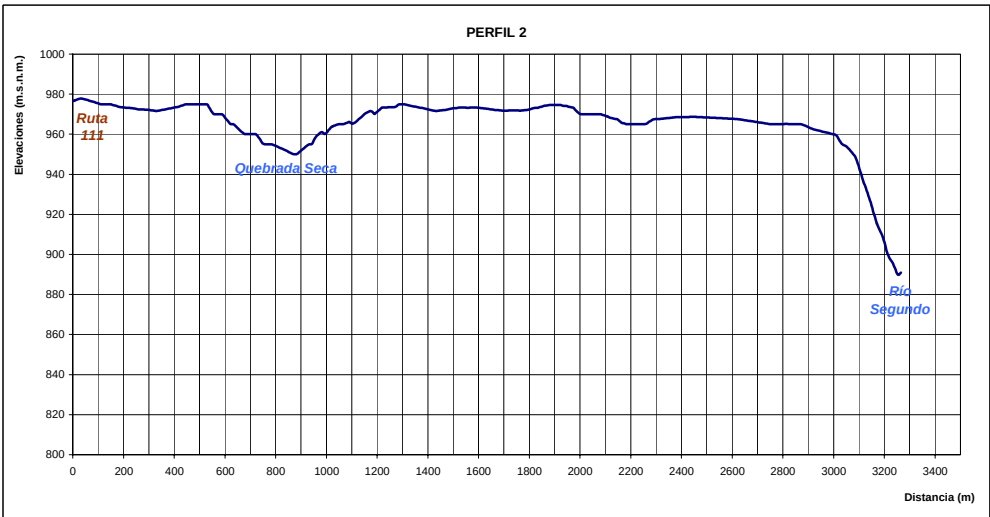
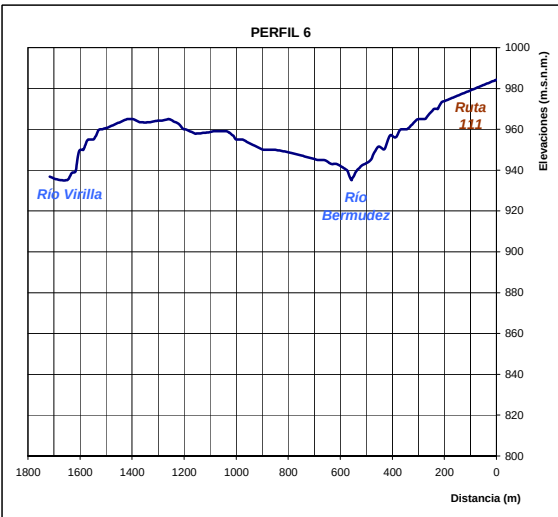
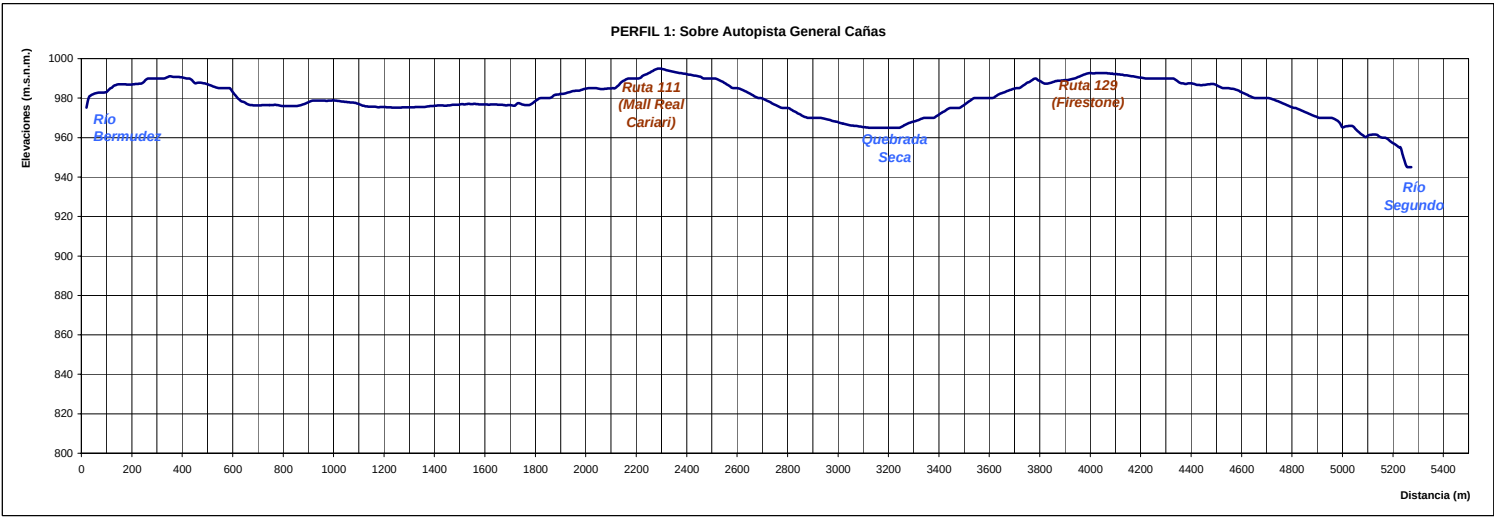
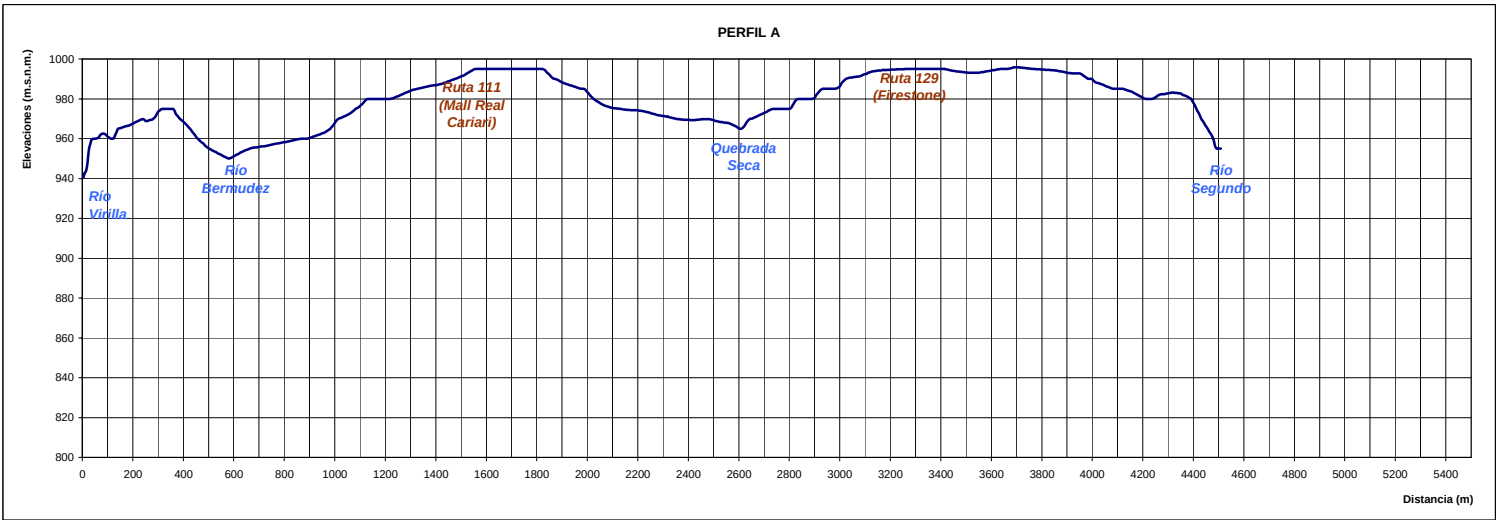


Coordenadas en metros en el Sistema Costa Rica Lambert Norte

Términos de referencia para el diseño de un Alcantarillado Pluvial en el cantón de Belén



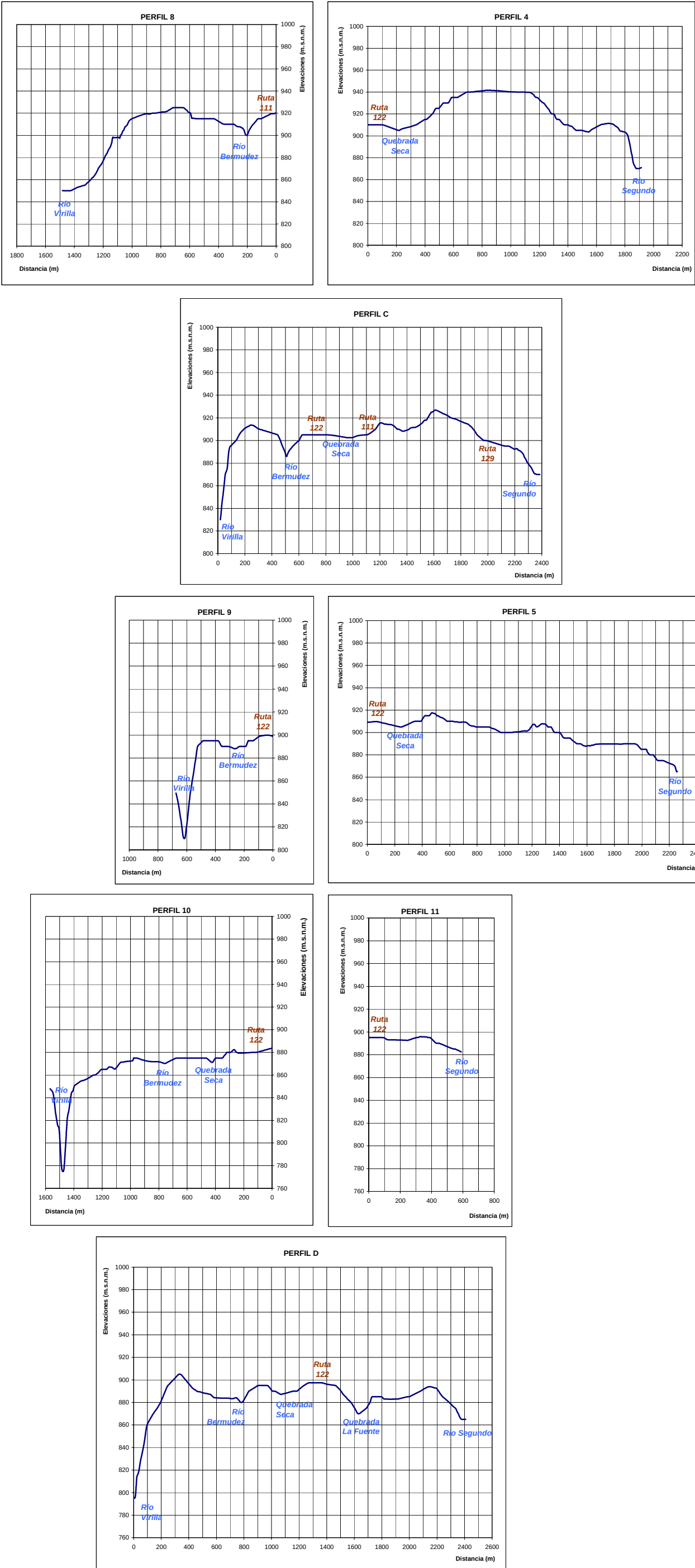
Perfiles para las distintas secciones propuestas por las carreteras principales del cantón



* Las secciones se deben observar desde aguas arriba hacia aguas abajo, que en este caso sería una orientación aproximada en sentido este - oeste.



Perfiles para las distintas secciones propuestas por las carreteras principales del cantón



* Las secciones se deben observar desde aguas arriba hacia aguas abajo, que en este caso sería una orientación aproximada en sentido este - oeste.