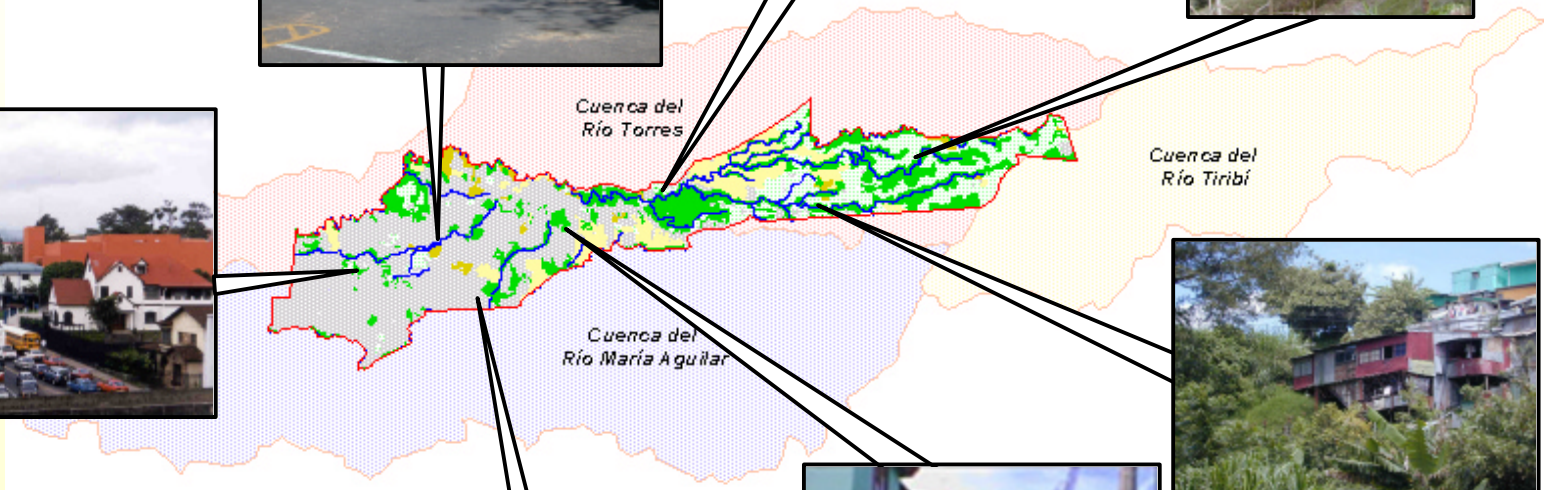
Agua y Ciudad
Diagnóstico



PLAN REGULADOR MONTES DE OCA

Elaborado por:

Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

Abril, 2001

DIAGNÓSTICO
AGUA Y CIUDAD

ÍNDICE

Sección I
Acueducto

Sección II
Permiso de explotación de pozos

Sección III
Alcantarillado Sanitario

Sección IV
Alcantarillado Pluvial

Sección V
Contaminación del agua en la Quebrada Los Negritos

Elaborado por: Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS) de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

Para: Municipalidad de Montes de Oca

Dirección y Coordinación: Dr. Rosendo Pujol Mesalles
Lic. Luis Ml. Zamora González

Equipo de trabajo: Ing. Gustavo Porras Murillo Silvia Valentinuzzi Núñez
Nidia Cruz Zúñiga

ACUEDUCTO

SECCIÓN I

Acueducto

1. Sistema de Acueducto del Gran Area Metropolitana

Los cantones que forman el GAM, corresponden a las provincias de San José, Cartago, Alajuela y Heredia. Para fines de abastecimiento de agua, el AyA ha definido tres sistemas dentro del GAM:

- Area Metropolitana y Zonas Aledañas.
- Zona de Heredia.
- Zona de Alajuela.

El Acueducto Metropolitano suministra agua potable a los cantones de Tibás, Moravia (excepto el distrito de San Jerónimo), **Montes de Oca**, San José, Curridabat, Desamparados (excepto los distritos de Frailes, San Cristóbal y Rosario), Goicoechea, Alajuelita, Coronado (excepto el distrito de Cascajal), Escazú (excepto el distrito de San Antonio), Santa Ana y San Pablo de Heredia.

Además, el Acueducto Metropolitano suministra agua a ciertos centros poblacionales del cantón de La Unión.

1.1 Sistema de Producción de Agua

La producción promedio del Acueducto Metropolitano se estima, según datos de los meses de enero a junio de 1997, en 4.87 m^3/s, con 243000 servicios catastrados.

Este dato es confirmado en la actualidad por el Ing. Alexis Andrade al estimar la producción en 5 m^3/s.

Entre las fuentes que abastecen este acueducto se cuentan pozos, ríos y manantiales.

1.2 Plantas de tratamiento

Para el Acueducto Metropolitano existen 12 plantas de tratamiento, las cuales captan un 60% del agua.

La principal de estas plantas se encuentra en Tres Ríos y cuenta con un caudal promedio de 2400 l/s, lo que representa aproximadamente un 42.2% del sistema.

El detalle los caudales que se tratan en cada planta se encuentra en el siguiente cuadro.

Tabla #1. Detalle del caudal tratado por las Plantas de Tratamiento en el Acueducto Metropolitano

Nombre de la Planta	***Caudal Promedio (l/s)***
Tres Ríos	2400
Guadalupe	350
Los Sitios	276
Los Cuadros	96
San Juan de Dios de Desamparados	85
Salitral	52
San Jerónimo	30
Alajuelita	15
Coronado	10
Mata de Plátano	9
Piedades	6
Guatuso	4
Total	3333

Fuente: Informe de Geotécnica

1.3 Situación Operacional

El sistema operacional está constituido por 32 tanques de almacenamiento y regulación, 9 estaciones de bombeo actualmente en operación y un gran número de estaciones controladas de presión y caudal, mediante válvulas y equipos especiales.

El sistema está conformado aproximadamente por 2144 km de tuberías, con diámetros que varían entre los 25 y los 1100 mm.

En la actualidad el Acueducto Metropolitano está constituido por 22 zonas de presión que son abastecidas por el Proyecto Orosi, el río Tiribí, el río Virilla, los manantiales de Puente de Mulas, los manantiales de Potrerillos, los pozos del Norte (La Valencia y La Libertad) y otras captaciones.

El resumen de los datos generales del Acueducto Metropolitano, como zonas abastecidas, fuentes de abastecimiento, caudal y tipo de conducción se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla #2. Datos Generales del Acueducto Metropolitano

Acueducto y zonas abastecidas	**Fuente Principal (M:Manantial, R:Río, P:Pozo)**	**Caudal aproximado (l/s)**	**Bombeo o gravedad**
Cantones: Tibás, Montes de Oca, San José, Curridabat, Goicoechea, Alajuelita, San Pablo, Santa Ana, y zonas de los cantones de Moravia, Desamparados, Coronado, Escazú y la Unión. Está dividida en 22 zonas de presión. Administrados por el AyA. Número de conexiones 243000 aprox. (enero 1998)[3]	Embalse El Llano/Orosi (R) (Inicio de operación: 1987)	1600	G
	15 pozos de La Valencia (P) (Inicio de operación: 1973-1978)	950	B
	Puente de Mulas (M, P) (Inicio de operación: 1973)	875	B
	Río Tiribí	500	G
	Río Virilla y quebradas (R) (Inicio de operación: 1973-1978)	300	G
	Río Macho (Inicio de operación: 1970-1973)	260	G
	Unas 15 fuentes menores (M, R, P) (10% de la producción total)	500	G, B
	Caudal Total aproximado: 5000 l/s 20% de manantiales, 20% de pozos y 60% de ríos o quebradas		G: 70% B: 30%

Fuentes:

[1] *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. II, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

[2] *Proyecto Orosi:* un capítulo en la historia, Revista especial publicada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1987.

[3] Datos de 1998 brindados por el Departamento de Operaciones del Acueducto Metropolitano, AYA.

Para resumir la información de la infraestructura del acueducto Metropolitano se presenta el siguiente cuadro.

Tabla #3. Síntesis de la infraestructura del Acueducto Metropolitano

ESTACIONES DE BOMBEO (EB)	• Cuenta con 9 estaciones de bombeo (EB).[1] • Las más importantes son las de la Uruca, Puente de Mulas, Ipís, Los Cuadros, las cuales bombean las 24 horas del día.
PLANTAS DE TRATAMIENTO (PT)	• Cuenta con 12 PT.[1] • Las más importantes son las de Tres Ríos, Guadalupe, Los Sitios y Los Cuadros • Se clora toda el agua.[3] • Del agua que viene por ríos, 25% pasa por filtros lentos y 75% por filtro rápido.[2]
TANQUES DE ALMACENAMIENTO (TA)	• Existen 32 TA, que suman unos 85000 m^3. • Los más viejos datan de las décadas de los 50 y 60, pero la mayoría fueron construidos en los años 70 y 80. • Los de mayor volumen son los del Sur, Curridabat y San Blas, de 10000 m^3 c/uno. • Las cotas máximas de abastecimiento las definen el TA Bello Horizonte (1190 msnm) y el TA Pilota (1250 msnm). , ambos en el sur de la ciudad.[3]
TUBERIAS	• El sistema cuenta con 2144 km de tuberías con diámetros entre los 25 y los 1100 mm.[1] • 50% son de PVC, 26% de hierro fundido, 17% de hierro galvanizado y el restante 7% de hierro dúctil, asbesto cemento o acero (los 22 km de Orosi).[1] • Las de hierro fundido del cantón de San José tienen más de 50 años.[3]
MEDICION	• De las 243512 conexiones, se estima que un 69% cuentan con medidor operando adecuadamente, 8% con medidor en mal estado, 14% no tienen medidor y 9% son conexiones inactivas.[3] • Con respecto a la macromedición, en algunas fuentes y salidas de PT se da, pero no en todas ni de manera sistemática.

Fuentes:

[1] *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. II, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

[2] *Proyecto Orosi:* un capítulo en la historia, Revista especial publicada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1987.

[3] Datos de 1998 brindados por el Departamento de Operaciones del Acueducto Metropolitano, AYA.

2. Acueducto de Montes de Oca

Para entender cual es el funcionamiento del abastecimiento de agua para el acueducto de Montes de Oca se puede observar el siguiente diagrama.

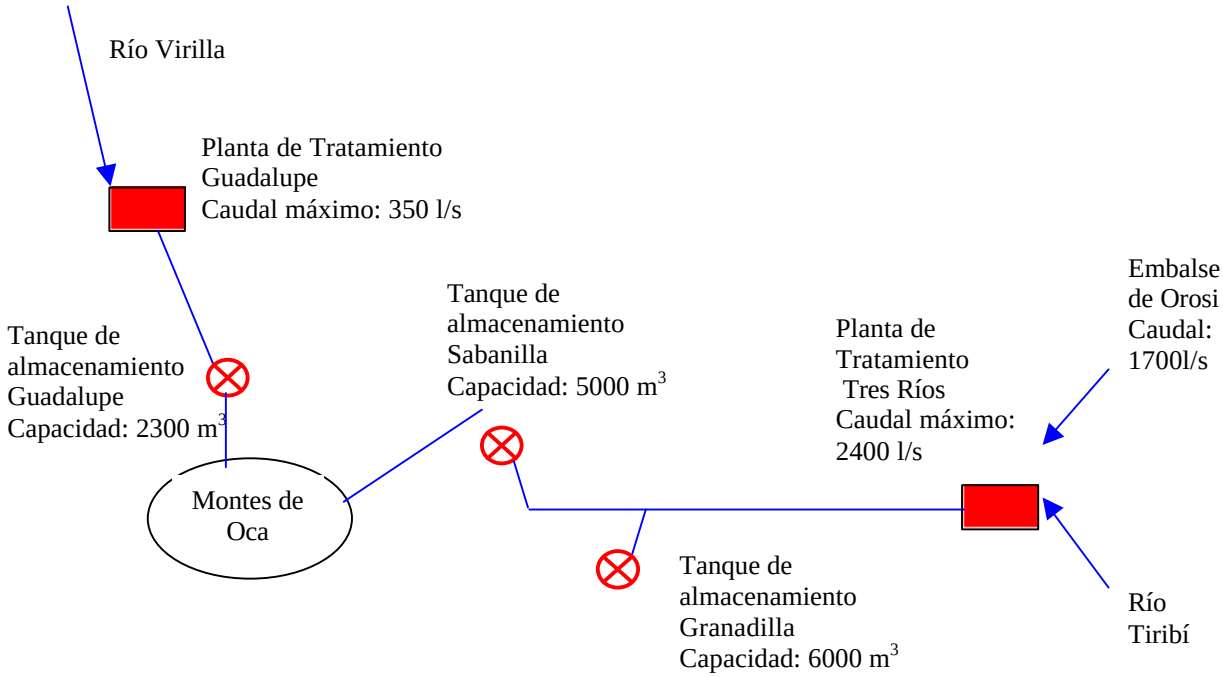


Figura #1
Diagrama simplificado del sistema de abastecimiento de agua potable para Montes de Oca

Según el diagrama anterior, el cual se encuentra mejor detallado en la Figura #2, el agua para el cantón de Montes de Oca es tomada de los ríos Virilla y Tiribí, así como también por el agua desviada del embalse El Llano del proyecto hidroeléctrico Orosi. Estas aguas se captan y se conducen a dos plantas de tratamiento:

- Planta de tratamiento Tres Ríos: en esta se trata el agua captada del río Tiribí y la captada del embalse El Llano (1700 l/s), el caudal máximo para esta planta es de 2400 l/s. Del Río Virilla se toma agua con un caudal variable, sin embargo, como máximo se captan 700 l/s. Esta planta tiene tres salidas principales, por una caja de distribución:
  1. La primera de tubería de 900 mm de diámetro de hierro dúctil, que conduce agua hacia la zona de Desamparados, Curridabat y de San José.
  2. La segunda en tubería de 600 mm de hierro dúctil que lleva el agua a la zona de Guadalupe e Ipís; en este camino hay derivaciones de las cuales se abastece la zona de San Rafael de Montes de Oca.
  3. La tercer salida, de 450 mm de diámetro de hierro dúctil, transporta el agua hacia 3 tanques de almacenamiento (Guayabos, Granadilla y Sabanilla). El tanque del cual se toma el agua para Montes de Oca es el Tanque Sabanilla, que cuenta con una capacidad de 5000 m^3; las aguas para este tanque provienen del tanque Granadilla, con 6000 m^3 de capacidad.
- Planta de Tratamiento Guadalupe: el agua que se trata en este es tomada del río Virilla. El caudal máximo tratable es de 350 l/s. El agua es transportada al tanque de almacenamiento de Guadalupe, el cual tiene una capacidad de 2300 m^3. Del

tanque sale la tubería que conduce esta agua hacia Montes de Oca, la cual es de hierro dúctil de 300 mm de diámetro, y en promedio abastece 150 l/s.

Además de estas fuentes de abastecimiento, existe una zona reducida hacia el Este del cantón, que incluye la zona de las urbanizaciones Las Mansiones, Ros Mary Karpinski y otras de bienestar social, que se surten del agua extraída de una fuentes conocidas como manantiales San Pedro.

2.1. Estado del acueducto

El Acueducto Metropolitano, es en términos generales muy antiguo, tiene alrededor de 50 años de construido. Sin embargo hay zonas relativamente más nuevas, que tienen características diferentes.

Se identifican tres tipos de tubería existente, en cuanto a materiales: la tubería más moderna que se ha instalado, que corresponde a la de las urbanizaciones recientemente construidas, es de PVC. Las tuberías de hierro dúctil existentes, tienen más de 22 años, y finalmente existe tubería de hierro galvanizado que tiene aproximadamente 50 años de existencia.

Es la conducción hecha con hierro galvanizado la que tiene una situación más crítica, por cuanto es muy vieja y presenta problemas como fugas excesivas y rupturas. Vale la pena mencionar que para el Acueducto Metropolitano estas pérdidas se estiman en 50%, aproximadamente.

En el Mapa 1, se puede apreciar la distribución de la red del Acueducto para el cantón de Montes de Oca.

Para este sistema se cuenta con que la mayor para de la red cuenta con tubería de 100 mm de diámetro. Además, como ya se mencionó los materiales de estas tuberías son PVC, Hierro Galvanizado y Acero.

Se puede notar que los distritos de San Pedro, Mercedes y Sabanilla están prácticamente cubiertos por el acueducto, lo cual no sucede con el distrito de San Rafael.

Sistema de abastecimiento
de agua potable para el catón de Montes de Oca
(Acueducto Metropolitano)

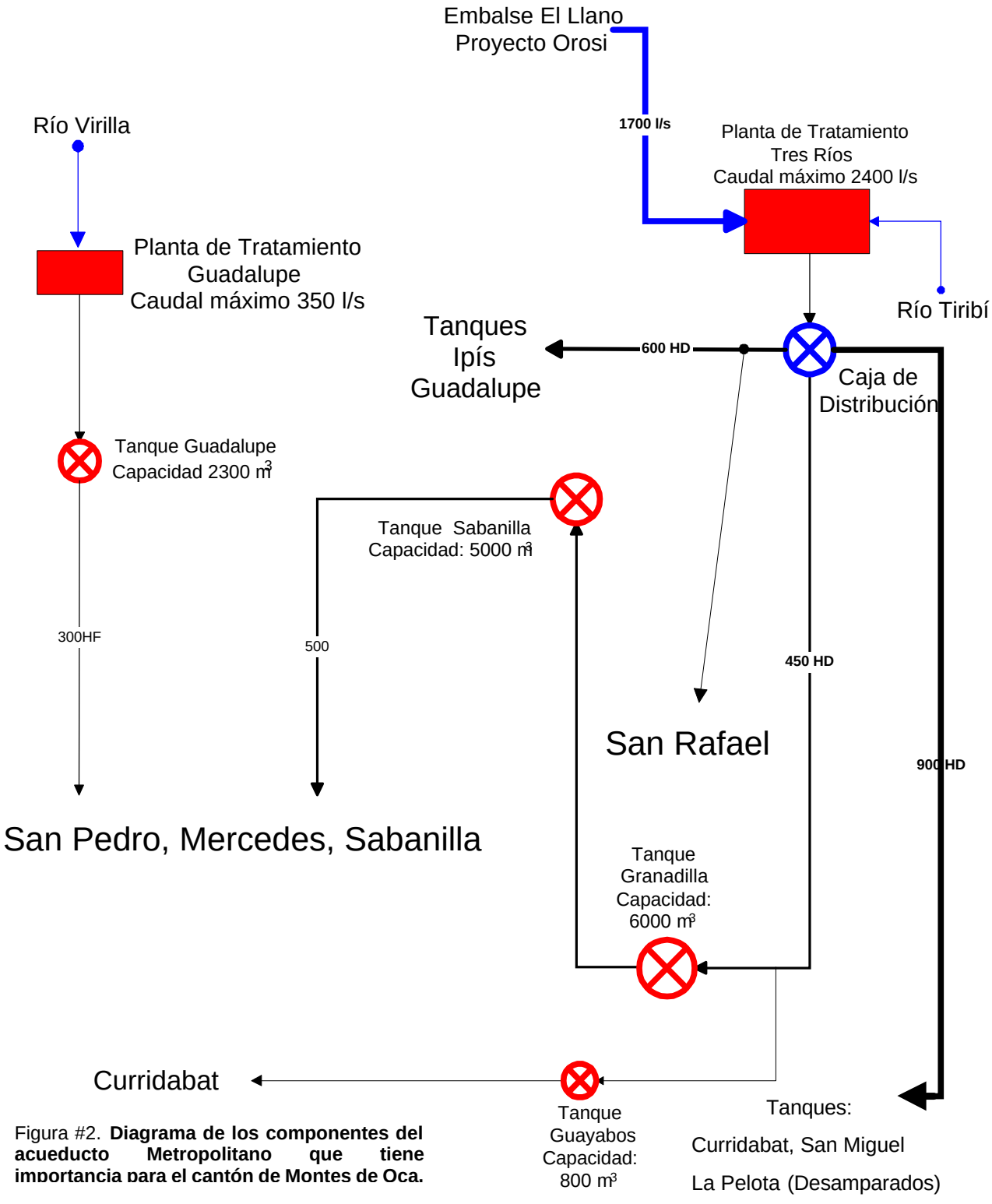
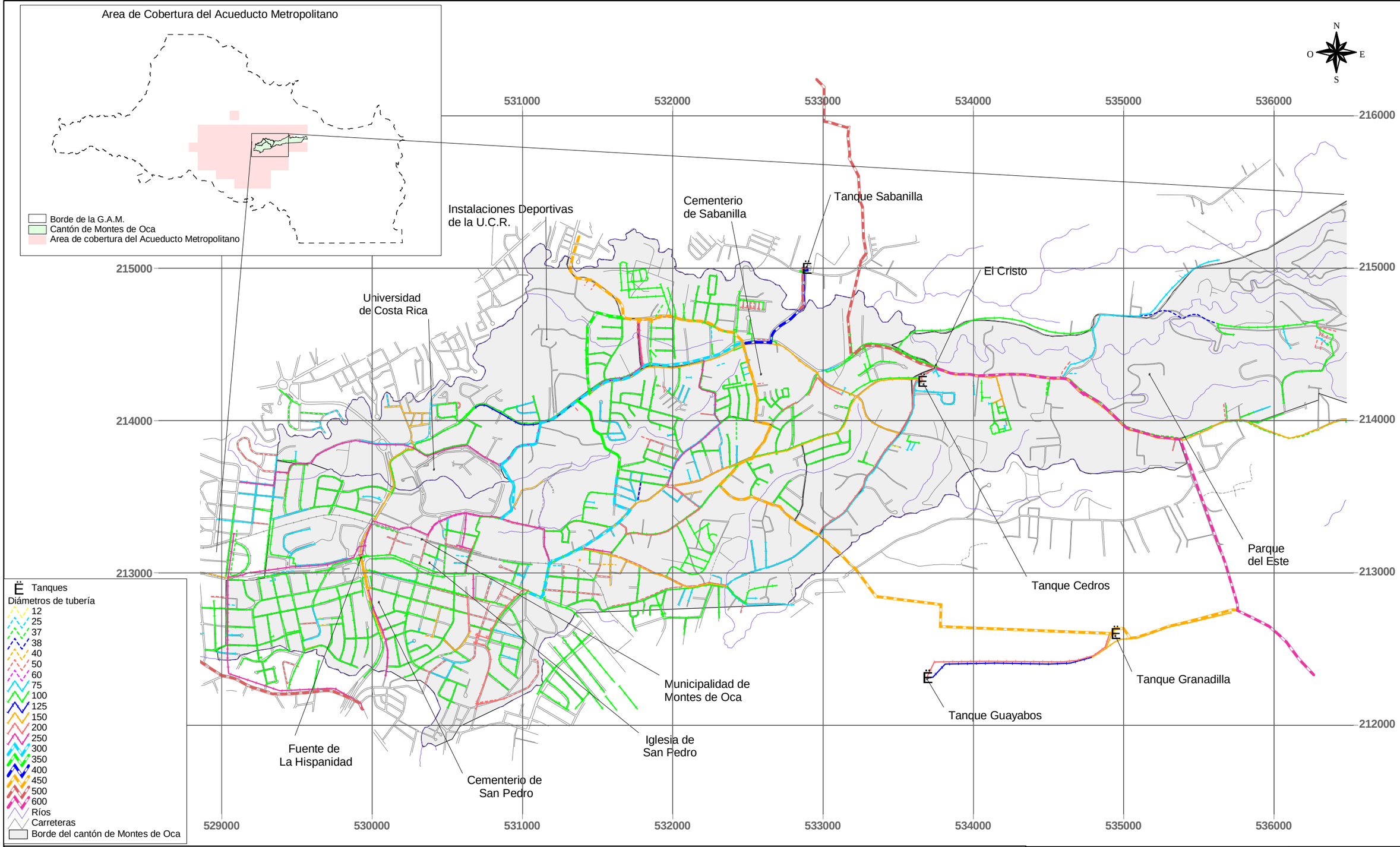


Figura #2. **Diagrama de los componentes del acueducto Metropolitano que tiene importancia para el cantón de Montes de Oca.**



Mapa 1 . Acueducto de Montes de Oca

Plan Regulador de Montes de Oca

Fuente: Planos del Acueducto Metropolitano, Acueductos y Alcantarillados. ProDUS, 2000
Mapas 1:10000 IGN-MAG, 1989

0.5 0 0.5 Kilómetros

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

3. BIBLIOGRAFIA

1. GEOTECNICA. **Borrador del Informe Final: Estudio de Alcantarillado Sanitario de la G.A.M.** Instituto de Acueductos y Alcantarillado, Enero 1998.

Entrevistas:

1. Ing. Alexis Andrade, Jefe del Departamento de Control Operacional del AyA. Plantel La Uruca. Miércoles 22 de marzo del 2000.

SECCIÓN II

PERMISO DE EXPLOTACIÓN DE POZOS

Permiso de Explotación de Pozos

1.1 Procedimiento de Obtención

Para obtener el permiso de perforación y explotación de un pozo se deben hacer los trámites correspondientes en el Departamento de Aguas del MINAE; este departamento se encarga de llevar un control de los pozos en todo el país.

La persona interesada en solicitar los permisos para la construcción y explotación de un pozo debe iniciar por recoger los formularios destinados para la concesión de permisos en dicho departamento y llenar la información que allí se le solicita. Es importante hacer notar que la persona interesada requiere de una empresa que se encarga de los trabajos de perforación del pozo y esto se debe notificar en la solicitud; también se requiere por lo menos de un geólogo para llenar varia información concerniente al sitio donde se va a colocar el pozo, para que establezca las coordenadas, la información topográfica, el acuífero del que se tomará en agua y otros datos técnicos. Se adjunta la Solicitud de Permiso de Perforación del Subsuelo del Ministerio del Ambiente y Energía, para presentar esta solicitud se debe adjuntar el original y tres fotocopias de la solicitud, cancelar en el Banco Nacional de Costa Rica los gastos administrativos y cuatro fotocopias del plano catastrado de la propiedad donde se perforará.

Una vez llenados estos documentos, se entregan en el departamento de aguas del MINAE y ellos se encargan de los trámites correspondientes con el SENARA y AyA. Estos trámites son internos y su objetivo es determinar si la petición de construcción del pozo es o no factible.

En el SENARA, el Departamento de Aguas Subterráneas lleva un control y registro de todos los pozos legales existentes en el país, con sus respectivas características, ubicación, dueño, etc. Con ayuda de esta base de datos ellos son capaces de determinar la presencia de pozos cercanos o concesiones en la misma zona, para evitar la sobreexplotación del acuífero y la influencia de la extracción del recurso entre pozos cercanos. En este departamento se cuenta con una serie de requisitos que se deben cumplir para aprobar la concesión. A continuación se presenta una lista de las posibles razones que llevan al SENARA a denegar una solicitud:

- Por localizarse el sitio en zona de reserva acuífera. Debe consultar con el ente encargado del abastecimiento público en el sitio de interés y éste debe pronunciarse por escrito.
- Por localizarse en zona de alto riesgo de intrusión salina.
- Las coordenadas en la solicitud no corresponden a la hoja cartográfica indicada, se requiere localizar correctamente el pozo.
- Por localizarse el sitio a menos de 1 kilómetro de la línea de Pleamar y/o se encuentra en zona de marisma.
- Por no definir coordenadas exactas del pozo.
- La distancia entre pozos solicitados no es suficiente para evitar interferencia entre ellos.
- Por existir en archivos otros pozos cerca del sitio de perforación.
- Por no tener informe técnico.
- Coordenadas no corresponden al plano de ubicación.
- La empresa perforadora que solicita no esta registrada en el SENARA.
- Por estar en un sitio con una altura respecto al nivel del mar insuficiente para la perforación requerida.
- Por existir en registros otra concesión para dicho sitio.

- Puede afectar la intrusión salina a los pozos cercanos, se requiere una evaluación hidrogeológica del radio de influencia.
- Por no conocer el caudal a extraer.
- Por objeción por parte de algún geólogo del estudio de interferencia de pozos.
- Por la existencia de otro pozo a mínimo de 100 m de distancia de otro. Requiere un estudio de interferencia de los pozos involucrados.

Una vez finalizado el estudio en el SENARA, esta devuelve la solicitud junto con su resolución, aprobada o denegada, al departamento de Aguas del MINAE para que se encargue del resto de los trámites.

1.2 Reglamento de Perforaciones y Exploración para Aguas Subterráneas

El Departamento de Aguas del MINAE es la institución encargada de autorizar toda perforación que tenga como objetivo tanto la explotación como la exploración de las aguas subterráneas, sea por medio de pozo, galería u otro.

Las empresas perforadoras deben estar inscritas en el registro que para ese efecto lleva el MINAE, no se otorgará licencia para perforación a aquellas empresas que no cumplan con este requisito. Para solicitar la inscripción se requiere:

- Nombre de la empresa, dirección postal, domicilio y número telefónico
- Nombre, calidades y dirección del representante.
- Certificación de personería.
- Equipo de perforación disponible.
- Fecha de la solicitud y firma del representante.

En cuanto a los permisos de perforación, se establece:

- La solicitud debe ser presentada en la fórmula suministrada.
- Los permisos que se otorguen tendrán una vigencia de tres meses.
- Los permisos de perforación no confieren derecho al uso o explotación de las aguas, para ello debe solicitarse una concesión de aprovechamiento de aguas en el MINAE.
- El permiso de perforación puede ser transferido de una empresa a otra, con el trámite correspondiente.

La empresa perforadora tiene una serie de obligaciones por ley, estas son:

- La empresa debe poner a disposición de los inspectores o delegados del MINAE en el sitio una copia de los permisos de perforación, muestras litológicas del material en la perforación y un cuaderno de bitácora del Colegio de Geólogos.
- Colocar un tubo de 25 milímetros de diámetro para la medición del nivel de agua, colocado un metro arriba de la bomba, además dejar previsto el conducto de tubería para medir el caudal del pozo.
- Dentro de 15 días hábiles después de finalizada la perforación la empresa debe presentar al MINAE un informe que incluya:

- Propietario del pozo
- Uso del agua
- Localización del pozo en croquis o plano catastrado
- Ubicación cartográfica de la propiedad y perforación en escala 1:50000
- Nombre de la Empresa perforadora.
- Método de perforación.
- Equipo Utilizado.
- Duración de la perforación.
- Profundidad total de perforación
- Profundidad del nivel de agua y variaciones durante la perforación.
- Características y emplazamiento del ademe y de las rejillas o intervalos de admisión.
- En acuíferos aluviales, un análisis gramulométrico de los materiales de la zona.
- Características del filtro de grava.
- Desarrollo del pozo y horas de desarrollo.
- Litología del material de la perforación.
- Si se utilizan lodos de perforación, ingredientes dispersores o aditivos.
- Sello sanitario: características, profundidad, espesor y material.
- Registro de prueba de bombeo: caudales, abatimientos y tiempos.
- Análisis físico químico bacteriológico.

Las violaciones a las disposiciones establecidas en el Reglamento se sancionarán de la siguiente manera:

- Si no se tiene autorización del MINAE se suspenderán los trabajos hasta que la empresa obtenga el permiso, cubriendo antes los gastos administrativos.
- Si la empresa es reincidente no se le otorgarán nuevos permisos durante tres meses.
- Si la empresa no presenta el informe técnico no se le otorgarán nuevos permisos en tanto no cumpla con ese requisito.

1.3 Pozos ilegales

Es muy conocido la existencia de pozos ilegales, ya que en ocasiones las personas no se toman el tiempo de presentar la solicitud de la concesión y prefieren simplemente construir el pozo y explotarlo sin regulación alguna.

Según se comentó en el SENARA existe un nuevo plan Piloto en una zona poblada de la provincia de Guanacaste para estimar la cantidad de pozos ilegales existentes e iniciar un estudio de la influencia de estos. Aún así, este proyecto tiene poco tiempo de estarse realizando y es claro que no es posible extrapolar los resultados obtenidos para esta zona al resto del país.

No obstante, varios expertos piensan que la cantidad de pozos ilegales puede rondar entre 25 y 30 % de los pozos inscritos.

Se incluye un mapa con los pozos de la base de datos de pozos del SENARA, con su respectivos datos de nivel freático estático. Ver mapa # 1.

1.4 Bibliografía

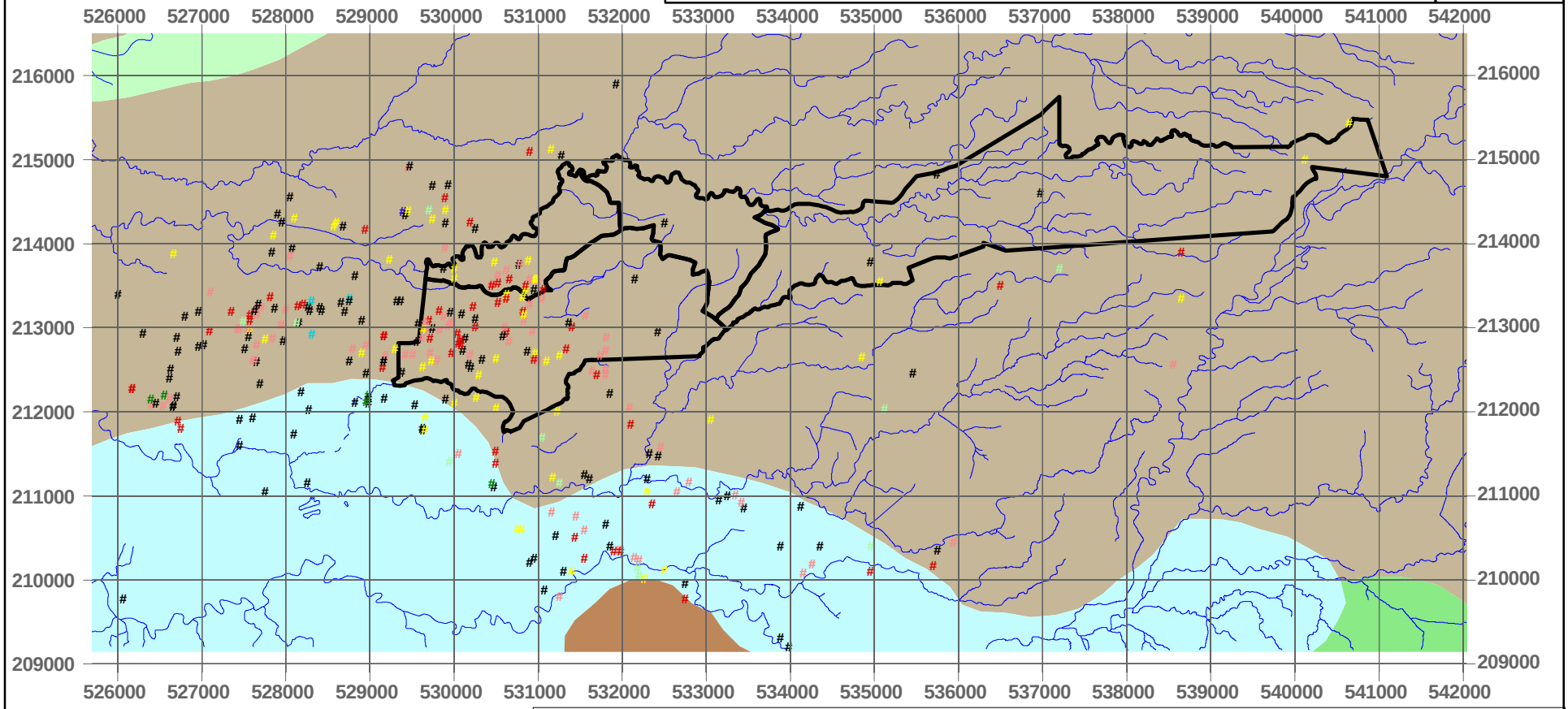
1. Entrevista Lic. Ramírez. Departamento de Aguas Subterráneas, SENARA, marzo 2000.

2. Entrevista Lic. Romero. Departamento de Aguas Subterráneas, SENARA, marzo 2000

3. Entrevista Lic. Victor Vargas. Departamento de Aguas, MINAE, abril 2000.

4. Reglamento de Perforaciones y Explotación para Aguas Subterráneas. La Gaceta Nº 101, jueves 26 de mayo de 1988.

Mapa 1. Clasificación de Pozos según el Nivel Freático de la zona de estudio



Clasificación de los pozos según Nivel Freático

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- No Dato

- División cantonal y distrital de Montes de Oca
- Ríos

Zona Hidrogeológica

- Acuíferos continuos, libres, confinados. Permeabilidad media a baja.
- Acuífero profundo en lavas básicas. Calidad exc. Permeabilidad alta
- Acuífero en roca sedimentaria calcárea. Permeabilidad baja.
- Acuífero en roca piroclástica. Permeabilidad media o alta.
- Acuífero ausente en roca instrusiva y metamórfica.

Fuente: SENARA, ProDUS abril,2000.

1 0 1 2 Kilómetros

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

Plan Regulador de Montes de Oca

SECCIÓN III

ALCANTARILLADO SANITARIO

Alcantarillado Sanitario

Al igual que en el caso del acueducto, para el GAM se definen tres zonas para los sistemas de alcantarillado sanitario (Metropolitana, Heredia y Alajuela), Montes de Oca pertenece a la Zona Metropolitana.

1. Alcantarillado Sanitario del Área Metropolitana

1.1 Sistema de Redes y Colectores

En la actualidad, el alcantarillado está dividido en cuatro colectores principales que son:

- Colector Rivera
- Colector Torres
- Colector María Aguilar
- Colector Tiribí

Estos, reciben las aguas residuales que vienen de los subcolectores, según el esquema siguiente:

- Subcolectores que descargan en el Colector Rivera:
- Subcolector Barreal
- Subcolector San Blás
- Subcolector Tibás
- Subcolector Zetillal
- Subcolector Los Colegios

- Subcolectores de la cuenca del Río Torres:
- Colector Torres I
- Colector Torres II
- Subcolector Saprissa
- Subcolector Negritos
- Subcolector Cangrejos
- Subcolector Lantisco

- Subcolectores que descargan en el Colector María Aguilar:
- Subcolector Purruses
- Subcolector Ocloro
- Subcolector del Sur
- Subcolector Las Arias
- Subcolector Chile de Perro

- Subcolectores que descargan en el Colector Tiribí:
- Subcolector Damas
- Subcolector Cucubres

- Instalaciones de tratamiento

Existen plantas de tratamiento en algunos sectores del Acueducto Metropolitano, sin embargo actualmente están fuera de operación.

- Estaciones de bombeo

Ninguna de las 5 estaciones de bombeo se encuentra en operación. En la actualidad

se realizan trámites de licitación para remodelar y poner a funcionar las estaciones de bombeo, las cuales se encuentran en las siguientes urbanizaciones:

- Urbanización Cerámica Poás, ubicada en Calle Fallas de Desamparados.
- Urbanización Florida Norte, ubicada en Barrio México.
- Urbanización Lomas del Sol, ubicada en el cantón de Curridabat.
- Urbanización San Esteban Rey, ubicada en Calle Fallas de Desamparados.
- Urbanización La Florida, ubicada en Calle Fallas de Desamparados.

Como se puede apreciar, de estas estaciones de bombeo no hay alguna que se encuentre en área de interés.

Debido al estado del sistema de alcantarillado actual, se hace necesario que este sea mejorado, a fin de cumplir con las necesidades de una población creciente. Por esto, se plantea la ampliación de red de alcantarillado, en sus cuatro colectores principales, así como también la modificación de ciertos tramos de las tuberías existentes.

1.2. Situación actual del Sistema de Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento del alcantarillado es solamente de emergencia, por cuando existe una sola cuadrilla que atiende estos casos. En parte el problema de que tanto las estaciones de bombeo como las plantas de tratamiento no funcionen se debe a esta escasez de personal en esta área. Muchas de estas instalaciones fueron convertidas en depósitos de basura, fueron cubiertas por vegetación, o incluso como en el caso de una planta de tratamiento robada bloque por bloque, según nos indicó en Ing. Francisco Bretes de la sección de aguas residuales del AyA.

También se presenta el problema de puentes de interconexión, de subcolectores a colectores, derrumbados, y existen tramos de colectores, algunos bastante largos, de los cuales se desconoce su ubicación y alineamiento. Esto ha sucedido porque se han realizado rellenos sobre la tubería lo que hace casi imposible su recuperación. Entre los tamos que se encuentran en esta situación, figuran: en el subcolector Cangrejos de Torres 1, en el subcolector Purruses del colector María Aguilar y uno en el colector Tiribí.

El departamento de Mantenimiento de Alcantarillados Sanitarios de AyA realiza cuatro actividades de mantenimiento, coordinadas por un Ingeniero Civil. Estas actividades se detallan a continuación:

- Desobstrucciones simples: las obstrucciones simples son las causantes de la mayoría de los problemas en las redes de alcantarillado. Estos se resuelven mediante desobstructores manuales. Para realizar estas labores hay tres cuadrillas de tres personas cada una. Hay un inspector a cargo de las tres cuadrillas.
- Desobstrucciones complejas: este tipo de problemas requieren de un trabajo más complicado, principalmente cuando hay que levantar el pavimento o romper la tubería para eliminar la obstrucción. De esta labor se encargan dos cuadrillas.
- Instalaciones de previstas: estas son realizadas cuando se ha solicitado la conexión de instalaciones domiciliarias al alcantarillado público. Esta labor la realiza la misma cuadrilla que se encarga de las desobstrucciones complejas.
- Reparaciones especiales: son trabajos de reparación de los daños generados por las obstrucciones o inundaciones en las redes. Algunas veces son necesarias la construcción de cajas de registro o ejecución de extensiones de la red a fin de evitar nuevos problemas en estos puntos críticos.

1.2.1 Conexiones clandestinas e inadecuadas al alcantarillado

En la actualidad existen numerosas conexiones clandestinas o inadecuadas a la red de alcantarillado del Area Metropolitana, lo cual trae numerosos problemas en el funcionamiento de la red.

Como conexiones domiciliarias clandestinas se encuentran aquellas que clasifican dentro de la siguiente descripción:

- Sistema domiciliar de recolección de aguas pluviales conectado en la red pública de alcantarillado sanitario: en este caso el problema se relaciones con la capacidad de conducción de las tuberías, ya que las dimensiones se han obtenido considerando solamente el flujo de aguas residuales. Este tipo de conexiones ocasiona obstrucciones en la red y rebalses en los pozos de registro, debido alcantarillado aumento importante en el caudal generado por las lluvias.

- Sistema domiciliario de recolección de alcantarillado sanitario conectado a la red pública pluvial: el principal, problema generado por este tipo de conexiones se debe a los aspectos ambientales, causados por la exposición a cielo abierto de las aguas residuales. Adicionalmente los daños ambientales ocurren por la descarga de esta agua con gran cantidad de organismos patógenos en los cuerpos de agua, sin ningún tratamiento previo.

Las conexiones inadecuadas en las redes de alcantarillado sanitario y pluvial, son aquellas que clasifican dentro de las siguientes descripciones:

- Redes del sistema de recolección de aguas pluviales conectadas alcantarillado sistema de alcantarillado sanitario. Los problemas que se presentan en este tipo de conexión son principalmente de capacidad.

- Redes de alcantarillado sanitario conectadas a redes de aguas pluviales. Nuevamente se hace notorio que la problemática principal es por el aspecto ambiental. Esta práctica puede resultar en la aparición de enfermedades, por la exposición de contaminantes en la calle.

- Descarga de aguas residuales especiales sin tratamiento en las redes de alcantarillado sanitario y pluvial: estas aguas, originadas por industrias o estaciones de servicio son perjudiciales cuando son realizadas sin el tratamiento adecuado, de acuerdo con el tipo de servicio o de producción. La presencia de algunas sustancias químicas hace que las bacterias que generan el proceso de tratamiento (digestión y estabilización de la materia orgánica), sean eliminadas.

En la actualidad, el AyA no cuenta con el personal dedicado a la detección de estas conexiones ilícitas.

2. Alcantarillado de Montes de Oca

Para la zona de Montes de Oca, funcionan cuatro subcolectores, pertenecientes a los colectores Torres y María Aguilar. Estos se detallan a continuación.

- Colector Torres II

Recorre la zona sur de la ciudad de Guadalupe y termina uniéndose con el colector Torres I y el subcolector Negritos en el puente de Los Incurables, al sur del Hospital Carlos María Ulloa. El recorrido de este es paralelo al río Torres.

- Subcolector Negritos

Inicia en el noreste de la Universidad de Costa Rica y continua paralelo a la quebrada Negritos hasta descargar en el colector Torres en el puente conocido como Los Incurables.

- Subcolector Saprissa

Este se localiza en San Pedro, se inicia en el Sureste de Vargas Araya y termina en la unión con el subcolector Negritos en terrenos de la UCR.

- Subcolector Ocloro

Este subcolector inicia en la iglesia de Lourdes de Montes de Oca (coordenadas 532.100, 212.730) 600m al Suroeste camino a Santa Marta. El subcolector continúa paralelo al río Ocloro hasta interceptar el colector del Sur (coordenadas 530.400, 212.300).

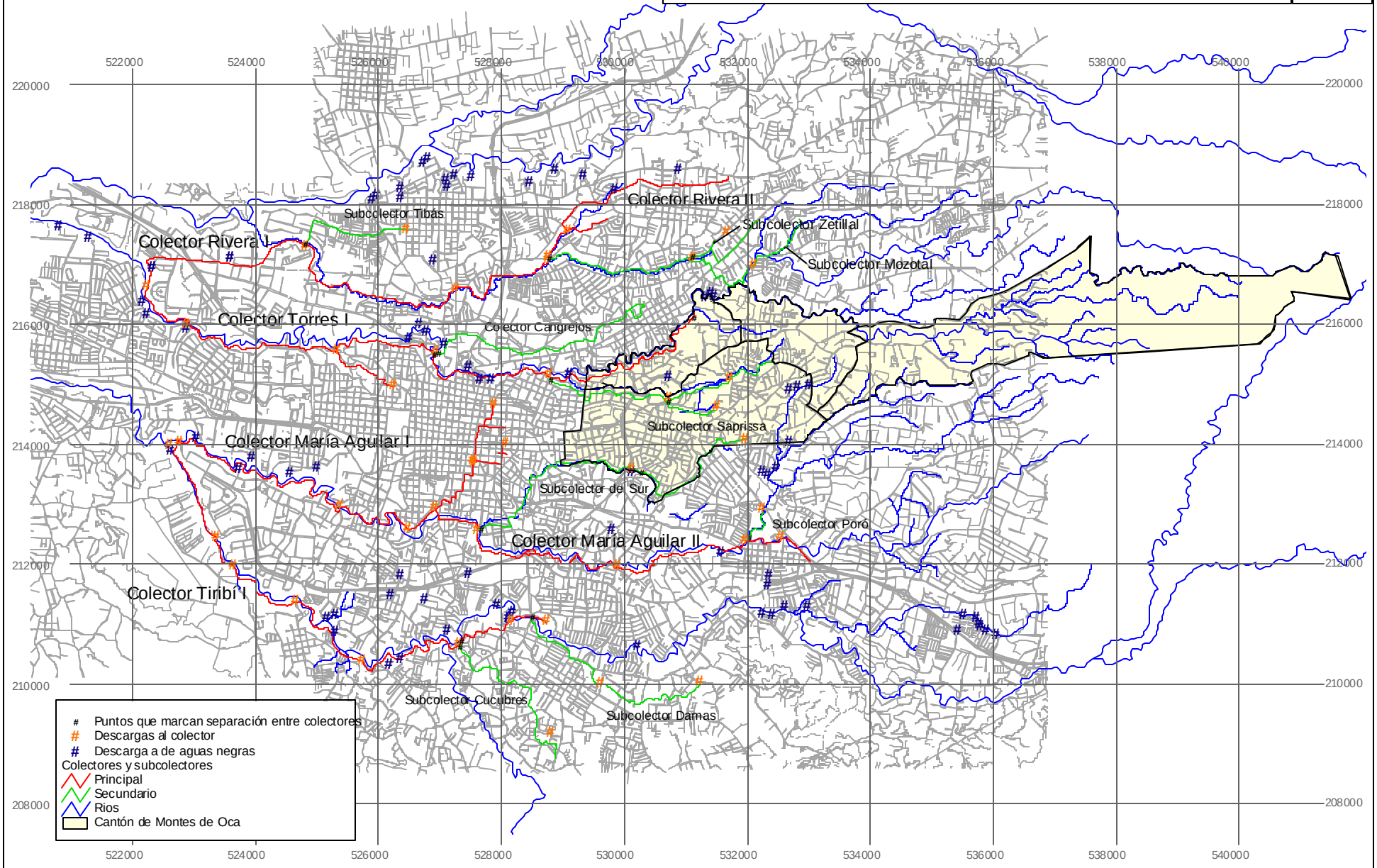
- Subcolector del Sur

Sigue a continuación del subcolector Ocloro, paralelo al río Ocloro, hasta el subcolector María Aguilar 1 y Las Arias (coordenadas 527.4, 211.7), este punto se encuentra al sur de la Maternidad Carit). Además intercepta el subcolector María Aguilar II, 500 m al sur de Plaza González Víquez.

Los sistemas de colectores que nos interesan, por pertenecer al área de estudio, son el Colector Torres (Subcolector Negritos y Saprissa y Colector Torres II), y el colector María Aguilar (Subcolector del Sur y Ocloro).

En el Mapa 1 se detalla el sistema de alcantarillado para el GAM, incluyendo colectores principales y subcolectores.

Mapa 1. Sistema Actual de Colectores y Subcolectores de la Gran Area Metropolitana



Fuente: Borrador del Informe Final de Geotécnica. Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM, Volumen III. Enero 1998

1 0 1 Kilómetros

ProDUS
Universidad de Costa Rica

Plan Regulador de Montes de Oca

3. Análisis de Geotécnica para la extensión de la red de alcantarillado

En el proyecto desarrollado por Geotécnica se estima un alcance de veinte años a partir del 2005, y la vida útil del sistema en 30 años (hasta el 2034).

Para diseñar la ampliación del alcantarillado, se tomaron en cuenta los cambios en el caudal a tratar según los cambios en la población; Ambos se estimaron para los años entre el 2005 y el 2024.

Según las estimaciones de población, hechas por Geotécnica y presentadas en el Tomo II del informe final, y considerando las áreas de cobertura actuales y potenciales a futuro propuestas por el PLAMAGAM, se estimó la población que será cubierta por los sistemas de alcantarillado; el detalle de los distritos de Montes de Oca se presenta a continuación:

Tabla #1. Porcentaje de área de los distritos de Montes de Oca cubierta por el colector Torres luego de la primera extensión

Colector Torres	***Distritos del Cantón de Montes de Oca***			
	San Pedro 482 ha	***Sabanilla 179 ha***	***Mercedes 139 ha***	***San Rafael 716 ha***
	Area cubierta por el colector (ha)			
Actual	190.5	78	143.0	-
Primera Extensión	-	54.28	-	99.87
Area total	190.5	132.28	143.4	99.87

Fuente: *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. III, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

Tabla #2. Porcentaje de área de los distritos de Montes de Oca cubierta por el colector María Aguilar luego de la primera extensión

Colector María Aguilar	***Distritos del Cantón de Montes de Oca***			
	San Pedro 482 ha	***Sabanilla 179 ha***	***Mercedes 139 ha***	***San Rafael 716 ha***
	Area cubierta por el colector (ha)			
Actual	203.0	-	-	-
Primera Extensión	-	24.03	-	107.34
Area total	203.0	24.03	-	107.34

Fuente: *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. III, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

Tabla #3. Porcentaje de área de los distritos de Montes de Oca cubierta por los colectores Torres y María Aguilar luego de la primera extensión

Colectores Torres y María Aguilar	***Distritos del Cantón de Montes de Oca***			
	San Pedro	***Sabanilla***	***Mercedes***	***San Rafael***
Area total (ha)	482	179	139	716
Area total cubierta (ha)	393.5	156.31	143.4	207.21
Porcentaje	81.6%	87.3%	103.2%*	28.9%

** No hay explicación alguna en la fuente de porqué este valor excede el 100%*

Fuente: *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. III, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

En el Mapa 2, se muestra el área de cobertura del sistema de alcantarillado actual, así como el área de cobertura considerando las extensiones planeadas, todo lo cual se encuentra especificado en los Informes del *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM* realizado por Geotécnica para el AyA.

Hasta la fecha, según fue confirmado por el Ingeniero Francisco Brenes Maltés del Instituto de Acueductos y Alcantarillados, todas las propuestas planteadas en dicho estudio, para el mejoramiento y expansión del sistema de alcantarillado, se proyectan dar en concesión.

3.1. Refuerzos en colectores y subcolectores

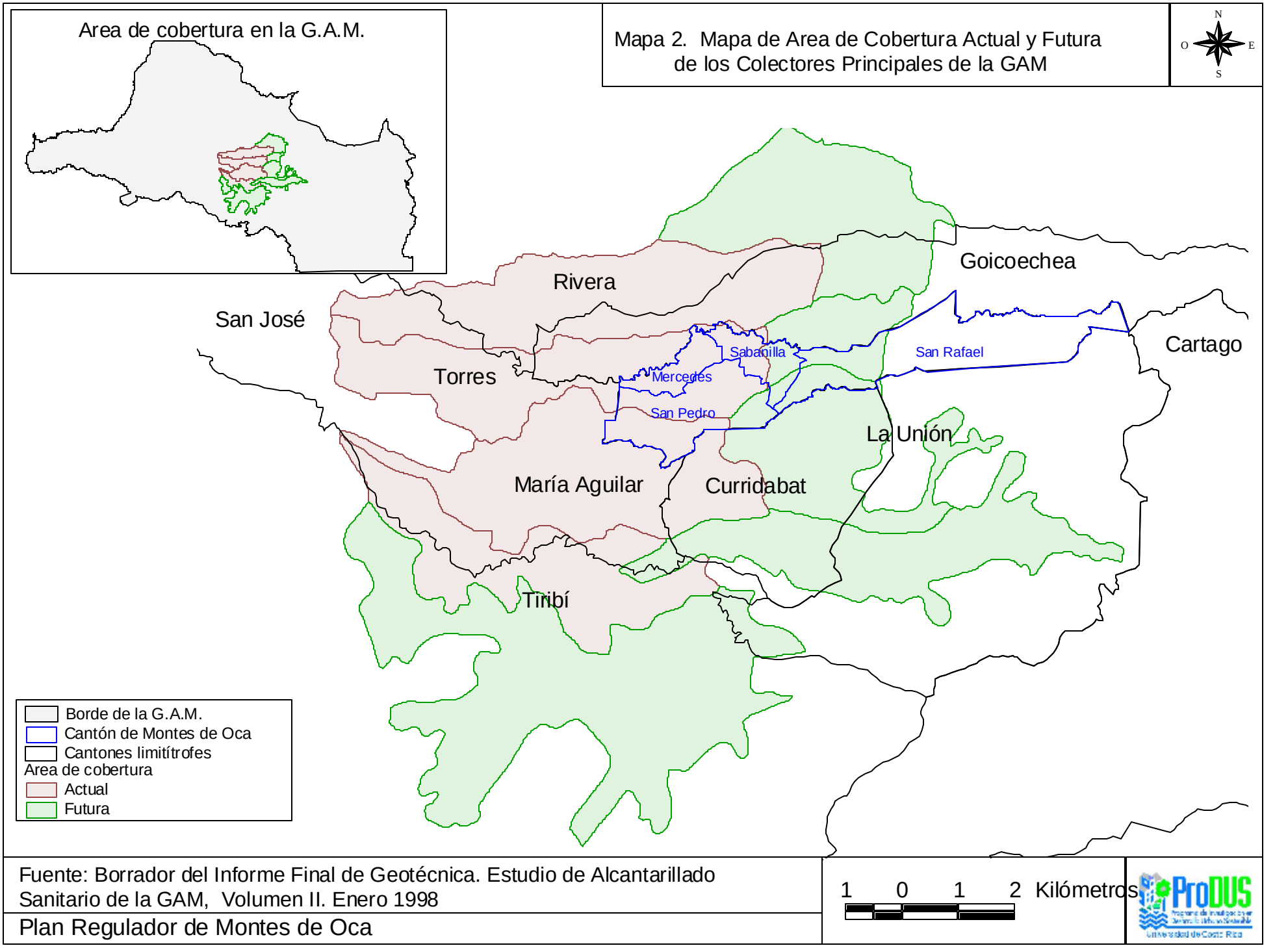
Para el estudio realizado por Geotécnica se detectaron en campo los lugares para ubicar las zonas de refuerzo para los colectores y subcolectores. Las principales anotaciones de ese informe se presentan a continuación, y se pueden observar en el Mapa 3:

Cuenca del Río Torres

- El tramo en las coordenadas (531.320,214.900), entre las cajas de registro 1 a 18 con una longitud de 585 m, no presenta ningún problema para construir una tubería en paralelo, ya que el tramo mencionado se encuentra en terrenos de una finca donde no hay construcción especial sobre el colector.
  Otro tramo que tiene problemas con la capacidad de la tubería se localiza, con una longitud de 150 m, en el lugar conocido como Paso Hondo, al este de Guadalupe en las coordenadas (531.300, 214.650), entre las cajas de registro 20 al 22. El colector atraviesa unos 145 m por calle asfaltada y 5m atraviesan parte de la casa de un vecino, para continuar en terrenos de la Universidad de Costa Rica, al norte del Campo de Deportes de Sabanilla.

- Subcolector Negritos
  Tramo con coordenadas (532.400, 213.900), entre las cajas de registro 1 y 2, ubicado al sur de Antiguo Autocinema del Este, cerca de la quebrada Negritos. La tubería tiene una capacidad de 25 l/s y el caudal para evaluación es 48 l/s. De la inspección en campo se concluyó que no existe problema constructivo para instalar tubería en paralelo, la cual tendría una longitud de 50 m.

  Tramo en las orillas de la quebrada Negritos (coordenadas 531.600, 213.550), cerca del lindero norte de Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. No se espera ningún problema



Fuente: Borrador del Informe Final de Geotécnica. Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM, Volumen II. Enero 1998

Plan Regulador de Montes de Oca

Planta de Tratamiento

Río Virilla

Río Torres

Río María Aguilar

Río Tiribí

Subcolector Barreal

Subcolector Saprissa

Subcolector del Sur

Subcolector Ocloro

Subcolector Mina

518000 520000 522000 524000 526000 528000 530000 532000 534000 536000 538000 540000

218000 216000 214000 212000 210000 208000

N O E S

Puntos que marcan límites entre colectores
Planta de Tratamiento (propuesta)
Colectores actuales
Principal
Secundario
Extensiones al colector etapa 1 *
Refuerzo al colector etapa 1
Refuerzo al colector etapa 2
Refuerzos a la red actual etapa 1
Redes nuevas etapas 1 y 2
Colectores y Emisario final (etapa 1)
Ríos
Cantón de Montes de Oca

* Se representa con diferente color pero mismo achurado con el fin de diferenciar cada extensión

Mapa 3. Sistema de alcantarillado actual del Gran Area Metropolitana, ampliaciones y refuerzos proyectados

Plan Regulador de Montes de Oca

Fuente: Informe Final de Geotécnica, Estudio de Alcantarillado Sanitario de la G.A.M. Enero 1998

1 0 1 2 Kilómetros

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

constructivo ya que existe suficiente espacio para instalar tubería en paralelo; la longitud de esta sería de 60 m.

El tramo que se encuentra en las coordenadas (517.000,213.400), (entre las cajas de registro 16-17). La capacidad de la tubería existente es de 40 l/s; la instalación de una tubería en paralelo es factible ya que el tramo en cuestión se encuentra en terrenos de la UCR y existe espacio suficiente. La longitud de la tubería sería de 45 m.

El tramo que se encuentra en las coordenadas (530.750, 213.450), entre las cajas de registro 17 a 21. La instalación de una tubería en paralelo es factible ya que el tramo en cuestión se encuentra en terrenos de la UCR. La longitud de la tubería sería de 200 m.

Los tramos, se encuentran ubicados cerca del sitio conocido como Lomas de Escalante, frente al condominio Santa Mónica, coordenadas (529.700, 213.350), tramos de las cajas de registro 37, 38A a la 38). El tramo que no tiene capacidad es de 211 m de longitud y se encuentra en carretera de asfalto.

- Subcolector Saprissa
  Un tramo frente del LANAMME de la Universidad de Costa Rica, de 120 m de longitud con coordenadas (531.250, 213.200), entre las cajas de registro 6-6A. La carretera por donde pasa el subcolector se encuentra asfaltada y en regular estado. Existe espacio suficiente para instalar tubería en paralelo.

  Otro tramo que no tiene capacidad para transportar el caudal de evaluación corresponde con las coordenadas (531.000,213.200), cajas de registro de la 7 a la 11. La longitud del tramo es de 285 m. No existe problema en instalar tubería en paralelo ya que el tramo se encuentra en terrenos de la UCR en donde existe espacio suficiente.

Cuenca del Río María Aguilar

- Subcolector Ocloro
  Este subcolector prácticamente no tiene capacidad en todo su recorrido para conducir el caudal de evaluación para el año 2024. No obstante tiene espacio para colocar tubería en paralelo (este colector va paralelo al río Ocloro por campos abiertos). Atraviesa siete carreteras asfaltadas en el recorrido y tiene una longitud de 2.5 km.

- Subcolector del Sur
  El tramo con coordenadas (528.000, 211.400), entre las cajas de registro 60-61, después de la intersección con le colector María Aguilar 2, tiene una longitud de 6 m y hay espacio para instalar tubería en paralelo.

  En el tramo que tiene coordenadas (527.700, 211.500), se encuentra entre las cajas de registro 65-66, con una longitud de 89 m, será necesario instalar una tubería en paralelo (se cuenta con espacio suficiente para realizar la instalación).

Adicionalmente a la ampliación de la red de alcantarillado, se hace importante el tratamiento de las aguas residuales, el cual es inexistente en estos momentos.

Según fue establecido en el PLAMAGAM, la división de las obras se haría en dos etapas a saber:

- Etapa 1: 1990/2000

- Etapa 2: 2000/2015

El orden de prioridad de las mismas se basó en:

- Aspectos de salud pública y contaminación de cuerpos receptores.
- Insuficiencia de la capacidad de conducción actual y futura de los colectores; y aspectos de cobertura actual (zonas urbanas no cubiertas por redes y/o colectores o zonas urbanas de baja densidad pero con gran potencial de desarrollo urbano).
- Necesidad de cubrir la mayor cantidad posible de población en la primera etapa, considerando como indicador el mayor impacto distributiva de las inversiones.

Para la primera etapa fueron planeadas las siguientes obras en el Subsistema del Area Metropolitana

- Conexión de redes en uso o colectores
- Reparación de obras dañadas (estaciones de bombeo, puente canal)
- Refuerzos locales en colectores y subcolectores
- Construcción de Colectores de alivio general en el Colector Torres, María Aguilar II, María Aguilar I y Subcolector Cucubres
- Colectores y Subcolectores para las zonas de extensión urbana: Colector Rivera III, Torres III y María Aguilar
- Emisario final y Planta de Tratamiento
- Emisario Puente de Mulas - Guácima

Para la segunda etapa se tiene:

- Continuación de los refuerzos locales en colectores y subcolectores
- Colectores y Subcolectores para las zonas de extensión urbana:
  - Subcolector Los Sitios
  - Subcolector Purruses
  - Colector Damas III
  - Alivio del Subcolector Damas II
  - Subcolector Jorco
  - Subcolector Cañas

El PLAMAGAM la ha dado prioridad a la gran mayoría de las obras en la primera etapa y para la segunda etapa quedarán pequeñas extensiones de red, refuerzos locales y otros colectores y subcolectores fuera de las grandes concentraciones poblacionales.

Según lo propuesto en el Informe de Geotécnica, se considera válida la construcción del proyecto en dos etapas, sin embargo para esto se modificaron los años de estas, de esta manera se tiene:

- Etapa 1: para el 2005
- Etapa 2: para el 2015

2.3.2 Propuesta de Geotécnica según Soluciones Múltiples para la construcción de plantas de tratamiento

Como ya se mencionó, las aguas recolectadas por los colectores son transportadas, hasta los ríos Torres y Virilla, y vertidas sin previo tratamiento. Como solución para este problema, según el proyecto desarrollado por Geotécnica, se establecieron tres alternativas posibles.

De las opciones propuestas se eligió la Alternativa 2, la cual es preferible desde el punto de vista económico. Las soluciones propuestas, se describen a continuación:

I. Alternativa 1

En esta alternativa se propone la utilización de dos plantas de tratamiento distintas para el Area Metropolitana. Una de las plantas será para las subcuencas Torres y Rivera (Cuenca Norte), y la otra atenderá las subcuencas María Aguilar y Tiribí (Cuenca Sur).

Para esta alternativa, se incorporarán también las poblaciones de Escazú (ciudad y la zona de San Rafael de Escazú) a la cuenca Sur; la zona de Aserrí y Tres Ríos se incorporarán a la cuenca Sur. La Cuenca Norte siempre incluye a la zona de Pavas.

Entre las obras que se proponen están las siguientes:

- Para la Cuenca Norte: la construcción de un emisario desde el sitio actual de descarga en el río Torres, a la altura de la urbanización Cristal, hasta el sitio de la planta ubicada en los tajos abandonados, contiguo al SINART y al Parque de Diversiones, en la margen derecha del río Torres e izquierda del río Virilla.
- Para la Cuenca Sur: se propone la rectificación de los colectores María Aguilar y Tiribí y diseño de nuevos tramos finales, de tal forma que se permita unirlos a una profundidad máxima de 1 m bajo el nivel del terreno, en los terrenos baldíos ubicados contiguo al puente de la Circunvalación y el río María Aguilar. A partir de este punto, se inicia el emisario de la Cuenca Sur el cual discurrirá primero por la margen izquierda del río María Aguilar, hasta la confluencia con el río Tiribí, necesitando de la construcción de un puente-canal sobre dicho río y luego por la margen izquierda del río Tiribí, hasta la altura de los Anonos, con la construcción de otro puente-canal sobre el río Herrera.

A partir de este punto, el emisario tendrá dos opciones:

- Construcción de un tunal bajo los Anonos y la zona de la urbanización Trejos Montealegre, hasta 200 m al oeste de las casetas de peaje de la autopista Próspero Fernández. A partir de este punto el colector discurrirá a gravedad, mediante una canalización que se construirá en el centro de las dos vías de la autopista, hasta el centro Comercial Multiplaza, para luego desviarse a la derecha por la carretera lateral, con dirección a la zona de Guachipelín.
- Construcción de una estación de bombeo, contiguo al puente los Anonos y en la margen izquierda del río Tiribí. La tubería de impulsión irá por la carretera principal de los Anonos-Escazú, hasta el sitio de intersección con la radial a

Escazú de la autopista Próspero Fernández, a la altura del centro comercial Trejos Montealegre, para luego discurrir a gravedad por la urbanización del mismo nombre hasta la altura del Asilo de Ancianos, para luego continuar por el centro de la autopista Próspero Fernández, hasta el sitio de la planta, tal como fue descrito en la opción anterior.

Las demás obras que incluye el proyecto son para la zona de Heredia.

II. Alternativa 2 (Solución propuesta por Sistemas Múltiples)

En esta alternativa se propone la construcción de una sola planta de tratamiento que abarque toda el Area Metropolitana, la cual se ubicará en los tajos abandonados de Virilla y Torres, enfrente del Aeropuerto Tobías Bolaños en Pavas, y otra que se encargaría de las aguas de la zona de Heredia Este.

La planta de tratamiento captaría las aguas de los colectores Rivera y Torres (Cuenca Norte), así como María Aguilar y Tiribí (Cuenca Sur). Para unir la Cuenca Sur con la Norte, se requiere emplear una de dos alternativas:

- Construir una estación de bombeo en el sitio de unión de los colectores María Aguilar y Tiribí, en las cercanías de Hatillo 8. La tubería de impulsión tendrá el recorrido bajo la carretera de Circunvalación hacia el Norte, hasta la intersección con la carretera principal a Pavas. Luego continúa con una tubería por gravedad bajo la carretera de Circunvalación, hasta el río Torres. A partir de este punto la tubería sigue por la margen del río Torres hasta el punto de unión con los colectores Rivera y Torres, donde inicia el Emisario Final.

- Construir un túnel que inicie en la unión de los colectores María Aguilar y Tiribí. Su recorrido sería bajo la carretera de Circunvalación, hacia el Norte, hasta llegar al sitio denominado Bajos del Torres. En este punto se construiría una ventana de trabajo, para continuar con una tubería a gravedad por la margen del río Torres hasta el punto de unión de los colectores Rivera y Torres, en los alrededores de la urbanización Cristal, punto en el cual inicia el Emisario Final.

  Debido a que la construcción de una estación de bombeo sale más cara a largo plazo, tomando en cuenta los costos de mantenimiento y operación, comparándola con la opción de la construcción del túnel, la solución elegida para el Emisario Sur del Area Metropolitana es la segunda, la cual viene acompañada por la construcción de una tubería por gravedad.

El proyecto contempla las siguientes obras para el Area Metropolitana:

- Rectificación de la sección final de los colectores María Aguilar y Tiribí, buscando reducir la profundidad de su descarga en la sección inicial del Emisario Sur al sitio de planta.
- Construcción del emisario de la Zona Sur, a partir de la unificación de los dos colectores.
- Construcción de un túnel en el sitio propuesto para la unificación de los dos colectores de la cuenca sur hasta el Bajo del Torres, siguiendo el alineamiento de la pista de Circunvalación.
- Instalación de una tubería de conducción hasta el sitio de unión con los colectores Torres y Rivera. La conducción discurrirá por la margen izquierda del río Torres y paralelamente al colector existente.
- Construcción de un Emisario Final desde el sitio de descarga actual de los colectores Rivera y Torres en conjunto con el emisario de la Cuenca Sur, hasta

el sitio de la planta de tratamiento. Este emisario discurrirá por la margen derecha del río Torres.
- Construcción de una planta de tratamiento, bajo el sistema propuesto de UASB + Biofiltro, para un área de ocupación de 2.33 ha, al final de período.

Según el informe final de Geotécnica, el alcance del proyecto de alcantarillado de la GAM , será de 20 años (2005 hasta 2024) y la vida útil del sistema de 30 años (hasta el 2034).

III. Alternativa 3

En esta alternativa se propone la construcción de una planta de tratamiento que atenderá además de toda el Area Metropolitana, la parte de Heredia. Por lo tanto, la concepción del Area Metropolitana de San José se mantiene como la presentada en la alternativa 2.

En realidad la alternativa 3 es una variación de la alternativa 2, con la inclusión de la zona este de Heredia en la planta de tratamiento propuesta en los tajos abandonados del Torres y Virilla.

El variante requiere además de las obras propuestas en la alternativa 2 para el Area Metropolitana, las siguientes obras:

- Interconexión de los Colectores Heredia y Pirro a la altura de la Subestación Eléctrica de Heredia para luego discurrir por la margen derecha del río Pirro, hasta la confluencia con el río Bermúdez, que viene de Santo Domingo.

- Construcción de una estación de bombeo que impulsará todas las aguas hasta la divisoria de las cuencas Bermúdez y Virilla, localizada según el alineamiento de la carretera Barreal-La Valencia.

- Construcción del emisario final de Heredia, la cual discurrirá por la carretera Barreal-La Valencia, en dirección oeste, hasta la entrada este de la finca Montealegre, por donde discurrirá hasta la intersección con la autopista General-Cañas. Construcción de un puente sobre esta autopista para luego avanzar por el Conservatorio Castella, a lo largo del antiguo camino de acceso al Tajo del Virilla; construcción de una caída helicoidal, y por último un puente sobre el río Virilla para descargar las aguas en la planta de tratamiento única para San José, localizada en los Tajos.

En esta alternativa solamente las comunidades de Aserrí y Tres Ríos será integradas al sistema propuesto.

En los siguientes cuadros se muestran los costos calculados, en el momento de realizar el estudio, con los cuales se tomó la decisión de cual era la mejor alternativa.

Tabla #4. Resumen del Valor presente (en el momento de hacer el estudio) de la Alternativa 1

Sistema	***Valor Presente***	
	Costo Total $*1000	***Volumen Facturado m^3*1000***
San José Norte	3609	143949
San José Sur	16013	179588
Heredia Este	2861	40884
Total	22483	364421

Fuente: *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. III, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

Tabla #5. Resumen del Valor presente (en el momento de hacer el estudio) de la Alternativa 2

Sistema	***Valor Presente***	
	Costo Total $*1000	***Volumen Facturado m^3*1000***
Escazú	1479	21463
San José	17035	302073
Heredia Este	2861	40884
Total	21375	364421

Fuente: *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. III, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

Tabla #6. Resumen del Valor presente (en el momento de hacer el estudio) de la Alternativa 3

Sistema	***Valor Presente***	
	Costo Total $*1000	***Volumen Facturado m^3*1000***
Escazú	1479	21463
San José y Heredia Este	22712	342957
Total	24190	364421

Fuente: *Estudio de Alcantarillado Sanitario de la GAM,* vol. III, Primer Borrador del informe final de la Etapa I, realizado por Geotécnica para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, 1998.

3. BIBLIOGRAFIA

1. GEOTECNICA. **Borrador del Informe Final: Estudio de Alcantarillado Sanitario de la G.A.M.** Instituto de Acueductos y Alcantarillado, Enero 1998.

Entrevista:

Ing. Francisco Brenes Maltés, Departamento de Estudios y Proyectos del AyA. Edificio La Llacuna, piso #9. 13 de marzo del 2000.

Tratamiento de aguas residuales por tanques sépticos

Adicionalmente al sistema de alcantarillado sanitario, existe la posibilidad de tratar las aguas mediante el uso de tanques sépticos.

Los tanques sépticos son unidades económicas de tratamiento primario de alcantarillados domésticos. Son aplicables para caudales pequeños, propios de conjuntos habitacionales, comerciales o institucionales. Su uso es recomendado para tratar las aguas producidas por un máximo de 300 habitantes.

Por ser una importante alternativa para reducir la carga de aguas residuales de los alcantarillados, debe garantizarse que su ejecución esté acorde con diseños aprobados, y que su comportamiento operativo esté controlado, así como también su mantenimiento.

Un tanque séptico cuenta con un reactor sedimentador anaerobio diseñado generalmente para un tiempo de retención de 24 horas. Puede tener uno o más compartimentos en serie y un sistema de filtración biológica.

En el tratamiento primario se separan o eliminan la mayoría de los sólidos sedimentables de las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Esto se realiza gracias a la reducción de la velocidad del flujo, permitiendo de esta manera que se asienten la mayor parte de los sólidos sedimentables.

Los sólidos y líquidos en el sedimentador primario están expuestos a descomposición por procesos naturales y bacteriológicos. Las bacterias presentes son de la variedad llamada anaerobia que prosperan en ausencia de oxígeno libre. El sedimentador primario condiciona el agua para que pueda filtrarse por el subsuelo.

Para tratar de evitar que algunos sólidos salgan, se coloca un dispositivo a la salida. También se coloca otro a la entrada, para permitir una evaluación momentánea del nivel del líquido durante las descargas de agua al sedimentador primario y para producir una menor turbulencia en el flujo.

En las zonas donde la velocidad de filtración y las características del suelo son buenas, determinadas y comprobadas después de realizar la prueba de infiltración, el siguiente paso es determinar el área en cuestión.

El tratamiento secundario, por medio del sistema de tanque séptico, tiene dos sistemas de absorción: zanjas de absorción y pozos de filtración.

En el caso de la zanja (de 0.3 a 0.9 m de ancho por entre 0.6 y 1.2 m de profundidad) se coloca una capa de grava gruesa de 0.15 m de espesor mínimo, sobre la cual se pone la tubería de drenaje.

El pozo de filtración consiste en una excavación en el terreno (de 2.0 a 2.5 m de diámetro con profundidad de entre 3 y 6 m). En este se vierten las aguas residuales sedimentadas provenientes del sedimentador primario. Esta agua se infiltra en el terreno.

El sistema a utilizar depende de las condiciones del terreno donde se construye.

La necesidad de mantenimiento periódico es grande, puesto que la acumulación d sedimento más allá de un límite, reducirá el tiempo de permanencia y deteriorará la calidad del efluente, dañando de esta manera el sistema de absorción. Sin embargo aunque un tratamiento periódico y bien programado aumenten la vida útil del sistema, hay que saber que no es posible llegar a impedir la eventual obstrucción de la superficie de infiltración del sistema de absorción.

En la actualidad menos de un 20% de la población del país cuenta con conexión a alcantarillado sanitario público; de este porcentaje, la mayoría corresponde al Alcantarillado Sanitario Metropolitano de San José (el cual descarga sus efluentes crudos a los cauces receptores que conforman la cuenca del Río Grande de Tárcoles).

En la GAM, las instalaciones domiciliarias que no están conectadas a los alcantarillados sanitarios, están utilizando un tratamiento a través de tanques sépticos, seguido de un sistema de absorción. Sin embargo se puede verificar fácilmente que muchas viviendas ubicadas a orillas de los ríos lanzan las aguas negras directamente a los cuerpos de agua, lo cual es prohibido.

1. Disposición final de los lodos de tanques sépticos

La necesidad de mantenimiento para los tanques sépticos requiere de eliminación de los lodos acumulados mediante succión en el tanque de sedimentación, por lo tanto el tratamiento que se le dé a estos lodos se convierte en un aspecto importante a saber.

Es prohibido verter los lodos provenientes de tratamiento de aguas residuales y de tanques sépticos a los cuerpos de agua. También se sabe que es inconveniente la disposición de esos sedimentos en áreas a cielo abierto.

Una de las formas adecuadas de disposición de estos lodos es la estabilización de los mismos en otros sistemas de tratamiento. Así se proporciona una recirculación de esos sedimentos, que no están completamente digeridos, auxiliando la estabilización más acelerada de los residuos que están siendo tratados en ese nuevo sistema.

Sin embargo, es una realidad que en el Area Metropolitana no existe ninguna planta de tratamiento en operación para tratar estos lodos, pese a que hasta 1997 existían 17 empresas que se encargan de vender el servicio de limpieza de tanques sépticos. Sería posible que en forma privada estas empresas tuvieran sus propios sistemas de tratamiento, los cuales funcionen con una adecuada fiscalización. En la actualidad los camiones cisternas descargan en varios puntos del sistema, siendo todos locales inadecuados para recibir los residuos.

Un punto clandestino conocido de descarga se encuentra en Curridabat, ubicado en un pozo de registro del sistema de alcantarillado sanitario en la Autopista Florencio del Castillo. En ese local se descargan aproximadamente $30m^3$/día de lodos de tanques sépticos (dato de 1998).

El Ministerio de Salud permite, en conjunto con el AyA, que se descarguen los lodos de los camiones cisternas en un único sitio situado en La Verbena, en San Felipe de Alajuelita. En ese local fue construida una caja de concreto que está conectada a un pozo de registro del colector Tiribí. Para 1998 la cantidad de lodos descargada en este sitio se estimaba en $120m^3$/día.

Como lugar para destinar el tratamiento de los lodos de tanques sépticos se propone el mismo sitio donde se espera construir la planta de tratamiento para el sistema de alcantarillado. Esto sería entre los ríos Torres y Virilla, alcantarillado frente del aeropuerto Tobías Bolaños, en Pavas. 15-93

2. Parámetros de diseño

En el siguiente cuadro se presentan los parámetros de diseño empleados:

Tabla #1. Parámetros de diseño definidos.

ITEM		Parámetros definidos
I.	Aporte	_ Aguas Negras _Comerciales _ Domésticas _ Institucionales _ Industriales _ Infiltaciones Normas AyA 1986.
II.	Factores de Demanda	Utilizar las curvas de consumo local (agua potable)
III.	Dotación	Tomar en cuenta el caudal medio y el número de conexiones domiciliarias. (Las pérdidas del sistema son consideradas para obtener el valor neto).
IV.	Coeficiente de rugosidad	n = 0.010 para PVC, n = 0.13 para concreto.
V.	Cálculo de la red	Basado en la Fuerza Tractiva mínima (T=1 Pa)
VI.	Pendiente mínima	Adoptar $I = 0.0055*(Qi)^{-0.47}$ Qi= caudal inicial mínimo (l/s)
VII.	Pendiente máxima	Es el resultado de la velocidad máxima (5 m/s)
VIII.	Diámetro mínimo	150 mm
IX.	Caudal Mínimo en el Tramo	Q = 1.50 l/s
X.	Infiltración	Para las redes nuevas PVC adoptar 0.24 l/s/km Para redes existentes adoptar 1 l/s/km Para redes en concreto adoptar 0.5 l/s/km
XI.	Agua de lluvia	No se considera*
XII.	Profundidad de la red	Máxima = 3.0 m, Mínima = 1.0 m Se puede utilizar hasta 5.0 m la profundidad máxima justificando
XIII.	Coeficiente de Retorno	C = 0.75
XIV.	Distancia entre los pozos de registro	Hasta 150 m

* Empezar una Campaña Educacional y Ambiental par un programa de desconexión de las aguas jabonosas o pluviales del alcantarillado sanitario.
Hacer una programación de desconexiones.
Empezar un programa de mejoramiento operacional y mantenimiento del alcantarillado.
Fuente: Informe de Geotécnica, Tomo III.

Los caudales domésticos proyectados en el proyecto de Geotécnica se calcularon con los parámetros detallados a continuación:

- Estimación de la población atendida, según un estudio de población realizado para cada distrito; y las áreas que contribuyen a cada subsistema.
- Establecer dotaciones.
- Caudal mínimo como:

$$Q_{min} = \frac{0.5 * C * P * D}{86400} \quad (l/s)$$

donde:
C: coeficiente de retorno = 0.75 (75%)
P: población (hab)
D: dotación (l/hab/día)

- Caudal promedio como:

$$Q_m = \frac{C * P * D}{86400} \quad (l/s)$$

- Caudal máximo inicial como:

$$Q_{MaxIni} = \frac{k_2 * C * P * D}{86400} \quad (l/s)$$

donde:
k_2: factor máximo horario = 1.5

- Caudal máximo final como:

$$Q_{MaxFin} = \frac{k_1 * k_2 * C * P * D}{86400} \quad (l/s)$$

donde:
k_1: factor máximo diario = 1.2

Los caudales totales se determinaron sumando el caudal de infiltración a los caudales domésticos.

El caudal de infiltración se calculó de la siguiente forma:

$$Q_{\text{inf iltración}} = A * T_i \quad (l/s)$$

donde:
A: Area (ha)
T_i: tasa de infiltración = 0.05 l/s/ha (como gran parte de las redes son existentes se considera este valor)

Carga orgánica

Los valores que se adoptaron en la época del PLAMAGAM para la carga orgánica se presentan a continuación:

Tabla #2. Valores de Carga Orgánica adoptados en el PLAMAGAM.

Año	***DBO_5 (g/hab/día)***
1990	50
2000	55
2015	60

Fuente: Informe de Geotécnica, Tomo III.

Por otro lado la Empresa IRH-Enviroment realizó en 1996 un estudio con las subcuencas Torres y Rivera, hicieron una campaña de medición en algunos puntos

de los colectores principales. Finalmente esta empresa adoptó en su hipótesis de cálculo el valor de 50 g/hab/día.

Dado que se consideró que este valor adoptado por IRH-Enviroment no es representativo, debido a que los datos obtenidos fueron muy variables y a que en las cuencas del Torres y Rivera existen concentraciones bastante grandes de actividades industriales.

Para el estudio de Geotécnica considerando estos factores se aumentaron los resultados obtenidos en un 20%.

3. BIBLIOGRAFIA

1. GEOTECNICA. **Borrador del Informe Final: Estudio de Alcantarillado Sanitario de la G.A.M.** Instituto de Acueductos y Alcantarillado, Enero 1998.

Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas

1. Características Generales

En términos generales, es de mucha utilidad considerar el riesgo de contaminación de aguas subterráneas como la interacción entre:

1. la carga contaminante impuesta en la subsuperficie, y
2. la vulnerabilidad natural del acuífero, consecuencia de un conjunto de propiedades intrínsecas.

Además, debe agregarse la probabilidad de que exista una considerable carga contaminante una, descarga importante debajo de la superficie.

Se considera que las principales fuentes de carga contaminante al subsuelo sobre los acuíferos del Valle Central (principalmente situados al norte del río Virilla) son:

i. Descarga del efluente al suelo y a los ríos influentes, especialmente en el área principal de desarrollo industrial situado en los cantones de Heredia y Belén, que no tienen un sistema de alcantarillado.
ii. Descarga al suelo por saneamiento In situ en casi todas las áreas urbanas al norte del Virilla porque sólo algunas partes de Heredia y Alajuela tienen alcantarillado.
iii. Los ríos influentes, que a pesar de tener una calidad excelente aguas arriba, llegan a contaminarse seriamente dentro y aguas abajo del Area Metropolitana de San José (esto es, aguas abajo de la línea imaginaria a través de Heredia - Santo Domingo - San Juan de Tibás- Guadalupe y Curridabat).
iv. La lixiviación de fertilizantes y pesticidas de los suelos intensamente cultivados al norte del río Virilla.

La vulnerabilidad de los principales acuíferos volcánicos es un asunto relativamente complejo. Se intentó hacer una clasificación preliminar en el Mapa Hidrogeológico del Valle Central, preparado por el BGS y SENARA, publicado en 1985. Las áreas en donde las lavas altamente permeables afloran en superficie y especialmente donde ellas forman los lechos de los ríos, deben ser consideradas como de vulnerabilidad muy alta a la contaminación. Tales condiciones existen localmente en algunas partes del Valle Central pero generalmente las lavas están cubiertas por depósitos de toba.

Estos depósitos de toba, al igual que las secciones gruesas de suelo desarrolladas sobre algunas lavas, proporcionan una considerable protección ya que ellas demoran marcadamente la infiltración proveyendo una gran posibilidad de degradación, adsorción, absorción, o todas juntas, de los contaminantes potenciales. De esta manera, donde un espesor significante de toba cubre un acuífero, el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas estará limitado a los contaminantes más móviles y más persistentes, especialmente donde ellos son continua y ampliamente descargados.

La presencia de una capa gruesa de depósitos de toba sobre la mayor área de los acuíferos de Colima hacen considerablemente más lenta la penetración de tales contaminantes. Donde aflora en la superficie, la formación Tiribí probablemente tiene

una capacidad de infiltración menor a 1 m/año, causando un retraso en la recarga al Colima Superior en el orden de los 10 años.

La mayoría de los efluentes de las industrias de Heredia y Belén, son descargados, después de un tratamiento preliminar a los ríos Bermúdez y Quebrada Seca que son influentes al acuífero de Barba. En pocos casos, los afluentes son descargados directa o indirectamente al suelo. De esta manera se considera que hay un alto riesgo de contaminación del manantial San Antonio de Belén localizado gradiente hidráulico abajo en el acuífero de Barba, y algún riesgo de esta contaminación pueda ser transmitido a través deformación Tiribí y así afectar los manantiales de Puente de Mulas.

Se considera que la presencia de saneamiento sin alcantarillado en la mayoría de las áreas urbanas norte del río Virilla presenta un riesgo significante de contaminación de agua subterránea ya sea por nitratos, patógenos fecales o ambos en acuíferos someros de La Libertad y Barba.

A lo largo de las partes bajas del Valle Central, hecho de que muchos cursos de agua sean influentes y sumamente contaminados, presenta un riesgo adiciona de deterioro de la calidad del agua subterránea, sin embargo, el río Virilla, en su mayor parte, tiene un fondo muy erosionado y constituye zonas para la descarga del acuífero. En consecuencia, su baja calidad no afecta las aguas subterráneas. Sin embargo, un área importante de recarga del lecho del río para acuíferos de Colima, ha sido identificada aguas arriba de San Juan de Tibás a lo largo de 5 a 6 kilómetros de los lechos de los ríos Virilla y Tibás. En la actualidad, aquellas secciones de esos ríos son de excelente calidad, y no representan un riesgo inmediato.

Las plantaciones de café ocupan grandes proporciones de terreno al norte del río Virilla entre los 900-1500 msnm. En el Valle Central éstas constituyen al cultivo más intensivo y representan el 30-40% de los terrenos urbanizados. Los métodos tradicionales de cultivo empleaban cantidades significantes de fertilizantes y pesticidas, pero ellos están siendo rápidamente emplazados por métodos de alta tecnología. Estos requieren aplicaciones de 200-300 kg/ha/a de nitrógeno en dos o tres ocasiones, junto con 80-120 kg/ha/a de potasio, 40-60 kg/ha/a de fósforo y algunas sales de Mg, Ca, B y Zn. En cuanto a los pesticidas, se ha dado un aumento rápido del uso de herbicidas en aplicaciones hasta de 10 kg/ha/a de ingredientes activos, tales como 2.4D, paraguat, glicofosfato y oxyfluorofenol y un mayor uso de fungicidas preventivos y curativos, normalmente compuestos de cobre que incluyen aplicaciones de 5-15 kg/ha/a de cobre, y algunos compuestos de Pb y As.

Otros compuestos, incluyendo los pesticidas, nematocídicos, aldicarb y carboturano, son aplicados en pequeñas cantidades al momento de cortar la maleza.

A pesar de esta tendencia en el uso de fertilizantes y pesticidas, el riesgo de contaminación difusa de aguas subterráneas parece ser limitado, aunque algunos problemas puedan ocurrir en la vecindad inmediata a las fuentes someras de agua. La razón es que aunque los rangos de infiltración son muy altos (a menudo exceden los 1000 mm/a) y aún con pérdidas altas por lixiviación, es probable que las concentraciones resultantes de contaminantes en el agua subterránea puedan permanecer generalmente tolerables.

2. Indicadores del deterioro de la calidad

En vista del significante riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en las partes más bajas del Valle Central, a mediados de 1986 se inició un programa de muestreo y análisis de agua subterránea para indicadores de contaminación, y compuestos orgánicos seleccionados. Esto incluía lo siguiente:

i. Registro de las concentraciones de nitrato (NO_3) en las principales fuentes de agua subterránea realizada por el AyA desde julio 1986.
ii. Un reconocimiento de 30 fuentes a través del Valle Central con análisis para pH, Cl, NO3, NH_4, realizados por el AyA, ABS por UCA y DOC en Gran Bretaña en mayo-junio 1987, con un trabajo de seguimiento en agosto-setiembre 1987.
iii. Análisis de compuestos orgánicos seleccionados en un número limitado de fuentes muestreadas en enero-febrero 1987 y agosto-setiembre 1987, las muestras fueron enviadas vía aérea a Gran Bretaña.

Aunque los niveles de NO_3 y Cl son relativamente bajos, la correlación general entre las concentraciones de nitratos y cloruros en todas las fuentes con excepción de las del acuífero Colima Interior (del que se conoce que tiene niveles de cloruro natural más elevados), junto con la tendencia para concentraciones en aumento bajo gradiente hidráulica y ocurrencia de niveles más altos en los manantiales más bajos de sus respectivos acuíferos, sugiere que la calidad del agua subterránea está siendo afectada (directa o indirectamente) por la descarga de afluentes urbanos. La correlación puede, sin embargo, ser afectada en cierto grado por la presencia de nitratos derivados de la agricultura. Ninguno de los otros indicadores mostró una variación diagnostica. El pH varió principalmente entre 6.5-7.5, el ABS fue invariablemente menor que 0.2 mg/l y el NN_4 solamente excedió 0.2 mg/l en un sólo pozo en el área industrial.

Las fuentes principales de agua subterránea, y especialmente los manantiales de La Libertad y Puente de Mulas, muestran marcadas variaciones estacionales en concentraciones de NO_3, siendo máxima apenas empieza la estación húmeda. Esto sugiere que existe una lixiviación de material nitrogenado acumulado en el subsuelo, como un mecanismo importante de contaminación. Tal acumulación podría ser derivada de prácticas agrícolas, pero parece ser que proviene de obras de saneamiento básico sin alcantarillado.

Todavía existe limitada experiencia internacional en el uso del DOC como un índice de contaminación de aguas subterráneas y muy pocos datos publicados de concentraciones en regiones tropicales húmedas. El DOC comprende numerosos compuestos. Estos incluyen aceites y grasas, ácidos húmicos y fúlvicos, detergentes sintéticos, ácidos orgánicos, etc. Las concentraciones de DOC en exceso de 10 mg/l deben, en todo caso, ser consideradas como altas y probablemente indicativas de contaminación del agua subterránea. Ellas pueden indicar la presencia de compuestos orgánicos sintéticos que podrían causar daño a la salud en el agua potable. También el potencial para la formación de compuestos halogenados (tales como los trihalozftetanos) con la presencia de cloro residual en los sistemas de distribución de agua.

Se tiene conocimiento de que ocurren problemas con respecto al DOC, y a menor grado con NO_3. Por esta razón, se llevó a cabo un trabajo de seguimiento como un intento de confirmar y ampliar la correlación antes mencionada. Existen problemas en los análisis de DOC por la presencia frecuente de mucho más altas concentraciones de carbono inorgánico (como bicarbonato) en muchas aguas subterráneas. El procedimiento analítico requiere de tres pasos:

- primero acidificación y eliminación de especies de carbón inorgánico;
- segundo, hidroquímica o foto-oxidación del carbón orgánico;
- tercero, cuantificar el COZ producido, generalmente por espectrometría de absorción infrarrojo.

Estos pasos presentan la posibilidad de una seria variación en medidas de DOC debido a causas tales como purificación incompleta de carbón inorgánico, pérdida de fracciones orgánicas volátiles o a ambas.

Las determinaciones de NO_3 son también propensas a una variación significante entre métodos analíticos debido a la conversión incompleta o a la interferencia entre iones, y pueden ocurrir pérdidas si las muestras no son adecuadamente transportadas y rápidamente analizadas.

La ocurrencia del elevado DOC y el creciente NO_3 en aguas subterráneas de Valle Central, es irrefutable y suscita una considerable preocupación. Esto debería ser investigado porteriormente al menor plazo posible.

3. Estrategia para la protección de las aguas subterráneas

El BGS y SENARA prepararon unas guías generales sobre medidas de protección para las aguas subterráneas en relación con las actividades comunes de contaminación dadas por formación hidrogeológico en el Mapa Hidrogeológico del Valle Central, publicado en 1985. Estas guías son generalmente aplicables pero los límites actuales de algunas formaciones pueda que requieran una revisión a la luz de posteriores investigaciones detalladas.

Atención aparte merece el uso de saneamiento básica sin alcantarillado en áreas extensas aguas arriba de fuentes importantes de agua subterránea. En el caso de Santo Domingo parece ser que esto es la fuente más probable del aumento de concentraciones de NO_3 y probablemente del DOC en los manantiales de La Libertad. Influencias similares probablemente afectan los manantiales en San Antonio de Belén y Puente de Mulas. Si una investigación local confirma esta observación, tales áreas requerirán instalación de alcantarillado para proteger la calidad de las aguas subterráneas.

Se requieren medidas para mejorar la calidad del agua de los ríos Bermúdez y Quebrada Seca para reducir el riesgo de una seria contaminación de aguas subterráneas aguas abajo. El área industrial en los cantones de Belén y Heredia debe ser considerada de alta prioridad para instalación de alcantarillado, y para que esto sea efectivo, tanto como le concierne a los intereses de las aguas subterráneas, la descarga de las aguas servidas necesitaría estar en el río Virilla aguas abajo de Puente de Mulas.

En lo que se refiere al Campo de Pozos de La Valencia, se requiere una política activa de conservación de la calidad en el río Tibás y en el río Virilla, aguas arriba de San Juan de Tibás, para evitar un deterioro directo y rápido en la calidad de la recarga del acuífero de Colima que abastece al Campo de Pozos de La Valencia.

Los pozos de producción de La Valencia tienen un área cerrada de protección sanitaria (10-15 m de radio). Teniendo en cuenta que el acuífero de Colima Superior es semiconfinado o está cubierta por tobas de la formación Tiribí, esto es considerado generalmente adecuado, sin embargo, en los casos de los pozos W1 y W7, un asentamiento humano, incluyendo pequeños talleres, ha cercado los límites del perímetro. La descarga en la superficie de excreta humana, aceites y solventes usados de estos asentamientos podrían infiltrarse hacia los niveles freáticos superficiales durante las lluvias intensas, con el riesgo asociado de entrada directa a los pozos detrás de sus tubos de revestimiento sólido. Se requiere un mejoramiento en las condiciones sanitarias en la vecindad de estos pozos de producción.

4. BIBLIOGRAFIA

1) Rodríquez J., Manfred. **Factibilidad del Uso de Tanques Sépticos en el Area Metropolitana en viviendas de interés social**
Escuela de Ingeniería Civil, U.C.R.
Julio de 1999

SECCIÓN IV

ALCANTARILLADO PLUVIAL

Sistema de alcantarillado pluvial

Las aguas de lluvia provenientes de techos, azoteas y áreas pavimentadas o impermeables de las edificaciones deberán conducirse a los sistemas públicos de recolección de aguas de lluvia utilizando un sistema de recolección independiente del de aguas residuales.

1. Normas para el cálculo de las tuberías de desagüe pluvial

Las tuberías del alcantarillado pluvial se ubicarán al costado sur de las avenidas y al este de las calles, a 1.5 m de distancia del cordón de caño. En vías terciarias en las cuales se invierta el bombeo, se ubicarán por la línea centro de las avenidas y calles respectivamente. Su profundidad máxima será de 4 m y mínima de 1 m, medidas entre la rasante de pavimento terminado y la corona del tubo, salvo casos especiales. El diámetro mínimo para los sistemas de alcantarillado pluvial será de 400mm. Las tuberías que unen los tragantes con los pozos de registro será de un diámetro mínimo de 300mm, y la tubería que evacúa dos tangentes unidos entre sí será de 400mm. Cabe mencionar que según las Normas de Diseño y Construcción para Urbanizaciones y Fraccionamientos del AyA, se establece la profundidad máxima en 2.5 m.

En los conductos de desagüe de aguas de lluvia ubicados en el interior de las edificaciones debe usarse tubería de PVC, hierro dúctil u otros matertiales resistentes a la corrosión. Los bajantes de agua de lluvia colocados exteriormente deben ser de láminas de hierro galvanizado. Las tuberías de PVC se pueden utilizar mientras no estén expuestas a la luz solar.

Las canoas pueden ser de láminas de hierro galvanizado, PVC, u otros materiales aprobados por la autoridad sanitaria.

Se permite el uso de canales de concreto o de mampostería en los patios y jardines exteriores de la edificación.

Para la determinación de los caudales de diseño de los sistemas de desagüe de aguas pluviales en las edificaciones se recomienda el uso del método racional:

$$Q = \frac{C\ i\ A}{3600} \qquad (6)$$

donde,

- Q : caudal de diseño de la tubería, bajante o canal de desagüe (l/s)
- i : intensidad de la lluvia (mm/hora)
- A : área de drenaje tributario (m)
- C : coeficiente de escorrentía superficial (adimensional)

Para la determinación de los parámetros anteriores se recomendanos valores dados a continuación :

a. Coeficiente de escorrentía : Para la estimación del coeficiente de escorrentía se recomiendan los valores indicados en la Tabla #1

Tabla #1. Coeficientes de escorrentía en la fórmula racional.

Tipo de área o desarrollo	Ce
Tipo de área	
Techos de edificios	0.80-0.95
Pavimentos de asfalto o concreto	0.70-0.95
Pavimentos de ladrillo	0.70-0.80
Suelos arenosos cubiertos de pasto :	
Pendientes de 2% o menos	0.05-0.10
Pendientes de 2 a 8%	0.10-0.16
Pendientes de 8% o más	0.16-0.20
Suelos arcillosos cubiertos de pasto :	
Pendientes de 2% o menos	0.10-0.16
Pendientes de 2 a 8%	0.17-0.25
Pendientes de 8% o más	0.26-0.36
Tipo de desarrollo	
Comercios urbanos	0.70-0.95
Oficinas comerciales	0.50-0.70
Casas unifamiliares	0.30-0.50
Condominios	0.40-0.60
Apartamentos	0.60-0.80
Residencias suburbanas	0.25-0.40
Parques y cementerios	0.10-0.30

b. Intensidad de la lluvia : La intensidad de la lluvia es función de la frecuencia o período de retorno de la tormenta o aguacero de diseño y de su duración. En el caso crítico, la duración de la lluvia se toma igual al tiempo de concentración del área tributaria. Para determinar la intensidad de la lluvia se requiere la información meteorológica propia del área en que se localiza la edificación (e.g., curvas estandar de intensidad-duración-frecuencia).

c. Período de retorno: La frecuencia o período de retorno del aguacero de diseño se determinará de acuerdo con los daños, perjuicios o molestias que inundaciones periódicas pueden ocasionar a los ocupantes de la edificación. Se recominenda utilizar como mínimo un período de retorno de 5 años.

d. Tiempo de concentración: En general, en áreas urbanizadas pequeñas (menores de 1 Ha) el tiempo de concentración es pequeño, y para efectos prácticos se puede suponer menor de cinco minutos. Para áreas mayores se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

Para un plano inclinado

$$t_c = \frac{6.9}{i_e^{0.4}} \left[\frac{nL}{\sqrt{S}} \right]^{0.6} \qquad (7)$$

en donde

t_c : tiempo de concentración (minutos)
n: factor de rugosidad de Manning de plano inclinado (ver valores de Tabla #2)
L: longitud del plano inclinado (m)
S: pendiente del plano inclinado
i_e: precipitación efectiva de lluvia (mm/hora) , aproximadamente igual a C*i.

Tabla #2. Rugosidad de Manning en planos inclinados

Tipo de superficie	n
Concreto liso	0.015
Pavimentos lisos	0.02
Suelo compactado, sin piedras	0.10
Cobertura pobre de pasto o superficie moderadamente rugosa	0.20
Cobertura de pasto regular	0.40
Cobertura de pasto densa	0.80

Para un canal rectangular que recibe agua lateralmente de un plano inclinado,

$$t_c = 0.0125 L_c \left(\frac{b}{Q}\right)^{0.4} \left(\frac{n}{\sqrt{S_c}}\right)^{0.6} \qquad (8)$$

donde

Q: caudal total drenado por el canal (m^3/s)
b: ancho del canal (m)
n: factor de rugosidad de Manning del canal
Lc: longitud del canal (m)
Sc: pendiente de fondo del canal

Una vez calculado el tiempo de concentración, la intensidad de la lluvia en el sitio donde se ubica la edificación se puede obtener de un mapa de isoyetas para lluvias con un período de retorno de 10 años y una duración (tiempo deconcentración) de 15 minutos. Para otras duraciones entre 5 y 60 minutos, la intensidad se obtiene por la relación:

$$i(t_c) = i(15)\left(0.5 + \frac{8.2}{2.6 + t_c}\right) \qquad (9)$$

donde

t: tiempo de duración de la lluvia (minuntos)
$i(t_c)$: intensidad de la lluvia para una duración tc
i(15): intensidad de la lluvia para una duración de 15 min.

En el caso de casas de habitación y edificaciones pequeñas (con áreas de drenaje menores de 300 m^2), el caudal de diseño de las tuberías de desagüe pluviales se puede obtener de la Tabla #3. Dicha tabla muestra los caudales originados en superficies impermeables para lluvias con intensidades de 240 mm/h y tiempos de concentración menores de cinco minutos.

Tabla #3. Caudales originados por precipitaciones con una intensidad de 240 mm/h y C=0.95

Area drenada (m^2)	Caudal (l/s)
50	3.15
100	6.35
150	9.50
200	12.65
250	15.85
300	19.00

Para la determinación de los diámetros de los conductos y canaletas horizontales de desagüe de aguas de lluvia se seguirán las indicaciones que aplican para las tuberías de aguas residuales. Se aceptará en este caso que para el caudal de diseño la descarga llene como máximo ¾ partes de la altura del colector o canal de desagüe.

Para la determinación de los diámetros de los bajantes de desagüe de aguas de lluvia se utilizará la Tabla #4. Como regla práctica se puede utilizar un centímetro cuadrado de área transversal de bajante por cada metro cuadrado de área de techo.

Tabla #4. Caudales máximos en bajantes de desagüe de aguas de lluvia.

Diámetro (mm)	Caudal máximo (l/s)
50	0.90
63.5	1.65
75	2.50
100	5.10
125	8.95
150	14.10
200	28.95

Notas 1. Para bajantes no circulares se puede utilizar un área equivalente.
2. Caudales estimados suponiendo control a la entrada del bajante, y sin obstrucciones.

2. Requisitos constructivos

En la construcción de los sistemas para aguas de lluvia se deberá cumplir con las especificaciones fijadas para las tuberías de aguas negras y con las siguientes indicaciones:

Es recomendable que los sumideros, registros y otros receptores de agua de lluvia estén dotados de una trampa de arena cuando estén situados en patios o terrazas.

Los sumideros y receptores de aguas de lluvia deberán estar provistos de rejillas de protección contra el arrastre de hojas, papeles, basura y similares. El área total libre de las rejillas será por lo menos dos veces el área del orificio de desagüe.

En aquellos casos en los cuales los colectores de aguas de lluvia no puedan descargar por gravedad deberá proveerse un tanque recolector y un sistema de bombeo para su descarga automática.

En el caso de utilizarse un tanque recolector de aguas de lluvia, su volumen se escogerá para que sea capaz de almacenar como mínimo la escorrentía producto de la precipitación para un evento con un periodo de retorno de 5 años y una duración de 30 minutos. El volumen se estimará mediante la siguiente expresión:

$$V_t = 1200\, Q\,(5, 30) \qquad (10)$$

donde:

Vt: volumen del tanque de almacenamiento (m^3)

Q(5, 30): caudal máximo para un aguacero con un período de retorno de 5 años y una duración de 30 minutos (m/s)

El caudal de diseño del sistema de bombeo será como mínimo (2/3)*Q(5, 30).

Los sistemas de desagüe de aguas de lluvia deberán estar dotados de bocas de limpieza y cajas de registro de acuerdo con lo establecido para los sistemas de desagüe de aguas negras. Las tapas de las cajas de registro podrán ser de rejilla metálica.

En los alcantarillados pluviales, la distancia mayor que se debe permitir que el agua de lluvia recorra sobre el caño sin encontrar un tragante o sumidero debe ser de 150 m. Además no se debe permitir que el agua de vueltas en el caño, al llegar a las esquinas debe haber un sumidero que la colecte antes de la vuelta.

3. Inspección y prueba de los sistemas de desagüe de aguas residuales y de lluvia

Durante el proceso de construcción el AyA inspeccionará las obras de acuerdo con los planos aprobados.

Los ramales de desagüe, bajantes y colectores de aguas negras se someterán a la prueba de agua o a la de aire según se describe a continuación. Estas pruebas se podrán realizar por secciones o para todo el sistema. Será obligatorio efectuar la prueba de aire cuando, por la presión de trabajo de la tubería, ésta no se pueda someter a la prueba de agua.

Cuando se utilice la prueba de agua se procederá de la siguiente manera:

a) Se requerirá que las piezas sanitarias estén instaladas, y se procederá a taponear todos los orificios de la tubería a probar, excepto el del punto más alto.

b) Se llenará la tubería a partir del punto más alto y se dará un tiempo prudencial para considerar la pérdida de agua que se produce en las juntas y en la tubería misma; luego se llenará la tubería hasta rebosar.

c) Se aceptarán las secciones o el sistema probados cuando el volúmen de agua se mantenga constante durante 15 minutos, sin presentarse filtraciones. Si el resultado no es satisfactorio, se procederá a hacer las correciones necesarias y se repetirá la prueba hasta eliminar las filtraciones.

Cuando se utilice la prueba de aire, se procederá de la manera siguiente:

a) Se conecta un compresor a uno de los orificios de la sección o sistema, cerrando el resto de ellos.

b) Se somete la sección o el sistema a una presión uniforme de 100mm de columna de agua.

c) Se aceptarán las secciones o el sistema probados cuando la presión indicada anteriormente no baje más de un 25% durante 5 minutos, una vez suspendido el bombeo. Si el resultado no es satisfactorio, se procederá a hacer las correciones necesarias y se repetirá la prueba hasta eliminar las filtraciones.

Las obras complemetarias tales como los tanques de aguas negras, tanques sépticos, interceptores, separadores, cajas de registro y ceniceros deberán ser sometidos a una prueba de agua de la forma siguiente:

a) Se llenarán de agua y se dará un tiempo prudencial para tomar en cuenta las pérdidas por absorción.
b) Se llenarán de nuevo y se dejaran por 48 horas, al cabo de los cuales la pérdida de agua no deberá ser mayor de 25 mm.

Ciertos aspectos necesarios de verificación se mencionan a continuación:

1. Inspección Ocular

Consiste en observar los tragantes o sumideros, los pozos de registro, estaciones de bombeo y cualquier otra parte accesible del alcantarillado, con el objeto de determinar si los acabados y calidad de los materiales se ajustan a las especificaciones técnicas y a los planos.

2. Verificación de los gradientes

Conviene hacer un levantamiento topográfico final que permita verificar si los gradientes se construyeron de acuerdo con las indicaciones de los planos.

3. Verificación de los alineamientos

Es importante verificar si las tuberías se colocaron bien alineadas, es decir el centro geométrico de todos los tubos se acomoda dentro de una misma línea recta. Una de las maneras más efectivas para verificar esto es por medio de una luz o foco, para lo cual se procede de la siguiente manera:

- Se colocan dos hombres de modo que cada uno esté en uno de los dos pozos que limitan la tubería que se quiere verificar. Uno de ellos coloca una luz o foco en el centro geométrico de la boca de tubo y oscurece el pozo para que no llegue más luz que la del foco. El hombre que observa al otro extremo apreciará que la luz está en el centro si la tubería ha sido bien construida. Si hay algún desalineamiento, la luz no se verá en el centro sino en un extremo del círculo. Si la línea de tubería está muy mal construida, es decir que el desalineamiento es muy grande, no se verá del todo la luz.

4. Bombeo de aguas negras y de lluvia

Cuando las aguas negras o de lluvia provenientes de una edificación no puedan ser descargadas por gravedad a la red pública respectiva, deberá instalarse un sistema de bombeo, para la descarga automática a dicha red.

El equipo de bombeo deberá instalarse en un sitio protegido contra inundaciones, fácilmente accesible y ventilado, con amplias facilidades para la inspección y mantenimiento de los equipos. El equipo de bombeo será de diseño especial para aguas negras.

Los pozos de bombeo de aguas negras y de aguas de lluvia deberán ser impermeables, de paredes lisas, resistentes a las presiones internas y externas, y a las acciones químicas que pueda producir el afluente. Las conexiones de la tubería al pozo de bombeo se deberán hacer en tal forma que no produzcan fugas ni rotura de las paredes del mismo.

El pozo de bombeo de aguas negras deberá cumplir con los siguientes requisitos:

a) Su capacidad no será mayor que el volumen equivalente a 12 horas del gasto medio diario, ni menor que el equivalente a cuatro horas del mismo.
b) Deberá estar provisto de un tubo de ventilación, el cual, siempre que las condiciones lo permitan, podrá integrarse al sistema de ventilación del edificio.
c) Deberá estar dotado de una tapa metálica, sellada con un empaque de hule u otro material similar.
d) Deberá estar dotado de escalera de acceso.
e) Deberá estar dotado de tubería de desfogue y rebalse.
f) Cuando existan dos pozos, uno para recibir las aguas negras, denominado "pozo húmedo", y otro para la instalación de las bombas, denominado "pozo seco", se deberá proveer ventilación natural o mecánica para el pozo seco en aquellos casos que, por su profundidad y características, puedan presentar problemas de acumulación de gases.
g) Deberán proveerse facilidades para eliminar las aguas que puedan acumularse en el pozo seco.
h) El piso del pozo húmedo deberá tener una pendiente mínima de 25% hacia la toma de la bomba.

Las bombas de aguas negras deberán cumplir con los siguientes requisitos:

a) Ser de diseño especial tal que al funcionar garanticen protección adecuada contra obstrucciones. Es recomendable que los impulsores sean abiertos.
b) Su capacidad deberá ser por lo menos de dos veces el gasto máximo que recibe el pozo de bombeo.
c) Las tuberías de succión de las bombas deberán instalarse enforma tal que se evite la turbulencia excesiva cerca del punto de succión.
d) La tubería de descarga de la bomba deberá conectarse al colector de desagüe del edificio a una distancia mínima de tres metros del bajante más próximo aguas abajo de la conexión, lo anterior con el fin de prevenir turbulencias y succión dentro de la línea.
e) Las tuberías estarán dotadas de válvulas de compuerta para remover o instalar los equipos, y de válvulas de retención para evitar el flujo inverso.
f) Las tuberías se instalarán en forma adecuada para evitar ruido y transmisión de vibraciones. Las juntas entre la bomba y las correspondientes tuberías de impulsión serán del tipo flexible.
g) Los equipos de bombeo se fijarán adecuadamente por medio de placas, pernos y amortiguadores para prevenir la transmisión de vibraciones y para su fácil remoción.
h) Para determinar el tiempo y la frecuencia de operación de la bomba se deberán considerar las características del motor de la misma. Como norma general, se recomienda que el tiempo de operación de la bomba no sea menor de dos minutos y la frecuencia de operación de la misma sea menor que cinco veces por hora.

Los motores de los equipos de bombeo deberán tener controles automáticos accionados por los niveles en el pozo de bombeo. Se proveerán además controles manuales. El pozo deberá ser vaciado hasta el nivel mínimo fijado cada vez que operen los equipos. Igualmente, deberán proveerse dispositivos de seguridad para sobre-nivel.

Cuando el suministro normal de energía no pueda garantizar servicio continuo a los equipos de bombeo deberán proveerse dos fuentes de energía independientes.

Cuando las aguas negras contengan grasas, aceites, materias inflamables, arena, u otros sólidos o líquidos objetables será necesario la instalación de interceptores o separadores antes del pozo de bombeo que deberán cumplir con lo estipulado en el código.

5. Análisis de la red de aguas pluviales de Montes de Oca

Según lo que se ha descrito anteriormente, Acueductos y Alcantarillados (AyA), es responsable de la revisión de los planos de alcantarillados pluviales y de velar por el cumplimiento de los requisitos que se han descrito en las secciones anteriores. AyA, no revisa las memorias de cálculo de los estudios hidrológicos que se usaron para el diseño de los alcantarillados pluviales. LA revisón que realiza este instituto se limita a verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos. De acuerdo a Gustavo Alvarado de AyA, los planos de la red de alcantarillado pluvial de Montes de Oca y otros cantones son competencia de la Municipalidad, y estos los deben de usar para el proceso de aprobación de proyectos constructivos dentro del cantón. Las labores del instituto se enfocan más fuertemente en al área de agua potable y sus sistemas asociados.

De acuerdo al Ingeniero de la Municipalidad de Montes de Oca, Austin González, por su propia cuenta, solicita a los urbanizadores un estudio hidrológico, para justificar el diseño del alcantarillado pluvial de la urbanización. Sin embargo, él no puede oponerse a las decisiones tomadas por estos, pues cada ingeniero puede diseñar y ejecutar las obras haciendo libre uso de los criterios que considere más oportunos. De esta forma si la urbanización tiene problemas internamente de inundaciones, es responsabilidad del urbanizador y podría ser demandado por los perjudicados.

Cuando los problemas se han presentado fuera de la urbanización, es decir en los colectores pluviales que son responsabilidad de la municipalidad, o se presentan dentro de las urbanizaciones inundaciones causadas por efectos del mal funcionamiento de los colectores principales, el problema debe ser resulto por la Municipalidad. Según el ingeniero municipal, anteriormente se ha acusado a la municipalidad de no proveer a la ciudad de los servicios básicos y de no velar por su buen funcionamiento. Según Austin González, la municipalidad no cuenta con planos que muestren la distribución actual de las redes de alcantarillado pluvial en el cantón. Es claro que estas desaveniencias entre AyA y Municipalidad dificultan el planeamiento y el manejo de las redes de aguas pluviales en Montes de Oca.

Si la Municipalidad de Montes de Oca no tiene planos de la red de colectores de aguas pluviales, o los que tiene no los usa, los problemas de inundaciones están lejos de ser solucionados. Por otra parte la red existente en Montes de Oca tiene muchos años de

existencia lo que sugiere la necesidad de cambiar la red en muchos puntos de la misma.

Como se mencionaba en una de las secciones anteriores, el área de entrada a un tragante, quitando el área de rejillas deber ser dos veces mayor al área de la tubería. Cuando existe una entrada obstruída por desechos sólidos u otro tipo de obstáculos, el área del tragante se reduce significativamente. Según Austin González, el departamento de limpieza municipal debe hacerse cargo del mantenimiento de las tuberías pluviales.

La revisión en campo de la construcción de las urbanizaciones y otros proyectos de infraestructura está a cargo de un grupo de peritos de la Municipalidad. Estos visitan aquellas construcciones que por razones especiales consideren necesario. Algunos ejemplos de lo que se mencionó anteriormente están los siguientes : se visitan aquellos sitios en que los urbanizadores hayan tenido problemas con la Municipalidad anteriormente, los que se les hayan rechazado los planos constructivos por tener algunas deficiencias, etc. También ser todas aquellos lugares donde por medio de alguna denuncia se haya hecho la solicitud de visitarlos y así verificar el trabajo realizado.

También la Municipalidad debe seleccionar algunos proyectos que estén en fase de construcción para visitarlos, como parte de su trabajo de rutina.

El código urbano solicita la justificación del diseño de un alcantarillado pluvial por medio de un estudio hidrológico, que valore los posibles efectos producidos sobre la cuenca hacia aguas abajo del proyecto, pero debe también contemplar los impactos en el futuro de cambios en el uso del suelo aguas arriba del proyecto. Pero esta solicitud a pesar de parecer buena, es imposible si no se conoce con exactitud el medio afectado (alcantarillado pluvial). De hecho el estudio además de hidrólogico debería ser hidráulico pues una gran mayoría de las ocasiones los problemas se dan en los alcantarillados pluviales aguas abajo. Para más detalles al respecto consultar el anexo « Informe de Inundaciones para el cantón de Montes de Oca ».

6. Bibliografia

1) Acueductos y Alcantarillados. **Normas de Diseño y construcción, para urbanizaciones y Fraccionamientos**
Normas AyA, 1986

2) Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. **Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias**. Febrero 1996

3) Gobierno de Costa Rica. **Reglamento para el Control Nacional de Fraccionamiento y Urbanizaciones**
I.N.V.U., 1997.

4) Gobierno de Costa Rica. **Reglamento de Construcciones**
I.N.V.U., 1997

5) Rodríquez J., Manfred. **Factibilidad del Uso de Tanques Sépticos en el Area Metropolitana en viviendas de interés social**
Escuela de Ingeniería Civil, U.C.R.
Julio de 1999

SECCIÓN V

CONTAMINACIÓN DEL AGUA DE LA QUEBRADA LOS NEGRITOS

Estado del agua de la Quebrada Los Negritos

La Quebrada Los Negritos se encuentra en el cantón de Montes de Oca, y en su trayecto hacia el río Torres atraviesa las instalaciones de la Universidad de Costa Rica, por esta razón, en diversas ocasiones, el agua que corre por esta fuente ha sido objeto de diversos estudios con el fin de determinar la calidad ambiental de la misma, y basados en los resultados, poner en práctica programas de recuperación.

Entre los trabajos realizados, se cuenta con los hechos por estudiantes de la U.C.R. para efectos del Trabajo Comunal Universitario (TCU), los cuales incluyen desde el levantamiento del perfil de la Quebrada, análisis de deslizamientos, hasta análisis de la calidad del agua. Para el presente informe, se contó con los datos obtenidos y procesados en el trabajo de TCU de 1999, denominado "Parque lineal Quebrada Los Negritos", donde se realizó un análisis de los resultados de las pruebas realizadas al agua de la quebrada dentro del campus de la Universidad de Costa Rica.

De forma similar el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) de la U.C.R., desarrolló un programa llamado "Recuperación Integral de la Quebrada de Los Negritos", y en su reporte final "Diagnóstico físico-químico y biológico de la Quebrada Los Negritos" se presenta el resultado y análisis del muestreo realizado tanto en la Quebrada Los Negritos, como en dos de sus afluentes: acequia El Cas, y un afluente sin nombre que descarga en la quebrada como una alcantarilla.

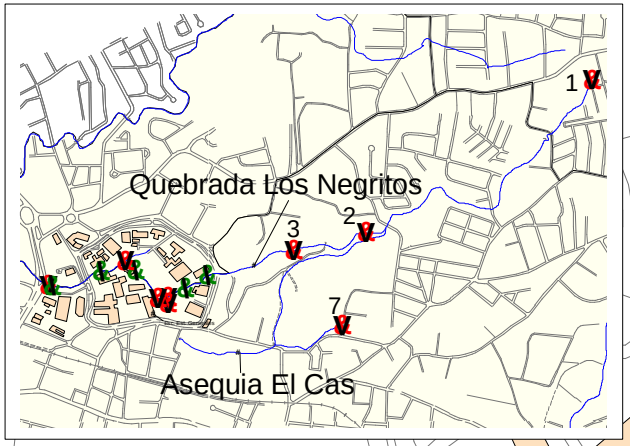
Para el trabajo realizado en el Trabajo Comunal Universitario "Parque Lineal Quebrada Los Negritos" en 1999, se realizaron mediciones en cinco puntos dentro del campus universitario (ver Mapa 1), a saber:

Detrás del edificio de la Escuela de Música
Detrás del edificio de la Escuela de Química
Dentro de la Reserva
Detrás del edificio de la Escuela de Computación
Detrás del Centro de Recreación

Las mediciones se realizaron en estos cinco puntos para las fechas de enero 25, febrero 11, febrero 17 y marzo 17, todas del año 1999.
Las pruebas que se realizaron para determinar la calidad del agua de la Quebrada los Negritos incluyen:

- Temperatura
- Conductividad
- pH
- Oxígeno Disuelto
- Total de Sólidos Disueltos (SDT)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Concentración de Fósforo
- Concentración de Fosfato (P_2O_5)
- Nitritos NO_2
- Nitratos NO_3
- Nitrógeno Amoniacal

Mapa 1 Ubicación de puntos de medición en la quebrada Los Negritos y la asequia El Cas



Esc. Informática
Esc. de Química
Comedor
Esc. Música
Esc. Derecho
Esc. Est. Generales
Esc. C. Sociales

Ptos. de medicion
CICA
Informe TCU
Rios
Carreteras
Edificios U.C.R.

Fuente: Reporte Final de TCU "Parque Lineal Quebrada Los Negritos", UCR 1999
Reporte Final "Diagnóstico físico-quíico y biológico de la Quebrada Los Negritos", UCR, CICA, Abril 1994

100 0 100 Metros

Plan Regulador de Montes de Oca

En la realización de las pruebas se siguieron las instrucciones que contiene el Manual de Laboratorio del curso Análisis Ambiental I impartido por la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR y los manuales del fabricante del equipo.

Para la determinación de la calidad del agua se realizaron las pruebas correspondientes por estudiantes de la U.C.R., con el equipo del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil, UCR. En general, las pruebas de campo se hicieron con un conductivímetro portátil y equipo de titulación para la prueba del oxígeno disuelto, y las pruebas de laboratorio se valoraron por medio de colorímetros.

En las tablas #5 a #9, se presentan las mediciones hechas para los puntos observados en la Quebrada Los Negritos en este trabajo.

En el trabajo llevado a cabo por el CICA, realizado en los años 1992-1994, y según se resume en su reporte final "Diagnóstico físico-químico y biológico de la quebrada Los Negritos" de abril del 94, se realizaron mediciones en 9 puntos a lo largo de la quebrada de interés, así como en la acequia El Cas, la cual es afluente a la quebrada Los Negritos (ver Mapa 1); los puntos muestreados fueron:

- El nacimiento de la Quebrada Los Negritos.
- Apertura de entubado de aguas de la quebrada Los Negritos.
- Finca de la U.C.R.
- Dentro del campus universitario, inmediatamente antes de la confluencia con la acequia El Cas (a la altura del puente entre Generales y Química).
- Cerca del nacimiento de la acequia El Cas, inmediatamente después del efluente de la industria de galletas Pituca, en Lourdes.
- Dentro del campus Universitario, inmediatamente antes de su confluencia con la quebrada Los Negritos, a la altura del puente detrás del edificio de Estudios Generales, en el camino que va hacia Química.
- En el cauce principal de la quebrada, inmediatamente después de la confluencia con El Cas.
- En la apertura de aguas de alcantarilla, del afluente sin nombre que entra por los Bioteros, en la zona de la quebrada que pasa entre el comedor y la Escuela de Derecho.
- Después de la confluencia del afluente sin nombre, en las cercanías de la Escuela de Derecho.

Las mediciones se realizaron en estos puntos en las siguientes fechas:

Día	*Mes*	*Año*
9	Marzo	1992
23	Marzo	1992
6	Abril	1992
30	Abril	1992
14	Mayo	1992
4	Junio	1992
11	Junio	1992
23	Julio	1992
6	Agosto	1992
20	Agosto	1992
17	Setiembre	1992
1	Octubre	1992
22	Octubre	1992
12	Noviembre	1992
3	Febrero	1993
25	Febrero	1993
22	Abril	1993

Las pruebas que se realizaron para determinar la calidad del agua de la Quebrada los Negritos y El Cas incluyen:

- Temperatura
- pH
- Oxigeno Disuelto
- Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO)
- Demanda Química de Oxigeno (DQO)
- Nitritos NO_2
- Nitratos NO_3
- Ortofosfato total (PO_4)
- Alkalinidad total (Alca)
- Dureza total (DTOT)
- Además se determinaron parámetros biológicos, tales como:
- Indice de diversidad Shannon-Wiener (ID)
- Indice biológico “Belgian Biotix Index” (BBI)

El resumen de los puntos con los cuales se cuenta, y de la numeración dada, con la cual se les ubica en el Mapa 1 adjunto, se presenta a continuación:

Tabla #1. Puntos de medición en la Quebrada Los Negritos

Número	***Ubicación***	***Fuente***
1	Nacimiento de Q. Los Negritos	Informe CICA, 92-93
2	Apertura de entubado de Q. Los Negritos	Informe CICA, 92-93
3	Finca #2 de U.C.R.	Informe CICA, 92-93
4	Detrás de Esc. Música	Informe TCU, 1999
5	Detrás de Esc. Química	Informe TCU, 1999
6	Antes de confluencia con A. El Cas, Campus Universitario	Informe CICA, 92-93
7	Cerca del nacimiento de A. El Cas	Informe CICA, 92-93
8	En A. El Cas, antes de la confluencia con Q. Los Negritos	Informe CICA, 92-93
9	En cauce principal, luego de la confluencia con la A. El Cas	Informe CICA, 92-93
10	Dentro de la Reserva Leonel Oviedo Campus Universitario	Informe TCU, 1999
11	Apertura de aguas de alcantarilla Entra por Bioteros	Informe CICA, 92-93
12	Detrás de la Esc. Computación Campus Universitario	Informe TCU, 1999
13	Frente a la Esc. Derecho Campus Universitario	Informe TCU, 1999
14	Frente a Esc. Derecho, después de apertura de alcantarilla	Informe CICA, 92-93

1. Descripción de los parámetros estudiados

Temperatura
La temperatura puede resultar ser un contaminante difícil de manejar. La llamada contaminación térmica puede ser producto del uso del agua en sistemas de enfriamiento y calentamiento en industrias diversas. Los incrementos en la temperatura del agua pueden producir condiciones que hacen imposible la supervivencia de organismos en las aguas, alterando de esta forma el sistema.
Debe procurarse mantener la temperatura del agua como la del ambiente, sin embargo los valores permisibles se encuentran en el rango de 18 a 30 °C, y evitar que las deposiciones de las fábricas puedan alterar esos valores.

pH
El pH expresa la condición ácida o básica de una solución, donde el valor neutro es de 7 (valor para agua potable), un valor menor a siete se cataloga como ácido y mayor como básico.
El rango de valores permisibles para el pH de las aguas de un río es de 6.5- 8.5.
El proceso de aireación, que consiste en la incorporación de aire en el agua producto de el movimiento de esta, es un mecanismo natural que permite aumentar el valor de pH en el agua.

Conductividad
La conductividad eléctrica es una medida indirecta de los sólidos disueltos totales presentes en el agua. La conductividad puede interpretarse como una medida indirecta del grado de contaminación del agua, a mayor conductividad, mayor cantidad de partículas en el agua, y mayor contaminación.

Sólidos disueltos
Los sólidos disueltos no son apreciables a simple vista, pero son indicadores de contaminación. Estos pueden dar color a las aguas, por ejemplo las sales de azufre que colorean las aguas de un tono azul, que resulta inconveniente para agua de consumo humano.
Por regla general, la dureza del agua aumenta al aumentar los sólidos disueltos porque aumentan las sales de calcio, magnesio y otras responsables de la dureza. Los valores típicos para aguas superficiales no contaminadas que van de 25 a 500 mg $CaCO_3$/l.

Oxígeno disuelto
Por ser el oxígeno el gas fundamental para la mayoría de los seres vivos, la presencia de este en el agua es necesaria para garantizar la vida de organismos.
La solubilidad del oxígeno en el agua es directamente proporcional a su presión parcial, así como también depende de la temperatura. Otro factor que está involucrado con la cantidad de OD, es la turbulencia de las aguas, ya que a mayor turbulencia es mayor la capacidad de aumentar el OD.
La solubilidad del oxígeno en agua fresca varía desde 14.6mg/l a 0ºC a 7mg/l a 35ºC a una atmósfera de presión, a 20°C el valor típico para el OD es de 9 mg/l.
La mayoría de las condiciones críticas relacionadas con deficiencias de oxígeno disuelto ocurren en verano cuando la temperatura y demanda de oxígeno son altas y la solubilidad es mínima.
Los niveles de oxígeno disuelto determinan si los cambios biológicos que llevan a cabo los organismos presentes en el agua son aerobios o anaerobios. Por lo general cuando

se están dando los procesos anaerobios en el agua, se producen malos olores, por lo cual esto es una muestra de contaminación.
Por otra parte las aguas que se descargan a los cuerpos naturales deben poseer niveles adecuados de OD para que no se vea afectado el ecosistema del río. Los niveles altos de OD están asociados al crecimiento y reproducción de peces y otros organismos acuáticos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno
La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras estabilizan la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aeróbicas.
El DBO es utilizado para determinar la contaminación de aguas domésticas e industriales pues mide el oxígeno que necesitan las bacterias para degradar la carga orgánica presente en el agua. La prueba es una de las más importantes en el control de actividades contaminantes en los ríos. Esta prueba es también de suma importancia en trabajos y estudios regulatorios y para evaluar la capacidad de purificación de los cuerpos receptores.
El consumo de materia orgánica por parte de los microorganismos se da principalmente en materia carbonácea durante los primeros días. No es hasta aproximadamente el día 15 que se inicia la descomposición de materiales nitrogenados por medio de las nitrobacter o nitrosomas. Como la prueba está estandarizada a cinco días por cuestión de tiempo, se dice que mide el DBO carbonáceo. Además se estima que la $DBO_{5,20^oC}$ representa el 95% del oxígeno total necesario para degradar todo el material carbonáceo y del 70 al 80% del valor total del DBO.
Como el ensayo involucra el consumo de materia orgánica por parte de microorganismos es muy importante que las condiciones sean las adecuadas para éstos. El pH y la cantidad de nutrientes deben satisfacer los requerimientos de los organismos que descomponen, por eso en la prueba debe mantenerse la temperatura a 20ºC (temperatura media de los cuerpos de agua minerales), además de garantizar la ausencia de materias tóxicas.
La solubilidad del oxígeno en el agua es de cerca de 9mg/l a 20ºC por lo que las muestras con alto grado de contaminación deben ser diluidas para garantizar suficiente oxígeno disuelto para que los microorganismos degraden la materia.
El ámbito de concentración de “aguas de ríos contaminados” clasificado de acuerdo a la DBO es de 8 a 45 mg/l.

Relación entre la demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno
La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de oxígeno requerido para oxidar no solamente la materia orgánica sino también la inorgánica. Sin embargo el mejor parámetro para determinar la calidad del agua lo da la razón entre este valor y la demanda bioquímica de oxígeno. Según este valor, se puede determinar si el río se considera biodegradable o no. En la siguiente tabla se muestra la clasificación:

Tabla #2. Clasificación según relación DQO/DBO

Relación DQO/DBO	***Condición***
1 a 2	Muy biodegradable
2 a 3	Moderadamente biodegradable
> 3	Poco biodegradable

Fuente: López, Manuel. Contaminación de los ríos en el Area Metropolitana: Río Ocloro. 1993

Fósforo

El fósforo es considerado un elemento limitante debido a su función como nutriente de los microorganismos que habitan los sistemas de aguas. Como el crecimiento de éstos está asociado al nivel de fósforo presente en el agua, la determinación de estos niveles a tomado en los últimos años especial importancia en la ingeniería ambiental. Las formas de mayor interés son los polifosfatos o el fósforo inorgánico.

En el agua el fósforo puede presentarse en tres formas: fósforo orgánico, disuelto(PO_4) e inorgánico. Los dos últimos pueden ser neutralizados por hidrólisis.

El fitoplancton está compuesto principalmente de algas y cianobacterias que son organismos productores de clorofila y por lo tanto necesitan de fertilizantes para su crecimiento. El fósforo es esencial para el crecimiento del fitoplancton y por lo tanto es un factor de control de la población.

Se ha establecido que el nivel crítico de fósforo inorgánico es de 0.005 mg/l. Por encima de este nivel la sobrepoblación de algas y cianobacterias puede producir condiciones no deseadas tales como eutroficación y exceso de algas filamentosas que dan mal sabor al agua y atascan los sistemas para tratamiento de agua potable.

En general el fósforo inorgánico es utilizado en los sistemas de aguas para evitar la corrosión. También se usa para estabilizar en carbonato de calcio en aguas duras para eliminar la recarbonización.

Nitrógeno

El nitrógeno forma parte de los llamados macronutrientes, que son elementos que los microorganismos necesitan en cantidades mayores para su adecuado funcionamiento.

El principal componente de la atmósfera es el Nitrógeno molecular(N_2) pero en su estado gaseoso no puede ser utilizado por las plantas o animales. Durante las tormentas eléctricas se forma ácido nítrico que cae a la tierra por acción de la lluvia. Los nitratos son utilizados por las plantas verdes para producir compuestos que necesitan como proteínas. Los animales se alimentan de plantas y así obtienen el nitrógeno que necesitan.

Las plantas y animales muertos se descomponen y el nitrógeno es convertido en amonio. Este puede ser utilizado por las plantas directamente para sintetizar proteínas.

Los nitratos y nitritos pueden ser convertidos a nitrógeno por medio de un proceso conocido como desnitrificación. Este proceso puede ser llevado a cabo por medio de microorganismos.

Una fuente no natural de nitrógeno son los fertilizantes utilizados en la agricultura. Además otras fuentes de nitrógeno son la orina y las heces. Estos excesos de nitrógeno en el agua pueden causar problemas de eutroficación y resultar inconvenientes en las plantas de tratamiento.

Para el tratamiento de este problema se utilizan bacterias desnitrificadoras. Estas bacterias descomponen los nitritos y nitratos en nitrógeno molecular que es liberado a la atmósfera.

En agua potable los contenidos de nitritos y nitratos deben ser controlados. Niveles altos de estos compuestos pueden llegar a producir en niños la enfermedad conocida como bebes azules o metahemoglobinemia, debido a que la hemoglobina transporta nitritos o nitratos en lugar de oxígeno.
Otro problema asociado con este nutriente es el exceso de amoniaco en las aguas pues este resulta tóxico para los peces. Sin embargo esto solo se presenta cuando el pH es mayor de ocho (medio básico).

Indice de Diversidad de Shannon-Wiener
El índice de diversidad es una expresión matemática, la cual usa tres componentes de estructura de comunidad; llamados, riqueza (número de individuos presente), diversidad (uniformidad en la distribución de individuos entre las especies) y abundancia (número total de organismos presente), para describir la respuesta de una comunidad a la calidad del ambiente.
El índice de Shannon-Wiener es la medida de diversidad más ampliamente utilizada. Su fórmula es la siguiente:

$$d = -\sum \frac{N_i}{N} \log^2 \frac{N_i}{N}$$

donde,
d= diversidad
N= número total de individuos de todas las especies colectadas
Ni= número de individuos pertenecientes a la especie “i”

Indice Biológico "Belgian Biotix Index
El índice biológico es una aproximación que combina la diversidad sobre la base de ciertos grupos taxonómicos, con la calificación de resistencia a la contaminación de ciertas especies individuales o taxas mayores.

El procedimiento a seguir para el cálculo del BBI, es en base en el Cuadro estándar de Tuffery Verneaux (1968) que se presenta a continuación:

Tabla #3. Cuadro estándar de Tuffery & Verneaux (1968) para la determinación del BBI.

I Grupo Faunistico	II	III Números totales de unidades sistemáticas presentes				
1. Plecoptera o Ecdyonuridae	1 varios S.U.*	0-1	2-5	6-10	11-15	16 y más
		Indice biológico				
		-	7	8	9	10
	2 solo 1 S.U.	5	6	7	8	9
2. Cased Trichoptera	1 varios S.U.	-	6	7	8	9
	2 solo 1 S.U.	5	5	6	7	8
3. Ancylidae o Ephemeroptera excepto Ecdyonuridae	1 mas de 2 S.U.	-	5	6	7	8
	2 2 o<2 S.U.	3	4	5	6	7
4. Aphelocheirus o Ordonata o Gammaridae o Mollusca	Todos SU mencionados 0 above are absent	3	4	5	6	7
5. Asellus o Hirudinea o Sphaeridae o Hemiptera	All S. U. mentioned 0 above are absent	2	3	4	5	
6. Tubificidae o Chironomidae de el grupo thummi-plumosus	All S. U. mentioned 0 above are absent	1	2	3		
7. Eristalinae	All S. U. mentioned 0 above are absent	0	1	1		

*S.U.: número de unidades sistemáticas observadas por determinado grupo faunístico.

El cual posee doble entrada horizontal y vertical, una para los grupos faunísticos y la otra para el número de unidades sistemáticas. Los grupos faunísticos se clasifican de 1 a 7, de acuerdo al aumento. en tolerancia a la contaminación (columna I).Para los tres primeros grupos faunísticos (1 a 3) es necesario saber si hay 1, 2 o más unidades sistemáticas presentes en la muestra (Columna-II). Dependiendo de cual sea el caso, se escogerá la primera o. segunda línea.

La división vertical corresponde a las clases de diversidad, o sea, el número de unidades sistemáticas encontradas en la muestra. El cruce entre la línea y la columna determinará el índice biológico para la muestra analizada. La línea escogida corresponderá tal grupo de mayor sensibilidad aparecido en la muestra. El índice biológico puede variar entre 0 a 10. Mayor es el valor, como grupos muy sensibles y unidades sistemáticas están presentes en el agua examinada.

Con el fin de sintetizar los resultados, los 10 diferentes índices se han agrupado en 5 clases de calidad diferentes, las cuales se pueden visualizar mejor con base en un color respectivo, tal como se muestra en la tabla #4.

Tabla #4. Clase, color y significado del índice biológico.

Clase	***Indice Biológico***	***Color***	***Significado***
I	10-9	Azul	Ligero o no contaminado
II	8-7	Verde	Ligera contaminación
III	6-5	Amarillo	Moderada contaminación
IV	4-3	Naranjo	Alta contaminación
V	2-0	rojo	Severa contaminación

2. Resultados

En las siguientes tablas (#5 a #18) se presentan los resultados de las mediciones realizadas para el TCU y el informe del CICA en la Quebrada los Negritos y El Cas.

Se puede observar resaltadas las celdas en las cuales las mediciones hechas arrojaron datos que sobrepasan los valores permitidos, en anaranjado se muestran los valores que no cumplieron con el rango indicado, y en rojo se marcan aquellas cuyo valor está muy por debajo, o por encima, del valor recomendado; adicionalmente se apunta en cada tabla los valores recomendados según los cuales se ha clasificado la información.

Tabla # 5. Valores de los parámetros ambientales medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada detrás de la Escuela de Música (punto #4)

Prueba	25-ene	11-Feb	17-Feb	17-Mar	Rango
Temperatura (ºC)	19,80	21,90	21,30	23,70	18-30
pH	8,00	7,70	7,00	7,20	6.5-8.5
Conductividad (mS/cm)	0,42	0,40	0,46	0,43	< 0.4
Oxígeno disuelto (mg/l)	0,70	0,70	3,80	1,00	> 3 (< 2 muy malo)
Sólidos disueltos totales (g/l)	0,42	0,20	0,74	0,23	< 1
Fosfatos (P2O5, mg/l)	8,89	9,93	9,56	11,05	< 5
Fósforo (P, mg/l)	3,88	4,33	4,17	4,82	-
Nitritos (NO2, mg/l)	0,08	0,06	0,26	0,03	< 0.1
Nitratos (NO3, mg/l)	0,70	0,60	0,90	0,70	25 - 50
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	10,40	9,20	19,70	13,90	< 0.5

Tabla # 6. Valores de los parámetros ambientales medidos para la Quebrada. Los Negritos en la sección de la quebrada detrás de la Escuela de Química (punto #5)

Prueba	25-ene	11-Feb	17-Feb	17-Mar	Rango
Temperatura (ºC)	19,80	21,50	21,80	24,10	18-30
pH	6,90	7,70	7,00	7,70	6.5-8.5
Conductividad (mS/cm)	0,42	0,40	0,44	0,48	< 0.4
Oxígeno disuelto (mg/l)	1,50	1,90	2,50	1,10	> 3 (< 2 muy malo)
Sólidos disueltos totales (g/l)	0,21	0,20	0,22	0,24	< 1
Fosfatos (P2O5, mg/l)	4,26	8,89	6,91	10,53	< 5
Fósforo (P, mg/l)	4,04	3,88	2,38	4,60	-
Nitritos (NO2, mg/l)	0,07	0,04	0,80	0,02	< 0.1
Nitratos (NO3, mg/l)	0,70	1,10	0,20	0,60	25 - 50
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	12,10	9,10	13,70	18,20	< 0.5

Tabla # 7. Valores de los parámetros ambientales medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada dentro de la Reserva Leonel Oviedo (punto #10)

Prueba	25-ene	11-Feb	17-Feb	17-Mar	Rango
Temperatura (ºC)		21,5	21,69	20,8	18-30
pH		8,8	6,8	7,5	6.5-8.5
Conductividad (mS/cm)		0,40	0,37	0,43	< 0.4
Oxígeno disuelto (mg/l)		0,5	4	2,9	> 3 (< 2 muy malo)
Sólidos disueltos totales (g/l)		0,20	0,19	0,22	< 1
Fosfatos (P_2O_5, mg/l)		8,66	4,03	7,39	< 5
Fósforo (P, mg/l)		3,78	1,76	3,22	-
Nitritos (NO_2, mg/l)		0,08	0,21	0,03	< 0.1
Nitratos (NO_3, mg/l)		0,9	0,6	0,8	25 - 50
Nitrógeno amoniacal (mg/l)		8,8	9,6	14,1	< 0.5

Tabla # 8. Valores de los parámetros ambientales medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada detrás de la Escuela de Computación (punto #11)

Prueba	25-ene	11-Feb	17-Feb	17-Mar	Rango
Temperatura (ºC)	19,3	20,7	20,5	19,1	18-30
pH	6,4	7,0	7,8	7,3	6.5-8.5
Conductividad (mS/cm)	0,42	0,40	0,32	0,35	< 0.4
Oxígeno disuelto (mg/l)	1,7	1,7	3,1	1,8	> 3 (< 2 muy malo)
Sólidos disueltos totales (g/l)	0,21	0,21	0,16	0,17	< 1
Fosfatos (P_2O_5, mg/l)	5,6	9,11	2,76	4,26	< 5
Fósforo (P, mg/l)	2,4	3,98	1,2	1,86	-
Nitritos (NO_2, mg/l)	0,06	0,03	0,18	0,04	< 0.1
Nitratos (NO_3, mg/l)	0,6	0,6	0,5	0,2	25 - 50
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	22,9	10,6	5,0	6,3	< 0.5

Tabla # 9. Valores de los parámetros ambientales medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada detrás del Centro de Recreación (punto #13)

Prueba	25-ene	11-Feb	17-Feb	17-Mar	Rango
Temperatura (ºC)	19,1	20,5	21,7	19,5	18-30
pH	6,5	8,0	8,0	7,1	6.5-8.5
Conductividad (mS/cm)	0,37	0,40	0,15	0,35	< 0.4
Oxígeno disuelto (mg/l)	1,5	1,8	3,8	1,7	> 3 (< 2 muy malo)
Sólidos disueltos totales (g/l)	0,19	0,20	0,15	0,18	< 1
Fosfatos (P_2O_5, mg/l)	3,38	7,76	2,91	5,53	< 5
Fósforo (P, mg/l)	1,56	3,39	1,27	2,41	-
Nitritos (NO_2, mg/l)	0,08	0,03	0,18	0,01	< 0.1
Nitratos (NO_3, mg/l)	0,4	0,8	0,5	0,2	25 - 50
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	7,2	10,4	5	7,5	< 0.5

Tabla # 10. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos en el nacimiento de la quebrada Estudio del CICA (punto #1)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20,5	5,5	5,7	75,9	14	27	1,9	F	F
Abr	92	F	21,4	6,1	6,1	82,2	F	F		F	F
May	92	F	20,9	5,6	5,0	66,8	ND	ND		2,5	F
Jun	92	F	21	6,2	5,6	75,1	F	F		F	F
Jul	92	F	21	5,7	6,0	80,4	2	6	3,0	0,8	F
Ago	92	21,5	19,8	6,5	6,1	79,15	1,5	10,5	7,0	0,15	F
Set	92	19,7	21,2	7,4	8,2	110,8	3	7	2,3	ND	F
Oct	92	23,25	21	6,5	5,6	75,1	4,9	83,5	17,0	2,4	F
Nov	92	21,5	21	6,1	5,5	73,7	5,2	6	1,2	2,2	F
Feb	93	19	21	6,5	5,3	70,35	19,5	22,05	1,1	1,5	F
Abr	93	21	20,5	6,9	6,0	79,7	2,5	242	96,8	0,17	F
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 11. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada en Cedros Estudio del CICA (punto #2)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92		20,5	6,6	2,2	29,2	39	48	1,2	F	2
Abr	92		20,9	7,5	3,2	42,55	28	42,5	1,5	0,8	5
May	92	F	22,5	6,6	3,0	41,2	10	29	2,9	1,8	2
Jun	92		22,3	7,5	4,4	59,65	10	20	2,0	1,4	2
Jul	92	F	20,5	6,7	3,8	50,5	24	20,7	0,9	1,8	2
Ago	92		19	8	4,7	60,65	9,25	25	2,7	0,8	6
Set	92	23	22	7,1	8,3	113,2	10	14	1,4	ND	2
Oct	92		20,8	7,8	6,2	82,05	33,5	98	2,9	1,4	4
Feb	93		18,8	6,9	2,7	34,7	53	61,95	1,2	0,08	4
Abr	93	21,5	20	6,8	4,4	57,9	16,5	242	14,7	0,004	2
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 12. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada en la Finca de la U.C.R. Estudio del CICA (punto #2)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20	F	5,7	75	F	F		F	5
Abr	92	F	F	F	F	F	F	F		F	F
Oct	92	22,5	21	F	7,2	96,5	ND	70		0,93	4
Nov	92	22	21	7,4	7,8	104,6	4	4	1,0	2,1	2
Feb	93	21,85	18,5	7	5,6	71,9	6	21,8	3,6	0,74	4
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 13. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos en la sección de la quebrada antes de la confluencia con El Cas. Estudio del CICA (punto #6)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20,5	7,1	5,9	78,15	15	29	1,9	F	4
Abr	92	F	20,9	7,2	6,9	92,05	7,5	15	2,0	1,5	4
May	92	F	22,1	7,2	6,0	82,2	48	73	1,5	2,5	4
Jun	92	26,5	22,8	7,8	4,7	64,95	4	17	4,3	1,7	5
Jul	92	F	22,5	F	6,2	85,2	20	37,5	1,9	2,8	2
Ago	92	20	19,3	9,0	6,9	90,9	5,25	12	2,3	1,2	4
Set	92	22	22	6,9	9,0	122,8	3	115	38,3	ND	2
Oct	92	22,35	21	8,4	7,3	97,85	4,65	213,5	45,9	1,9	4
Nov	92	22,5	20	7,4	7,5	98,7	5,5	5,5	1,0	2,4	1
Feb	93	21,35	19,2	7,1	4,8	62,2	6,5	16,85	2,6	0,9	4,5
Abr	93	21,5	20,5	7,1	6,2	82,3	6,5	60	9,2	0,16	5
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 14. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada El Cas cerca de su nacimiento.
Estudio del CICA (punto #7)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20,3	6,5	1,2	15,6	F	F		F	2
Abr	92	F	21,4	6,4	1,4	18	32,5	57	1,8	1,6	4
May	92	F	20,9	6,6	2,2	30,1	30	57	1,9	1,3	2
Jun	92	24	21	7,5	3,7	57,5	8	20	2,5	0,9	2
Jul	92	F	21	6,7	1,0	13,4	20	20,2	1,0	2,3	6
Ago	92	20,5	19,8	7,5	2,2	28,4	15,5	28	1,8	1,2	2
Set	92	23	21,2	6,8	7,8	106,1	15	34	2,3	ND	2
Oct	92	22	21	7,6	5,0	65,8	7,75	95	12,3	2,2	2
Nov	92	21,5	21	7,0	2,2	28,9	17	23	1,4	1,7	2
Feb	93	19,5	21	6,6	0,7	8,4	47	49,1	1,0	0,18	1,5
Abr	93	F	F	F	F	F	F	F		F	F
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 15. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada El Cas antes de la conlfuencia con Los Negritos,
Estudio del CICA (punto #8)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20,5	6,4	5,9	77,7	70	105	1,5	F	4
Abr	92	F	20,8	6,7	5,4	72,1	17,5	40,5	2,3	1,8	5,5
May	92	F	22	6,7	4,8	65,5	10	22	2,2	2	4
Jun	92	23,5	22,8	7,4	4,3	67,25	15	26	1,7	2	3
Jul	92	F	22	F	6,0	81,9	24	43,7	1,8	2,8	2
Ago	92	20	19,5	8	6,0	78,2	11	19	1,7	F	2
Set	92	22	22	7,1	7,4	100,9	10	168	16,8	ND	2
Oct	92	22,5	21,5	7,8	6,2	83,2	4	84	21,0	1,3	2
Nov	92	22	21	7	5,6	75,1	5,5	5,5	1,0	2,4	4
Feb	93	22,65	19,5	6,9	3,1	40,5	7,5	19,35	2,6	0,35	6
Abr	93	21	20	F	4,2	55,3	3	383	127,7	0,05	6
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 16. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos luego de la confluencia. Estudio del CICA (punto #9)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20,5	7,4	5,3	70,4	57,5	30	0,5	F	5
Abr	92	F	20,1	6,8	6,3	83,0	10	20	2,0	1,3	4,5
May	92	F	22,4	7	5,4	74	25	52	2,1	1,3	7
Jun	92	F	24,4	7	4,6	65,2	F	F		F	5
Jul	92	F	22	7,1	6,0	81,9	16	30,2	1,9	2,3	6
Ago	92	20,5	19,8	8,5	6,7	87,1	3,25	14	4,3	1,5	7
Set	92	22	22	7	8,5	115,9	3	168	56,0	ND	2
Oct	92	21,5	21,3	8,1	6,8	90,9	5,4	74	13,7	1,8	2
Nov	92	23	20	7,3	7,0	92,1	7,5	7,5	1,0	2,4	2
Feb	93	19,75	19	6,9	4,1	52,2	9	27,85	3,1	0,8	6
Abr	93	22	20	7	5,7	75	4	10	2,5	0,1	4
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 17. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos en apertura de la alcantarilla que entra por los Bioterios. Estudio del CICA (punto #12)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	20,5	6,7	2,4	31,85	200	236	1,2	F	F
Abr	92	F	22,1	F	F	F	F	F		F	F
May	92	F	21,6	6,4	2,2	29,8	70	115	1,6	1,9	F
Jun	92	F	21,6	F	F	F	F	F		F	F
Jul	92	F	22	F	0,2	2,7	30	30,2	1,0	3,1	F
Ago	92	20	20,3	7,5	2,7	35,7	16,3	20	1,2	ND	F
Set	92	22	22	6,9	7,5	102,3	15	142	9,5	ND	F
Oct	92	22,5	21,5	7,1	5,5	74,4	11,4	208	18,3	1,7	F
Nov	92	22	21	6,8	3,2	42,9	23	23	1,0	4,0	F
Feb	93	21,75	20	5,9	1,7	21,7	20	42,4	2,1	0,05	F
Abr	93	F	F	F	F	F	F	F		F	F
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Tabla # 18. Valores de los parámetros medidos para la Quebrada Los Negritos luego apertura de la alcantarilla que entra por Bioterios. Estudio del CICA (punto #14)

Mes	Año	Temp. Aire (°C)	Temp H2O (°C)	pH	Oxígeno Disuelto	%OD	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO/DBO	Nitrato (NO3, mg/l)	BBI
Mar	92	F	21	7	4,0	53,3				F	3,5
Abr	92	F	12,1	F	F	F	F	F		F	3
May	92	F	21,6	6,9	4,0	54,1	67	100	1,49	2	3
Jun	92	F	22,2	7,2	4,8	65,7	F	F		F	3
Jul	92	F	22	F	6,0	81,9	26	37,5	1,44	2	2
Ago	92	20	19,6	8,3	4,1	53,7	11,5	24	2,09	1,2	3
Set	92	23,7	23	7	8,0	140,4	6	162	27,00	ND	2
Oct	92	22,65	21,3	8	6,7	90,2	2	111	55,50	2,1	1
Nov	92	22	20,5	7	5,8	77	2	2	1,00	2,2	1
Feb	93	21,75	19	6,9	3,4	43,25	7	16,7	2,39	0,8	5
Abr	93	21	20,5	6,9	4,0	53,1	18,5	193	10,43	0,03	3
Rango aceptable			18-30	6.5-8.5	3-5	75%	< 8	-	tabla #2	25-50	tabla #4

Existen, según varias fuentes, valores permisibles para los parámetros medidos, estos se presentan a continuación:

Tabla #19. Valores máximos permisibles de los parámetros ambientales

Parámetro	***Valor Recomendado***	***Valor Máximo Permisible***
Temperatura (ºC)✓	18 – 30	
pH✓	6.5 - 8.5	
Conductividad (mS/cm)✓	0.4	
Sólidos totales disueltos (SDT, mg/l)✓		1000
Oxígeno Disuelto (mg/l)*	3-5	
DQO (mg/l)		
$DBO_{5,20}$ (mg/l)		8
Fosforo (P_2O_5, mg/l)✧	0.4	5.0
Nitritos (NO_2, mg/l)✓		0.1 ♦
Nitratos (NO_3 , mg/l)✓	25	50
Dureza total ($CaCO_3$ mg/l)✓	400	
Nitrógeno amoniacal (mg/l)*		0.5

* T.H.Y. Tebbutt, "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua"
✓ Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Ministerio de Salud
✧Consejo de las Comunidades Europeas, Legislación Comunitaria vigente

♦ También puede elegirse como valor máximo permisible 3 mg/l, sin embargo habría que relacionar los nitritos y nitratos según la siguiente fórmula

$$\frac{NO_3}{VR\ NO_3} + \frac{NO_2}{VR\ NO_2} < 1$$

VR: Valor Recomendado

Estos parámetros aplican para aquellos casos en que existe un cauce natural y no de agua potable o agua residual.

Otros parámetros que son usados para determinar la calidad del agua son los siguientes:

Tabla #20. Valores típicos de OD en un efluente

Temperatura (°C)	0	10	20	30
OD (mg/l)	14.6	11.3	9.1	7.6

Fuente: T.H.Y. Tebbutt, "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua"

Tabla#21. Características típicas de diferentes fuentes de agua respecto a puntos contaminantes

Característica	Fuente	
	Cuenca en lo alto	Río en lo bajo
N amoniacal (mg/l)	0.05	0.5
OD (% saturación)	100	75
DBO (mg/l)	2	4

Fuente: T.H.Y. Tebbutt, "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua"

2. Análisis de Resultados

2.1 Análisis físico-químico de las aguas hecho en el Informe Final de "Diagnóstico físico-químico y biológico de la quebrada Los Negritos" realizado por M. Sc. Yamileth Astorga. Para el C.I.C.A:

La temperatura del agua nunca bajó de los 18.0 °C en todo el recorrido de la sub-cuenca (mínima en estación Finca en época seca, Febrero 93), y que la máxima alcanzada fue de 24.4 °C (en el punto Intersección, época lluviosa, Junio 92). La temperatura en la época seca resultó más baja que en el período de transición seca-lluviosa. Estos valores están dentro de los parámetros aceptables, por lo cual se puede decir que el agua no se encontraba contaminada por motivo de temperaturas elevadas provocadas por deposiciones en el cauce hechas por empresas o industria en general.

El rango de valores de pH está entre los 5.8, obtenido en el punto Bioteros en Febrero de 1993, y 9.0 obtenido en el punto Los Negritos - Puente en Agosto del 92. En general, existió una tendencia de aumentar el pH en época lluviosa. El agua natural de la quebrada Los Negritos es de por sí algo ácida, ya que desde su nacimiento la mayoría de los valores para el pH fueron menores a 7, con la excepción de la medición de Setiembre del 92 (7.4). Observando la totalidad de los datos, se puede apreciar que la mayoría cumplen con las especificaciones, con excepción del Nacimiento, donde se presentaron los valores más críticos. No parece haber un aumento en el punto Cas-Pituca, por lo cual se puede decir que las descargas que hace esta empresa no afectan notoriamente la concentración de pH, sin embargo el agua en este lugar tiende a ser mas bien ácida (valores menores a 7).

El comportamiento general del oxígeno disuelto que tiene una alta correlación con el porcentaje de oxígeno, por ser directamente proporcional uno al otro, es el de aumentar con la época lluviosa (ej. Agosto, Setiembre y Octubre 92), concentraciones menores de 3.0 mg/l no soportarán una comunidad saludable de organismos, tal es el caso de las estaciones Cedros (en dos mediciones), Cas-Pituca y Bioterios. Estos dos últimos puntos presentan gran cantidad de mediciones que no cumplen con las normas, esto indica que pueden existir grados de contaminación altos; lo cual era de esperar ya que en Cas-Pituca, la empresa de galletas deposita aguas sin tratar a la fuente, y en Bioterios, lo que existe es la apertura de una alcantarilla (agua contaminada).

Inverso al comportamiento del oxígeno, la DBO disminuyó para todos los casos en la época lluviosa y principalmente en la época de transición lluviosa-seca, con la única excepción del punto Cedros (histogramas). Esto es debido a la alta lluvia que, influye en la dilución de los contaminantes y en la turbulencia del agua misma, permitiendo de esta manera, que el oxígeno atmosférico entre al medio líquido y diluya la carga

orgánica. Este parámetro junto con el OD del agua nos da una idea clara de las condiciones del río y puede decirse que los puntos Cedros, pero principalmente Cas-Pituca y Bioteros son los que aportan mayor contaminación a la subcuenca. Si se observan las tablas #9 a #17, se puede apreciar como para estos puntos la mayoría de los datos no cumplen con las especificaciones, esto respalda las afirmaciones anteriores.

El ámbito de concentración de “aguas de ríos contaminados” clasificado de acuerdo a la DBO es de 8 a 45 mg/l, que corresponden los puntos Bioteros, Cas-Pituca y Cedros con concentraciones de DBO promedio por época del año superiores a 10 mg/l, lo mismo ocurre con los puntos Cas-Puente en todas las épocas excepto el período de transición lluviosa-seca. Los otros puntos presentaron calidad de aguas entre "contaminadas" y "aguas limpias" (ámbito de 1 a 5 mg/l), tales son los casos de Naciente y Finca, principalmente.

El DQO logra medir la cantidad de oxígeno requerido para oxidar no sólo la materia orgánica sino también la inorgánica. En este caso, los valores de DQO son mucho más altos al DBO y no siguen un patrón de comportamiento entre las diferentes estaciones. Bioteros y Cas-Pituca, son los que presentan valores mayores. Sin embargo, utilizando como índice la razón entre el DQO y el DBO se puede determinar si el agua del río resulta o no biodegradable.

En este caso se determina como muy biodegradable los valores entre 1-2, moderadamente biodegradable entre 3-4 y poco biodegradable aquellos valores mayores a 3. Este parámetro, en conjunto con los valores aislados de DBO y DQO, me permite tener una mejor idea del tipo de contaminación, si esta es orgánica o no.

Según las mediciones hechas, la mayoría reflejan una condición entre moderado y poco biodegradable, y son los puntos de Los Negritos-Puente (# 6) e Intersección (# 9) los que presentan mayor número de fechas con situación de poco biodegradable (cuatro fechas), en ambos casos los valores del DBO son aceptables, lo cual nos indica que la contaminación no es predominantemente orgánica. En otros dos puntos se presenta la misma situación solamente que en esta ocasión son tres la observaciones en que se determina poco biodegradable el agua, estos puntos son Cas-Puente (# 8) y Derecho (# 14). Un caso particularmente especial es el punto Bioterios (#11), ya que en este punto ni la razón DQO/DBO ni el valor de DBO cumplen con la norma, lo cual indica que en este punto es de alta contaminación tanto orgánica como no orgánica.
Ningún punto de medición dejó de presentar en alguna ocasión una condición de “poco biodegradable”, además tal situación parece concentrarse en las mediciones a partir de Agosto de 1992.

En un principio se consideró hacer el análisis de amonio en las aguas de interés. Sin embargo, aunque fue medido durante el estudio nunca resultó detectable. No se puede decir que no estaba presente en el agua pues hubo complicaciones en la aplicación de la técnica de análisis. El amonio, es la forma de nitrógeno más abundante en las aguas superficiales; concentraciones altas de éste implican contaminación por aguas cloacales.

Los nitratos son producto de la oxidación biológica de las proteínas, las aminas y el amonio. Aguas superficiales contienen, generalmente, concentraciones menores a 3 mg/l, lo que siempre se presentó en la aguas de la Quebrada. Sin embargo, durante el

año aparecen dos picos de mayor concentración, ambos en los períodos de transición. Unicamente el punto Bioteros llega a sobrepasar en un momento dado esa concentración.

La dureza total es altamente variable con respecto a las diferentes estaciones, sin embargo sus promedios son bastante similares y se encuentran dentro de los valores típicos para aguas superficiales no contaminadas que van de 25 a 500 mg $CaCO_3$/1, con la única excepción del punto Cas-Pituca en donde en Febrero de 1993 aumentó considerablemente (1464 mg/l).

En general, la época seca presenta valores de menor calidad del agua. Los valores para los diferentes parámetros físico-químicos reportados, en su mayoría no son valores críticos para el ambiente acuático. Sin embargo, las condiciones que presenta la Sub-cuenca tanto por pura observación como por los índices biológicos calculados, nos dan una visión más clara y más real de la situación. Según la clasificación por el IBB (Indice biológico), que se rige por la cantidad y variedad de organismos biológicos en un cuerpo de agua, el área de estudio se encuentra dentro de las clases III, IV y V (amarillo, naranja y rojo, respectivamente" que significa desde moderadamente contaminado (situación crítica), pasando por altamente contaminado y llegando a severamente contaminado, esto clasificado. En el Mapa 2, se muestra la clasificación de estos puntos según su condición.

Macro invertebrados como bio-indicadores

En el estudio desarrollado por el CICA (M.Sc. Yamileth Astorga, 1994), se consideraron además de los parámetros físicos y químicos para determinar la condición de contaminación del agua, parámetros biológicos, en los cuales se toma en cuenta la presencia de organismos vivientes, que son muestra de las condiciones del agua. Un resumen del análisis realizado se presenta a continuación:

Veintiocho taxas o familias fueron identificadas en la colecta de 9 puntos de muestreo de la Cuenca de la Quebrada Los Negritos

Los organismos de mayor abundancia en todos los puntos de muestreo durante todo el período de medición: quironómidos y tubifícidos son aquellos organismos típicos en condiciones de calidad crítica del agua por ser los más tolerantes. Los quironómidos se benefician de aquellos bentos de los ríos con alta materia orgánica (Coto, 1992;.Moss, 1980). Dentro del grupo de los quironómidos, los thummi-plumosus (que son los de mayor aparición) son aún más resistentes a bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

Los organismos más sensibles y por lo tanto que desaparecen más rápidamente de los ambientes acuáticos en condiciones alteradas son los Plecoptera, Trichoptera y Ephemeroptera (en orden decreciente en sensibilidad). En el área de estudio se reportaron Plecoptera y Ephemeroptera, sólo en el punto Intersección (#9), el cual resultó como el punto de más alta calidad del agua, no sólo referente al índice de diversidad y biológico sino a los valores químicos del agua.
El único organismo aparecido del grupo Plecoptera en el punto Intersección, apareció en época lluviosa.

Se pudo observar una recuperación de las aguas de la Quebrada El Cas, al comparar los organismos del punto Cas-Pituca con el punto Cas-Puente. Primero hay mayor

abundancia en Cas-Puente durante todo el año y mayor diversidad, 8 especies diferentes en Cas-Pituca contra 13 en Cas- Puente (incluyendo aquellos reportados por 1 sólo individuo). Igualmente se observa una recuperación en la Quebrada Los Negritos con los puntos Cedros y Puente, pasando de 11 a 13 especies diferentes en diversidad. En ambos puntos últimos se reportaron los moluscos en gran cantidad, como referentes a calidad intermedia de aguas. No se incluye el punto Finca (#3) en la comparación por lo poco frecuente del muestreo.

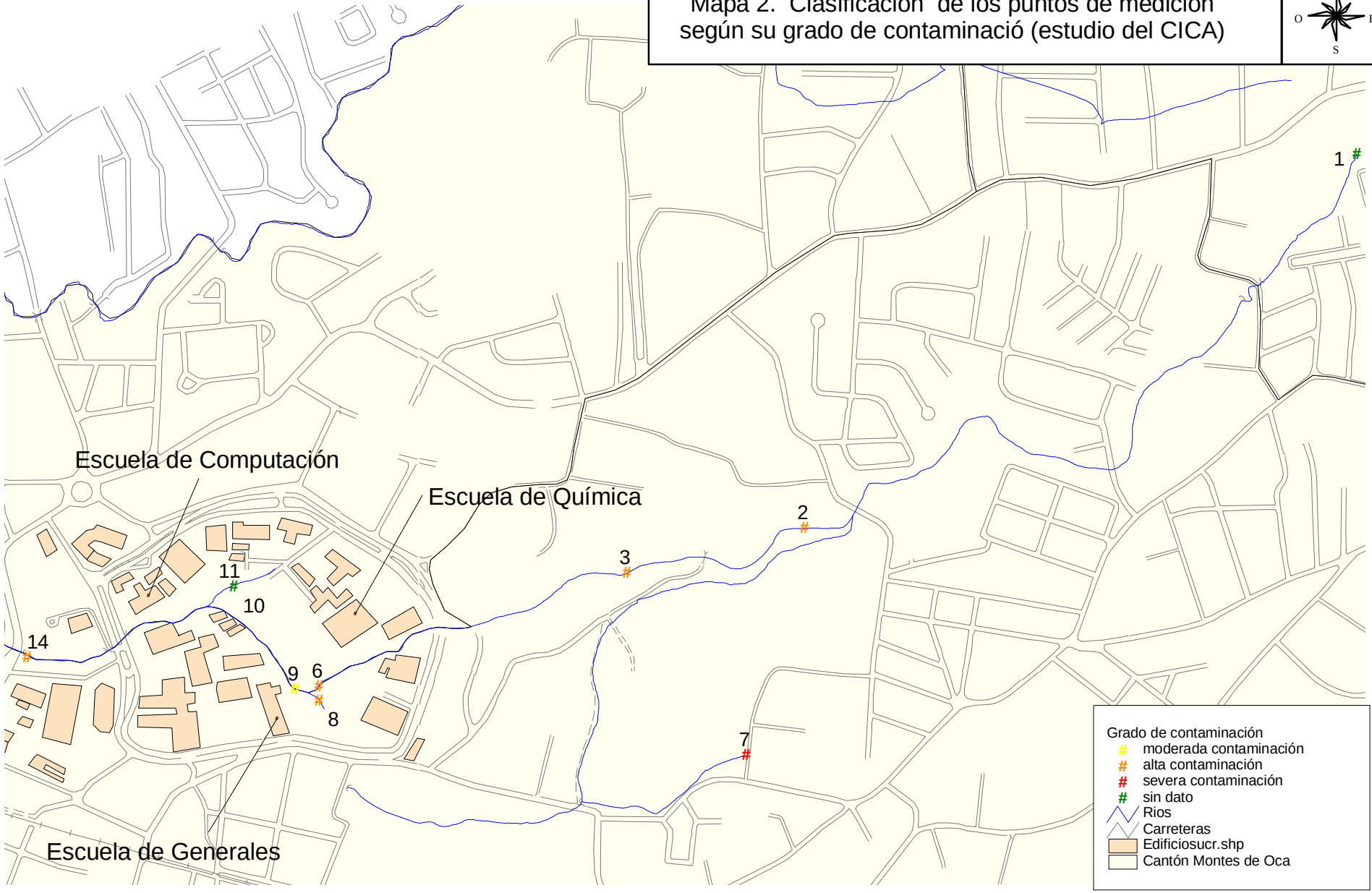
Al analizar ambas sub-cuencas, Cas y Negritos, con el punto siguiente, Intersección (#9), se observa aún mayor recuperación. El número de especies en diversidad aumenta a 15 y aparecen en cantidad moluscos y especies no reportadas para los otros puntos anteriores, como especies sensibles.

Al continuar aguas abajo con la trayectoria del río, observamos que el punto Derecho (#14) disminuye en calidad del agua, el número de especies vuelve a disminuir a 11 y la abundancia también disminuye. Esta situación se puede atribuir al efluente Quebrada Sin Nombre conocido como Bioterios, que entra por los Bioterios de la Universidad (#11), y que contiene aguas de muy baja calidad. Es notable inclusive la toxicidad reportada de estas aguas, de un 87% de toxicidad aguda para el camarón de agua dulce del Orden Anostraca.

Como resumen de lo reportado en dicho informe, se puede apuntar que en cuanto a los índices químicos, el agua presenta condiciones críticas en los puntos de medición Cas-Pituca (#7), y Bioterios (#11). Además en ningún punto todas las mediciones fueron satisfactorias, es decir que siempre hay indicadores que demuestran algún grado de contaminación de las aguas.

Según la clasificación hecha con base en al IBB, todos los puntos clasifican dentro de moderada y severa contaminación (esto no incluye el Nacimiento (#1) y Bioterios (#11)). Adicionalmente, mediante la determinación de los organismos presentes en el agua, se pudo determinar en forma cualitativa que las mejores condiciones del agua se presentan en la Intersección (mayor cantidad y variedad de microorganismos sensibles). La mayoría de organismos presentes en todos los puntos de medición son capaces de subsistir en condiciones de calidad crítica del agua, y propios de estas condiciones, lo cual muestra que en general las condiciones del agua no son buenas. En términos generales hay una recuperación del agua desde el punto Nacimiento (#1) hasta Cedros (#2), y de Cas-Pituca (#7) a Cas-Puente (#8); las condiciones óptimas se dan en Intersección (#9), y luego se deterioran hasta llegar a Derecho (#14), posiblemente por los aportes de Bioterios (#11). Es importante recalcar, que las observaciones que permiten hacer estas apreciaciones corresponden a los años 1992 y 1993, y que fueron realizadas por el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental de la Universidad de Costa Rica, para su programa “Recuperación Integral de la Quebrada Los Negritos”.

Mapa 2. Clasificación de los puntos de medición según su grado de contaminació (estudio del CICA)



Fuente: Reporte Final "Diagnóstico físico-químico y biológico de la quebrada Los Negritos", Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, 1994

100 0 100 200 Metros

Plan Regulador de Montes de Oca

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

2.2 Análisis realizado para datos del estudio del TCU "Parque Lineal Quebrada Los Negritos", Esc. de Ingeniería Civil (1999)

Análisis de los resultados de Temperatura:
Todos los datos de temperatura que se obtuvieron en las muestras tomadas están dentro de los rangos recomendados (18-30 °C), los valores en promedio oscilan entre los 19° y 21°, en este caso, parece ser que no existe contaminación por efecto de descargas de fluidos con temperaturas extremas hechas al río.

Valores obtenidos de pH:
Los valores que se obtuvieron de pH oscilan entre los 6.4 y 8.8. La mayoría de los datos se encuentran dentro del rango permitido por las normas del Ministerio de Salud (Reglamento para la calidad del Agua Potable), entre 6.5 a 8.5. Sin embargo, hay dos medidas extremas: 6.4, corresponde a un medio ácido, en el punto detrás de la Escuela de Computación (#12) (25 enero 99); y dentro de la Reserva (#10) el 11 de febrero, el medio resultó básico, con un pH de 8.8.
Por lo general, los valores del pH son mayores a 7, lo cual indica que el medio es básico.

Conductividad
Los valores de Conductividad que se obtuvieron se encuentran entre 0.15 y 0.48 mS/cm. La conductividad excede en muchas mediciones el valor recomendado (0.4 mS/cm) por el Ministerio de Salud en el Reglamento para la calidad del agua potable, lo que significa que los valores de sólidos disueltos deben estar altos.
Los valores más bajos para la conductividad se registraron en los meses de Febrero y Marzo, y los puntos que presentaron estos valores son detrás de la Escuela de Computación (#12) y detrás del Centro de Recreación (#13). Los puntos donde se registraron los peores valores, comparados con las normas establecidas para los mismos, fueron: detrás de la Escuela de Música (#4) y detrás de Química (#5), ya que tres de las cuatro fechas no cumplieron con el valor permitido.
La tercera fecha muestra una disminución mayor en la conductividad que las anteriores. Esto puede deberse a la ocurrencia de una pequeña tormenta en la zona de San Pedro y Sabanilla el día anterior a las mediciones. Esta tormenta generó la limpieza del cauce y por lo tanto una mayor capacidad de autodepuración, al menos dentro del Campus Universitario.

Oxígeno Disuelto
El valor de Oxígeno Disuelto obtenido para la quebrada fue muy bajo. Este valor en definitiva impide la adecuada supervivencia de organismos aeróbicos.
Según Tebbutt el límite para que no existan peces ordinarios es de 2 mg/l. Prácticamente todos lo valores menos los de tercera fecha están por debajo de este valor.
El valor de OD puede deberse a una alta carga orgánica que produce una elevada Demanda Bioquímica de Oxígeno y por lo tanto un bajo valor de oxígeno disuelto.
Otra posibilidad es que el agua posea sustancias tóxicas que eliminen todos los organismos que por medio de procesos fotosintéticos introduzcan oxígeno en el agua tales como algas, plantas acuáticas, etc.
Solo en la tercera fecha se observa una mejoría en los niveles de OD dado que datos fueron tomados luego de una pequeña tormenta del día anterior, que "limpió" la quebrada. Todos los datos fueron tomados en típicos días de verano, soleados.

Sólidos Disueltos Totales:
Las normas del Ministerio de Salud (Reglamento para la Calidad del Agua Potable), indican que el valor máximo admisible es de 1 g/l. En las muestras que se analizaron los resultados muestran que los valores oscilan entre 0.15 g/l a 0.74 g/l, lo cual esta dentro de los rangos permitidos. Los resultados de sólidos disueltos totales muestran, que los valores en general se mantienen poco variables luego del primer punto de medición (detrás de Música #4), en que hubo dos valores altos que no cumplen con las especificaciones, lo cual hace pensar que el agua entra al Campus con una gran cantidad de sólidos disueltos y las descargas que se realizan dentro de la zona de estudio no contienen igual cantidad.
Si se observan en conjunto los valores de sólidos disueltos y de conductividad, se muestra claramente la correlación de estas pruebas, es decir, los mayores valores de conductividad concuerdan con los mayores valores de sólidos disueltos.

DBO y DQO
Las pruebas de DBO no se pudieron llevar a cabo debido a repetidos fallos en el equipo del laboratorio.

Fósforo (P_2O_5)
Como se observa en los resultados, el fósforo presente es mayor al valor de fósforo máximo permisible, que según el Consejo de las Comunidades Europeas (en sus normas vigentes para agua potable destinada para el consumo humano) es de 5 mg/l, lo que significa que las muestras poseen un alto valor nutritivo para los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica.
El exceso de fósforo en el agua puede ser el resultado de contaminación con detergentes sintéticos. Esto puede deberse al aporte de las aguas domésticas de las cercanías. Esto puede ser respaldado por los resultados obtenidos, ya que se puede observar como los datos mayores se encuentran en las dos primeras mediciones, y van disminuyendo; es decir que las aguas que entran tienen altas concentraciones de fósforo, pero a medida que corren por el Campus Universitario las concentraciones bajan, producto de que no hay grandes deposiciones de aguas jabonosas en el cauce.

Nitritos
Según el Ministerio de Salud, en su Reglamento para la Calidad del Agua Potable, las concentraciones de nitritos deben ser menores a 0.1mg/l. En el caso de estas mediciones, el resultado es bastante bueno, ya que solamente para la medición del 17 de Febrero, no se cumple con la especificación; como dato curioso, ninguno de los cinco puntos cumplen en este caso para la fecha apuntada, siendo el punto detrás de la Escuela de Química (#5) el que tiene el valor máximo de 0.8 mg/l.

Nitratos
En el caso de los nitratos (NO_3), todos los valores se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, del Ministerio de Salud, debe estar entre 25 y 50 mg/l.

Nitrógeno amoniacal
En cuanto al nitrógeno amoniacal los valores resultaron mucho mayores que los recomendados (0.5 mg/l según el libro “Fundamentos de Control de la Calidad del Agua” de Tebbutt). Estos altos niveles indican que el agua es insegura pues se encuentra recientemente contaminada.

3. Análisis general

Según los parámetros medidos en los diferentes puntos de la Quebrada Los Negritos, y de la Asequia El Cas, tanto para el informe del CICA como para el del TCU, se puede determinar el estado de calidad del agua.

En cuanto a la temperatura del agua en la fuente, los valores obtenidos en las mediciones hechas son aceptables, se encuentran en el rango de 18-30 ºC. No parece haber ningún comportamiento especial, y a lo largo de los años no ha variado en forma apreciable la temperatura de la Quebrada.

El comportamiento del pH en las aguas por lo general cumple con los valores recomendados, 6.5-8.5, tanto en las mediciones de 1992 y 1993 como en las de 1999. Hay varios meses en los que la medición del pH no cumplió la especificación:
Varias mediciones de 1992 hechas en el Nacimiento (#1), dieron valores de medio ácido, menores a 6.5.
En agosto del 92, en el punto Los Negritos-Puente (#6), el pH fue de 9, resultando básico el medio.
En abril del 92 en el punto Cas-Pituca (#7) resultó ser 6.4 (medio ácido).
En el punto de medición de la apertura de alcantarilla que entra por los Bioteros (#11), donde para 1993 el valor promedio fue de 5.9.

Para el año 1999:
En la medición del 11 de febrero hecha en la Reserva de la U.C.R. (#10), donde el pH fue de 8.8, dando un medio básico.
En la medición del 25 de enero hecha detrás de la Escuela de Cómputo (#12), donde en esta ocasión dio un medio ácido.

Los valores apuntados anteriormente son puntuales, es decir de una fecha específica, no necesariamente muestran el comportamiento general del punto en cuestión para todo el período de observación.

Según Tebbutt, el límite de OD para que no existan peces ordinarios es de 2 mg/l, aunque en general se aceptan valores de entre 3 y 5 mg/l para sustentar una población equilibrada de flora y fauna. Según como se muestra en la tabla #19, para 20ºC de temperatura el valor típico es de 9.1 mg/l.

Los valores promedio por año obtenidos de las mediciones para todos los puntos, están por b general muy por debajo del valor a 20ºC, que es la temperatura media en la Quebrada. La tendencia para cada punto, del estudio del CICA, es a disminuir, es decir que el OD en el 93 es menor a la cantidad del 92, habiendo cambios bastante bruscos entre estos valores en algunos casos. Mayor aún es el cambio de este valor para los puntos medidos en 1999 donde tres de los cinco puntos ni siquiera cumplen con el mínimo de 2 mg/l mencionado por Tebbutt.

Los puntos que poseen los peores índices de OD son:
El punto Cas-Pituca (#7), el valor de OD para el 93 fue de 0.65
El punto de la alcantarilla de Bioteros (#11), el valor de OD para el 93 fue de 1.7
El punto detrás de la Esc. De Química (#5), el valor de OD para el 99 fue de 1.8
El punto detrás de la Esc. De Música (#4), el valor de OD para el 99 fue de 1.6

El punto dentro de la Reserva de la U.C.R. (#10), el valor de OD para el 99 fue de 1.3

Para el caso de los otros dos puntos de medición reportados en el trabajo del TCU, apenas se cumplen con el valor mínimo de OD (punto detrás de Esc. De Computación (#12) con 2.1, punto detrás del Comedor (#13) con 2.43).

En lo que respecta a la DBO, se cuenta con mediciones para los puntos de estudio del CICA (92-93); un valor teórico para este parámetro es de 2 mg/l en lo alto del río y de 4 mg/l en lo bajo, según Tebbutt en "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua". Según estas especificaciones, se puede determinar que ningún punto de medición cumplió. Los puntos en peor estado, DBO muy alto, son los de Cedros (#2), Cas-Pituca (#7) y Bioteros (#11). Por lo general en todos los puntos, incluso en el Nacimiento (#1), hubo mediciones altas del DBO.
Las cantidades medidas de DBO son variables, parece ser que en los meses de Setiembre y Octubre es cuando se registran bs valores más bajos, y en Febrero y Marzo se presentan los valores más altos, época de transición verano-invierno.

Según el estudio realizado por el CICA se desprende que en ninguno de los puntos de medición existe una buena calidad del agua, y más bien la contaminación va desde mediana hasta severa (esto según se puede determinar con el Indice Biológico).

Del informe del TCU, se concluye que el agua de la quebrada no presenta buenos índices químicos, lo cual es indicador de grados de contaminación considerables. Estas condiciones se pueden observar a simple vista: en las márgenes de la quebrada dentro del Campus Universitario, se encuentra gran cantidad de basura de todo tipo; el agua luce muy turbia, y además el mal olor se percibe en varios tramos (como por ejemplo detrás de la escuela de Computación).

De la comparación de aquellos parámetros que se midieron en ambos estudios, se desprende que el estado de la quebrada ha variado en este tiempo; en 1999, estos indicadores demostraron un deterioro en las condiciones, es decir que el agua está más contaminada ahora que hace 8 años. Desgraciadamente esta es la misma situación que se presenta en la mayoría de los ríos de todo el país, debido a que los esfuerzos para la conservación y recuperación de las aguas no han dado frutos.

Debe suponerse, que la contaminación de las aguas dentro del cantón de Montes de Oca, se debe exclusivamente a que la mancha urbana ha crecido, y con esto se produce mayor cantidad de aguas residuales y jabonosas, ya que desde 1972 se estableció que no es permitida la construcción de industrias en la zona y las existentes tuvieron que instalar plantas de tratamiento para sus aguas, según lo estableció el Ministerio de Salud. Pese a lo anterior, existen registros de permisos concedidos posteriormente. Las aguas cloacales no reciben ningún tipo de tratamiento, y los procesos de autodepuración no son suficientes para recuperar las condiciones del agua, de esta manera aumenta la contaminación de los cuerpos de agua, en perjuicio de la salud pública y de la ecología.

El caso de la quebrada de Los Negritos, la cual es relativamente pequeña, es un ejemplo de lo que puede estar ocurriendo en otras quebradas y ríos importantes en la GAM, y en general en toda zona poblada; es necesario hacer conciencia de la necesidad de recuperar estas aguas, y para ello es preciso que tomemos conciencia del grado de contaminación actual de nuestros ríos y conozcamos los procesos por los

cuales estos se rigen, a fin de evitar aquellas prácticas nocivas para los mismos, y lograr su conservación.

Histograma para cada variable físico-química e índices biológicos en los puntos de muestreo de la Quebrada Los Negritos y sus afluentes, en las diferentes épocas del período de estudio

1: Epoca seca
2: Epoca seca-lluviosa
3: Epoca lluviosa
4: Epoca lluviosa-seca

ESTA	TEMP	pH	OD	DBO	DQO
BIO1	20.6	6.3	2.1	71.0	100.5
BIO2	21.6	6.5	2.8	70.0	115.0
BIO3	21.3	7.2	4.0	16.7	99.7
BIO4	21.0	6.8	3.2	23.0	23.0
CPI1	20.6	6.5	1.1	39.8	53.0
CPI2	21.6	7.2	3.2	19.0	38.5
CPI3	21.3	7.3	3.9	13.6	45.4
CPI4		7	2.20	17	23
CPU1	17.6	6.6	4.7	20.5	101.3
CPU2	22.5	7.2	4.5	12.5	24.0
CPU3	21.0	7.7	6.3	10.0	66.5
CPU4	21.0	7.0	5.6	5.5	5.5
CED1	20.0	7.0	3.1	36.3	83.2
CED2	22.4	7.2	3.9	10.0	24.5
CED3	20.3	7.6	5.6	14.3	42.6
CED4	20.0	6.9	5.0	16.0	69.5
DER1	20.5	6.9	4.0	10.5	53.7
DER2	21.9	7.1	4.4	67.0	100.0
DER3	21.1	7.9	5.9	9.8	74.3
DER4	20.5	7.0	5.8	2.0	2.0
FIN1	19.0	7.0	5.6	6.0	21.8
FIN2					
FIN3	21.0		7.20	0	70
FIN4	21.0	7.4	7.8	4.0	4.0
INT1	19.9	7.0	5.3	22.4	22.6
INT2	23.4	7.0	5.0	25.0	52.0
INT3	21.0	7.9	6.9	6.1	60.0
INT4	20.0	7.3	7.0	7.5	7.5
LPP1	20.2	7.1	5.9	8.3	25.5
LPP2	22.5	7.6	5.1	26.0	45.0
LPP3	20.8	8.3	7.3	7.1	116.3
LPP4	20.0	7.4	7.5	5.5	5.5
NAC1	20.9	6.2	5.7	9.3	52.2
NAC2	21.0	5.9	5.3	0.0	0.0
NAC3	20.6	6.5	6.3	2.7	31.8
NAC4	21.0	6.1	5.5	5.2	6.0
MAX	23.40	8.34	7.80	71.00	116.30
MIN	17.64	5.90	1.10	0.00	0.00
PEND	2.43	5.74	2.09	0.20	0.12

ESTA	PO4	NO3	ALCA	DTOT	POB
BIO1	0.89	0.70	300.3	100.7	28.20
BIO2	1.50	1.90	191.0	79.0	38
BIO3	0.22	1.09	190.2	97.0	54.20
BIO4	0.61	2.97	171.0	109.0	42.90
CPI1	1.00	0.90	233.5	478.0	13.70
CPI2	1.00	1.10	172.0	113.0	48.30
CPI3	0.10	1.30	190.0	100.8	51.30
CPI4	0.60	1.70	189	118	28.90
CPU1	0.60	0.51	240.8	118.2	62.30
CPU2	1.10	2.00	182.0	122.0	66.70
CPU3	0.15	0.89	167.4	109.9	84.20
CPU4	0.00	2.40	191.0	124.0	75.10
CED1	0.93	0.18	220.6	182.6	40.30
CED2	1.50	1.59	194.0	135.0	53.50
CED3	0.08	0.89	215.2	119.7	74.90
CED4	0.54	1.60	184.0	123.0	65.80
DER1	0.42	0.65	271.3	108.5	53.10
DER2	1.20	2.00	172.0	95.0	59.90
DER3	0.20	1.24	192.8	118.8	85
DER4	0.12	2.19	193.0	120.0	77
FIN1	0.15	0.74	207.0	122.5	72.90
FIN2					
FIN3	0.19	0.93	184	121	96.50
FIN4	0.17	2.12	188.0	124.0	104.60
INT1	0.74	0.85	213.2	125.2	69.40
INT2	1.80	1.30	231.0	183.0	69.60
INT3	0.10	1.24	189.1	112.8	92.30
INT4	0.25	2.40	194.0	124.0	92.10
LPP1	0.79	0.98	238.6	138.4	78.20
LPP2	1.50	2.10	212.0	169.0	70.70
LPP3	1.26	1.29	191.0	114.2	97.10
LPP4	0.00	2.40	191.0	124.0	13.70
NAC1	0.70	0.96	174.2	109.4	76.70
NAC2	0.80	2.50	147.0	96.0	71
NAC3	0.00	0.96	164.0	114.0	82.30
NAC4	0.05	2.19	145.0	130.0	73.70
	1.80	2.97	300.33	478.00	104.60
	0.00	0.18	145.00	79.00	13.70
	7.78	5.01	0.09	0.04	0.15

MAD

ESTA	BBI	DI
BIO1		
BIO2		
BIO3		
BIO4		
CPI1	2.60	0.56
CPI2	2	0.45
CPI3	2.80	0.34
CPI4	2	0.60
CPU1	5.20	0.97
CPU2	3.50	0.70
CPU3	2	0.30
CPU4	4	0.50
CED1	3.70	0.42
CED2	2	0.80
CED3	3.60	0.60
CED4	4	0.80
DER1	3.70	0.60
DER2	3	1
DER3	1.80	0.40
DER4	1	0
FIN1	4.30	0.76
FIN2		
FIN3	4	0.50
FIN4	2	0.60
INT1	5	1
INT2	6	1.20
INT3	3.80	0.70
INT4	2	0.30
LPP1	3.90	0.56
LPP2	4.50	0.90
LPP3	3.20	0.56
LPP4	1	0
NAC1		
NAC2		
NAC3		
NAC4		
MAX	6.00	1.20
MIN	1.00	0.00
PEND	2.80	11.67

4. BIBLIOGRAFIA

1. Agüero, Jonathan. **Informe de T.C.U.: Parque Lineal Quebrada Los Negritos** Escuela de Ingeniería Civil, U.C.R. II Semestre, 1999.

2. Astorga E., Yamilet. **Reporte final: Diagnóstico físico y biológico de la Quebrada Los Negritos.** Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), U.C.R., Abril 1994

3. Zamora, L. Y Pujol, R. **Contaminación en los ríos de la Cuenca del Río Grande** ProDUS, U.C.R., 1997.