

Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Planificación Ambiental

Universidad de Alcalá de Henares
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua en León

León, Nicaragua. Febrero de 1997 a Marzo de 2001

EL AGUA COMO UN INDICADOR DE TRANSFORMACION URBANA Y DE GESTION AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE LEON

Miguel Torres Jerez
Tutor: Dr. Antonio Gómez Sal

Junio de 2001

INDICE

***CAPITULO 1.* PRESENTACION Y OBJETIVOS DEL TRABAJO**

- 1.1 INTRODUCCION**
- 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

***CAPITULO 2.* MEDIO FISICO**

- 2.1 GEOGRAFIA**
- 2.2 CLIMATOLOGIA**
- 2.3 GEOLOGIA**
- 2.4 HIDROLOGIA**
- 2.5 HIDROGEOLOGIA**
- 2.6 HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS**

***CAPITULO 3.* CONTEXTO HISTORICO Y SOCIOECONOMICO**

- 3.1 INTRODUCCIÓN. LA CIUDAD COLONIAL ESPAÑOLA**
- 3.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CRECIMIENTO FÍSICO DE LA CIUDAD DE LEÓN**
 - 3.2.1 Siglo XVII
 - 3.2.2 Siglo XVIII
 - 3.2.3 Siglo XIX
 - 3.2.4 Siglo XX
- 3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y HABITACIONALES DE LA CIUDAD DE LEÓN EN LA ACTUALIDAD**
- 3.4 PROCESOS DEMOGRAFICOS**
 - 3.4.1 Introducción. Una perspectiva regional
 - 3.4.2 Tendencias históricas de crecimiento y migración en Nicaragua
 - 3.4.3 El fenómeno de la urbanización en la Ciudad de León
- 3.5 CONTEXTO SOCIOECONOMICO**
 - 3.5.1 Introducción. El marco de la pobreza en Nicaragua
 - 3.5.2 Pobreza, población y medio ambiente en Nicaragua
 - 3.5.3 El marco socioeconómico de la ciudad de León
- 3.6 MUNICIPALIDAD Y GESTION AMBIENTAL**
 - 3.6.1 Gobierno municipal. Características y limitantes en la gestión del medio ambiente
 - 3.6.2 Inversiones en medio ambiente. Período 1996 - 2001

***CAPITULO 4.* LA GESTION ACTUAL DEL AGUA Y LOS RESIDUOS EN LA CIUDAD DE LEON**

- 4.1 AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**
 - 4.1.1 El sistema de alcantarillado sanitario
 - 4.1.2 Los sistemas de depuración
 - 4.1.3 Estimación del impacto del agua residual doméstica sobre el Río Chiquito
- 4.2 RESIDUOS INDUSTRIALES**
 - 4.2.1 Caracterización de la industria en León
 - 4.2.2 El impacto de la industria del curtido sobre el río Chiquito
- 4.3 DESECHOS SOLIDOS DOMESTICOS**

- 4.3.1 Caracterización de la composición de la basura
- 4.3.2 Recolección, transporte y disposición de desechos sólidos
- 4.3.3 El impacto de la basura sobre el Río Chiquito

CAPITULO 5. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA COMO INDICADOR AMBIENTAL

5.1 ESTRATEGIA DE MUESTREO Y METODOS

- 5.1.1 Selección y distribución de las estaciones de muestreo sobre el Río Chiquito
- 5.1.2 Selección y distribución de las estaciones de muestreo en otros ríos de la cuenca
- 5.1.3 Distribución espacial de pozos urbanos
- 5.1.4 Distribución temporal y periodicidad del muestreo en los ríos de la cuenca
- 5.1.5 Distribución temporal y periodicidad del muestreo para el agua subterránea
- 5.1.6 Selección de parámetros analíticos indicadores
- 5.1.7 Metodología para la recogida de agua de los ríos y la medición de caudales
- 5.1.8 Metodología para la recogida de agua subterránea
- 5.1.9 Representación cartográfica de los resultados del agua subterránea

5.2 PRESENTACION DE RESULTADOS

- 5.2.1 Resultados físico químicos del Río Chiquito
- 5.2.2 Resultados físico químicos de otros ríos de la cuenca
- 5.2.3 Caudales de la cuenca
- 5.2.4 Resultados físico químicos y microbiológicos del agua subterránea

CAPITULO 6. LA CALIDAD DEL AGUA COMO INDICADOR AMBIENTAL. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO CHIQUITO

- 6.1.1 Producción y comportamiento de los contaminantes
- 6.1.2 Capacidad autodepurativa del Río Chiquito

6.2 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

- 6.2.1 Origen y transformación de los contaminantes en el medio subterráneo
- 6.2.2 Correlación entre parámetros
- 6.2.3 Representación cartográfica de la distribución de indicadores analíticos
- 6.2.4 Carácter del acuífero con respecto al Río Chiquito
- 6.2.5 Variación de la calidad del agua subterránea en dependencia del régimen de lluvias
- 6.2.6 Agua subterránea y salud pública

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1.1 INTRODUCCION

Aunque las pequeñas aldeas siguen siendo los asentamientos humanos más comunes, el movimiento de personas de las zonas rurales a las urbanas y el crecimiento demográfico natural propio de las ciudades, está conduciendo a un desarrollo excesivo de las mismas en los países de ingresos relativamente bajos. En estos, la población urbana crece a un ritmo anual del 3.5%, en comparación a las regiones más desarrolladas donde su crecimiento es tan solo del 1% [36]. Las ciudades generan y acumulan riqueza, y son centros que ofrecen oportunidades de educación, nuevos empleos, innovación, cultura y mayor desarrollo económico, pero son enormes consumidores de recursos naturales y generadores de residuos. Las ciudades modifican el uso de la tierra; requieren inmensas cantidades de agua, energía, productos alimentarios y materias primas; y generan un elevado nivel de contaminación. Dentro del mundo en vías de desarrollo, América Latina y el Caribe es la región más urbanizada, con un 70% de su población concentrada en ciudades [36].

El Informe GEO 2000 (PNUMA, 2000) [35] señala dos principales problemas ambientales en América Latina y el Caribe. Uno de ellos se relaciona a la destrucción y agotamiento de los recursos forestales, con la consecuente amenaza para la diversidad biológica. El segundo se refiere al problema del medio ambiente urbano que, según el World Resources Institute [36], tiene una doble vertiente: la asociada a la pobreza y la relacionada con el crecimiento económico o con la riqueza. Ambas coexisten habitualmente en la misma ciudad.

Aunque la urbanización en si no tiene necesariamente repercusiones socioeconómicas o ambientales negativas, el crecimiento urbano acelerado y sin planificación ha conducido en Nicaragua a la proliferación de barrios pobres en las ciudades y ha contribuido a la contaminación por la incapacidad de las municipalidades para enfrentar la gestión de los residuos. Los problemas ambientales urbanos que más afectan la calidad de vida son: el hacinamiento, la falta de servicios sociales básicos y vivienda, la acumulación de basura, el insuficiente abastecimiento de agua potable, los conflictos por el uso del suelo y la insalubridad. A pesar de lo anterior, no existe un diagnóstico detallado a nivel nacional de la situación del medio ambiente en los centros urbanos del país, y por lo tanto se carece de instrumentos adecuados de planificación ambiental a nivel urbano que orienten el quehacer del Estado y las municipalidades para enfrentar este grave problema.

Es evidente que entre mayor sea la concentración de la población, mayores serán los problemas derivados de las actividades que en ellas se realicen, como consecuencia de la mayor artificialización del medio por la intervención humana, por la falta de planes reguladores urbanos y de una ley urbanística que reglamente el desarrollo de las ciudades. En el caso de Nicaragua, los problemas ambientales urbanos tienen su mayor expresión en las ciudades más grandes como León, Granada, Masaya, Matagalpa y Managua, principalmente en esta última.

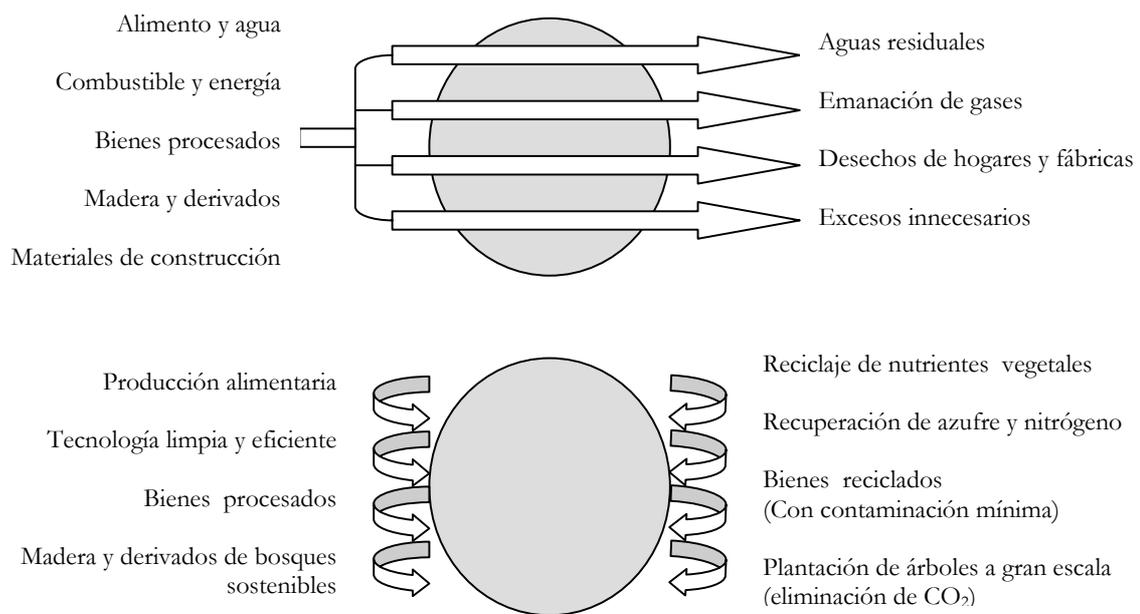
El caso de Managua ilustra en todo su dramatismo el problema ecológico urbano moderno en un país pobre como Nicaragua, y sirve de referencia para comprender el proceso de degradación ambiental progresiva a que han estado sometidas las ciudades principales del país como producto de un modelo socioeconómico altamente centralista, promotor de la concentración espacial y social, y derrochador de recursos naturales. A pesar de ello, Managua es una ciudad altamente deficitaria en recursos alimenticios, combustibles y demás insumos que requiere una ciudad de más de 1 millón de habitantes con un ritmo de crecimiento alto.

El desarrollo del análisis del medio ambiente urbano trajo un importante paso de avance en el concepto de *metabolismo urbano*, entendido como el "intercambio de materia, energía e información que se establece entre el asentamiento urbano y su contexto geográfico" [23], ya que nos permite determinar con precisión las exigencias regulares de alimento, agua, materias primas, gente y combustible, y el posible impacto de su empleo en la biosfera.

Según su forma de relacionarse con la naturaleza las ciudades se podrían clasificar en ciudades de metabolismo lineal y ciudades de metabolismo circular [40]: Una ciudad de metabolismo lineal toma lo que necesita de una zona extensa sin pensar en las consecuencias, deshaciéndose de los restos y sin establecer una correlación entre lo que entra y lo que sale. Por su parte, en las ciudades de metabolismo circular, todo lo que sale se puede reutilizar en el sistema de producción, afectando a un entorno mucho menor. Los sistemas circulares para el agua, basura, energía y alimento, tendrían implicaciones significativas para el desarrollo sustentable del mundo (ver figura 1).

Figura 1. Modelos de metabolismo lineal y circular de las ciudades

Fuente: GIRARDET, H. (1992), en PNUD (1997) [40]



1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

A lo largo de la segunda parte de la década de los noventa, la ciudad de León ha sido testigo de un gran esfuerzo inversionista por mejorar la gestión de los residuos, recuperar áreas urbanas altamente degradadas y evitar nuevas situaciones de deterioro extremo sobre los recursos, tal y como sucedió con el Río Chiquito. La gran mayoría de estas actuaciones que siguen en curso hoy en día incidirán positivamente sobre los sistemas naturales y repercutirán especialmente sobre la calidad del agua natural, ya sea subterránea, por reducción de la contaminación del suelo, o fluvial, por el cese de los vertidos de aguas residuales a los cauces.

Estos esfuerzos inversionistas, constituyen una respuesta de los sistemas sociales a la degradación de los naturales y por lo tanto poseen el carácter *de indicador de respuesta* dentro de la búsqueda de la medición del grado de sustentabilidad de las acciones humanas. Sin embargo, las complicaciones inherentes a este esfuerzo de control, obligan a completar el análisis de situación con otros indicadores de presión, estado y respuesta¹ que puedan correlacionarse entre si y propiciar una visión más certera de la realidad.

TABLA 1: Resumen de avance en la ejecución de proyectos relacionados con la gestión de las aguas residuales en la Ciudad de León en el período 1997 - 2001

Proyecto	Estado enero 1998	Estado enero 2000	Estado Enero 2002
* Reubicación de teneros artesanales y sistema de reciclaje de cromo.	En ejecución	Semi-Concluido	¿Concluido?
* Sistema de reciclaje de cromo en la Tenería Bataan.	En ejecución	Concluido	-
* Descontaminación gradual de las tenerías de tipo medio	En formulación	En espera	-
* Reconversión tecnológica del matadero municipal. Instalación de sistema anaeróbico de depuración de aguas.	En formulación	En ejecución	Concluido
* Mejora de la eficiencia de depuración de la pila de oxidación de El Cocal mediante un sistema de macrofitas.	En ejecución	Concluido	-
* Ampliación de la Laguna de Oxidación de Sutiava	En formulación	En ejecución	¿Concluido?
* Instalación del sistema de alcantarillado en el sector Río Chiquito	En formulación	En ejecución	En ejecución
* Instalación del sistema de alcantarillado en la zona norte y canalización hacia la pila de oxidación de Sutiava	-	En ejecución	¿Concluido?
* Ampliación de la cobertura del sistema de alcantarillado a lo largo de la ciudad y canalización hacia las pilas de oxidación	En ejecución	En ejecución	En ejecución
* Control de lixiviados del basurero municipal	-	En ejecución	¿Concluido?

FUENTE: Elaboración propia

El presente estudio pretende establecer los parámetros básicos para la medición de la eficiencia de la gestión ambiental en la ciudad de León por medio del establecimiento de un sistema de indicadores entorno al recurso agua. En los capítulos 2 y 3 se hace una descripción del contexto físico, histórico y socioeconómico que caracteriza el lugar de estudio, el cual sirve para revelar alguno de los condicionantes que caracterizan el "*metabolismo urbano*" de León. En el apéndice 3.1.6 se analiza el conjunto de inversiones realizadas en materia de medio ambiente en León desde 1996 a la fecha, lo que como ya se ha mencionado constituye un indicador de respuesta social.

En el capítulo 4 se hace un análisis del estado actual de la gestión de los residuos en la ciudad, detallándose las presiones que recibe el medio natural a través de la generación de desechos sólidos y líquidos por parte de la ciudadanía y la industria. Este análisis permite también determinar cuales son algunas de las salidas o *outputs* que la ciudad genera en el contexto de su metabolismo lineal.

Los capítulos 5 y 6 investigan el estado del recurso agua en León a lo largo del tiempo, utilizando parámetros de calidad de las aguas fluviales y subterráneas. Su conocimiento permite, por un lado, llenar un vacío existente en la bibliografía, relacionado con la interrelación entre los procesos de urbanización y contaminación que se dan en la actualidad en León. Por otro lado, permite establecer referencias fundamentales para la evaluación de la respuesta que el medio natural va a ofrecer a las diferentes iniciativas de gestión ambiental que se lleven a cabo a lo largo del futuro.

¹ Se define como *indicador de presión* aquel que expresa las acciones derivadas de la actividad humana que representan presiones sobre el medio. Esas presiones dan lugar a que se modifiquen ciertos parámetros que sirven para describir el *estado* del medio ambiente. Finalmente, la modificación de esos parámetros de estado pueden dar lugar a unas *respuestas* de los sistemas naturales a través de procesos de retroalimentación y de los sistemas sociales [48].



2.1 GEOGRAFÍA

Nicaragua se encuentra en el istmo centroamericano que une los dos grandes continentes de América y divide los dos Océanos, el Pacífico al Oeste y el Atlántico al Este. Su superficie terrestre es de unos 130.000 km², y se encuentra dividida desde el punto de vista geográfico, en cinco provincias geomorfológicas principales:

1. Planicie Costera del Pacífico
2. Cordillera Volcánica del Pacífico
3. Depresión Nicaragüense
4. Tierras Altas del Interior (Región Montañosa del Interior o provincia Central de las Cordilleras), con 42.400 km².
5. Planicie o Llanura Costera del Atlántico (Provincia Costera del Caribe), con una superficie aproximada de 46.600 km².

Las tres primeras comprenden la **Región del Pacífico**, con una superficie de 38.700 km², equivalente al 30% de la superficie total del país [11]. Entre las tres provincias geomorfológicas señaladas, cabe destacar por su relación directa con la zona del estudio únicamente las dos primeras:

La **llanura costera del Pacífico** es una franja estrecha delimitada a lo largo de la costa del Pacífico, que se extiende en dirección NO-SE desde la Península de Cosigüina, en el Noroeste, hasta el Istmo de Rivas en el Sur, que separa el Lago Cocibolca del Océano Pacífico. En general, presenta planicies con colinas aisladas en la parte Norte y serranías al Sur, tiene de 10 a 35 km. de ancho, con elevaciones topográficas entre 0 a 200 m en el Norte y 0 a 500 m en el Sur. Dentro de esta unidad pueden reconocerse las siguientes subprovincias: Colinas Buena Vista, Mesas del Tamarindo, Serranías del Pacífico, Serranías de Brito y Estribaciones de Orosí.

La **cordillera volcánica del Pacífico** es el rasgo geomorfológico más importante del occidente de Nicaragua. Está constituida por una cadena de volcanes del cuaternario al reciente, de orientación NO-SE, con 300 km. de longitud. Se extiende desde el volcán Cosigüina al Norte, hasta el volcán Maderas en la isla de Ometepe del lago de Nicaragua.

Los volcanes están formados generalmente por conos compuestos, pero aisladamente, se observan conos de escoria, cráteres de colapso y calderas. La parte de la cadena comprendida entre el volcán San Cristóbal y el Momotombo se denomina *Cordillera de Los Maribios*, con una elevación máxima (Volcán San Cristóbal) de 1.745 m.

El resto, entre la Escarpa de Mateare, al Sur del Lago Xolotlán, y el volcán Maderas, se llama *Cordillera del Pacífico* (también llamada Las Sierras de Managua o Cuestas de Diriamba) y la mayor elevación se ubica en la Meseta de Carazo, al Sur de Managua, con 934 m.

Actualmente los volcanes San Cristóbal (1.745 m), Telica (1.060 m), Cerro Negro (675 m), El Hoyo (1.050 m), Momotombo (1.280 m), Masaya (635 m), Santiago y Concepción (1.616 m), presentan actividad fumarólica, registrando ocasionalmente erupciones de ceniza, lava, pómez y bombas piroclásticas.

La ciudad de León, con una altura de unos 100 m.s.n.m., se encuentra enclavada en la Planicie Costera del Pacífico, a una distancia de 15 km del Océano. Bordeada al Norte y Este por la Cordillera de los Maribios y al Sur por una formación de cerros con una altura máxima de 300 m, pertenecientes a la formación geológica Mesas del Tamarindo.

En el Mapa 1, que representa la región occidental de Nicaragua, se observa la localización de la cordillera volcánica y la franja costera del Pacífico, desde la Península de Cosigüina hasta el Istmo de Rivas, pudiendo apreciar también la depresión nicaragüense y las cordilleras centrales.

2.2 CLIMATOLOGÍA

La información climatológica de León proviene de la estación meteorológica del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) situada en su extremo sudoeste, Aeropuerto Fanor Urroz (altitud 60 m, latitud 12°25'N, longitud 86°54'W). La estación posee datos para un periodo de registro de 26 años atrás.

En su conjunto, el territorio del Municipio de León se puede clasificar climáticamente como de *Sabana Tropical* atendiendo a la clasificación de Kopen.

Las temperaturas medias anuales, son elevadas casi todo el año, sin presentar variaciones significativas entre los meses más cálidos (marzo – mayo) y los más fríos (diciembre – febrero). Las temperaturas máximas oscilan entre los 31° y 38°C, y las mínimas entre los 18° y 23°C. En su conjunto, el departamento de León se encuentra en la isoterma de temperaturas medias anuales de 27°C [18].

Desde el punto de vista pluviométrico, Nicaragua se encuentra dividida en dos zonas principales, siendo la isoyeta de 2000mm la línea de transición. En la zona climática del Pacífico, al Oeste de la isoyeta de 2000mm, el régimen pluviométrico es marcadamente estacional, de forma que las precipitaciones se producen de mayo a octubre (época lluviosa o "invierno") alcanzando el 95% de la precipitación anual, mientras que éstas son mínimas entre noviembre y abril (época seca o "verano"). Entre julio y agosto se produce una disminución de las precipitaciones que se conoce con el nombre de "canícula" y que es muy característico de esta zona climática [11]. La precipitación media anual para el periodo 1975-98 en la estación de León ha sido de 1.525 mm.

Ocasionalmente, las precipitaciones son de tipo ciclónico, superando ampliamente los máximos acumulados en los meses más lluviosos. La temporada ciclónica en la porción occidental del Mar Caribe (incluye Atlántico nicaragüense) se inicia en el mes de junio y se extiende hasta al mes de noviembre. Sin embargo, esto no significa que en los meses del mayo e incluso diciembre no puedan originarse ciclones tropicales. No obstante, la mayor frecuencia de estos fenómenos se presenta entre los meses de septiembre y octubre.

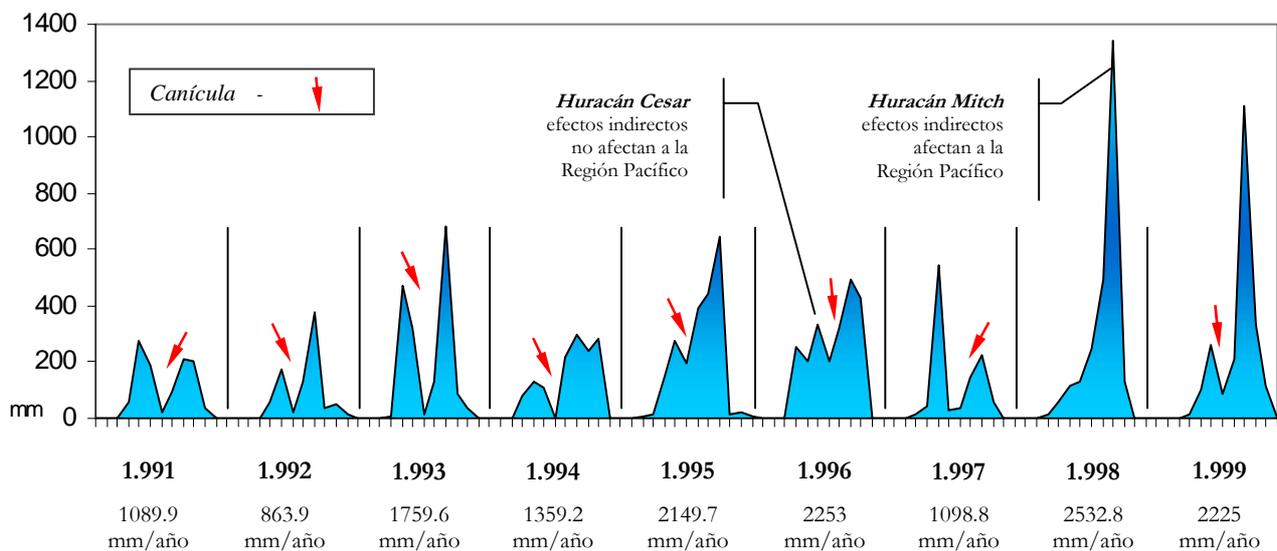
Según los registros históricos, Nicaragua ha sido afectada de 1892 a 1998 por 41 ciclones tropicales, de los cuales el 45% han llegado a la categoría de huracán, el 50% a tormenta tropical y sólo un 5% como depresión tropical. Las estadísticas demuestran que el mes de septiembre presenta la frecuencia más alta para estos episodios, con hasta un 30%, seguido de octubre con 25%, junio con 12,5%, julio y noviembre con 10%, mayo 7,5% y agosto con 5% [18].

La Región del Pacífico, presenta menos probabilidades de impacto por ciclones tropicales, ya que de los 41 que han afectado el territorio Nicaragüense sólo 6 han alcanzado al litoral del Pacífico. Sin embargo, trayectorias como las presentadas por el Huracán FiFi (1974) y Alleta (1982), suelen ser muy peligrosas,

por cuanto generan una componente del viento sobre el Océano Pacífico, que al arrastrar humedad favorece la interacción con otros sistemas meteorológicos que ocasionan fuertes acumulados de precipitaciones y provocan inundaciones en diferentes partes de la llanura del Pacífico nicaragüense. Por ejemplo, los acumulados de precipitación que ocasionó el huracán Mitch en octubre de 1998 en León superaron en 5 veces el registro histórico medio para ese mes de los anteriores 24 años, llegando hasta los 1.338 mm.

En la gráfica 1 se representa la variación anual de precipitación entre los años 1991 a 1999, con datos registrados en la estación meteorológica de León (INETER). Se observan los episodios singulares acaecidos durante este periodo, resaltando especialmente la canícula anual durante la época lluviosa. Asimismo, se pueden apreciar las consecuencias de los efectos indirectos del huracán Mitch (1998) que afectó a la zona del Pacífico, frente al huracán Cesar (1996) cuyos efectos indirectos, no llegaron a notarse en esta región.

GRÁFICA 1. Episodios de precipitación acaecidos entre 1991 y 1999.



La zona climática del Pacífico, con sus estaciones secas y lluviosas bien diferenciadas, presenta una gran variación de humedad relativa anual, llegando a su mínimo en los meses de febrero, marzo y abril, por ser los meses más despejados, secos y ventosos, y el máximo en los meses de septiembre y octubre, cuando se registran las mayores precipitaciones y temperaturas en descenso.

La época seca, asociada a las altas temperaturas y a los vientos secos provenientes del este originan que la evaporación aumente durante el verano. En general, la evaporación alcanza sus valores máximos en los meses de febrero, marzo y abril, y los mínimos en los meses de octubre a noviembre. La dirección predominante de los vientos es Noreste - Sudoeste, con velocidades promedio comprendidas entre los 1,6 y los 3,7 m/seg., alcanzando sus valores máximos en los meses de enero y abril.

Debido a la localización tropical de Nicaragua, la duración de los días es casi siempre la misma, estimándose una intensidad lumínica de 450 cal/cm².

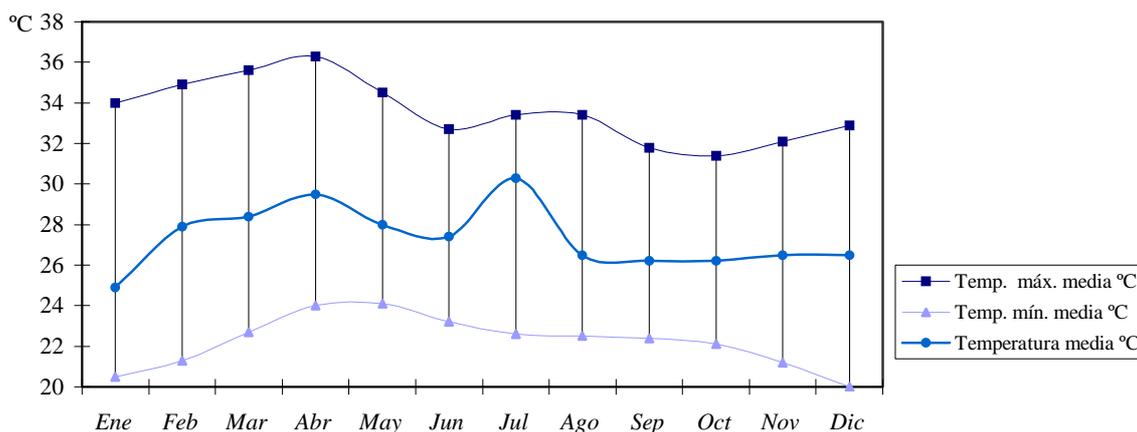
En la tabla 2 se recogen los parámetros climáticos registrados por el INETER en la estación meteorológica de la ciudad de León. La temperatura media máxima, media mínima y la precipitación son datos calculados con los valores medios del año 1974 al 1999. La temperatura media y la humedad relativa corresponden a los datos medios registrados durante los años 1994, 1995 y 1996. Los datos de evaporación e insolación fueron registrados durante el año 1997.

TABLA 2. Resumen de las características climáticas de León.

	Temperatura media °C	Temp. máx. media °C	Temp. Mín. media °C	Precipitación mm	Evaporación mm	Humedad relativa %	Insolación horas/mes
<i>Enero</i>	24.9	34.0	20.5	2	191.1	65.0	271
<i>Febrero</i>	27.9	34.9	21.3	0.4	294	60.0	283.3
<i>Marzo</i>	28.4	35.6	22.7	3	342	63.7	313.1
<i>Abril</i>	29.5	36.3	24.0	16.9	293.5	62.0	292
<i>Mayo</i>	28.0	34.5	24.1	243.5	336.4	72.7	259.3
<i>Junio</i>	27.4	32.7	23.2	225.6	153.3	77.7	188.7
<i>Julio</i>	30.3	33.4	22.6	110.0	253.9	75.0	262.2
<i>Agosto</i>	26.5	33.4	22.5	179.7	269.6	84.3	287.8
<i>Septiembre</i>	26.2	31.8	22.4	391.4	172.8	85.0	198.7
<i>Octubre</i>	26.2	31.4	22.1	312.2	133.3	85.0	196.8
<i>Noviembre</i>	26.5	32.1	21.2	91.5	129.9	80.7	187.2
<i>Diciembre</i>	26.5	32.9	20.0	5.6	216	78.0	275.9
TOTAL				1,581.8			

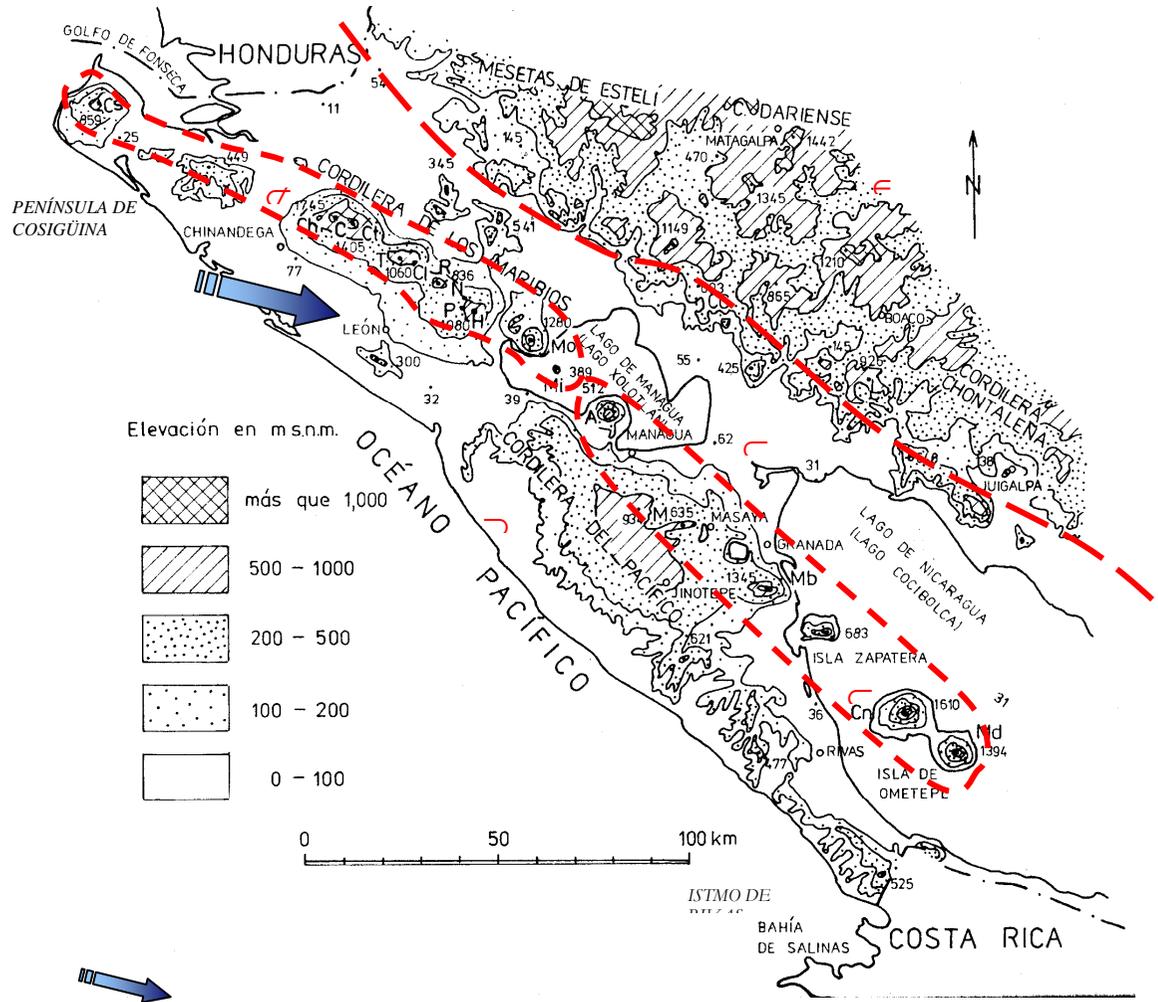
Fuente: Datos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Estación de León

GRÁFICA 2. Temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias en la ciudad de León a lo largo del año de acuerdo a los valores de la Tabla 2.



Mapa 1. Provincias Geomorfológicas del Occidente de Nicaragua

Fuente: KRÁSNÝ, J., HECHT, G. (1998) [20]



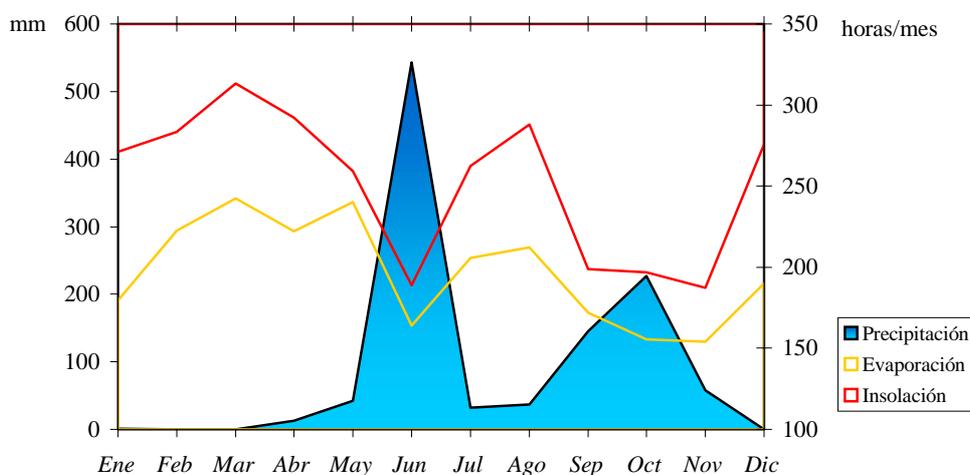
Localización Ciudad de León

CLAVE	NOMBRE DEL VOLCÁN
A	Apoyeque
C	San Cristóbal (El Viejo)
CC	Cerro Ciguate
Ch	Chonco
Cl	Santa Clara
Cn	Concepción
Cs	Cosigüina
Ct	Casita
H	El Hoyo
J	San Jacinto
L	Las Lajas
M	Masaya
Mb	Mombacho
Md	Maderas
Mi	Momotombito
Mo	Momotombo
N	Cerro Negro
P	Las Pilas
R	Rota
T	Telica

Provincias Geomorfológicas:

- ∩ Planicie Costera del Pacífico
- ⚡ Cordillera volcánica de los Maribios
- ⌒ Cordillera volcánica del Pacífico
- ⊔ Depresión Nicaragüense
- ⊕ Tierras Altas del Interior

GRÁFICA 3. Valores de precipitación, evaporación e insolación registradas en el año 1997. 1098.8 mm de precipitación, 2785.8 mm de evaporación y 3016 horas de insolación.



2.3 GEOLOGÍA

Nicaragua se encuentra limitada en sus costas por importantes unidades tectónicas, causantes de los movimientos orogénicos y actividades volcánicas que originaron el continente centroamericano. La zona Pacífica pertenece en su mayoría a las formaciones más jóvenes de Nicaragua.

Al final del mioceno, y con origen en la dinámica de subducción tectónica, en donde a través de la Fosa Mesoamericana la Placa de Cocos se sumerge dentro de la Placa del Caribe, se formó un anticlinal en la parte frontal occidental del continente, formada en esa época por rocas sedimentarias de fase marina, procedentes de la erosión de las primeras formaciones volcánicas en Centroamérica. La compresión originó tensiones en la cresta del anticlinal y a su vez un sistema de fallas paralelas a lo largo de la parte central del geanticlinal.

A través de estas fallas hubo grandes erupciones de ignimbritas y piroclastos. Estas intrusiones, en el área del Pacífico, se interdigitan con los sedimentos de la formación El Fraile (arcilitas y areniscas calcáreas, rocas sedimentarias provenientes de la erosión de las primeras islas volcánicas en el Terciario). Las ignimbritas en la costa del Pacífico reciben el nombre de formación Tamarindo. Los afloramientos del Grupo Tamarindo siguen a lo largo de la Costa Pacífica hasta la planicie León – Chinandega, formando allí una importante barrera hidrogeológica.

Posteriormente, en el Cuaternario, esta estructura geológica sufrió una intensa meteorización, depositándose los materiales erosionados en la depresión nicaragüense.

El magma, originado en la zona de subducción, ascendió a través de este sistema de fracturas, formando los arcos volcánicos de la cordillera de los Maribios, activos parcialmente en la actualidad. Estas rocas volcánicas del Cuaternario, compuestas por lavas andesíticas y basálticas, depósitos piroclásticos de ceniza, pómez, escoria, y tobas que generalmente se encuentran en la base de la cordillera, se localizan concentradas alrededor de los centros volcánicos, desde el volcán Cosigüina hasta el Maderas. Los depósitos volcánicos recientes forman extensos rellenos en la región del Pacífico, como en la planicie León – Chinandega.

La Depresión o Graben Nicaragüense constituye una estructura tectónica joven que cruza todo el Pacífico. Está limitada por dos sistemas de fallas de rumbo NO al SE y su origen está relacionado con la actividad volcánica reciente, la Fosa Mesoamericana y el movimiento de las placas de Cocos y del Caribe. La Depresión se encuentra rellena con materiales provenientes de la erosión de las formaciones de ignimbritas del mioceno y de los depósitos de origen volcánico como lápilis, cenizas, polvo volcánico y lavas.

En el Mapa 2, que pertenece a las formaciones geológicas de la zona occidental de Nicaragua, se representan las estructuras geológicas principales de la Región Pacífica y el geoanticlinal originado en el mioceno por las fuerzas tectónicas de la época.

En el mapa geológico de la zona de estudio (Mapa 3) se diferencian las formaciones geológicas del Grupo Tamarindo, del Terciario, y los depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario, pertenecientes a la Depresión Nicaragüense [14]. La litología representada se distribuye en cuatro grupos; el primero de ellos, al E del mapa, más próximo a la cordillera de Los Maribios, formado por piroclastos y lava. Luego una formación litológica, en el centro del mapa donde se encuentra la ciudad de León, de materiales indiferenciados. Al SO, la formación Tamarindo con ignimbrita, toba y andesitas. Por último, en las áreas proximas a los ríos Chiquito y Ojoche se encuentran rellenos aluviales.

2.4 HIDROLOGÍA

Del área total de la Región del Pacífico, aproximadamente 38.700 km², solamente el 31% de este territorio, unos 12.072 km² [11], drena hacia el Pacífico y el resto de las aguas superficiales escurre hacia el Atlántico a través de los ríos que fluyen hacia los lagos Xolotlán y Cocibolca.

A diferencia del lago Xolotlán, que no desagua regularmente (cuando lo hace es a través del río Tipitapa hacia el lago Cocibolca) y pierde sus aguas principalmente por evaporación, el lago Cocibolca desagua permanentemente en el Mar Caribe a través del Río San Juan.

En el resto de la zona pacífica, los ríos desaguan directamente en el Océano Pacífico, y constituyen el drenaje superficial de 8 cuencas hidrográficas pequeñas, con excepción del Río Estero Real. En la mayoría se trata de ríos intermitentes con un régimen irregular y caudales de estiaje muy reducidos.

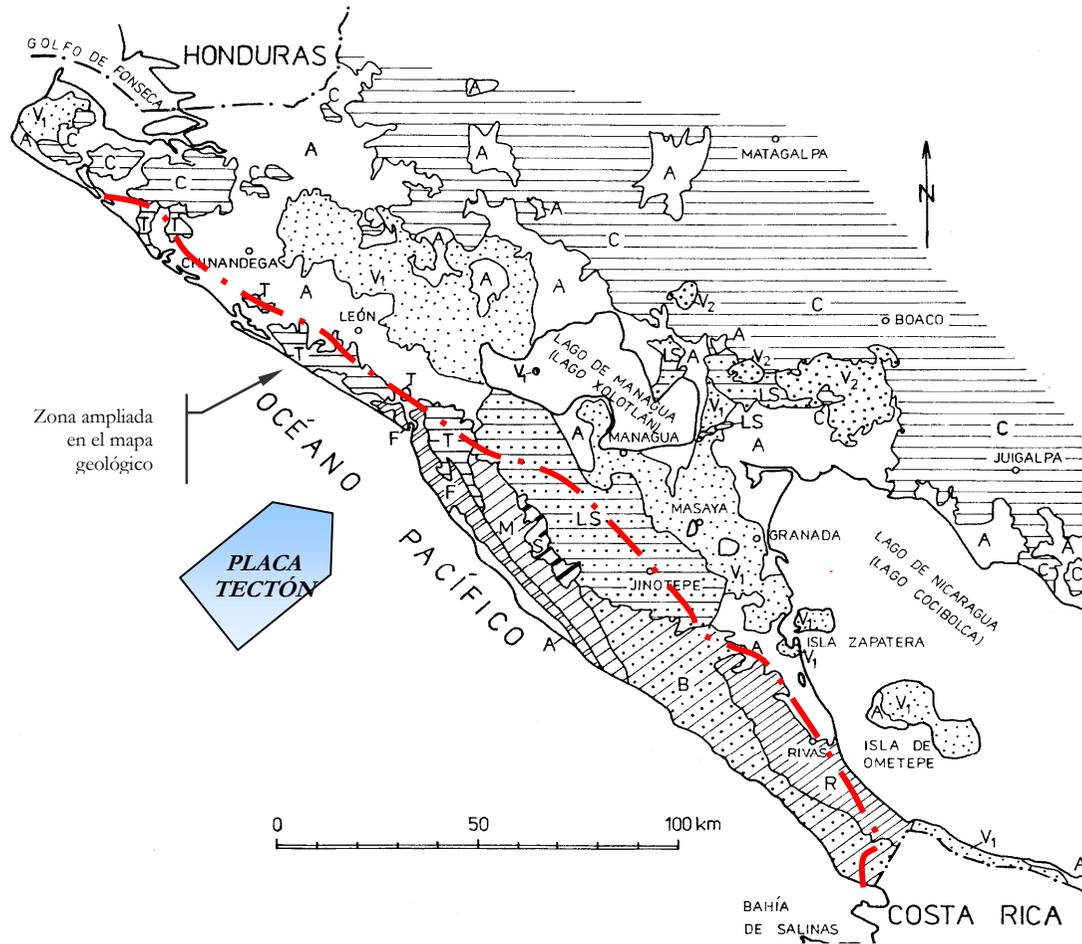
TABLA 3. Cuencas hidrográficas de la Vertiente del Pacífico.

Nº cuenca	Nombre de la cuenca Río principal	Area (km2)	Precipitación media (mm)
58	Río Negro	1428,00	1.859
60	Río Estero Real	3690,60	1.682
62	entre Estero Real y Volcán Cosigüina	429,00	1.881
64	entre Volcán Cosigüina y Río Tamarindo	2950,66	1.670
66	Río Tamarindo	317,62	1.175
68	entre Río Tamarindo y Río Brito	2718,69	1.537
70	Río Brito	274,00	1.316
72	entre Río Brito y Río Sapoá	325,00	1.625
TOTAL		12,183.57	

Fuente: Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (1970). En INETER, Revista MAPPING N° 57 (1999) [18]

Mapa 2. Formaciones geológicas de la Zona Pacífica

Fuente: KRÁSNY, J., HECHT, G. (1998) [20]



ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PRINCIPALES

- ≡ CUENCA DE SEDIMENTACIÓN DE LA COSTA DEL PACÍFICO
- ∩ DEPRESIÓN O GRABEN DE NICARAGUA
- ⊂ PROVINCIA VOLCÁNICA TERCIARIA

CLAVE	FORMACIÓN GEOLÓGICA
A	Depósitos aluviales, coluviales, de terrazas y suelos residuales indiferenciados (Cuaternario)
V ₁	Depósitos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados (Cuaternario)
V ₂	Depósitos piroclásticos y flujos de lava indiferenciados (Cuaternario - Terciario)
LS	Grupo Las Sierras (Cuaternario - Terciario)
T	Grupo Tamarindo (Terciario)
C	Grupo Coyol y Grupo Matagalpa en conjunto (Terciario)
S	Formación El Salto (Terciario)
F	Formación El Fraile (Terciario)
M	Formación Masachapa (Terciario)
B	Formación Brito (Terciario)
R	Formación Rivas (Terciario)

— · — Anticlinal creado por compresiones entre las placas Los Cocos y Caribe (final del Mioceno)

Mapa 3: Mapa geológico de León

Fuente: Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geológico Hoja N° 2853 (1971)

LEYENDA LITOLÓGICA

Indiferenciado	Q	Lava	Ql	Tamarindo superior. Ignimbrita	Tmts
Aluvial	Qal	Piroclastos	Qv	Tamarindo medio. Ignimbrita y toba	Tmtm
				Tamarindo inferior. Andesita y aglomerado	Tmtl

El departamento de León se encuentra localizado dentro de la cuenca hidrográfica n° 64, denominada “Entre Volcán Cosigüina y Río Tamarindo”, en la que se incluyen como ríos más importantes el Río Viejo, Atoya, El Tesorero, Posoltega y Chiquito.

En términos de balance hídrico total, se estima que el volumen total de agua que escurre hacia el Pacífico es de unos 4.855 millones de m³/año, lo que supone el 3,6% del escurrimiento total del país, equivalente a un caudal continuo de 153 m³/seg. El balance hídrico de la cuenca hidrográfica n° 64 se presenta en la tabla 4.

TABLA 4. Balance Hídrico de la Cuenca Hidrográfica 64. Los parámetros se expresan en porcentaje de la precipitación media anual de dicha cuenca, y en millones de m³ al año, en función de la superficie de la cuenca (2.969 km²).

Precipitación		ET – Potencial			ET - Real			Eskurrimiento total			Infiltración		
Mm /año	10 ⁶ m ³ /a	Mm /año	% P	10 ⁶ m ³ /a	mm /año	% P	10 ⁶ m ³ /a	mm /año	% P	10 ⁶ m ³ /a	mm /año	% P	10 ⁶ m ³ /a
1.486	4.411	635	43	1.885	816	55	2.423	452	30	1.342	218	15	647

Fuente: Dirección de Hidrometeorología del INETER (1971 – 1981) en FENZL, N. (1988) [11]

Se puede diferenciar claramente para la vertiente Atlántica, con precipitaciones medias de 4000mm/año, y con clima monzónico de selva que prevalece en la mayor parte de la vertiente, un mayor porcentaje de escurrimiento, frente a la vertiente Pacífica con clima tropical de sabana y una media de 2000mm/año de precipitaciones, en la que predomina la evapotranspiración real dentro del balance hídrico.

La ciudad de León se encuentra atravesada por el Río Chiquito. Su nacimiento tiene lugar en las inmediaciones de la ciudad, desembocando a 28 kilómetros en el Océano Pacífico. El río muestra un intenso grado de antropización que afecta significativamente la calidad natural de sus aguas y repercute en su ecosistema ribereño.

El Río Chiquito drena a una cuenca que ocupa una extensión aproximada de 140 km². De acuerdo a las versiones populares, los antiguos manantiales de cabecera estaban localizados a unos 100 o 200 metros del actual límite E de la ciudad de León. En sus primeros 4 kilómetros, el río Chiquito atraviesa la población en dirección SW, y luego se encamina hacia la desembocadura en el Océano Pacífico, concretamente en el Estero de las Peñitas, detrás de la Isla Juan Venado. Antes de alcanzar el estero presenta algunas pequeñas lagunas entre las que se pueden destacar las de Balacera, Papalón, Hernández y El Charco. Estas aparecen por el confinamiento del río entre los afloramientos del Grupo geológico Tamarindo que forma una importante barrera hidrogeológica. La longitud total de su cauce es de 28 km, a lo largo de los cuales salva una diferencia de cota de 100 m, lo que supone una pendiente media del 0,36 % [33].

El río posee seis afluentes principales: Acosasco, Obraje y Patastule por su margen Sur; y Ojoche, San Benito y San Cristóbal por su margen Norte. De todos ellos, el más importante es el río Ojoche que aporta un caudal de aproximadamente igual magnitud al que lleva el Chiquito en el punto de confluencia.

El régimen pluviométrico es marcadamente estacional, lo que asociado a las altas temperaturas, a los vientos provenientes del este y a las masas de aire seco, originan que la evaporación aumente durante el verano, reduciendo drásticamente los aportes de agua al sistema. En este sentido, existe una variabilidad muy alta del caudal. En la época seca el caudal del río Chiquito está formado por pocas fuentes naturales,

por las aguas de desecho que se vierten desde la ciudad de León y por el aporte de sus afluentes, mientras que en la época lluviosa la escorrentía provoca a veces avenidas de gran magnitud. Esta característica es típica de los ríos de la vertiente pacífica [11].

2.5 HIDROGEOLOGÍA

En la división hidrogeológica elaborada por Krásný y Hecht [20] para la zona de estudio, el acuífero existente queda clasificado de la siguiente manera:

Provincia Hidrogeológica Pacífica
Subprovincia Hidrogeológica Graben Nicaragüense
Sistema Acuífero Suroeste (B)
^ **Subsistema Acuífero León (B₆)**

La Subprovincia del Graben Nicaragüense representa la unidad hidrogeológica más importante de toda Nicaragua. En esta zona, la demanda de agua para usos potables, industriales y riego se satisface de los recursos subterráneos.

En la mayor parte de esta subprovincia se encuentra un conjunto de cuerpos hidrogeológicos (acuíferos y acuitardos) extenso y complejo, formado por diferentes unidades geológicas de origen volcánico de edad Cuaternaria hasta Terciaria, que se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos Cuaternarios aluviales, coluviales, etc. Este conjunto es designado como el Grupo de Acuíferos Principal (GAP). El GAP está formado principalmente por materiales volcánicos, piroclastos sedimentarios y flujos de lava, entre los que se encuentran arenas volcánicas de gruesa hasta media, semicompactada y compactada, arenisca, ceniza fina, escorias, pómez, conglomerados y gravillas gruesas. La mayoría de las rocas presentan un medio poroso bien permeable [20].

Dentro del GAP se delimitan sistemas y subsistemas acuíferos, por los diferentes rasgos de flujos de agua subterránea, siendo el más importante el **Sistema Acuífero Suroeste B**. Este sistema se extiende desde las orillas occidentales del Lago de Nicaragua hasta la planicie de Chinandega. Al sistema pertenece también la mayoría de la Cordillera de los Maribios y las planicies al norte de ella. En el Sistema B la recarga de agua y por lo tanto también la formación de recursos naturales de aguas subterráneas, se estima alta debido a la permeabilidad de las rocas que generalmente y debido a precipitaciones suficientes favorece la infiltración.

Perteneciente a este sistema se encuentra delimitado el **Subsistema Acuífero León B₆**. Es extenso y económicamente muy importante por las actividades agrícolas e industriales que se desarrollan en el área. Los límites noroccidental y suroriental del subsistema se encuentran poco definidos facilitando interferencias hidráulicas con subsistemas vecinos. Hacia el NE se extiende hasta las cotas más elevadas de la Cordillera de los Maribios, entre los volcanes San Cristobal y Rota (ver figura 1). Desde la Cordillera el agua subterránea fluye hacia el SO, aflorando la mayoría en sus laderas dando origen a los ríos San Cristobal o Chiquito, Telica, Posoltega, Amalia y El Tesorero (desde el E al O). Estos ríos cambian su carácter efímero influente en permanentemente efluente en las zonas más bajas de la planicie, generalmente bajo los 80 m.s.n.m. [20].

Debido a la influencia que ejerce sobre el comportamiento del Subsistema acuífero León, se define también la **Subprovincia hidrogeológica Rivas – Tamarindo**, con la cual limita en el SO. Se trata de una faja costera con afloramientos de rocas entre los que se encuentra la formación Grupo Tamarindo, próxima a la ciudad de León. Esta zona se caracteriza por constituir un conjunto relativamente poco

permeable. El acuífero se formó en la zona subsuperficial, de espesor desconocido, de meteorización y fisuración de rocas, que elevan la permeabilidad. Las rocas de esta Subprovincia forman una barrera hidrogeológica poco permeable en su contacto con el Grupo de Acuíferos Principal de la Subprovincia del Graben Nicaragüense forzando al flujo de agua subterránea que desciende de la Cordillera del Pacífico hacia el suroeste a aflorar, dando origen a los ríos y manantiales, como ocurre con el Sistema acuífero (A) de las laderas suroccidentales de la Cordillera del Pacífico. Más al noroeste en la zona de contacto con el Subsistema B₆, la barrera tiene una función semejante, permitiendo el flujo a través de la barrera de sólo una parte insignificante de aguas subterráneas que se sigue moviendo hacia el Océano Pacífico. Pero por otra parte, es esta misma barrera la que impide a las aguas salinas del Pacífico penetrar directamente a los acuíferos de la planicie de León, lo que, debido al intensivo aprovechamiento con fines de riego, reduce considerablemente el peligro de intrusión de aguas marinas durante la extracción de agua subterránea [20].

En el Mapa 4, se representa la división hidrogeológica de la Subprovincia del Graben Nicaragüense, en la que se localiza el Subsistema acuífero León (B₆). También se localiza la Subprovincia hidrogeológica Rivas – Tamarindo, ambas pertenecientes a la Provincia Hidrogeológica Pacífica.

TABLA 5. Características hidrogeológicas de las unidades geológicas.

Formación	Medio físico	Transmisividad	Permeabilidad	Otros
<i>Aluviales y fluvio – coluviales</i>	Poroso	Media – baja	Variable	Acuíferos buenos
<i>Depósitos volcánicos piroclásticos</i>	Poroso	Alta	Excelente	Acuíferos excelentes especialmente en el centro de la depresión nicaragüense
<i>Grupo Tamarindo</i>	Fisurado	Baja - nula	Variable	Sin acuíferos continuos

Fuente: FENZL, N. (1988) [11].

Los depósitos volcánicos piroclásticos, donde se ubica la cuenca de agua subterránea León – Chinandega, constituyen excelentes acuíferos con espesuras máximas ubicadas en el centro de la depresión nicaragüense [11].

En el área León – Chinandega los materiales del GAP forman el relleno de la depresión tectónica Quetzalguaque – Chichigalpa, una fosa con espesores de hasta más de 300 m de piroclastos, en parte retrabajados e interrumpidos esporádicamente al pie de la cadena volcánica de Los Maribios por algunos flujos de lava superficiales o sepultados. En estas planicies los piroclastos antiguos, por su mayor compactación, tienen relativamente menor permeabilidad que los piroclastos recientes y los aluviones, constituidos por los materiales sueltos. Las lentes de mayor permeabilidad, zonas acuíferas, tienen un espesor entre 1,5 y 20 m y representan aproximadamente el 33% del espesor de los depósitos.

La más importante cuenca de agua subterránea de la Región Pacífico es la cuenca León–Chinandega. Entre las principales características hidrogeológicas de la cuenca se encuentran:

- ✓ un *área* de 1580 km² [20].
- ✓ sus aguas escurren desde la cordillera de los Maribios hacia el Pacífico con un *gradiente hidráulico* (GH) entre 0,1-1% [11].

- ✓ la *profundidad* (P) de las aguas subterráneas va desde los 100 m cerca de los maribios, hasta 7 m en el centro del relleno y 0 m en la costa, donde hay formación de pantanales [11].
- ✓ el *espesor* (E) del acuífero puede llegar hasta 300 m, sin embargo, en la mayor parte de la cuenca varía entre 15 y 70 m [11].
- ✓ la *transmisividad* (T) del sistema varia entre 300 y 2000 m²/día, con un valor medio de aproximadamente 1320 m²/día [11].
- ✓ el *coeficiente de almacenamiento* (S) muestra un rango de 0,02 hasta 0,35 con un valor promedio de 0,10 [11].
- ✓ la *disponibilidad* (D) de agua subterránea es de 528·10⁶ m³ [20].

TABLA 6. Resumen de las características hidrogeológicas de la cuenca León - Chinandega.

	Área	GH	P	E	T	S	D
<i>Unidades</i>	km ²	%	m	m	m ² /día	---	m ³
<i>Magnitud</i>	1580	0,1-1	0/100	0/300	300/2000	0,02/0,35	528·10 ⁶
<i>Media</i>				15 - 70	1320	0,10	

Fuente: Naciones Unidas 1971, 1974, 1975; INETER 1983. En KRÁSNÝ, J., HECHT, G. (1998) [20].

2.6 HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las características hidroquímicas de las aguas subterráneas hacen posible reconocer relaciones genéticas, como intercambio catiónico, edad relativa de las aguas subterráneas, manifestaciones de aguas profundas, intrusiones de agua de mar. Estos datos permiten hacer referencias valiosas a la exploración de las aguas subterráneas: zonas de recarga, zonas de descarga, áreas con agua salada.

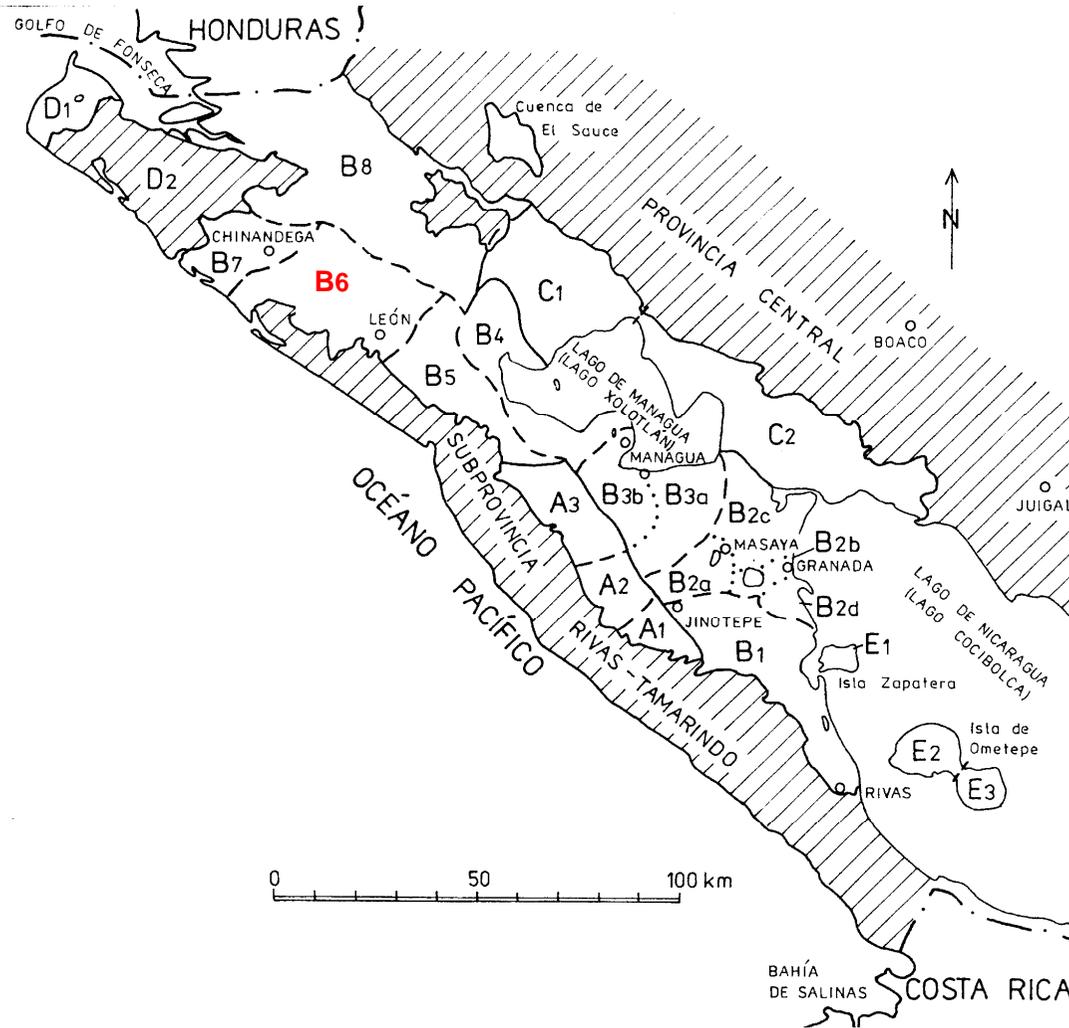
Es de interés fundamental conocer el intercambio catiónico, de cuyo resultado se forman las aguas de carácter HCO₃-Na. En la Región del Pacífico de Nicaragua existen dos tipos de intercambio catiónico. El primero de ellos y predominante se debe a la existencia de minerales de arcilla (zeolitas) dentro de las rocas de origen volcánico, el segundo tipo se debe a las aguas de carácter Cl-Na, es decir a la ascensión del agua de mar o al ascenso de las aguas profundas. Las aguas de carácter HCO₃-Na se manifiestan como agua más antigua, con lo que se pueden deducir indicaciones sobre la edad relativa del agua subterránea [20].

En la costa Pacífica predominan claramente las aguas de carácter bicarbonatado, que se distribuyen en varios tipos, siendo en el área de estudio y de acuerdo al Mapa Hidroquímico de INETER (1989) [17], HCO₃-Ca y/o HCO₃-Ca-Mg como tipo predominante y HCO₃-Ca-Na y/o HCO₃-Na-Ca como tipo circundante a dicho área.

Se debe tener en cuenta también la existencia de zonas con termalismo en las proximidades de la cordillera volcánica. Esta característica queda patente en los afloramientos de *San Jacinto*, bajo el volcán Santa Clara, donde las aguas termales superan los 80 °C, y en las proximidades de La Paz Centro donde las aguas superan los 30 °C [17].

Mapa 4. División hidrogeológica de la Subprovincia hidrogeológica del Graben Nicaragüense

Fuente: KRÁSNÝ, J., HECHT, G. (1998) [20]



DIVISIÓN HIDROGEOLÓGICA	
A	Sistema acuífero de las laderas suroccidentales de la Cordillera del Pacífico
A ₁	Subsistema acuífero Amayito
A ₂	Subsistema acuífero Río Jesús
A ₃	Subsistema acuífero Río Soledad
B	Sistema acuífero Suroeste
B ₁	Subsistema acuífero Rivas – Nandaime
B ₂	Subsistema acuífero Granada – Tipitapa
B ₃	Subsistema acuífero Managua
B ₄	Subsistema acuífero. Mateare – Pto. Momotombo
B ₅	Subsistema acuífero Tamarindo
B ₆	Subsistema acuífero León
B ₇	Subsistema acuífero Atoya
B ₈	Subsistema acuífero Estero Real
C	Sistema acuífero Noroeste
C ₁	Subsistema acuífero Sinecapa - Viejo
C ₂	Subsistema acuífero Pacora - Malacatoya
D	Sistema acuífero Península de Cosigüina
D ₁	Subsistema acuífero Cosigüina
D ₂	Subsistema acuífero Padre Ramos
E	Sistema acuífero islas en el Lago de Nicaragua
E ₁	Subsistema acuífero Isla Zapatera
E ₂	Subsistema acuífero del Volcán Concepción
E ₃	Subsistema acuífero del Volcán Maderas

3.1 INTRODUCCIÓN. LA CIUDAD COLONIAL ESPAÑOLA

El proceso de ordenamiento urbano en la fundación de las ciudades en la América hispana trajo consigo la distribución territorial de los diferentes usos, y es así que en las Cédulas Reales y Ordenanzas establecidas en las Leyes de Indias estipulan los lineamientos de emplazamientos de la plaza mayor, las calles, caminos principales, y el área de crecimiento o expansión de las ciudades.

"Al llegar a la ciudad donde debe establecerse el nuevo emplazamiento debe trazarse el plano sobre el terreno, con sus plazas, calles y solares a cordel y regla, comenzando desde la plaza mayor y sacando desde ella las calles a las puertas y caminos principales, y dejando tanto compás abierto que aunque la población vaya en gran crecimiento, se pueda proseguir y dilatar en la misma forma... La plaza central debe estar al centro de Ciudad y tener forma oblonga... La amplitud de la plaza deberá ser proporcionada al número de habitantes, teniendo presente que las ciudades... están destinadas acrecer... Por eso la plaza debe ser proyectada en proporción al posible crecimiento de la ciudad. No debe tener menos de 300 pies de ancho, ni debe ser más ancha, de 500 pies y más larga de 800... Los solares edificables alrededor de la plaza no deben ser adjudicados a particulares, son reservados para la iglesia, las clases reales, los edificios municipales, los comercios y las viviendas de los comerciantes..."

Antes de la colonización española el asentamiento prehispánico de Sutiaba constituía una comunidad dispersa organizada alrededor de un centro político - religioso donde residían las autoridades indígenas en sus galpones formando plaza, los teocalis o altares de los aborígenes y el tiengue o mercado donde se intercambian noticias y productos provenientes de la región. Al darse la colonización, el poblado indígena de Sutiaba se altera por los elementos de la influencia urbanística que se inicia

El modelo fundamental en la ciudad de León presenta una traza en cuadrícula, con manzanas ortogonales, donde la plaza es el elemento centralizador y organizador de funciones.

3.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CRECIMIENTO FÍSICO DE LA CIUDAD DE LEÓN

3.2.1 Siglo XVII

Los vecinos de León Viejo (alrededor de 500 españoles), al mando del Capitán Pedro Munguía, tomaron posesión el 16 de enero de 1610 del sitio sobre el que se asienta la ciudad. La región seleccionada era una amplia llanura, cuyo espacio ejidal o urbano pertenecía al grupo indígena de los Sutiabas, cruzada por los ríos Pochote y Chiquito (conocido como cajiquilapa por los indígenas y bautizado como San Pedro por los españoles), del cual hacen ya referencia las primeras descripciones del lugar:

"Así, ya se pensaba en trasladar la capital a seis leguas al oeste, en las vecindades del pueblo de Sutiava... en unas cabañas rasas, sitio muy sano, de buenos vientos y junto a un río de muy buena y sana agua, y en buena comarca de poblaciones de indios"² [9]

Hay varias interpretaciones de la voz Sutiaba. El filólogo nicaragüense Alfonso Valle la traduce del mexicano Sutiapan, de *Shuctli* - caracolito negro, *atl* - agua, y *pan* - adverbio de lugar, para significar el

² Carta de Bartholomé de la Canal y Madrid, fechada en Guatemala el 17 de abril de 1602, en AGIS, Guatemala, Leg.11, f.2. En Arellano (1990) [9]

lugar del río de los caracolutos negros o "chotes" como le llaman en León y Sutiaba. Todos los hombres de conocimiento de la comunidad coinciden con esta interpretación [28]. Los sutiabas eran aficionados al caracolito negro (*Pachychilus largillierti*)³, del cual extraían una nutritiva sustancia con la que hacían una sopa, especialmente para madres lactantes, pues aumentaba considerablemente la producción de leche.

El día 19 de enero de 1610 se procedió a planificar y trazar la nueva ciudad con cordel y cuadrantes, reduciendo por los cuatro rumbos a un radio de acción menor el espacio ejidal que los Sutiavas tenían estipulado por las Leyes de Indias. Se ubicó la plaza, de la cual saldrían ocho calles con una longitud de trescientos pasos por los cuatro rumbos⁴. Las calles fueron trazadas a escuadras y de visuales rectas orientadas de oriente a poniente y de norte a sur.

Desde aquel día fue conocida como "Calle de la Ronda" la calle que divide la actual Ciudad de León del pueblo o barrio de Sutiava. La "Calle Real" de la nueva ciudad se trazó desde la plaza de Sutiava hasta la llamada "loma del Conejo", donde se edificó más tarde el templo de El Calvario en terrenos cedidos por el Cacique González de Sutiava.

Igualmente se trazaron los predios y solares para las diferentes edificaciones de uso público. El lado Este de la plaza se destinó para la Iglesia Catedral, el lado Sur para el obispado, el lado Norte para el Cabildo y el lado Oeste para la Casa Real o del Gobernador. Designándose también los solares para el convento e Iglesia de San Francisco y la Merced, de la Parroquia de San Sebastián y la correspondiente repartición de solares de acuerdo al estrato social. El foco de referencia urbano, y económico, que generó la estructura de León fue el conjunto preexistente formado por la plaza y primitiva parroquia de Veracruz de la población indígena de Sutiava. La nueva ciudad se implantó al oriente, dentro del radio de acción de los ejidos o casco urbano de esta última. (Ver *Mapa 5*)

A mitad de siglo XVII, y acorde siempre con la jerarquía del Centro a la periferia, ya habían surgido con sus correspondientes templos los arrabales de San Juan, San Nicolás, para los indios Laboríos; San Felipe para los mulatos, negros y mestizos; y San Sebastián. A estos elementos se agregaron además, el Convento e Iglesia de la Merced, el Hospital San Juan de Dios, el Monasterio e Iglesia de San Francisco y el Palacio Episcopal. En Sutiava se construye alrededor de Veracruz y su plaza un conjunto de cuatro ermitas con sus respectivas plazas menores, San Pedro, Santiago, San Andrés y San Sebastián, sobresaliendo sobre los ranchos indígenas. (Ver *Mapa 6*)

3.2.2 Siglo XVIII

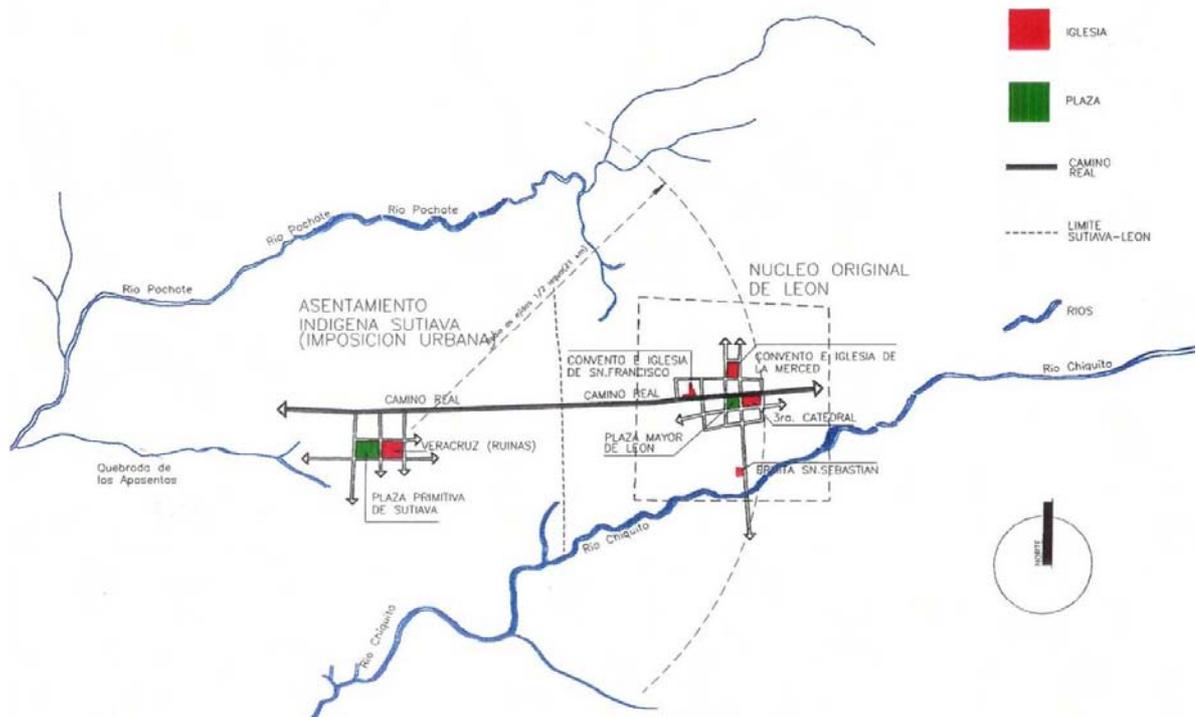
El proceso de crecimiento que la ciudad tuvo en el siglo XVIII fue el trazado de las calles que se extendió en ambos focos: León y Sutiava, observándose la diferencia entre el desarrollo de estas en ambas comunidades, la cual era la rapidez con la que León absorbió los barrios que se generaron en este siglo (San Juan, San Felipe y San Nicolás), mientras que en Sutiava el desarrollo era más lento por falta de mano de obra indígena, que fue asignada con prioridad para los trabajos urbanísticos de León por los españoles.

³ *Pachychilus largillierti*, suele estar asociada con cuerpos de agua y corrientes limpias, por lo que pudiera ser utilizada como bioindicador. Es una especie con mucha presión antropogénica por cuanto es muy utilizada como alimento entre la población campesina. El Departamento de Malacología de la Universidad Centroamericana de Managua (Pérez, M. 2001) ha verificado casos de uso de las especies de *Pachychilus (largillierti y oerstedti)* en la Laguna de Apoyo; de *P. largillierti* en Granada Masaya y algunos otros puntos del Pacífico; *P. oerstedti* en la Estanzuela, Estelí y en Santa Maura, Jinotega. También utilizan *Pomacea flagellata*, un prosobranquio de tamaño grande que habita estuarios de agua dulce. En el litoral marino se utilizan *Agaronia ssp*, *Olivella semistriata* y otras especies para hacer sopa de caracol.

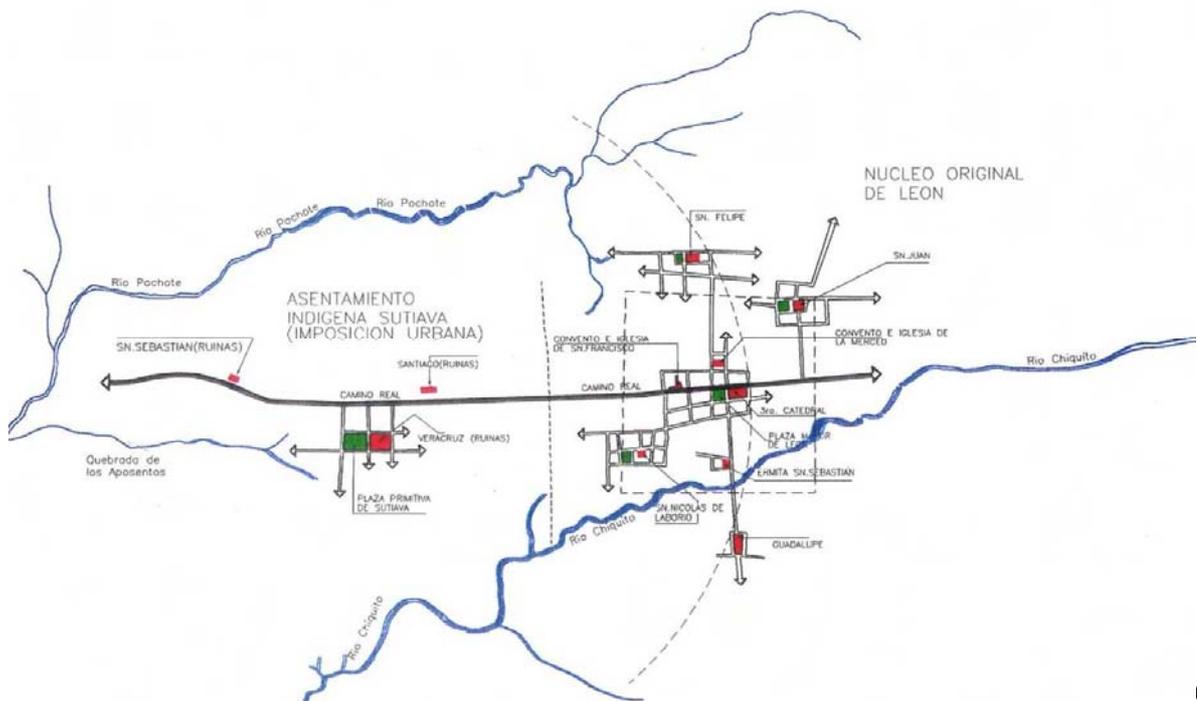
⁴ Bayle, SI, Constantino. Los cabildos seculares en la América Española. 1952. En Romero (1999) [30]

En 1751 el Obispo Morel de Santa Cruz describe que existían en Sutiava unas 874 casas de paja (rancho) dispuestas de manera desordenada y para León 324 casas de teja y 995 de paja formando nueve calles de Este a Oeste y once de Norte a Sur. Las calles todavía no estaban empedradas, observándolas llenas de lodo en inviernos y polvosas en verano. (Ver *Mapa 7*)

MAPA 5. Núcleos fundacionales de la Ciudad de León en el Siglo XVII - 1610



MAPA 6. Estructura urbana de la Ciudad de León a finales del Siglo XVII



1.2.3 Siglo XIX

En la primera mitad del siglo XIX la planta urbana y los barrios de León se componían de trescientas casas. Su población ladina e indígena llegaba aproximadamente a 32.000 habitantes (1820) siendo la segunda Ciudad de la provincia después de la Ciudad de Guatemala.

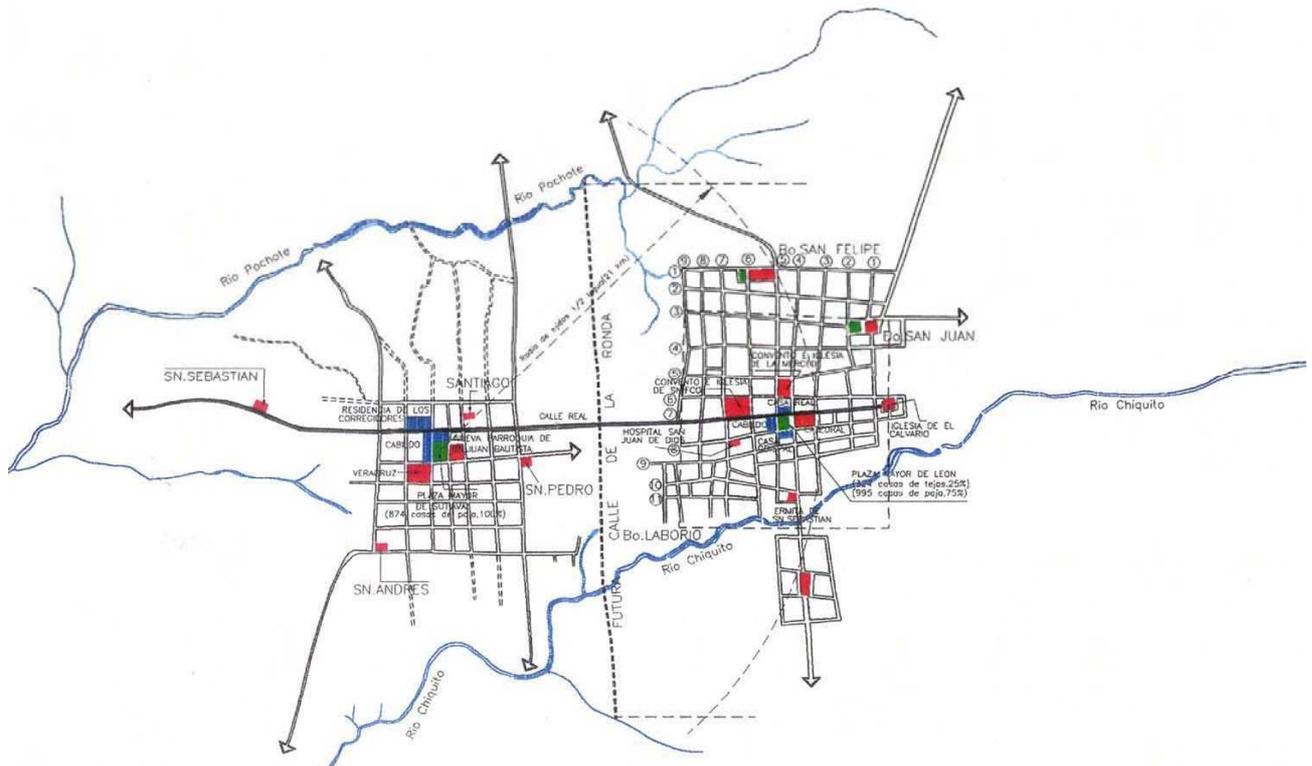
La ciudad en este siglo se consolida como un todo urbano con la unión de los dos grandes núcleos fundacionales que hasta entonces estaban separados físicamente, fusionándose las cuadrículas urbanas e integrándose el Barrio de Guadalupe a la ciudad con la construcción del puente sobre el Río Chiquito.

Durante este siglo se establece definitivamente la calle de la Ronda como el límite de la Ciudad de León, hacia el Oeste. Esta calle sigue siendo el límite del hoy barrio de Sutiaba, manifestándose el desarrollo independiente de León y Sutiaba por las calles que desembocan en topes justamente en la denominada Calle de la Ronda. Por otro lado, se fueron creando tres grandes ejes de circulación vial, los cuales brindaron parámetros diversos a la nueva estructura de cuadrícula de la ciudad. (Ver *Mapa 8*)

El desarrollo comercial generado por la llegada del ferrocarril trae como consecuencia un marcado desarrollo expansional hacia el Noroeste, Sur y Este, creando nuevos barrios. Esta expansión genera nuevos ejes viales dentro del perímetro urbano, implementándose el revestimiento de las calles con piedra. Las transformaciones urbanas son notorias, las plazas que anteriormente eran predios baldíos y sin vegetación, se convierten en áreas verdes con calzadas pavimentadas para la circulación peatonal y con la presencia de mobiliario urbano.

En 1894 se inaugura el servicio de agua potable por el General José Santos Zelaya

MAPA 7. Estructura urbana de la Ciudad de León en el Siglo XVIII - 1751



MAPA 8. Estructura urbana de la Ciudad de León a finales del Siglo XIX y principios del XX



3.2.4 Siglo XX

En 1902, el gobierno de Zelaya aliado con la oligarquía leonesa se dispuso acabar con el municipio de Sutiaba. Mediante decreto anexó el pueblo de Sutiaba al municipio de León, lo que lo convertía desde entonces en un barrio de la ciudad.

Desde las primeras décadas de este siglo la ciudad de León da inicio a la transformación de la imagen urbana con el remodelamiento de las fachadas tradicionales y la construcción de nuevas edificaciones siguiendo las corrientes arquitectónicas modernistas. Este fenómeno se acentúa con el despegue económico de la ciudad a mediados de siglo y se traduce en la utilización de nuevos materiales y la introducción de una estética funcionalista.

La inserción de Nicaragua en el mercado internacional después de la Segunda Guerra Mundial como suplidor de materia prima al mercado de los Estados Unidos mayoritariamente, trajo consigo la especialización de Nicaragua en el campo agropecuario. Este proceso expulsa la masa campesina que durante mucho tiempo vivió en las tierras de los hacendados y finqueros, así como en las tierras comunales que creó el imperio español.

El campesinado se proletariza o semiproletariza, emigrando hacia la frontera agrícola o pasando en mayor medida a engrosar el sector informal en las ciudades de occidente. La necesidad de solventar el problema de la vivienda trae consigo la transformación de la trama urbana de León ante la aparición de repartos ilegales que rompen la tradicional cuadrícula colonial. Se crea de esta manera un nuevo modelo urbano de trama regular compacta, con parcelaciones de tamaño reducido y densidades más altas, localizados en la periferia y con edificaciones individuales, discontinuas y de menor calidad constructiva.

Así mismo, ese desarrollo económico incentiva a los grupos financieros de esa época a desarrollar urbanizaciones para las clases adineradas, desplazándose del centro hacia las afueras de la ciudad y es así que surgen Fátima, Veracruz y Colonia Universidad.

El triunfo de la revolución sandinista y el cambio hacia unas autoridades con un carácter populista vino a beneficiar a las mayorías que vivían en asentamientos de carácter marginal, legalizando la propiedad y dotándola de cierta infraestructura. Asimismo, se desarrollan urbanizaciones con carácter progresivo y es así que la ciudad ha crecido sin cumplir con el uso del suelo más adecuado. (Ver *Mapa 9*)

3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y HABITACIONALES DE LA CIUDAD DE LEÓN EN LA ACTUALIDAD

La ciudad de León presenta actualmente una forma triangular, con una base que coincide con el Este, hacia donde se detecta la mayor tendencia de crecimiento físico rebasando la pista de circunvalación, que durante algún tiempo sirvió de límite urbano. Hacia el Norte y Sur la forma de la Ciudad presenta un límite irregular causado por las restricciones naturales existentes. Al Oeste el territorio expresa cierta propensión a estrecharse por la topografía, en la convergencia de los ríos Chiquito y Pochote.

De acuerdo al Sistema de Información para la Planificación Física (AML, 1993) [5], el área urbana contaba en ese año con una extensión de 1.750 Ha⁵. y el área periférica no urbanizada con un área próxima a las 2.800 Ha. De estas, tan solo 1.640 Ha. presentan aptitud para el desarrollo urbano de acuerdo a sus características físicas y ambientales. El resto presentan restricciones topográficas o de fraccionamiento que las hacen inadecuadas para la expansión urbana.

El área urbana se divide administrativamente en 3 zonas que en su conjunto albergan 110 áreas y subáreas habitacionales (barrios, repartos, asentamientos y anexos) [5]. En lo rural se han identificado 27 comarcas formadas por 105 comunidades [8] que en su conjunto conforman el municipio junto con la ciudad.

TABLA 7: Características habitacionales de la ciudad de León por zonas administrativas

	Area de viviendas (Ha.)	Nº Habitantes	Nº Viviendas	Densidad poblacional (Hab/Ha.)
Zona 1 (O)	415,1	35.351	4.508	85
Zona 2 (NE)	477,95	62.955	8.631	132
Zona 3 (SE)	425,58	56.235	7.331	132
TOTAL	1.318,58	154.541	20.470	117

Fuente: AML (1993). Sistema de Información para la Planificación Física [5]

⁵ El área urbana de León difiere según las fuentes, así el Plan Maestro Estructural de la Ciudad de León [4] la calcula en 1.909 Ha., mientras que el Estudio sobre el Mejoramiento de las Condiciones Sanitarias de las Principales Ciudades de Nicaragua [19], se cita una extensión de 1.255 Ha.

TABLA 8. Usos del territorio urbano en la Ciudad de León

Tipo de uso predominante	Área (ha.)	%
Vivienda	927.9	48.6
Mixta (vivienda/comercio/servicios)	254.4	13.3
Comercio/servicios	65.0	3.4
Equipamiento (publico/social)	123.9	6.5
Industria	83.3	4.4
Areas verdes reservas naturales	30.8	1.6
Recreación deporte	53.3	2.8
Cementerios	28.0	1.5
Equipamiento (técnico)	40.1	2.1
Area baldía	302.3	15.8
Totales	1909.0	100

Fuente: Plan Maestro Estructural (AML, 1996) [4]

El plano urbano del barrio indígena de Sutiaba, se distribuye en 94 manzanas, tejido con una mezcla de normas urbanísticas modernas y tradicionales en la configuración de las unidades habitacionales, siendo característico que la estructura de la vivienda esté muy ligada a la presencia de unidades familiares extensas [28], con grandes patios anexos. Es así como en la Zona 1 se registra el menor índice de densidad habitacional de León, con índices de 55, 85 y 42 habitantes por hectárea en los barrios de Sutiaba 2, 3 y 5 [5]. Este hecho ha llevado a proponer en ciertos estudios de ordenamiento urbano [38] la "densificación" de Sutiaba como una posibilidad en la estrategia de crecimiento de la ciudad⁶. En el extremo opuesto se sitúa el asentamiento Marco Antonio Medina con 433 habitantes por hectárea [5].

El desarrollo habitacional presenta un crecimiento acelerado y anárquico sobre todo en la periferia de la ciudad; específicamente al Este y en menor grado en las zonas al Norte y Sur, en donde en la década de los 80, y coincidiendo con los mayores índices de crecimiento poblacional, se registraron tomas de tierras por parte de la población inmigrante de escasos recursos económicos.

En el Estudio de Ordenamiento Urbano de León (INETER, AML. 1993) [38] ya se reconoce que el crecimiento no planificado es uno de los principales problemas de la ciudad. El fenómeno del crecimiento incontrolado ha repercutido negativamente en las condiciones físicas y sociales de la ciudad, en primer lugar porque limita su propio desarrollo y en segundo lugar porque afecta seriamente las condiciones de vida de la población. Se han ocupado áreas no previstas para el desarrollo de viviendas (franja de protección de los ríos Chiquito y Pochote y de uso industrial) y ya en el quinquenio 1986 - 1991 se habían ocupado totalmente las áreas para desarrollo habitacional que estaba previsto se ocuparan durante los quinquenios 1991 - 1996 y 1996 - 2001 [38].

Por lo general, la expansión del precarismo urbano en León ha tenido lugar en condiciones ambientales difíciles: sobre terrenos en barranca (Asentamiento Manolo Quezada), inundables (San Jerónimo), contaminados (El Cocal) o en áreas receptoras de tolveneras (Reparto Venceremos). Este mayor riesgo ambiental ha permitido reducir el apetito por el uso formal de estos suelos, que se traduce en un menor riesgo de expulsión. Es decir, que la inferior calidad de vida parece ser garantía de estabilidad y permanencia. La búsqueda de terrenos disponibles con escaso valor en el mercado inmobiliario, cada vez más alejados del centro, ha determinado la generación de tejidos urbanos muy laxos (Reparto Felix

⁶ INETER y AML (1993) [38], proponen aumentar la actual densidad de 6,5 viviendas por hectárea existentes en Sutiaba 2, 4 y 5 hasta 13 viviendas/hectárea, lo que incrementaría en casi 1.400 los lotes disponibles para vivienda en León.

Pedro Quiroz), lo cual no ha impedido por otra parte un acusado hacinamiento humano en las viviendas.

En los últimos años ha sido política habitacional de la Municipalidad la legalización de estos asentamientos espontáneos, aunque no siempre se ha garantizado el acceso a la infraestructura básica tal como vialidad, agua potable, saneamiento y energía eléctrica; o la cobertura con el servicio de recogida de basuras. En 1995 existían en León 26 unidades habitacionales pendientes de legalización, que agrupaban en su conjunto una población aproximada de 9.600 personas distribuidas en 1.900 viviendas⁷.

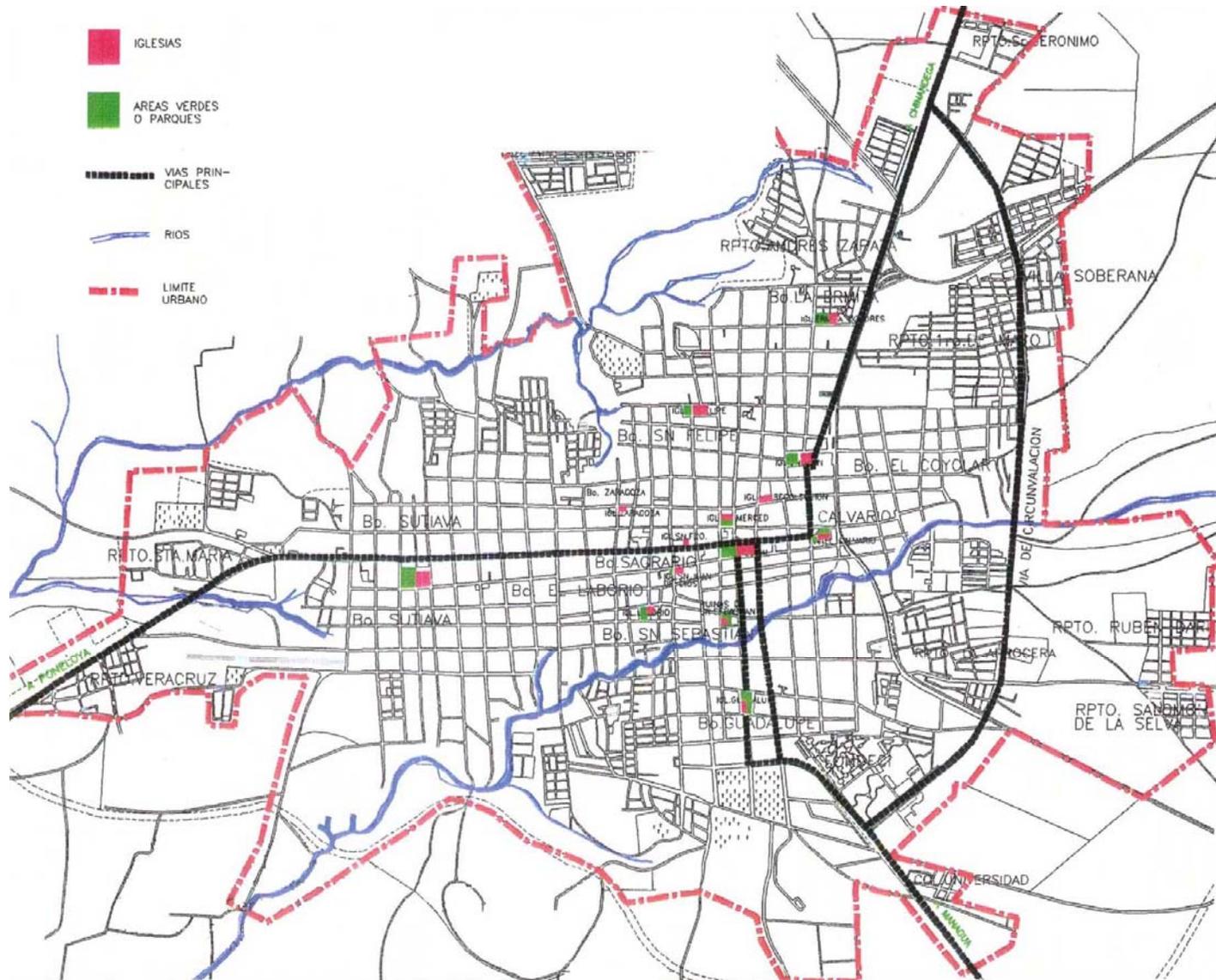
La necesidad de viviendas y lotes en León es muy alta. Ya en 1993 [38] la Alcaldía de León estimaba un déficit acumulado de 4.115 lotes. Se estima que la construcción de viviendas deberá ser durante los próximos años de entre 1.000 a 1.300 unidades al año [4, 39], lo que requerirá de al menos 470 hectáreas de terreno urbanizable hasta el 2010 [4]. En caso de que no se pueda satisfacer esta demanda será muy difícil detener las tomas ilegales de tierras y por ende será muy difícil ejercer alguna influencia en el desarrollo físico. Esto coloca al Ayuntamiento de León ante enormes problemas financieros y gerenciales, puesto que nunca antes se ha visto confrontado con una tarea de desarrollo de semejante magnitud.

Existen tres polos habitacionales de mayor dinámica y expansión, que son: Reparto William Fonseca al Norte, Reparto Todo Será Mejor al Noreste y Reparto Rubén Darío o Distrito Sur Este. La problemática principal del sector vivienda radica en el hecho que la ciudad carece de terrenos urbanizables para alojar a la creciente población urbana, que según las proyecciones será de 230.000 habitantes en el año 2010 [4].

⁷ Datos del Departamento de Planificación Física de la Alcaldía de León

MAPA 9. Estructura urbana de la Ciudad de León a finales del Siglo XX

Fuente: Romero, E. (1999). Evolución Histórica de la Ciudad de León [30]



3.4 PROCESOS DEMOGRAFICOS

3.4.1 Introducción. Una perspectiva regional

Entre 1940 y 1980 la población latinoamericana casi se triplicó. A mediados de siglo, el poblamiento era todavía escaso y de carácter sobre todo rural. De la transición se originó una entidad con abierto predominio urbano, que incluye algunas de las mayores concentraciones de población del planeta. En Centroamérica la transformación urbana ha constituido un proceso tardío y de escaso dinamismo en comparación a países como Argentina o Uruguay, donde ya se había verificado en las primeras décadas del siglo pasado. [23]

Al iniciar la década de 1950, Centroamérica tenía poco más de 11 millones de habitantes. Casi cincuenta años más tarde había triplicado esa cifra, alcanzando casi 35 millones. Cuatro de cada diez personas son niños o jóvenes de 14 años o menos, y seis de cada cien son adultos mayores (60 años o más). Poco más de la mitad de las personas radica en las zonas rurales y una de cada cinco habita en las 26 ciudades con más de 100.000 habitantes existentes en la región [27].

De acuerdo con el Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE) [10], Centroamérica se encuentra en transición demográfica moderada. El Salvador, Guatemala, Honduras, Belice y Nicaragua, que agrupan al 81% de la población, son clasificados como países en transición moderada, pues todavía muestran altos índices de natalidad, mortalidad y crecimiento poblacional, y a Costa Rica y Panamá como países en plena transición, con tasas de crecimiento poblacional menores.

Cada año se agregan casi 900.000 personas en la región, lo que significa una tasa de crecimiento natural de 26,2 por cada mil habitantes. Si al crecimiento natural se le restan las migraciones, ya que Centroamérica expulsa población, el incremento poblacional es cercano a 850.000 personas.

TABLA 9: Centroamérica: población estimada para 1998 por países

	Población total (en miles)	Población urbana	Población rural	% población		Densidad (hab./Km ²)
				Urbana	Rural	
Total	34.628	16.701	17.927	48,2	51,8	65,0
Belice	233	113,7	119,3	48,8	51,2	9,7
Costa Rica	3,840	1.900	1.940,0	49,5	50,5	75,4
El Salvador	6.031	3.229,4	2.801,6	53,5	46,5	288,1
Guatemala	10.802	4.217,7	6.584,3	39,0	61,0	99,2
Honduras	6.48	2.846,4	3.301,6	46,3	53,7	54,8
Nicaragua	4.807	2.825,8	1.981,2	58,8	41,2	34,6
Panamá	2.767	1.568	1.199,0	56,7	43,3	35,9

Fuente: Estado de la Región en Desarrollo Humano Sostenible (1999), [27]

3.4.2 Tendencias históricas de crecimiento y migración en Nicaragua.

Al igual que otros países en vías de desarrollo, Nicaragua atraviesa una etapa de transición demográfica caracterizada por el descenso de sus niveles históricos de natalidad y mortalidad. Aunque la mortalidad se ha reducido gracias a los avances en higiene, prevención y aumento de la cobertura de vacunación, la tasa de fecundidad todavía es elevada dado que depende de comportamientos individuales marcados por hábitos sociales y culturales muy complejos y de lenta evolución.

En el último siglo la población nicaragüense casi se ha quintuplicado. Este aumento es el resultado de una disminución de la mortalidad, de 22,7 a 5,6 defunciones por cada mil habitantes a lo largo de estos 50 años, y una sostenida tasa de fecundidad, que se mantuvo hasta 1965 en 7,3 hijos por mujer, antes de decrecer poco a poco hasta 4,4 hijos por mujer en el quinquenio 1995 - 2000 [5]. Actualmente la población de Nicaragua presenta una de las tasas de crecimiento más altas de América, equivalente al 2,7 %, lo que de mantenerse provocaría una duplicación de población cada 26 años.

TABLA 10. Comportamiento histórico de la población total de Nicaragua⁸ y previsión hasta el 2025

Año Censal	1778	1867	1906	1920	1940	1950	1963	1971	1995	1999	2025
Población X 1000	107	257	502	634	830	1.050	1.536	1.878	4.358	4.935	8.700
Tasa de crecimiento Por período %		1		1,7		2,4		2,5		3,2	
			1,7		1,4		2,9		3,5		2,7

Fuente: INEC (1995). VII Censo Nacional de Población [15], PNUD (2000). El Desarrollo Humano en Nicaragua [26]. FNUAP (1999). Estado de la Población Mundial 1999 [12]

Con una densidad promedio de 41 habitantes por kilómetro cuadrado, existen diferencias sumamente marcadas en la concentración poblacional de las distintas regiones del país: 103,3 hab/Km² en la zona del Pacífico, 29,8 hab/Km² en las áreas central y Norte, y apenas 9,3 hab/Km² en la Zona del Caribe [26]. Este patrón desigual es producto de dos factores fundamentales: una mayor urbanización en Occidente y la escasa capacidad de carga ecológica del suelo en la franja oriental del país.

De acuerdo al FNUAP [12], en la actualidad, y con una tasa media de crecimiento urbano del 4 %, el 63% de la población nicaragüense reside en ciudades. Las tendencias de crecimiento hacen prever que, aunque la tasa anual de crecimiento (TAC) demográfica se reduzca hasta un 2,5 % para el período 1997 - 2015, el país contará con 7,3 millones de habitantes para el 2015, un 71,3 % de los cuales residirá en ciudades [25].

El componente de la migración interna⁹ es particularmente importante por su influencia decisiva en la rápida urbanización y en la racionalidad o irracionalidad en el uso del espacio urbano. Además, en su interrelación con el medio ambiente pueden potenciar los efectos de las amenazas naturales y de origen humano, incrementando la vulnerabilidad ecológica. Nicaragua ha experimentado en las últimas décadas un cambio importante en el peso de la ocupación según los principales sectores económicos. En Centroamérica, la ocupación en el sector agrícola se redujo del 62,8 % en la década de los 60, al 36,6 % en la del 90. En Nicaragua, mientras en 1960 la ocupación del sector primario absorbía el 63 % de la población activa, en 1990 ello constituyó tan solo el 28 % [24].

Estos cambios en el entramado productivo de Nicaragua han determinado que se haya pasado de una población mayoritariamente rural en 1950 a un país predominantemente urbano en el año 2000. Las migraciones internas durante este período han tenido un evidente carácter centrípeto y centrífugo a la vez [26], por un lado con fuertes migraciones hacia la ciudad y, por otro, con un avance inexorable de la

⁸ En evaluaciones realizadas por el Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE), se determinaron los grados de omisión en que habían incurrido los censos desde 1950, determinando que la población nicaragüense había crecido a un ritmo sostenido desde 1950, con una tasa de, al menos, el 3% anual en promedio [15].

⁹ Se entiende por *migración interna* el desplazamiento de población a destinos dentro de los límites del territorio nacional y *externa* si el destino se ubica en el extranjero.

frontera agrícola hacia el este. Los factores históricos recientes que han alentado estos procesos migratorios se pueden resumir de la siguiente manera:

- ✓ A mitad de siglo se empezaron a generar en la zona Pacífica y Central de Nicaragua tensiones sociales entorno a la tenencia de la tierra como consecuencia de la considerable producción agroexportadora, en esos momentos en auge, y realizada a expensas de la economía campesina. Ante el desarrollo del latifundio, los campesinos fueron progresivamente desplazados hacia tierras marginales y muchos de ellos debieron escoger entre la proletarización, la migración a las ciudades o el afincamiento en zonas boscosas del interior del país, donde llevaron a cabo una "recampesinización" alentada por diversos proyectos estatales de colonización agropecuaria [21].
- ✓ La incorporación de Nicaragua al mercado mundial a través de la agroexportación fue consolidando una zona de alto desarrollo que coincidía con fuertes dotaciones en infraestructura sobre una amplia base de condiciones y recursos naturales. Esto impulsó el desarrollo agropecuario, y estimuló la alta concentración de población en el área. En un momento posterior, década de los 80, los patrones de crecimiento obedecieron al declino de actividades en el campo, fundamentalmente debido a la caída del precio del algodón en el mercado internacional.
- ✓ Existe una ocurrencia de por lo menos 100 eventos dañinos por siglo en Nicaragua, uno por año [8]. Los daños sucesivos de los desastres naturales sobre la economía para un país pobre del tamaño de Nicaragua resultan catastróficos, frenan el crecimiento e incrementan la pobreza. En los últimos veintiséis años, según estimaciones de CEPAL, los daños económicos acumulados alcanzaban la cifra de 6.200 millones de dólares, lo que equivale al triple del Producto Interior Bruto anual [8]. Hay indicaciones de que la capacidad de respuesta después de cada desastre es menor en naciones pobres y de que las pérdidas en el ingreso familiar son en estos países 20 veces más grandes respecto a los países desarrollados.
- ✓ Sumado a la ya de por sí baja rentabilidad agrícola de las zonas secas, durante la década de los 90, una persistente serie de fenómenos naturales que empezaron con las tormentas Brett y Gertz, continuaron con las erupciones del Cerro Negro y el fenómeno de El Niño, y tuvieron como colofón final el paso del Huracán Mitch, afectaron severamente la economía campesina del cuadrante noroccidental del país y contribuyeron a provocar nuevas migraciones internas. Por ejemplo, el Consejo Supremo Electoral de Nicaragua (CSE) calculó que el paso del Huracán Mitch alteró el registro de unos 195.000 votantes que se habrían trasladado de comunidad con ocasión de la crisis Mitch [22].

A inicios del siglo XXI el fenómeno de la pobreza rural sigue constituyéndose en motor de las migraciones internas. Según datos del Ministerio de Acción Social (MAS, 1998), los hogares en situación de pobreza extrema prevalecen en el área rural: un 60,1% de los mismos que pertenecen a esta categoría son rurales, frente a un 39,9% de los hogares urbanos. Al contrario, del 31,2% de hogares en situación de pobreza a nivel nacional, el 61,1% son urbanos contra un 38,9% rurales. Es decir, en términos relativos, la pobreza extrema prevalece claramente en el campo, pero hay más hogares pobres en las áreas urbanas.

De acuerdo a Acevedo (1998) [1], el impacto de la pobreza sobre el medio rural es actualmente el resultado de los siguientes factores:

- ✓ Abrupta contracción del acceso al crédito formal y posiblemente también al informal

- ✓ Agudo deterioro de los precios en finca y caída del ingreso bruto real de la unidad familiar, como resultado de las deficientes estructura de comercialización y de la desprotección de que son objeto los productores locales.
- ✓ Profunda iliquidez que dificulta realizar las diversas actividades vinculadas a la actividad agropecuaria, incluida la comercialización, el cumplimiento de compromisos contraídos y la adquisición de bienes y servicios esenciales.
- ✓ Aumento del peso de comerciantes agiotistas
- ✓ Encarecimiento de los insumos y de los alimentos comprados, controlados por cadenas de comercialización que los encarece.
- ✓ Deterioro masivo en el acceso a servicios de salud y educación

Existen diversas formas de ajuste de la agricultura campesina a estos impactos. Las necesidades de supervivencia de los sectores campesinos excluidos por el modelo económico, fuerzan a los mismos a un uso intensivo y/o depredativo de dichos recursos, por encima de su capacidad de regeneración, lo que a la larga condena a la migración, que congestiona aún más las sobrepobladas y sobrecontaminadas ciudades.

Las principales ciudades del país han sido y son los puntos focales de las migraciones desde las comunidades rurales, lo que ha contribuido a un aumento drástico de sus poblaciones respectivas. Sin embargo, la infraestructura deficiente, un equipo deteriorado y unas capacidades financieras limitadas han hecho difícil la administración de los aspectos de saneamiento y ordenamiento urbano, y es cada vez mas obvio que bajo este marco las ciudades son incapaces de hacer frente a la degradación ambiental.

1.2.3 El fenómeno de la urbanización en la Ciudad de León

León es la segunda ciudad en población de Nicaragua muy por detrás de Managua, que ya sobrepasa el millón de habitantes. Resulta complicado estimar su población urbana, por cuanto se encuentran diferencias significativas al respecto en los datos encontrados a lo largo de la bibliografía. Así, mientras el Sistema de Información para la Planificación Física (AML, 1993) [5] cifra la población urbana en 154.541 habitantes, el Plan Maestro Estructural (AML, 1996) [4] la calcula en 123.865 personas y el Plan Estratégico de León (2000) [8] en 164.370 personas. Es importante enfatizar que el Municipio de León incluye 27 comarcas rurales además del propio León, por lo que la población del mismo es en su conjunto mayor que la de la ciudad.

Tabla 11: Organización y estructura de la población rural del Municipio de León

División administrativa	Nº de comarcas	Nº de comunidades	Extensión (Km ²)	Nº de habitantes	Densidad (hab/Km ²)
Noreste	7	39	218	14.589	67
Sudeste	12	34	297	17.272	58
Oeste	8	32	325	12.373	38
TOTAL	27	105	840	44.234	53

Fuente: Plan Estratégico de León (2000) [8]

Aunque León era en 1906 con un 18% sobre el total el Departamento de Nicaragua con mayor población, fue el que menos creció durante el período 1906 - 1950, con una tasa promedio del 1,4%, frente al 3,1% de Matagalpa o a un 3,4% en Managua. Entre 1950 y 1995 León siguió siendo uno de los Departamentos con menor crecimiento, con una tasa promedio anual del 2,7%, en comparación al 6,8% de Managua o al 7,7% del departamento de Río San Juan [15].

De acuerdo al censo del año 1995 publicado por el Instituto de Estadísticas y Censos [15] el Departamento de León tiene un porcentaje de población urbana¹⁰ del 55,1%, lo que lo sitúa en una sexta posición dentro del ranking de las 18 regiones y departamentos del país. El crecimiento natural y los movimientos migratorios contribuyeron para que la población urbana del departamento creciera con un 6,1% anual promedio durante el período 1971 a 1995 [15]. Los movimientos migratorios internos del Departamento han actuado en varias direcciones y no solo hacia sus ciudades. De hecho, en el censo de 1995, León aparece como el primer departamento del país en expulsar población interna, con un saldo neto migratorio¹¹ de -54.632 personas¹².

El mayor crecimiento demográfico y de expansión de la ciudad se dio en el periodo de 1980 a 1995. El municipio, en un período de 15 años, incrementó su población en 63.522 habitantes [5].

TABLA 12: Crecimiento histórico de la población de la Ciudad de León desde el año 1950

Años Censales	Nº de habitantes	Periodos intercensales	Tasa de crecimiento según periodos (%)	Incremento absoluto (Nº personas)	Incremento relativo de personas (%)
1950	30.544				
		1950-1963	3	14.504	47
1963	45.048				
		1963-1971	1.7	6.749	15
1971	51.797				
		1971-1980	6.3	39.129	76
1980	90.929				
		1980-1986	3.8	23.221	26
1986	114.147				
		1986-1993	4.3	40.394	35
1993	154.541				

Fuente: INEC, CENSOS Nacionales de 1950, 1963 y 1971, estimaciones 1980; MINVAH, 1986. En Sistema de Información para la Planificación Física (1993) [5]

En la tabla 12, que relaciona el crecimiento total y natural de la población leonesa, se puede evaluar el balance migratorio desde 1950 y relacionarlo con la historia económica y productiva que ha caracterizado las últimas décadas en la región (ver tabla 13).

TABLA 13: Crecimiento total y natural de la población de la Ciudad de León desde 1950

Años	Crecimiento total (Nº personas)	Crecimiento natural (Nº personas)	Saldo migrante (Nº personas)
1950	30.544	-	-
1963	45.048	45.348	- 300
1971	51.797	57.450	- 5653
1980	90.926	68.100	22.826
1986	114.147	109.120	5.027
1993	154.541	140.820	13.721

Fuente: Departamento Urbano Regional INETER, 1993 [3]

¹⁰ El INEC considera como urbanas las localidades cabeceras departamentales y municipales, y además las concentraciones de población de 1000 habitantes o más que cuenten con características tales como servicio de luz, trazado de calles, establecimientos comerciales u otros.

¹¹ El saldo neto migratorio de un territorio es igual a su población inmigrante menos su población emigrante.

¹² Los únicos departamentos o regiones de Nicaragua que en 1995 tenían un saldo neto migratorio positivo eran Nueva Segovia, Managua, Río San Juan y las dos regiones atlánticas.

Tabla 14. Hechos y datos relevantes en la historia económica y productiva del Departamento de León por períodos intercensales desde 1950

Censo	Año	Acontecimientos relevantes
1950	1950	Inicia el auge del algodón Erupción en noviembre del Volcán Cerro Negro, con una duración de mes y medio.
	1961	Tormenta tropical en julio causa inundaciones destructivas en el Pacífico
1963	1966	Inundaciones debidas al Huracán Alma
	1968	Prolongada e intensa erupción del Volcán Cerro Negro. Parte de la población damnificada de León fue trasladada definitivamente a la zona de Nueva Guinea.
1971	1971	Inundaciones debidas al Huracán Irene
	1972	Terremoto en Managua (10.000 muertes)
	1974	Inundaciones severas en occidente provocadas por la Tormenta Tropical Fifi
	1976	Año de extrema sequía (615 mm. en León). Ciclo agrícola con fuerte déficit hídrico Occidente participa en un 26,2% del PIB (823 \$ per cápita) y su producto regional per cápita es de 1.238 \$/año. Se siembran 343.000 manzanas en León y Chinandega
	1977	Año de sequía (1.024 mm. en León) Se cosechan 1.000.500 manzanas en el país
	1978	Se logran los mayores volúmenes de siembra y cosecha del algodón en el país. 310.000 manzanas cultivadas
	1979	Final de la guerra de la Revolución. Inicia el período bajo el Gobierno Sandinista
1980	1981	Se consiguen los precios más altos en el mercado del algodón Se promulga la Ley de la Reforma Agraria. Se inicia un proceso en contra del latifundio ocioso
	1982	Año de sequía. La precipitación alcanza 1.780 mm en León pero con una pésima distribución en el año.
	1984	Bloqueo económico internacional. Desaparece el cultivo del algodón en la mayoría de las tierras leonesas. Inicia el estancamiento económico
1986	1986	Año de sequía (1.237 mm. en León)
	1987	Año de sequía (1.198 mm. en León)
	1988	Se alcanza la máxima expresión de la hiperinflación, con un 33.000% anual acumulado Graves inundaciones en octubre debidas al Huracán Joan
	1990	Inicia el período bajo el Gobierno de unidad presidido por Violeta Barrios Se firman los acuerdos de paz. Concluye la guerra Existen en el país 3.600 cooperativas
	1991	Año de sequía (1.090 mm. en León) El gobierno lanza un programa de estabilización que incluye políticas crediticias restrictivas Se devalúa la moneda del 1 al 5 por dólar lo que produce un gran endeudamiento en el sector agropecuario (pérdidas de hasta 600 US\$ por manzana de algodón) Se siembran 36.000 manzanas en León y Chinandega
	1992	Se inicia la contra reforma agraria por métodos económicos. Saneamiento de carteras del BANADES, BANIC y BANCO POPULAR que afecta a 30.000 productores. Erupción en abril del Volcán Cerro Negro. Las cenizas llegan hasta Corinto a 50 km. Maremoto en septiembre en la Costa del Pacífico (180 muertes) Año de sequía extrema (864 mm. en León). Ciclo agrícola con fuerte déficit hídrico
	1993	Occidente participa en un 20,6% del PIB (424 \$ per cápita) y su producto regional per cápita es 529 \$/año Se cosechan 725.000 manzanas en el país Inundaciones en agosto debidas a la Tormenta Gertz Inundaciones en septiembre debidas a la Tormenta Brett
1995	1995	Saneamiento de cartera. 19.000 productores pasan a una situación de "muerte financiera" Erupción en noviembre del Volcán Cerro Negro. Provoca la total desaparición del algodón.
	1997	Inicia el período bajo el Gobierno Liberal Cierre del BANADES. 6.000 productores pasan a una situación de muerte financiera Año de sequía que coincide con el Fenómeno del Niño (1.100 mm. en León)
	1998	Huracán Mitch en noviembre (3.050 muertes). Dañado directamente el 62% de la siembra nacional. Más de 200 millones de dólares en pérdidas del sector agrícola.
	1999	Existen en el país 350 cooperativas

Fuentes: Desastres Naturales en Nicaragua (2000)[13]; Plan Estratégico de León (2000) [8]; Evolución Histórica de la Ciudad de León (1999) [30]; El huracán que desnudó a Nicaragua (1999) [32]; Estudio económico: Plan Maestro de Desarrollo Físico- Económico de León [31]; Datos estadísticos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), estación de León.

3.5 CONTEXTO SOCIOECONOMICO

3.5.1 Introducción. El marco de la pobreza en Nicaragua

Los noventa dejaron al descubierto un proceso de agudo deterioro económico. Las causas del mismo son resultado de la combinación de una serie de factores históricos, políticos y económicos que a lo largo de las últimas décadas han generado un rezago social de características estructurales. Durante este período, las medidas de estabilización y reformas estructurales que abarcaron un amplio abanico de políticas económicas, lograron incidir sobre los altos niveles de inflación, pero agudizaron y profundizaron los problemas sociales de la sociedad nicaragüense. Estas medidas, orientadas a la reducción del déficit y la desregulación de la economía, trajeron consigo un crecimiento importante en la tasa de desempleo que afectó principalmente a los sectores de bajos ingresos en una primera etapa, pero que golpeó a importantes sectores de la población ocupada tanto en las instituciones públicas como privadas a partir de 1991 y años siguientes.

Según datos del gobierno de la República de Nicaragua (2000) [43] y de acuerdo al *Método de la Línea de Pobreza* (LP)¹³, cerca de la mitad de la población de este país está por debajo del umbral de la pobreza. En concreto el 47,9% de la población (2,4 millones) es pobre, teniendo unos ingresos inferiores a 1 dólar diario. De ellos, el 36% (865 mil) es extremadamente pobre, es decir, subsiste con un ingreso diario per cápita inferior a 0,5 dólares y no puede garantizar las mínimas necesidades calóricas, aun bajo la premisa de que todos los ingresos fueran asignados a la alimentación.

Las cifras anteriores pueden resultar engañosas si no se analizan en detalle. Que el 52,1% restante de la población subsista con más de un dólar diario no puede ser concluyente acerca de su exclusión de una situación de pobreza. De hecho, de acuerdo a los datos del Banco Mundial (2000) [44], el 74,5% de la población vivía en 1993 con menos de 2 dólares diarios, es decir, 730 dólares anuales. Este dato, es significativo de que la mayor proporción de la población nicaragüense vive con una gran parte de sus necesidades básicas insatisfechas, tales como educación, salud, vivienda o alimentación. Aplicando el Método de las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), el Mapa de Pobreza en Nicaragua - 1995 [45], señala que el 82,3% de los hogares nicaragüenses se encuentran en pobreza general, estando un 54,7% de estos en condición de pobreza extrema.

Los datos anteriores son a su vez ilustrativos de la tremenda brecha que separa a la clase más acomodada del resto de la población. Siguiendo con datos del Banco Mundial [44], la cuota de participación en la proporción del ingreso o el consumo del país es de un 1,6% para el 10% más pobre, en comparación con el 39,8% de cuota para el 10% más rico. América Latina es la región del mundo con la más abismal desigualdad en la distribución de la riqueza [42]. El crecimiento económico de los últimos años ha favorecido especialmente a quienes perciben mayores ingresos, que corresponden a un 10% de la población. La pérdida del poder adquisitivo del salario real promedio nacional ha sido del 44,4% durante la década pasada [41], lo que quiere decir que los aumentos porcentuales del salario real han sido inferiores a la tasa de inflación anual e insuficientes para sufragar las necesidades básicas de la familia. La raquítica clase media nicaragüense ha experimentado una drástica disminución de su poder adquisitivo pasando a engrosar en buena medida los círculos de pobreza.

¹³ La medición de la pobreza se aborda, básicamente desde tres sistemas o métodos de medición que son: *el método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI)*, que parte de la medición de cinco indicadores de carácter estructural agregados que son: servicios básicos insuficientes, vivienda inadecuada, dependencia económica y baja educación; *el método de línea de pobreza (LP)*, que hace énfasis en el ingreso de consumo de la población; y un tercer método que es una combinación de los dos anteriores.

Tabla 15. Algunos indicadores socioeconómicos en Nicaragua

Esperanza de vida al nacer	Tasa de alfabetización de adultos	PIB per cápita (1997)	PNB per cápita
67,9 años	63,4 %	1.997 dólares	410 dólares
Población sin acceso a agua potable	Población sin acceso a saneamiento	Tasa de mortalidad de lactantes	Niños menores de 5 años desnutridos
38%	65%	4,2%	12%

Fuente: PNUD (1999) [25], Banco Mundial (2000) [44]

Tabla 16. Algunos indicadores macroeconómicos en Nicaragua

Deuda Externa (1998)	Deuda externa en % del PIB	Exportaciones (1997)	Importaciones (1997)	Déficit comercial (1997)
6.300 millones US\$	305,6%	746,1 millones US\$	1.300 millones US\$	- 553.9 millones US\$

Fuente: PNUD (1999) [25], VARGAS, O.R. (1999) [41]

El programa contra la pobreza diseñado por el Gobierno de Nicaragua (2000) [43] pretende para el 2015 reducir a la mitad la pobreza extrema que hoy afecta a más de 800.000 ciudadanos. Para ello, la economía tendrá que crecer 5,5% anual durante los próximos 15 años. Sin embargo, la presión de la población sobre los recursos naturales, la pérdida de competitividad del país por el retraso tecnológico y la carga de la deuda externa son tres de los factores que obstaculizan el cumplimiento de este objetivo.

3.5.2 Pobreza, población y medio ambiente en Nicaragua

Al mismo tiempo que constituye el recurso más importante del país, la población creciente es la que presiona sobre los otros recursos con que cuenta Nicaragua. Es notoria en el proceso de colonización del frente agrícola, en el detrimento de los bosques naturales del país, en la contaminación de los ecosistemas periurbanos, en la regresión de especies y en la destrucción de suelos. El deterioro ambiental resultante atenta además contra la posibilidad futura del país para sostener a sus habitantes y desarrollarse.

La imagen de esta interacción se hace más tangible cuando se establece la relación entre el crecimiento de la población y la capacidad del estado para brindar las condiciones adecuadas de vida y el acceso a los medios necesarios para satisfacer plenamente las necesidades de educación, salud, empleo y vivienda. Esta relación es todavía más crítica cuando se da en condiciones de bajos ingresos, un entorno ecológicamente degradado y pobreza extrema, condiciones todas ellas que propician y perpetúan la insostenibilidad.

El crecimiento de la población y el desarrollo económico se vinculan de maneras muy complejas. Según Meadows (1992) [46], existe correlación entre el Producto Interior Bruto (PIB) per capita y la tasa de natalidad en la mayor parte de las naciones del mundo. Los factores que se cree tienen relación directa importante en la caída de la natalidad no son tanto los niveles nacionales de ingresos medios, sino más bien el grado en que esos ingresos modifican la vida de las familias, y especialmente la vida de las mujeres. Más importantes que el PIB per capita son factores tales como la educación y el empleo (especialmente para las mujeres), la planificación familiar, el acceso a los servicios de saneamiento y la reducción de la mortalidad infantil.

Sin embargo, en Nicaragua, como en otros muchos países en desarrollo, el crecimiento excesivo de la población hace que los frutos del desarrollo deban repartirse cada vez entre más gente, en vez de mejorar las condiciones de vida. El PIB per cápita de 1997 es prácticamente el mismo que el de 1975 y, aunque recuperado, su tasa media anual de cambio para ese período se situó en el -2.9 % [25]. El gasto público en educación, paso del 6.8 % del PNB en 1985, al 3,6% en 1996 y se estima que más de 800.000 niños y niñas nicaragüenses quedarán desescolarizados durante el año 2000. Nicaragua no está, en estos momentos, en condición de aumentar el gasto público de forma continua y en proporción similar al crecimiento demográfico.

3.5.3 El marco socio-económico en León

Occidente es una de las regiones más productivas del país y durante los años 60 y 70 fue la de más rápido desarrollo, especialmente por la acelerada expansión de los productos agroexportables. En 1976 Occidente produjo el 26,2% del PIB y su producto regional per cápita fue de 1.238 dólares de ese año, superior al promedio nacional. En 1993 y debido a la casi desaparición del algodón, su participación en el PIB fue del 20,6%, siendo su producto regional per cápita de 529 dólares anuales, muy inferior al de 1976. Hay que hacer notar que en 17 años el PIB del país tuvo una reducción global del 33,2%, pasando de 823 dólares per cápita en el 76 a 424 dólares per cápita en el año 93.

El municipio de León se encuentra en una situación de estancamiento económico que radica en el contexto económico a nivel nacional, determinado por el proceso de transición de una economía estatal a una de libre mercado y la aplicación de un Programa de Ajuste Estructural Económico (ESAF)¹⁴. En el territorio, esta situación se ve agravada por la desarticulación del sistema agropecuario, debido a la desaparición del monocultivo del algodón. Este fenómeno se expresa en bajos niveles productivos y altas tasas de desempleo [4].

Asimismo, se evidencia una desvinculación entre los tres sectores formales de la economía: la producción primaria se exporta sin procesamiento y subsecuente valor agregado, la producción secundaria se realiza en base a materia prima importada y en el sector terciario domina el comercio de los productos importados de consumo. El sector informal de la economía demuestra un crecimiento acelerado, manifestándose fundamentalmente dentro del comercio, donde se ha convertido en un fuerte competidor desleal del comercio formal.

La tasa de ocupación, calculada como la relación entre la población ocupada y la población en edad de trabajar, ha oscilado en la ciudad de León durante los últimos años entre un 39 y un 53% [2]. Sin embargo, durante 1999 experimentó una caída con respecto a 1998 de casi 6 puntos, del 52,7% en 1998 al 46,9% en 1999. Estos datos no reflejan el problema de la calidad del empleo. Entrado el nuevo siglo, solo el 27% de los ciudadanos leoneses ocupados tienen acceso al pleno empleo. Es decir, el 73% sufren y padecen el subempleo visible¹⁵ (26%) y en especial el subempleo invisible¹⁶ (47%). Producto de esta cultura de trabajo es que el desempleo abierto se ha reducido notablemente a lo largo de esta década, llegando a niveles casi de países desarrollados al pasar de un 21,9% en 1992 a un 11,5% en 1999.

Estas dinámicas han impulsado que durante los últimos 8 años se haya incrementado notablemente la cantidad de hogares en León que viven en pobreza [3], tal y como se refleja en la tabla 14. Sin embargo,

¹⁴ Exigido por el FMI para la continuidad de la asignación de créditos y el perdón de la deuda, plantea a grandes rasgos la privatización de empresas públicas, la austeridad fiscal, la reducción del aparato estatal, la aprobación de leyes y el incremento en las reservas internacionales.

¹⁵ Se trabaja poco y se gana poco

¹⁶ Se trabaja mucho y se gana poco

la mayor alarma radica en que los 10 puntos porcentuales de aumento entre 1992 y 1999 se han desplazado hacia la indigencia, es decir, de cada 100 hogares leoneses, 40 de ellos no logran con sus ingresos llenar las necesidades más básicas de su familia como es garantizar tres tiempos de comida al día. Asimismo, la estructura de la población y sus tasas de crecimiento no hacen sino agravar la situación. De acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [15], el 39,6 % de la población leonesa se encuentra por debajo de los 15 años, mientras que las personas mayores de 65 años tan solo representan el 3,4%. Estas cifras, en un contexto de extrema pobreza, agudizan otros problemas tales como la desnutrición infantil, la desescolarización, la inseguridad ciudadana o la explotación infantil. Por ejemplo, los niños entre 10 y 14 años tienen actualmente una participación en el mercado laboral del 3% [2].

TABLA 17. Situación de la pobreza en León según los ingresos de los hogares encabezados por hombres y mujeres

Indicador	Agosto 1992			Agosto 1999		
	H	M	T	H	M	T
Hogares fuera de la línea de pobreza	49,1	35,8	45,2	40,6	26,4	35,2
Hogares pobres	50,9	64,2	54,8	59,4	73,6	64,8
• En pobreza	23,9	26,9	24,8	23,0	26,4	24,3
• En indigencia	27,0	37,3	30,0	36,4	47,2	40,5

Fuente: AGURTO, S. (2000) [3]

3.6 MUNICIPALIDAD Y GESTION AMBIENTAL

3.6.1 Gobierno Municipal. Características y limitantes para la gestión del medio ambiente

La Alcaldía de León tiene como competencia atender el Municipio de León, que según el Plan Estratégico de León [8] tiene una población urbana de casi 165.000 habitantes y una población rural cercana a los 45.000. El Gobierno Municipal ejerce sus funciones conforme a las competencias que le confiere la Ley de Municipios, entre las que encontramos las siguientes tareas:

- ✓ Control del desarrollo urbano y uso del suelo, incidiendo directamente en la construcción, mantenimiento y administración de obras públicas.
- ✓ Higiene comunal y protección del medio ambiente, con influencia directa en el ornato público y limpieza, recolección y manejo de la basura
- ✓ Contribución a la construcción y mantenimiento de obras de infraestructura vecinal e intermunicipal
- ✓ Impulso de actividades culturales, educativas, deportivas y del turismo
- ✓ Registro del estado Civil de las Personas
- ✓ Diseño y administración del Plan de Arbitrios

Dispone de un aparato institucional compuesto de 588 empleados¹⁷ divididos en 9 direcciones con 22 departamentos, destacándose la Dirección de Servicios Municipales por tener el 50% del total del personal, las direcciones de Planificación y Desarrollo Local y Relaciones con la Comunidad por su innovación institucional, y la Dirección de Cooperación externa por su peso creciente en la consecución de fondos. El bajo nivel de calificación de la mayoría del personal limita la aplicación de políticas de reconversión a lo interno de la municipalidad y determina la capacidad de la Alcaldía para la gestión de los proyectos de cooperación, los cuales se caracterizan por una amplia diversidad de sectores de

¹⁷ De acuerdo a datos del Departamento de Recursos Humanos (1999), en MENDOZA, R., ARTOLA, R. (1999) [52]

actuación . Llama la atención que el 26% de los empleados no saben leer ni escribir y el 20% solo ha aprobado primaria [47]. Las personas con educación superior son relativamente pocas (8%) y laboran en cargos de dirección o nivel intermedio.

Como se muestra en la tabla 18, durante el período 1992 - 1998 las principales fuentes de ingresos de la Alcaldía de León han sido en primer lugar el impuesto sobre ventas y servicios, que representó el 52,9% del total de los ingresos corrientes, y en segundo término las tasas por los servicios municipales con un 22,3%.

Los ingresos de capital han significado una importante fuente para la municipalidad, totalizando 101 millones de córdobas en el período analizado, de los cuales 69 millones, equivalentes al 68% de los ingresos de capital y al 30% de los ingresos totales correspondieron a donaciones.

En términos generales, los ingresos totales del municipio han mostrado una tendencia al crecimiento en córdobas corrientes al pasar de 26,9 millones de córdobas en 1992 a 42,6 millones en 1998. Sin embargo en el mismo período Nicaragua registró una inflación promedio del 11% anual, y la tasa cambiaria con respecto al dólar de los Estados Unidos paso de 5 x1 en 1992 a 11 x 1 en 1998. En términos generales, una de las principales causas que explican las tendencias al decrecimiento es la caída definitiva del cultivo del algodón durante el período. Este revés en la economía se reflejó en la quiebra y cierre de empresas, disminución de la oferta de empleo y reducción de la actividad económica en general, lo cual se refleja en el comportamiento de las finanzas municipales.

TABLA 18. Comportamiento de los ingresos de la Alcaldía Municipal de León en el período 1992 - 1998 en miles de córdobas

Clasificación	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Período 92-98	%
1. INGRESOS CORRIENTES	18.027	15.394	14.256	15.621	16.891	20.656	22.747	123.593	55
1.1. Ingresos	14.236	11.746	10.240	11.236	12.942	15.413	16.526	92.039	41
Impuesto s/ventas y servicios	10.405	8.561	7.473	8.262	9.605	10.320	10.752	65.378	29
Impuesto s/bienes inmuebles	1.081	904	586	988	1.072	2.804	3.600	11.035	5
Impuesto de rodamiento	1.675	1.347	1.133	987	826	793	967	7.728	3
Matrículas y licencias	891	860	801	830	969	1.232	1.071	6.654	3
Impuesto act. Especiales	52	57	197	135	116	96		653	0.29
Otros impuestos	132	17	50	34	54	168	34	489	0.21
1.2. Ingresos no Tributarios	3.791	3.648	4.015	4.385	4.249	5.244	6.222	31.554	14
Tasa por servicios municipales	3.313	3.417	3.552	3.718	3.686	4.391	5.536	27.613	12
Tasa por aprovechamiento	71	134	242	549	401	670	203	2.270	1
Contribuciones	31	38	162	57	60	104	458	910	0.40
Otros ingresos corrientes	376	59	60	61	102	79		737	0.32
2. INGRESOS DE CAPITAL	8.896	6.868	22.748	16.593	13.179	12.872	19.899	101.055	45
Donaciones	5.728	4.600	19.690	12.868	7.522	6.405	12.277	69.090	31
Recuperación años anteriores		537	1.869	1.919	2.012	2.758	3.213	12.308	5
Ingresos patrimoniales	1.469	1.409	910	1.098	1.756	2.408	1.012	10.062	4
Ingresos financieros	1.140	107	119	92	392	917	636	3.403	2
Transferencias	395	39	147	442	1.118	242	163	2.546	1
Reintegro y otros ingresos	164	176	13	174	379	142	400	1.448	0.64
TOTAL DE INGRESOS	26.923	22.262	37.003	32.214	30.070	34.031	42.647	225.150	100

Fuente: BID (1999) [47]

Como se muestra en la tabla 19, durante el período analizado los gastos corrientes disminuyeron consecutivamente de 1992 a 1995 como consecuencia de la disminución de los ingresos corrientes en dichos años, volviendo a incrementarse en los años posteriores. El rubro de mayor significado en los gastos corrientes, fueron los gastos de personal, que representaron el 49% de los gastos corrientes y el 32% de los totales.

Después de Managua, la Municipalidad de León es la segunda en captación de ingresos [31], sin embargo, con ellos solo cubren el presupuesto de operaciones y funcionamiento para brindar los servicios que de acuerdo a la Ley de Municipios vigente tiene responsabilidad de suministrar a la comunidad, así como la contraparte que exige la cooperación externa.

TABLA 19. Egresos de la Alcaldía de León durante el período 1992 - 1998 en miles de córdobas.

Clasificación	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Período 92-98	%
1. GASTOS CORRIENTES	21.625	17.520	14.483	14.957	18.799	24.080	21.250	132.714	57
Personal y prestaciones	10.576	9.918	8.267	9.012	10.455	13.324	1.373	62.925	32
Servicios,materiales,productos	5.568	4.588	3.760	3.202	5.240	6.834	6.029	35.221	15
Transferencias corrientes	1.103	1.036	876	1.096	1.143	1.335	1.486	8.075	3
Desembolsos financieros	1.544	986	1.225	959	726	1.801	0	7.241	3
Pendientes de pago	2.834	992	354	688	1.235	768	0	6.871	3
2. INVERSIONES	6.995	6.625	22.784	19.247	11.830	11.310	20.740	99.531	43
TOTAL DE EGRESOS	28.620	24.145	37.267	34.205	30.629	35.390	41.990	232.246	100

Fuente: BID (1999) [47]

3.6.2 Inversiones en medio ambiente. Período 1996 - 2001

Los gastos corrientes del período 92 - 98 representaron un total de 132,7 millones de córdobas, cifra superior en 9,1 millones a los ingresos corrientes del mismo período, lo que significa que el ahorro ha sido negativo (- 7%) y que se ha venido sacrificando la capacidad inversionista con recursos propios, y además se ha venido utilizando ingresos de capital para cubrir gastos de funcionamiento. Dado que se han producido algunas dificultades de transferencia de fondos del presupuesto nacional a las alcaldías del país, existe un gran esfuerzo desplegado en lograr relaciones de hermanamiento con varias alcaldías de Europa y apoyo de distintas ONG,s y Agencias. En vista de lo anterior, la municipalidad ha financiado buena parte¹⁸ de las inversiones ejecutadas en el período por las donaciones del exterior

De 1990 a 1997 la Alcaldía de León recibió un total de 25 millones de dólares en donaciones [53], ya fuera en efectivo o en especie. Durante 1999 las donaciones llegaron a los 4.6 millones de dólares [54], lo que supuso la base de las inversiones municipales durante el año y una importantísima inyección de circulante a la ciudad.

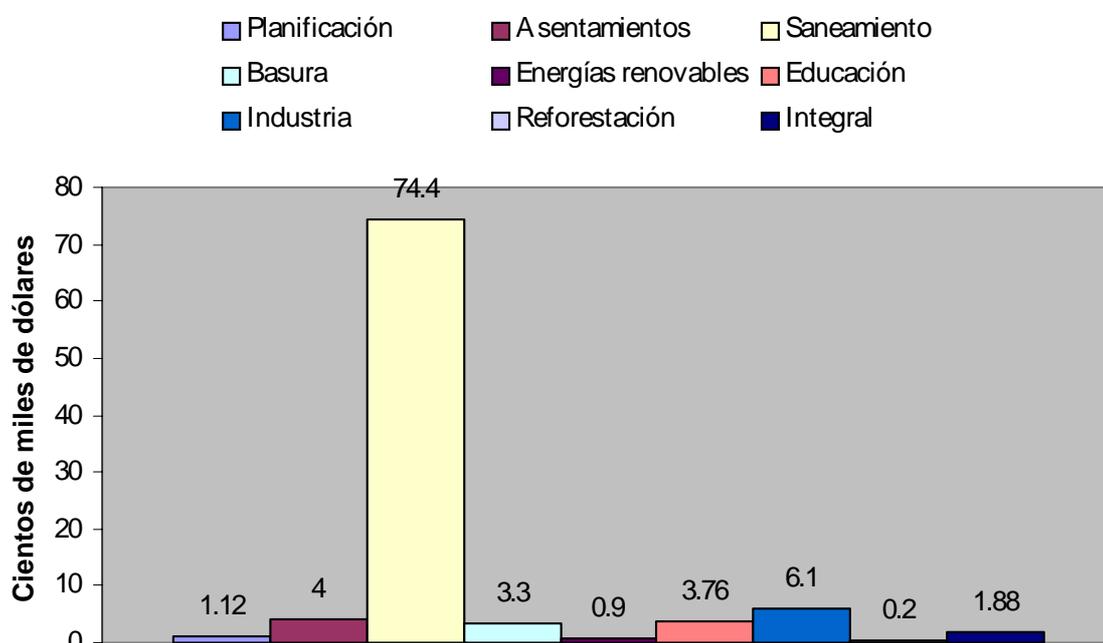
Durante la última década los principales actores de la cooperación que han apoyado financiera y técnicamente a la ciudad de León han sido las cooperaciones oficiales europea, española, japonesa, sueca estadounidense, luxemburguesa y austríaca; la red de hermanamientos con León, compuesta por diversas ciudades como Zaragoza, Alicante, Vitoria, Utrecht, Hamburgo, Salzburgo, Oxford, Brno, Toscana o Minnesota, y diversas ONGs y asociaciones que interactúan con diferentes agentes locales.

¹⁸ Del total de las inversiones hechas por el gobierno municipal entre 1990 y 1994, el 74,3% corresponden a la cooperación internacional, el 18% a fondos propios, el 2,7% al gobierno central y el 5% al FISE [31].

Los esfuerzos para establecer la relación y coordinación con el anterior conjunto de actores, así como la formulación de proyectos y su posterior ejecución corre a cargo de la Dirección de Cooperación Externa de la Alcaldía, constituida a su vez por un departamento de *Gestión de la Cooperación* y otro de *Monitoreo y Evaluación*.

Durante el período 1996 a 2001 las inversiones realizadas en la ciudad de León en materia de medio ambiente financiadas por la cooperación internacional ascendieron a por lo menos¹⁹ 9,57 millones de dólares²⁰. Calculando un aporte financiero local de un 10%, la inversión total puede ascender hasta los 10.5 millones de dólares.

GRAFICO 4. Peso relativo por ámbito de actuación en la inversión en medio ambiente en la ciudad de León durante el período 1996 - 2001.



FUENTE: Elaboración propia

El análisis de las cifras nos revela que el principal esfuerzo inversionista se ha llevado a cabo en el área de saneamiento y depuración de aguas residuales domésticas, con un 77,8% del total, seguido de la reconversión de industrias asentadas en las márgenes del Río Chiquito (rastros municipales y tenerías) con un 6,4% del total. Es decir, que el 84,2% de la inversión se ha dirigido a solucionar el problema de los desechos líquidos de la ciudad, materializándose a través de la ejecución de 26 proyectos. Otros proyectos en el ámbito de la educación ambiental (3,9% de la inversión total), la basura (3,5%), o

¹⁹ El estudio de inversiones en medio ambiente no recoge iniciativas desarrolladas durante el año 96 para las que se ha perdido la información. Asimismo, no incluye en su apartado de asentamientos el proyecto de autoconstrucción de viviendas llevado a cabo en el Reparto William Fonseca

²⁰ Esta cifra incluye 256.000 dólares donados por el Hermanamiento de Utrecht durante 1994 y 1995 para el traslado de las tenerías artesanales fuera de la ciudad de León, ya que forman parte de un proyecto que finalizó en 1999.

aquellos que han tenido un carácter integral, actuando en varios frentes campos a la vez (2%), deben haber tenido a su vez una incidencia real sobre la gestión del agua.

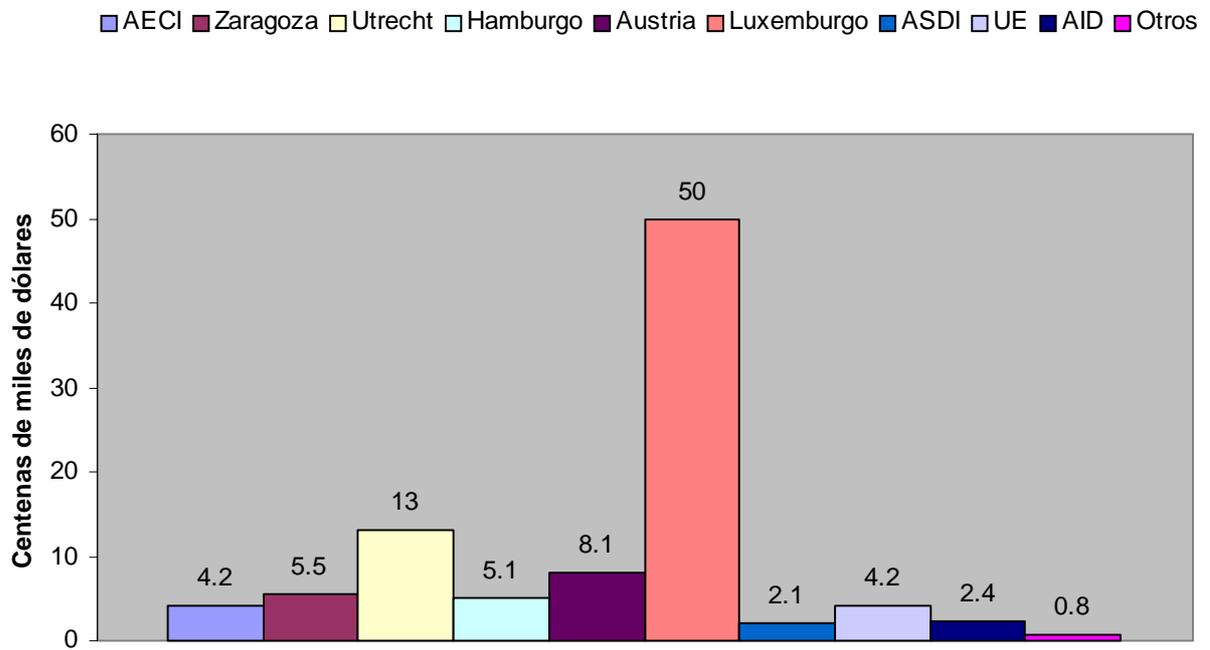
Por donantes, el Ducado de Luxemburgo, con el proyecto de saneamiento de la zona norte de León y la ampliación de las lagunas de oxidación de Sutiaba, se constituye en el que más a contribuido, con un 52.4% de la inversión total (5 millones de dólares), le siguen el hermanamiento de Utrecht con un 13,6%, el Gobierno de Austria con un 8,5% y los hermanamientos de Zaragoza y Hamburgo con un 5,8% y 5,4% respectivamente.

TABLA 20. Proyectos en el ámbito del saneamiento, la depuración de aguas y el control de la contaminación industrial desarrollados en León en el período 1996 - 2001

Proyecto	Donante	Costo US\$
* Reubicación de teneros artesanales y sistema de reciclaje de cromo.	Utrecht - AECI	457.000
* Asistencia técnica para un sistema de reciclaje de cromo en la Tenería Bataan.	Utrecht	15.000
* Mejora de la eficiencia de depuración de la pila de oxidación de El Cocal mediante un sistema de macrofitas.	Utrecht	207.000
* Instalación del sistema de alcantarillado en la zona norte y canalización hacia la pila de oxidación de Sutiaba. Ampliación de la Laguna de Oxidación de Sutiaba	Luxemburgo	5.000.000
* I Fase instalación del sistema de alcantarillado en el sector Río Chiquito	Austria	800.000
* Construcción alcantarillado sanitario en el Reparto Pérez Casar y Villa Soberana	U.E.	421.000
* Control de lixiviados del basurero municipal	Hamburgo	120.000
* Construcción de fosas sépticas en el William Fonseca	Hamburgo	32.500
* Construcción de pozos de infiltración en el Ruben Dario	Hamburgo	30.500
* Conexiones domiciliarias al sistema de alcantarillado sanitario en Sutiaba Sur	Hamburgo	253.500
* Construcción de fosa séptica en Reparto La Providencia	Hamburgo	8.000
* Construcción de alcantarillado sanitario en Sutiaba Norte	AID	277.500
* Reconversión tecnológica del matadero municipal. Instalación de sistema anaeróbico de depuración de aguas.	Zaragoza	112.000
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Venceremos	Zaragoza	48.000
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Benjamín Zeledón	Zaragoza	83.500
* Ampliación alcantarillado sanitario en el Barrio San Felipe	Zaragoza	50.000
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Maritza López	Zaragoza	14.000
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Marcos Medina	ASDI	28.500
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Reynaldo Varela y M. Hernández	ASDI	26.000
* Construcción alcantarillado sanitario Anexo Carlos Fonseca	ASDI	11.500
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Rigoberto López Pérez	ASDI	25.000
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Brisas de Acosasco	ASDI	5.000
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Fundeci III etapa	ASDI	25.500
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Walter Ferrey	ASDI	26.800
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto A.C. Sandino y Linda Vista	ASDI	41.700
* Construcción alcantarillado sanitario Reparto Rogelio Santana	ASDI	16.000

FUENTE: Elaboración propia

GRAFICO 4. Donaciones recibidas por la ciudad de León para el desarrollo de proyectos ambientales durante el período 1996 - 2001 por organismo financiante.



FUENTE: Elaboración propia

Capítulo 4. *La gestión actual del agua y los residuos en la Ciudad de León*

4.1. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

4.1.1 El sistema de alcantarillado sanitario

De acuerdo a datos de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL), de las 1.129 hectáreas que ocupa actualmente la ciudad de León, tan solo 534 estaban cubiertas en 1997 por el sistema de alcantarillado sanitario, las cuales coincidían fundamentalmente con la ciudad colonial (ver Mapa 10). Las 595 Ha. restantes incluyen aquellos barrios más periféricos de reciente asentamiento, áreas de nueva expansión de acuerdo al Plan Maestro Estructural de la ciudad, y el sector de Río Chiquito. En el Mapa 10 se propone, asimismo, una meta para garantizar la cobertura de la red en 495 Ha. adicionales en el 2010, excluyendo el sector de Río Chiquito. En la actualidad, y de acuerdo al gran número de proyectos realizados en este ámbito, como ya se vio en el capítulo anterior, no solo es más que probable alcanzar las previsiones que hiciera ENACAL, sino que además deberán estar también cubiertas las 100 Ha. de Río Chiquito gracias a la colaboración del Gobierno de Austria.

Para los efectos de analizar el problema del vertido de las aguas residuales domésticas hacia el Río Chiquito, es fundamental establecer sus factores causales.

El primero de ellos, se refiere a la existencia de tuberías que cubren parcial o totalmente algunos barrios y repartos colindantes con Río Chiquito, y a través de las cuales se canaliza el total de las aguas residuales domésticas de casi 2.000 viviendas [49] hasta el cauce del río. Estas tuberías fueron construidas antes de 1970 con el propósito de resolver las necesidades de saneamiento de la población de las zonas más céntricas de la ciudad. Si consideramos el incipiente desarrollo tecnológico de la época, así como también el crecimiento vertiginoso de la ciudad como consecuencia del auge algodonero, es explicable que los gobiernos de turno cedieran ante la presión ciudadana, permitiendo la afectación ecológica del Río Chiquito.

El segundo de los factores causales se refiere a que un conjunto de 1.200 viviendas [49] ubicadas en zonas carentes de canalizaciones directas hacia el río, evacua las aguas residuales propias del lavado y aseo personal (aguas grises) hacia las calles o avenidas colindantes. Estos caudales por el desnivel natural del terreno, escurren superficialmente por la vía pública hasta desembocar en el lecho del río.

4.1.2 Los sistemas de depuración

Actualmente la ciudad cuenta con dos plantas depuradoras, ubicadas en Sutiava y en El Cocal. La primera de estas plantas recoge las aguas residuales que provienen de la zona cubierta por el servicio de saneamiento situada al norte del Río Chiquito y también del Barrio Villa 23 de Julio, al sur del río. A la laguna de El Cocal llegan las aguas de los barrios situados al sur del sector Río Chiquito. Ambas están constituidas por módulos de Laguna Facultativas de Tipo Primario, de forma troncopiramidal invertida y base rectangular.

Según [19], la capacidad de tratamiento de la Laguna de Sutiava es de 6.400 m³/día, mientras que la de El Cocal se sitúa en los 1.600 m³/día, es decir, un total de tratamiento de 8.000 m³/día, frente a los

15.516 m³/día que se reciben. Existe pues un desbalance de alrededor de 7.500 m³/día que contribuye negativamente sobre el rendimiento de depuración del sistema.

Tanto los efluentes de la pila de oxidación de El Cocal como el de la pila de oxidación de Sutiava son vertidos al cauce del Río Chiquito a los 3,6 Km. (El Cocal) y 4,9 Km. (Sutiaba) de su nacimiento.

TABLA 21. Algunas características de la producción de aguas negras y del sistema de saneamiento en la ciudad de León de acuerdo a JICA, INIFOM (1997) [19] y JARQUIN F., GONZÁLEZ, E. (1997) [50].

Indicador	JICA - INIFOM	JARQUIN/GONZALEZ
Cobertura del servicio (%población)	55,3 %	56 %
Consumo per capita agua potable	253 l/p/día	220,4 l/p/día
Producción agua negra per capita	226,5 l/p/día	176,34 l/p/día
Proporción agua negra / agua potable producida	0,90	0,80
Número de conexiones al alcantarillado sanitario	12.117 viviendas	12.107 viviendas
Población atendida	68.510 personas	72.702 personas
Índice habitacional utilizado	5,65 p/vivienda	6 p/vivienda
Número de conexiones que descargan en El Cocal	-	3.632
Número de conexiones que descargan en Sutiava	-	8.475
Capacidad de tratamiento El Cocal	1.600 m ³ /día	-
Afluente El Cocal	4.230 m ³ /día	3.925 m ³ /día
Efluente El Cocal	-	3.085 m ³ /día
Proporción efluente/afluente	-	0,78
Capacidad de tratamiento Sutiava	6.400 m ³ /día	-
Afluente Sutiava	11.286 m ³ /día	-
Efluente Sutiava	-	-

Ambas poseen bajos rendimientos de depuración, que fundamentalmente se deben a la simplicidad del sistema, a las conexiones indebidas del drenaje de aguas pluviales, a la vulnerabilidad al que está expuesto el proceso biológico, y a su poca capacidad, más aún teniendo en cuenta las tendencias de crecimiento poblacional que se describían en el apéndice 3.4.

CUADRO 22. Eficacia de la laguna de oxidación de El Cocal en la depuración de las aguas residuales domésticas en 1997.

Parámetro	Calidad del agua entrante	Calidad del agua tratada	Rendimiento
DBO	328 mg O ₂ /l	97.45 mg O ₂ /l	70.3 %
DQO	414 mg O ₂ /l	206 mg O ₂ /l	50.2 %
Sólidos sedimentables	3.12 ml/l	0.53 ml/l	83.1 %
Fósforo total	10 mg/l	8 mg/l	20 %
Nitrato	2.56 mg/l	14.57 mg/l	- 569 %
Nitrógeno Orgánico	37.9 mg/l	27.18 mg/l	71.7 %
Nitrógeno Amoniacal	12.09 mg/l	4.45 mg/l	36.8 %
Sólidos en. Suspensión	238 – 340 mg/l	90 – 180 mg/l	47 – 62 %

Fuente: JICA - INIFOM (1997) [19], JARQUIN, F., GONZALEZ, E. (1997) [50].

A partir de 1997 inicia en la Laguna de El Cocal un proyecto destinado a aumentar su rendimiento depurativo a través de la construcción de 7 lagunas secundarias y el establecimiento de un sistema de plantas macrofitas, el cual comienza a operar en 1998. Asimismo, durante el año 2000 comienza la ampliación de las lagunas de oxidación de Sutiaba, que deberán recoger la mayor parte de las nuevas aguas residuales canalizadas, entre otras las del sector Río Chiquito (3.200 viviendas), sectores norte y noreste de la ciudad y Sutiaba sur (1.000 conexiones domiciliarias establecidas entre el 2000 y el 2001).

Tal y como se puede apreciar en la Tabla 22 y de acuerdo a la clasificación propuesta por METCALF & EDDY (1998)[51], la concentración de contaminantes del agua residual doméstica de León podría ser considerada como de rango medio.

TABLA 23. Clasificación del agua residual doméstica de León

CONTAMINANTE	UNIDADES	CONCENTRACION			León
		Débil	Media	Fuerte	
DBO	mg/l	110	220	400	328
DQO	mg/l	250	500	1000	414
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20	3.12
Fósforo total	mg/l	4	8	15	10
Nitrato	mg/l	0	0	0	2.56
Nitrógeno Orgánico	mg/l	8	15	35	37.9
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	12	25	50	12.09
Sólidos suspensión	mg/l	100	220	350	238 – 340

Fuente: METCALF & EDDY (1998) [51], JICA - INIFOM (1997) [19], JARQUIN, F., GONZALEZ, E. (1997) [50].

4.1.3 Estimación del impacto del agua residual doméstica sobre el Río Chiquito

A efectos de caracterizar el volumen y la carga contaminante del agua residual doméstica que es descargada al Río Chiquito desde las pilas de oxidación o son vertidas directamente por la población del sector que carece del sistema de alcantarillado, utilizaremos una vez más los datos aportados en los estudios de JICA (1997) [19] y de JARQUIN & GONZALEZ (1997) [50].

El número promedio de habitantes por vivienda utilizado es el que determina la AML (1997) para la población del sector Río Chiquito, el cual es de 5,84 [55]. Utilizando esta cifra como índice habitacional del sector y de acuerdo a los datos sobre el número de viviendas del sector carentes de alcantarillado sanitario, podemos suponer que alrededor de 11.700 personas (2.000 familias) evacuan directamente todos sus residuos líquidos hacia el cauce del río, mientras que otras 7.000 (1.200 familias) evacuan hacia el río o las calles únicamente sus aguas grises. En total, un aproximado de 18.700 personas afecta directamente la calidad del agua del Río Chiquito.

Utilizando estas cifras y las que aparecen en los cuadros 20 y 21, se puede hacer una estimación del volumen total de aguas residuales domiciliarias vertidas al cauce urbano del Río Chiquito, ya sea directamente o habiendo pasado por las lagunas de oxidación. De igual manera, se puede también estimar lo que este volumen representa en carga contaminante.

TABLA 24. Cálculo del volumen de aguas residuales domésticas vertidas directa o indirectamente desde León al cauce del Río Chiquito

Parámetro	JICA	JARQUIN	Media
Producción de agua negras per capita en León	226,5 l/p/día	176,3 l/p/día	201,4
Volumen de aguas negras y servidas vertidas directamente por 11.700 personas	2650 m ³ /día	2063 m ³ /día	2356,5
Volumen de aguas servidas vertidas indirectamente por 7.000 personas ¹	1189 m ³ /día	925,6 m ³ /día	1057,35
Subtotal aguas residuales vertidas desde el sector Río Chiquito	3839 m³/día	2988 m³/día	3413,5
Aguas domésticas vertidas desde las dos Pilas de oxidación ²	12196 m ³ /día	12141 m ³ /día ³	12168,5
Total aguas residuales vertidas a Río Chiquito	16135 m³/día	15129 m³/día	15582

- (1) Estimamos como volumen de aguas servidas las 3/4 partes del volumen de aguas negras per capita
 (2) Se tiene en cuenta para ambas pilas el porcentaje de pérdida del afluente calculado por JARQUIN & GONZALEZ [50] para la pila del El Cocal = 21,4 %
 (3) Suma del volumen de efluente de El Cocal y el efluente de Sutiava (Tabla 20)

TABLA 25. Cálculo de la carga contaminante del agua residual doméstica vertida directamente al Río Chiquito y desde las pilas de oxidación.

Parámetro	Carga contaminante de las aguas negras sin depuración	Carga contaminante de 2.000 familias (vertido directo Río Chiquito) (1)	Carga contaminante de las aguas negras después de depuración (2)	Carga contaminante de 12.100 viviendas (vertido indirecto a través de lagunas)	CARGA TOTAL
DBO	328 mg O ₂ /l	772,9 kg./día	97,45 mg O ₂ /l	1185,9 kg./día	1958, kg./día
DQO	414 mg O ₂ /l	975,6 kg./día	206 mg O ₂ /l	2506,7 kg./día	3482,3 kg./día
S. Sedimentables	3,12 ml/l	7,4 m ³ /día	0,53 ml/l	6,4 m ³ /día	13,8 m ³ /día
Fósforo total	10 mg/l	23,6 kg./día	8 mg/l	97,3 kg./día	120,9 kg./día
Nitrato	2,56 mg/l	6 kg./día	14,57 mg/l	177,3 kg./día	183,3 kg./día
N Orgánico	37,9 mg/l	89,3 kg./día	27,18 mg/l	330,8 kg./día	420,1 kg./día
N Amoniacal	12,09 mg/l	28,5 kg./día	4,45 mg/l	54,1kg./día	82,6 kg./día
S. Suspensión	289 mg/l	681 kg./día	135 mg/l	1642,7 kg./día	2323,7 kg./día

Fuente: JICA - INIFOM (1997) [19], JARQUIN, F., GONZALEZ, E. (1997) [50].

- (1) No se tiene en cuenta las 1.200 familias que solo vierten aguas servidas
 (2) Se estima para ambas pilas de oxidación (Sutiava y El Cocal) los rendimientos promedio de la pila de El Cocal.

4.2. RESIDUOS INDUSTRIALES

4.2.1 Caracterización de la industria en León

A lo largo del período del estudio, la industria leonesa ha experimentado un ligero decrecimiento debido fundamentalmente a la recesión económica. Desde 1997 han desaparecido numerosas tenerías de tamaño pequeño que se localizaban a lo largo del cauce urbano y también una de las dos granjas porcinas que vertían sus aguas cerca del puente de la Chanchera. Tenerías de tipo medio como por ejemplo "Los Leones" han sufrido un descenso considerable en su actividad productiva.

Encontramos en la ciudad dos áreas bien definidas con clara vocación industrial. La primera se ubica al este y nordeste de la ciudad, a lo largo de la carretera a Chinandega y la carretera del By-pass. En esta zona se localizan las mayores industrias, alguna de ellas extremadamente contaminantes, como es el caso de ROLAC, una empresa de baterías de automoción que utiliza en el proceso óxido de plomo y plomo en barra. Sin embargo, este conjunto de industrias por su ubicación no afecta la calidad del agua en el Río Chiquito, aunque es probable que si afecte otros cuerpos receptores, fundamentalmente suelo y subsuelo. Únicamente la empresa AGROSA, que produce grasas comestibles y jabón, conducía hasta 1998 sus aguas residuales hasta el cauce del río Chiquito en su tramo de cabecera.

La segunda concentración industrial que encontramos en León se ubica a lo largo de la mitad oeste del recorrido del Río Chiquito a su paso por la ciudad, donde se encuentra la práctica totalidad de las fábricas procesadoras de cuero (conocidas como tenerías), además de una jabonera, dos granjas porcinas (una de ellas clausurada en 1999), el matadero municipal y una procesadora de ajonjolí actualmente fuera de actividad. Todas ellas utilizan o utilizaban el cauce del río como cuerpo receptor de sus residuos líquidos y en ocasiones también de los sólidos. A partir de 1999 se produce el traslado de unos 7 pequeños teneros al nuevo plantel construido sobre el kilómetro 4,3 del curso del Río Chiquito.

La pequeña industria se encuentra dispersa en todo el área urbana.

La carga de contaminantes depende principalmente de la categoría industrial. Aun así, en la misma categoría industrial, por ejemplo en la industria tenera, las diferencias empleadas en los procesos de producción afecta grandemente la carga proporcional de contaminantes. La totalidad de las fábricas existentes en León se encuentran limitadas en la racionalización del proceso de producción en cuanto al uso de materia prima y la minimización de la generación de sustancias contaminantes. Actualmente toda la industria carece de sistemas de inertización, reciclaje o depuración, presentando en ciertos casos tratamientos simples como las fosas de infiltración o el lagunaje. Todos los residuos líquidos y sólidos se eliminan a los diferentes cuerpos receptores sin tratamiento previo. La generación de residuos es máxima por cuanto los procesos y técnicas son obsoletos.

De acuerdo a una encuesta realizada por JICA (1997) [19] sobre un total de 10 fábricas representativas de León, el 92,5% de los desechos industriales generados por las mismas se cuenta por aguas residuales industriales y el restante 7,5% corresponde a desechos sólidos. De estos, y según el mismo informe, el 100% de las aguas residuales y el 14% de los desechos sólidos son clasificados como "peligrosos". Asimismo, el 100% de las aguas residuales se descargan en cuerpos de aguas públicas y/o sistema de alcantarillado²¹, o simplemente se dejan que se infiltren en el subsuelo sin tratamiento. En el caso de los desechos sólidos, el valor promedio de tratamiento es del 1%. El 94% de los mismos son transportados

²¹ Esta última opción, que supone el 12,2% del total, viene a empeorar sensiblemente las condiciones y capacidad depurativa de las lagunas de oxidación existentes.

por las industrias “por sus medios” y el restante 6% está sujeto a la recolección de la municipalidad. De todas formas, el transporte de los residuos no supone en la mayoría de los casos que su depósito se efectúe de la manera correcta ni en el sitio indicado.

En varios puntos de la ciudad el uso industrial presenta conflictos de incompatibilidad con el uso habitacional aledaño.

4.2.2 El impacto de la industria del curtido sobre el Río Chiquito

En la caracterización de la industria que vierte directamente al Río Chiquito, sobresale la industria tenera tanto por su presencia (alrededor de 40 empresas de tipo grande, medio y artesanal), como por la toxicidad y carga contaminante de sus desechos.

La Tenería Bataan es la más grande de Nicaragua y su producción mensual de pieles se sitúa entre 2.000 y 3.000 cueros. Le siguen otras cuatro tenerías que se consideran de tipo medio de acuerdo al número de pieles producidas, que está entre 800 y 1.200 al mes. Estas tenerías son Los Leones, El Aguila, Centroamericana y Farasón. Otro grupo de unas 35 tenerías tiene carácter artesanal, en la mayoría de los casos establecidas en el contexto familiar, con un reducido número de operarios y con una producción de pieles muy diversa que puede ser de tan solo unas docenas al mes.

Los residuos sólidos que se producen son: trozos de piel sin curtir, pelo, carnaza, grasa y trozos de piel curtida, residuos del serraje del cuero, así como aceites, cal, tintes y curtiembres vegetales. El vertido de las tenerías tiene una composición muy compleja que varía según el tipo de cuero y la materia prima empleada.

El trabajo de caracterización del volumen y la carga contaminante de las aguas residuales procedentes de la industria tenera leonesa es complicado debido a las marcadas diferencias que existen en producción a lo largo del año y dentro de cada propia empresa, a la diversidad de métodos empleados para un mismo momento del proceso, y por supuesto al elevado número de pasos que se llevan a cabo durante todo el desarrollo del curtido, cada uno de los cuales requiere de químicos específicos. Por lo general, las aguas residuales de las tenerías que poseen el proceso completo partiendo de pieles en bruto, tienen un alto contenido de sulfuro, alta alcalinidad, alto contenido de compuestos orgánicos, curtientes no fijados, colorantes, engrasantes, sales inorgánicas y compuestos de cromo trivalente [56]. Sin lugar a dudas, el componente químico que presenta mayor riesgo sanitario es el cromo trivalente utilizado como agente curtidor y que pertenece al grupo de los tóxicos metálicos. Aproximadamente, entre un 30% y un 40% de Cr_3^+ [56] utilizado en el curtido, no es retenido por las pieles y por lo tanto es eliminado a través de los residuos líquidos.

El proceso completo comprende alrededor de 12 pasos. En la Tabla 26 se exponen las características del efluente de los tres momentos del proceso más contaminantes: el remojo, que consiste en limpiar, rehidratar y eliminar la sal de las pieles brutas; el pelambre, en el cual se elimina el pelo y la epidermis; y el curtido, donde se estabiliza el colágeno mediante agentes curtientes. Asimismo, en la tabla 28 se detallan aquellas sustancias químicas que pueden ser utilizadas a lo largo de un proceso completo de curtición.

En términos generales la producción de toda la industria tenera leonesa pudiera estar entre las 10.000 y las 15.000 pieles al mes [57], aunque es probable que se aproxime más a la primera cifra. Se estima que el volumen de agua utilizado durante el proceso es de 1 metro cúbico por piel, con lo cual se estaría produciendo un vertido de entre 10.000 y 15.000 m^3 de agua residual al mes, lo que supone entre 330 y 500 m^3 al día.

TABLA 26. Características del efluente de tenerías

Parámetro	MOMENTO DEL PROCESO			
	Remojo [18]	Pelambre [18]	Curtido [18]	Curtido [16]
Conductividad	-	-	-	30.000 – 60.000
PH	7.5 – 9.0	10 – 13	2.5	2.8 – 3.5
Sólidos totales	40.000 – 50.000	30.000 – 50.000	30.000 – 60.000	-
Sólidos suspendidos	5.000 – 10.000	6.000 – 20.000	1.000 – 2.500	240 – 860
Sólidos disueltos	30.000 – 40.000	24.000 – 30.000	9.000 – 57.500	-
DBO	1.200 – 2.000	5.000 – 10.000	400 – 800	-
DQO	3.000 – 5.000	10.000 – 25.000	1.000 – 1.200	-
Aceites y grasas	200 – 400	400 – 500	600 – 1.200	-
Alcalinidad	1.000 – 1.500	12.000 – 20.000	-	-
Acidez	-	-	2.000 – 5.000	-
Cromo	NO	NO	2.000 – 5.000	500 – 3.600
Sulfuro	NO	350 – 500	NO	-
Amonio	-	500 – 1.000	-	-

Fuente: AML (1998) [57], MARENA (1995) [56].

Se puede hacer una estimación de la cantidad de cromo trivalente que es descargado en el cauce del Río Chiquito a partir de estos datos de producción y de las cantidades de agente curtiente (sulfato de cromo) utilizadas en la misma. Cada piel tiene un peso aproximado de 25 kilogramos, y requiere para su curtido de un 6% en peso de sulfato de cromo, el cual contiene un 25% en óxido de cromo (Cr_2O_3). A partir de los pesos moleculares de esta fórmula (104/48) y considerando que el cromo que queda retenido en piel es de un 65%, podemos realizar el cálculo de Cr_3^+ vertido (ver Tabla 27).

TABLA 27. Estimación de la cantidad de cromo trivalente vertida al cauce del Río Chiquito en un año

Producción pieles/año	Sulfato de cromo (1.5 Kg/piel)	Oxido de cromo (25%)	Cr_3^+ utilizado	Cr_3^+ no retenido (35%)
120.000 (10.000/mes)	180.000 Kg	45.000 Kg	30.790 Kg	10.776 Kg
180.000 (15.000/mes)	270.000 Kg	67.500 Kg	46.184 Kg	16.164 Kg

Fuente: Calculado a partir de los datos de AML (1998) [57]

En términos generales, se puede concluir que entre 10 y 16 toneladas de cromo trivalente están siendo vertidas al año en el cauce del Río Chiquito producto de la actividad de la industria tenera.

TABLA 28. Industrias ubicadas a orillas del Río Chiquito y gestión de residuos

Empresa	Actividad	Fecha Inicio	Materias primas utilizadas	Desechos producidos	Tratamiento
TENERIAS (1 grande, 4 medianas, 35 artesanales)	Curtido y acabado de pieles	1945 en adelante	Cueros crudos, Sulfuro de sodio, Cal, Sal común, Sulfato de amonio, Bisulfito de sodio, Enzimas, Acido sulfúrico, Sulfato de cromo, Bicarbonato sódico, Acido fórmico, Aceite sulfonado, Lacas, Solventes, Pigmentos, Ceras, Resinas, Ligantes, Espesantes.	Pellejos Grasas Pelos Recortes del cuero Aguas residuales	Río Chiquito Vertedero Municipal
AGROSA HARINISA INDEGRASA	Producción de aceite de consumo, harina para pan y jabón	1970 1980 1978	Aceite vegetal crudo (7.250 tn/año) Hidróxido de sodio (850 tn/año) Arcilla activada (100 tn/año), Trigo (25.000 tn/año), Grasa (830 tn/año)	Agua residual (250.000 galones/mes) Arcilla agotada (100 ton/año) Desechos vegetales (250 tn/año) Harina (9 tn/año)	Río Chiquito Vertedero Municipal
MATADERO MUNICIPAL	Destace de ganado mayor y menor	1966	Cerdos (500 mes) Reses (700 mes)	Estiércol (50 m ³ /mes), Vísceras (80 m ³ /mes), Huesos (40 m ³ /mes), Cuernos (20 m ³ /mes), Sangre	Río Chiquito Vertedero Municipal
Granja Porcina San Pedro	Crianza y engorde de cerdos	1980	700 cabezas de cerdo	Agua de lavado de porquerizas (purines)	Río Chiquito
PRODEGAMEF	Crianza y engorde de cerdos	1970	600 cabezas de cerdo	Agua de lavado de porquerizas (purines)	Río Chiquito
JABONERIA G.L.	En la actualidad, procesadora de sebo de res	1985	Sebo de res	Restos orgánicos (grasas y tejidos) Agua caliente	Río Chiquito
Proyecciones Industriales S.A.	Fabricación y venta de hielo	1975	Agua Sal (35 qq/mes) Amoniac (2 cilindros/semestre)		Río Chiquito

Fuente : Elaboración propia y MARENA (1995) [58]

NOTAS: No se contabiliza en esta tabla productos usados para mantenimiento de la maquinaria e instalaciones físicas, tales como lubricantes, detergentes y desinfectantes, ni combustibles. Tampoco se contabilizan como desechos aquellos subproductos que son reutilizados, tales como el colágeno de la piel del ganado.

4.3 DESECHOS SOLIDOS DOMESTICOS

4.3.1 Caracterización de la composición de la basura

La producción anual de basura en León es de 325.011 m³ anuales. De esta cantidad, se recolectan 247.008 m³, es decir, 677 m³ diarios, lo que equivale al 76 % del total. Los restantes 78.003 m³ no se gestionan directamente por los Servicios Municipales de basura, sino que acaban en basureros ilegales o son manejados por la propia población, generalmente utilizando la quema o el soterramiento [59].

La cantidad y composición de desechos sólidos urbanos generados en León se detallan en las tablas 29 y 30.

TABLA 29. Generación de desechos urbanos en la Ciudad de León

Categoría	Sub categoría	Unidad	Tasa de generación
Desechos domésticos		Kg/persona/día	0,7
Desechos comerciales	Restaurante	Kg/restaurante/día	21
	Otros	Kg/tienda/día	2,14
Desechos institucionales		Kg/persona/día	0,19
Desechos de mercado		Kg/tienda/día	1,54
Desechos de barrido de calles		Kg/Km/día	20,9

Fuente : JICA (1997) [19]

4.3.2 Recolección, transporte y disposición de desechos sólidos

El tren de aseo da cobertura de recolección de los desechos sólidos aproximadamente a un 80 % de la población, lo que supone alrededor del 86,7 %²² de los desechos generados [19]. El número de casas atendidas por este servicio ascendía en 1997 a 17.299 [19], aunque de manera desigual: se da atención 3 veces a la semana en el centro histórico, 2 veces a la semana en algunos repartos y asentamientos y una vez a la semana en ciertos repartos periféricos, quedando sin atención un 10 % de estos últimos. La carencia de una infraestructura adecuada (vialidad y equipo recolector diversificado para todos los ambientes) determina la falta de accesibilidad del tren de aseo a algunos puntos de la ciudad, propiciando el acúmulo de basuras en calles, cunetas de las carreteras y cauces de los ríos.

El *vertedero municipal* se encuentra a 3 Km al sudoeste de la ciudad, contiguo al Fortín de Acosasco. Recoge los desechos de la ciudad desde 1987. Cifras del año 1995 calculaban un volumen acumulado de 3.600.000 m³ [58] de basura de todo tipo, incluidos residuos industriales y sanitarios que son depositados en zonas específicas anexas, pero que no presentan condiciones especiales como control de lixiviados o control del acceso de la población. Aunque no existen estudios que hayan tipificado este tipo de residuos, su peligrosidad y toxicidad parece evidente a la vista del tipo de industria que existe en la ciudad.

Los desechos se depositan sobre la ladera de la colina, que tiene una altura de unos 120 m.s.n.m. y una caída de 60 m. hasta el cauce del Río Chiquito, que en ese tramo transcurre aproximadamente a

²² Según MARENA - PROTIERRA (1997) [59], esta cifra es del 76 %

una altura de 60 m.s.n.m. El depósito de basuras ladera abajo durante los últimos 10 años ha propiciado que esta haya alcanzado pendientes muy fuertes propensas al derrumbe y a la propagación de lixiviados. Esta deposición no solo extiende la contaminación hacia la tierra, las aguas subterráneas y el cauce del río Chiquito, sino también hacia la atmósfera, pues la quema de la basura es un método comúnmente empleado para la disminución de su volumen. El perjuicio desde el punto de vista paisajístico es enorme, mas aun tratándose este punto de una de las mayores potencialidades turísticas con las que cuenta la ciudad de León.

2.3.3 El impacto de la basura sobre el Río Chiquito

El cauce y las riberas del Río Chiquito es uno de los puntos más conflictivo de la ciudad de León en cuanto a depósitos incontrolados de basura. Este hecho se debía a varias causas:

- Existe un servicio municipal de recolección de basura que no cubre las necesidades de la ciudad, ni en cobertura, ni en equipamiento.
- Alguno de los asentamientos espontáneos que han surgido en las últimas décadas y que en la actualidad siguen creándose, se han establecido en las márgenes del Río Chiquito, fundamentalmente en su extremo oeste. Estos asentamientos carecen del servicio de recogida de basuras y si lo poseen es deficiente.
- Existe una gran desvalorización cultural de la población hacia un recurso río cada vez más degradado. La conciencia ambiental de la ciudadanía es escasa.
- No existe una legislación local al respecto específicamente reglamentada y que aporte alternativas a la población. Tampoco existe un ente inspector y sancionador que de seguimiento a las infracciones cometidas, con lo que el delito queda impune en la mayoría de los casos.

Como ya se había mencionado, el servicio de tren de aseo (camión de la basura) recorre de manera desigual el sector del Río Chiquito. El centro del mismo, que es a su vez parte del centro histórico de la ciudad, tiene una buena cobertura tanto en recorrido como en número de días de servicio, por lo que en esta zona el excedente de basuras es mínimo. El problema se agudiza hacia los extremos del sector, donde el servicio va disminuyendo drásticamente tanto en días (número de veces que pasa a la semana) como en cobertura (número de calles que recorre dentro del barrio), incluso llegando a existir barrios y repartos que no reciben el servicio. En el cuadro 19 se detalla el nivel de servicio de basuras en el sector de influencia del Río Chiquito, es decir, en barrios anexos y próximos a su cauce.

TABLA 30. Composición de los desechos urbanos en la Ciudad de León por actividad y nivel de ingreso de la población.

Clasificación		Domestico				Comercial		Institución	Mercado
		Altos ing.	Medios Ing.	Bajos Ing.	Promedio	Restaurantes	Otros		
Combustibles	Desechos cocina (%)	52.53	30.83	6.49	29.95	70.94	35.14	17.08	40.54
	Papel (%)	9.83	9.52	1.63	6.99	8.09	19.04	66.49	19.95
	Textiles (%)	2.36	1.92	0.51	1.60	0.23	1.85	1.45	0.45
	Plásticos (%)	5.35	6.52	3.70	5.19	2.91	7.83	7.49	7.34
	Ramas y maderas (%)	18.57	28.91	66.63	38.04	6.69	17.69	3.15	24.87
	Cuero y caucho (%)	7.38	14.79	1.33	7.83	0.25	3.79	0.00	0.45
	Subtotal (%)		96.02	92.49	80.29	89.60	89.11	85.34	95.66
No combustibles	Metal (%)	1.49	2.42	1.29	1.73	3.82	3.03	1.97	1.98
	Vidrio (%)	0.91	1.75	1.43	1.36	4.95	1.26	0.00	0.84
	Cerámica, piedras (%)	0.46	1.84	1.22	1.17	1.49	3.29	1.58	2.44
	Otros (tierra, etc.) (%)	1.12	1.50	15.77	6.13	0.63	7.08	0.79	1.14
	Subtotal (%)		3.98	7.51	19.71	10.40	10.89	14.66	4.34

Fuente : JICA (1997) [19]

TABLA 31. Comparación en porcentaje de la composición de desechos domésticos de varias poblaciones

	Cocina	Papel	Plástico	Vidrio	Metal	Jardín	Textil	Putrescibles	Otros
LEON [19]	30	7	5.2	1.4	1.7	38	1.6	-	15.1
SAN JOSE, Costa Rica ⁽¹⁾	-	19.1	11.3	2.1	1.9	-	4.5	57.9	3.2
U. EUROPEA ⁽²⁾	39	23	9	7	4	1.2	6	-	10.8
NUEVA YORK ⁽³⁾	37	34	10	6	5	5	-	-	3

Fuente : JICA (1997) [19], Sistema de Indicadores sobre Desarrollo Sostenible, MIDEPLAN, Costa Rica ⁽¹⁾, El Medio ambiente en España ⁽²⁾, Revista Tecno Ambiente ⁽³⁾

TABLA 32. Situación de la recolección de basura en el sector de Río Chiquito en 1997

Barrios sin servicio de recogida		
Fanor Urroz I	Fanor Urroz II	Felipe Santana
Hipólita Sánchez	Reparto San Nicolás	Félix Pedro Quiroz
Barrio	Día de paso	Evaluación del recorrido
Barrios con 1 día de recogida		
Walter Ferrety	Viernes	Mala
El Cocal	Viernes	Mala
Ronald Sandino	Lunes	Mala
Barrios con 2 días de recogida		
Villa 23 de Julio	Lunes y jueves	Mala
Carlos Fonseca	Lunes y viernes	Mala
Brisas de Acosasco	Lunes y viernes	Mala
18 de Agosto	Lunes y viernes	Mala
Che Guevara	Lunes y viernes	Mala
Barrios con 3 días de recogida		
Rogelio Santana	Martes, jueves, sábado	Aceptable
Gustavo López	Martes, jueves, sábado	Mala
Colonia Omar Torrijo	Martes, jueves, sábado	Mala
Colonia Gustavo Reyes	Martes, jueves, sábado	Mala
J.R. Sampson	Martes, jueves, sábado	Mala
Barrios con 3 + 3 días de recogida		
Laborío	Todos menos domingo	Buena
Sutiava	Todos menos domingo	Buena
Calvario	Todos menos domingo	Buena
El Coyolar	Todos menos domingo	Buena
Guadalupe	Todos menos domingo	Buena
San Sebastián	Todos menos domingo	Buena

Fuente: Información facilitada por el Servicio Municipal de Basura de la Alcaldía de León, 1997

En el cuadro 32 se hace un balance del excedente de basura doméstica que se producía en el sector de Río Chiquito en el año 1997. Este cálculo se realiza a partir de un dato de la Encuesta Socioambiental a la población de Río Chiquito, AML (1997) [55] que se refiere al paso del camión de la basura a lo largo de las viviendas del sector. El valor promedio de respuestas positivas (84.7%) se acerca enormemente al facilitado por JICA (1997) [19] para la totalidad de la ciudad (86,7%). El resultado podría ser un excedente de basura de alrededor de 4.2 toneladas al día, aunque pudiera ser mayor debido a que una parte de la basura que recibe el cauce del río proviene de otros sectores de la ciudad (mercados, escombros de obras constructivas, restaurantes y pequeñas empresas de procesamiento de alimentos).

De todas maneras, los mayores volúmenes identificados corresponden a las zonas que en 1997 presentaban más problemas de basureros ilegales. En concreto ciertos puntos de El Coyolar, Laborío, Reparto Sampson y Calvarito. La Villa 23 de Julio, el Puente de la Línea Férrea y el Puente del Rastro son asimismo otros puntos donde converge basura que proviene tanto del sector como de fuera de él.

En época lluviosa, el río recibe adicionalmente toda la basura depositada en calles y cunetas que las avenidas arrastran desde el centro de la ciudad.

TABLA 33. Estimado de la generación de basura en aquellos barrios colindantes con el Río Chiquito en 1997

	A	B	C	D	E
Barrio	Habitantes [2]	% cobertura tren de aseo [7]	Producción Basura Kg/día (A x 0.7)	Recolección Basura Kg/día (C x B) / 100	Excedente Basura Kg/día (C - D)
Rogelio Santana	498	50	348,6	174,3	174,3
Guadalupe	5.728	99	4009,6	3969,5	40,1
San Sebastián	1.744	93	1220,8	1135,3	85,5
Villa 23 de Julio	5.964	100	4174,8	4174,8	0
El Coyolar	9.873	87	6911,1	6012,7	898,4
Laborío	6.651	67	4655,7	3119,3	1536,4
Calvarito	5.739	75,5	4017,3	3033,1	984,2
Sagrario	872	100	610,4	610,4	0
Calvario	6.172	100	4320,4	4320,4	0
J.R. Sampson	1.872	75	1310,4	982,8	327,6
18 de Agosto	485	76	339,5	258,0	81,5
El Cocal	168	71	117,6	83,5	34,1
Walter Ferrety	1.259	92	881,3	810,8	70,5
Carlos Fonseca	763	100	534,1	534,1	0
TOTALES	47,788	84,7 (media)	33.451,6	29.219,0	4.232,6

Fuente: AML (1993) [5], AML (1997) [55], JICA (1997) [19]

Capítulo 5. *Análisis de la calidad del agua como indicador ambiental*

5.1 ESTRATEGIA DE MUESTREO Y METODOS

5.1.1 Selección y distribución de las estaciones de muestreo sobre el Río Chiquito

Los primeros 4 kilómetros de río transcurren atravesando la ciudad de León en dirección NE – SO. A lo largo de los mismos, el Río Chiquito recibe la práctica totalidad del vertido doméstico e industrial. El primer 1.6 kilómetro de cauce se puede encontrar seco durante una época del año dependiendo de la mayor o menor intensidad de lluvias habidas el invierno anterior. A pesar que en la parte superior de este tramo se producía hasta 1998 la descarga de la empresa AGROSA y de las primeras aguas negras y servidas procedentes del área habitacional, el escaso volumen de agua vertido y su régimen ocasional no llega a afectar durante la época seca la calidad del agua del río en su tramo inferior, debido a que se infiltra en el subsuelo.

Es precisamente debajo del Puente Martínez (Km 1.6) donde encontramos la primera gran descarga de **aguas residuales domésticas** provenientes de un sector del centro histórico situado al norte de este puente. A partir de este punto, el río presenta caudal durante todo el año, por lo menos en horario diurno, cuando la actividad humana es mayor.

El vertido de aguas negras y grises se produce durante todo el recorrido con diferente intensidad, concentrándose las mismas en el tramo comprendido entre el Puente Martínez y el Puente del Rastro donde se produce la mayor agrupación de población carente de cobertura del alcantarillado sanitario.

Las afectaciones propias de la **industria** se iniciaban en 1997 a la altura del Puente del By-Pass (Km 0,2), donde desembocaba la canalización que proviene de la empresa AGROSA. Sin embargo, este vertido, que posee características muy irregulares tanto en su composición como en su frecuencia y volumen, era difícilmente perceptible en el análisis del agua río abajo, debido a que rápidamente se infiltra en el subsuelo. Por tanto, esta descarga afecta sin lugar a dudas el lecho inmediato del río y probablemente también el manto acuífero, pero no la calidad del agua del Río Chiquito en su tramo inferior, por lo menos a lo largo de la época seca, como es el caso. En el muestreo realizado en 1999 - 2000 el vertido de AGROSA había cesado.

El grueso de la industria se localiza una vez pasado el Puente Toledo (Km 2,1), donde encontramos la segunda gran concentración industrial de León. Desde este punto hasta el Puente de la Chanchera (Km 4) se ubican todas las tenerías (alrededor de 40), el matadero municipal y una fábrica de jabón. Dos granjas porcinas se encontraban también en este tramo en 1998, habiéndose cerrado una de ellas en 1999, anterior al segundo muestreo.

Por otro lado, la descarga de las **pilas de oxidación** de El Cocal y Sutiava se produce en los kilómetros 3,6 y 4,9 respectivamente.

Los **depósitos de basura** se encuentran dispersos en todo el tramo urbano, pero cobran intensidad a la altura del Puente de la Línea Férrea (Km 1,2), y entre el Puente Vallecas (Km 2,6) y el Puente del Rastro (Km 3,2). Esta última zona coincide con las mayores deficiencias en cuanto a la recolección del servicio municipal de basura. En la mayoría de los casos, estos desechos domésticos llegan hasta el propio cauce

del río y en época lluviosa son arrastrados desde las márgenes hacia los tramos más inferiores del curso fluvial. En esta época, y al ser el Río Chiquito la cuenca de drenaje natural de la ciudad, los torrentes originados a partir del agua pluvial recorren las calles trasladando hacia el río toda la basura que encuentran a su paso.

Muchos de los antiguos *manantiales* han desaparecido, lo que ha llevado a la pérdida de caudal en los tramos más superiores del río. No hay estudios que hayan identificado con rigurosidad las causas de esta pérdida, pero es probable que la destrucción del bosque de ribera originalmente existente y la extracción de agua subterránea en la zona de cabecera con fines de suministro, hayan sido determinantes. Aún así, todavía se conservan manantiales en la parte media del recorrido del río a su paso por la ciudad, y es en el tramo comprendido entre el Puente de la Bataan y el Puente del Rastro donde se encuentran los cuatro mayores ojos de agua.

Para la recogida de muestras se emplazaron 7 estaciones de muestreo, las cuales se seleccionaron siguiendo criterios de ubicación geográfica, de accesibilidad y, fundamentalmente, por su capacidad para describir los diferentes sucesos de contaminación (ver Mapa 11). En las 7 se recogieron muestras durante la primera campaña de muestreo (1997-1998), mientras que solo 3 (estaciones N° 2, 3 y 4) fueron tenidas en cuenta a lo largo de la segunda campaña (1999-2000). Estas últimas coinciden con aquel tramo del río que pudiera presentar los cambios más significativos en la calidad del agua después de los dos años transcurridos entre una y otra campaña. Estas estaciones son:

- **N° 1 Puente de Toledo** (Km. 2,1. Barrio de San Sebastián - Barrio de Guadalupe)

En este punto el río ya presenta un caudal continuo a lo largo de todas las épocas del año, lo que permite la recogida de muestras a cualquier hora del día. Las aguas están influenciadas fundamentalmente por los vertidos de aguas negras y servidas que provienen de sectores no cubiertos por el sistema de alcantarillado. A este nivel no encontramos aún el vertido de ninguna curtiembre. Sin embargo, dos industrias están ubicadas con anterioridad a esta estación de muestreo. Una de ellas es AGROSA que localiza su vertido en el Puente By-Pass (Km 0.2). La otra de ellas es la procesadora de Ajonjolí, que tiene su punto de vertido a escasos 100 metros del puente de Toledo. Tanto una como otra no han influido el muestreo. La primera por lo referido anteriormente y la segunda por estar fuera de servicio durante los dos años de muestreo.

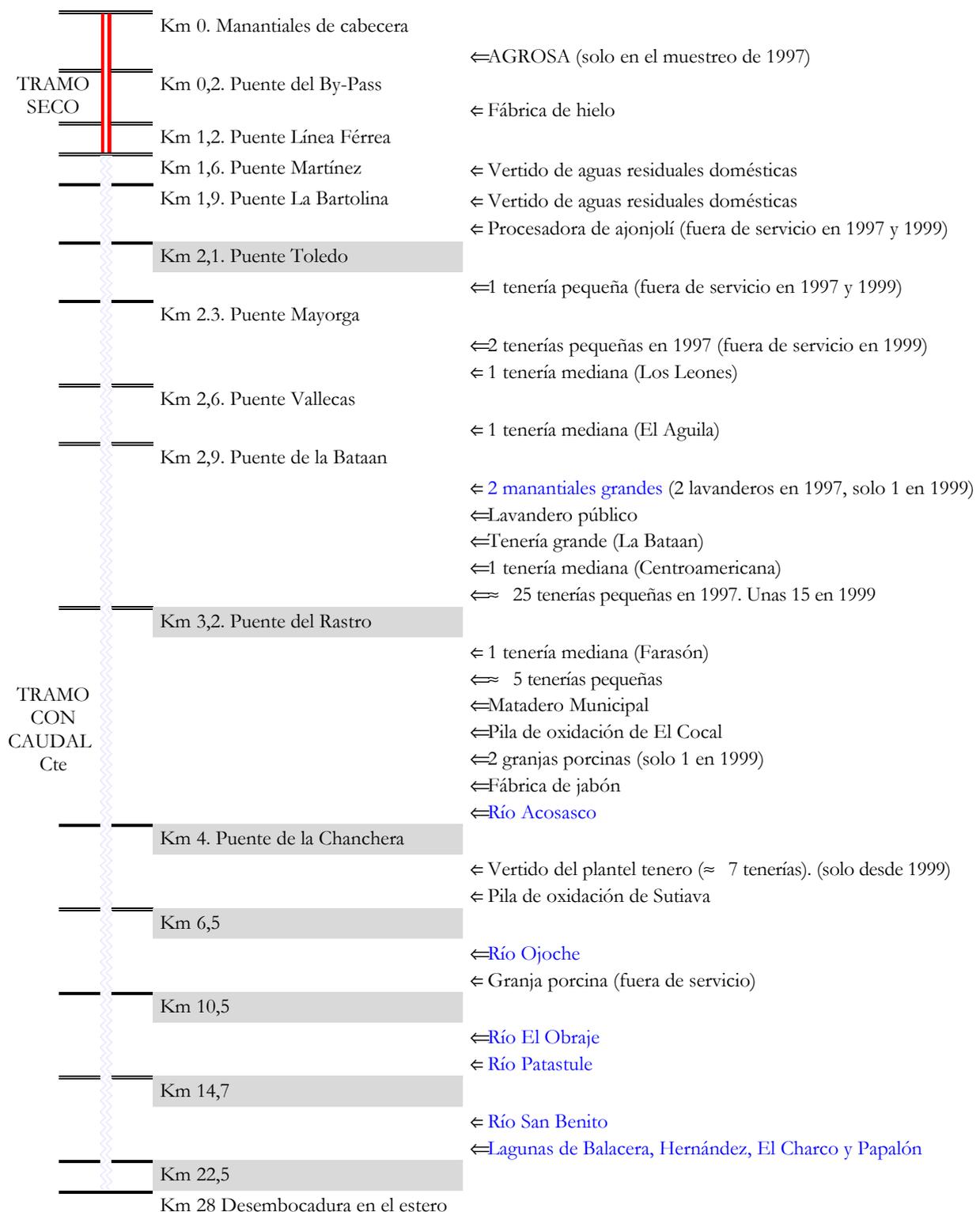
La importancia de esta estación radica en que se puede evaluar el impacto de las aguas residuales domésticas fuera de toda influencia industrial. Esta estación se ubica 20 metros aguas abajo del puente. La medida de caudal en esta estación se lleva a cabo 80 metros aguas arriba del puente, una zona más inaccesible pero con un curso fluvial más derecho y uniforme.

- **N° 2 Puente del Rastro** (Km. 3,2. Reparto 18 de Agosto – El Laborío)

A partir de este puente el río comienza a abandonar la ciudad. El cauce ha recogido prácticamente la totalidad de las aguas negras que provienen del sector urbano aledaño a Río Chiquito no cubierto por el sistema de alcantarillado. Asimismo, ha recogido la gran totalidad de los vertidos de las tenerías, con excepción de una de tamaño medio y cinco pequeñas. En este tramo, comprendido entre este puente y el punto de muestreo anterior, no hay aporte de otras industrias, lo que es muy interesante a la hora de evaluar el impacto de la industria del curtido sobre la calidad del agua.

La estación de muestreo se ubica 25 metros río arriba del puente, anterior al manantial que sirve de lavadero. Es en este mismo punto donde se han medido los caudales.

FIGURA 2. Vertidos y aportes de agua natural durante el recorrido del Río Chiquito



NOTA: En azul aportes importantes de agua limpia al sistema. Sobre fondo oscuro aquellos puntos que coinciden con estaciones de muestreo.

FUENTE: elaboración propia

- **Nº 3 Puente de la Chanchera** (Km. 4. Sutiava sur - El Fortín)

En este punto el río abandona toda influencia de la ciudad y se encamina hacia su desembocadura. Entre el puente del rastro y este punto, el río recibe adicionalmente el vertido de granjas porcinas, el rastro municipal, una jabonera, la pila de oxidación de El Cocal, una tenería de tipo mediano y cinco pequeñas. En su camino hacia su desembocadura tan solo está pendiente de recibir el aporte de la laguna de oxidación existente en Sutiava y en el muestreo de 1999 el vertido del nuevo plantel tenero, en ese entonces ya en funcionamiento.

Tanto la toma de muestras como la medición de caudal se realiza exactamente debajo de este puente.

- **Nº 4 Kilómetro 6,5**

Esta estación queda situada en el cruce del río con la carretera que desde León conduce a la Comarca de el Obraje Sur. Su principal interés radica en el hecho de que se sitúa aproximadamente 1.5 kilómetros después del vertido de la pila de oxidación de Sutiava, y aproximadamente 3 kilómetros antes de la desembocadura del Río Pochote.

La toma de muestras de agua y la medición del caudal se realizó durante el muestreo de 1997 cincuenta metros arriba del cruce con la carretera, por ser esta una zona de cauce más uniforme. En el muestreo de 1999, y después de los cambios producidos por el Huracán Mitch sobre la fisionomía del río, el punto de medición de caudal se trasladó unos 100 metros cauce abajo del cruce del camino.

- **Nº 5 Kilómetro 10,5**

Esta estación se ubica 1.5 kilómetros después de la confluencia del Río Pochote con el Chiquito. La caracterización del estado de la calidad del agua en este punto permite evaluar el efecto que el aporte del agua limpia del Pochote tiene sobre la dinámica autodepurativa del río Chiquito.

- **Nº 6 Kilómetro 14,7**

En el cruce entre el curso fluvial y el camino que, desde la carretera León – Poneloya, conduce a la comunidad de Ernesto Che Guevara, se ubica esta estación de muestreo, la cual se sitúa con anterioridad a la serie de sucesivas lagunas por las que discurre el agua del río Chiquito antes de llegar a su desembocadura. Entre esta y la anterior estación, se han sumado las aguas limpias de los ríos Patastule y El Obraje.

- **Nº 7 Kilómetro 22,5**

Inmediatamente después de pasado el puente que atraviesa el río San Cristóbal en la carretera León – Poneloya, aparece un cruce a la izquierda que nos lleva hasta la Finca de El Carmen, donde queda localizado el último punto de muestreo del Río Chiquito. La estación se caracteriza por estar a la salida del período de lagunaje natural por la que atraviesan las aguas del río, y en este sentido, nos permite inferir por comparación con el anterior punto de muestreo el efecto que el lagunaje tiene sobre la calidad del agua, así como sobre el propio caudal.

Además, la caracterización de este punto nos aproxima a la capacidad de autodepuración que el río tiene antes de su desembocadura en el mar. Son los datos de este punto los que pueden determinar la repercusión que el vertido urbano pueden tener sobre el estero, el ecosistema de manglar y la zona costera.

5.1.2 Selección y distribución de estaciones de muestreo en otros ríos de la cuenca

Con la finalidad de marcar una referencia de calidad en la cuenca, se eligen adicionalmente tres ríos dentro del muestreo. El Río Pochote representa el segundo río en importancia de la cuenca. Tiene sus manantiales de origen en la parte norte de la ciudad de León y marca el límite septentrional a la expansión urbana. A diferencia del Río Chiquito todavía no está dentro de los límites físicos de la ciudad, con lo que prácticamente no recibe influencia humana. A su misión de patrón de calidad se une la urgente necesidad de evaluar un recurso que puede tender a una rápida degradación en el transcurso de los próximos años. La relevancia de este río determina que el seguimiento de la calidad de sus aguas se realice por medio de dos estaciones de muestreo: la primera localizada en el contexto de la ciudad y la segunda, una vez abandonada esta.

- **Nº 8 Río Pochote. Kilómetro 1,5. Puente nuevo de La Providencia al William Fonseca**
- **Nº 9 Río Pochote. Kilómetro 4,8. Puente de la carretera hacia Abangasca**

El Río Acosasco tiene su nacimiento en las faldas del Cerro del Fortín, al sur de la ciudad. En su corto recorrido, recoge un caudal significativo de agua que es aportado al Río chiquito en su kilómetro 3,8, dentro de los límites de la ciudad. Al igual que el Río Pochote, corre el peligro de perder la calidad de sus aguas debido a la creciente presión humana. De hecho, ya se han establecido asentamientos ilegales de nuevo cuño en sus márgenes durante los últimos años. Es por ello de sumo interés dejar constancia de la calidad de sus aguas a lo largo de los muestreos.

- **Nº 10 Río Acosasco. Desembocadura en el Río Chiquito**

El Río San Benito desemboca en el Chiquito a la altura del kilómetro 16. En el contexto de la cuenca representa otro tipo de río, libre de toda influencia urbana. Transcurre entre tierras de cultivo y bosque de sabana tropical o jicaral. Podría soportar las consecuencias del cultivo intensivo efectuado en el pasado (en la actualidad bastante deprimido) y la deforestación de su bosque ribereño.

- **Nº 11 Río San Benito. Desembocadura en el Río Chiquito**

5.1.3 Distribución espacial de pozos urbanos

Aun hoy en día, algunos repartos periféricos, sobre todo aquellos más recientes, que tienen un carácter espontáneo y que se han constituido al margen de las políticas de desarrollo de la municipalidad, carecen del servicio de agua potable, por lo que recurren a la perforación de pozos familiares como alternativa de abastecimiento. Por otro lado, y aunque el desarrollo de la red pública de agua potable propició que muchos pozos fueran aterrados y desaparecieran, el incremento paralelo en los últimos tiempos de los precios del agua y de los índices de pobreza humana hace que muchos pozos familiares situados dentro de la ciudad hayan sobrevivido como alternativa al riego, lavado de ropa y enseres, o aseo personal. Los anteriores condicionantes estimulan, aunque en un mínimo porcentaje, que incluso algunas familias hayan renunciado al uso del agua potable por imposibilidad de pago y estén reutilizando sus pozos para beber.

Se dispone por tanto de una ciudad profusamente perforada, lo que la hace idónea para el desarrollo de estudios acerca del impacto de la actividad urbana sobre las aguas subterráneas en su estrato superficial.

En toda la zona urbana ubicada al sur del Río Chiquito, así como en su margen norte, fueron localizados los suficientes pozos como para garantizar una muestra homogénea sobre el territorio. Lo mismo ocurrió con el tercio este de la ciudad, al norte del Río Chiquito (Barrios de Sutiava y Zaragoza). Sin embargo, la parte central de la ciudad, que coincide básicamente con el Centro Histórico, quedó prácticamente sin muestra por la progresiva desaparición de la totalidad de los pozos durante las últimas décadas. Lo mismo ocurrió con el cuadrante noroeste, donde se localizan barrios relativamente nuevos que contaron desde su inicio con el servicio de agua potable. Durante el muestreo se desestimaron aquellos pozos en los que se evidenció estado de total abandono y claras muestras de estar recibiendo desperdicios y basura. En el Mapa 12 se detalla la localización de los 107 pozos sobre los que se llevó a cabo el muestreo.

5.1.4 Distribución temporal y periodicidad del muestreo en los ríos de la cuenca

Los vertidos que recibe el cauce del río Chiquito presentan una gran variabilidad en cuanto a su frecuencia y distribución temporal, ya sea a lo largo del día, de la semana o de los meses. El muestreo compuesto tiene como objetivo recoger una muestra representativa del agua que caracteriza una determinada estación de muestreo, más allá de la variabilidad que se produzca a lo largo del día, de la semana o del año.

La recogida de muestras se llevó a cabo durante la época seca tanto en 1997 como en 1999, lo que ha evitado interferencias debido a episodios tormentosos, al arrastre de sedimentos o a diluciones del agua de lluvia. Por tanto, los valores que se recogen resumen la condición del agua exclusivamente debida a la actividad urbana e industrial, lo que es extrapolable al resto del año. Además, la época seca permite realizar un seguimiento de caudales más cómodo y veraz que lo que correspondería a la época lluviosa.

Se recogieron muestras de agua durante el período del día de máxima actividad humana e industrial. A priori, se puede pensar que la medida integrada del total de las muestras compuestas así tomadas representa valores mayores que los correspondientes a la integración de muestras que hubieran sido recogidas considerando las 24 horas del día.

A mediados de cada año, la industria tenera sufre una caída en su producción debida a varios factores. El período de muestreo no recoge esta depresión, sino un intervalo de producción que se puede considerar como de tipo medio.

Para el tramo urbano del Río Chiquito (estaciones de muestreo 1, 2 y 3) se realizó un muestreo compuesto por cuatro submuestras, que recogen el período de mayor actividad doméstica e industrial, desde las siete de la mañana hasta las nueve de la noche, presentando la siguiente distribución:

- Submuestra A: entre 7:00 a.m. y 8:00 a.m.
- Submuestra B: entre 11:00 a.m. y 12:00 a.m.
- Submuestra C: entre 15:00 p.m. y 16:00 p.m.
- Submuestra D: entre 20:00 p.m. y 21:00 p.m.

Todas estas submuestras se mezclan en partes proporcionales para lograr la muestra compuesta objeto del análisis.

Por otro lado y para valorar la variabilidad que se puede producir a lo largo de una semana, se recogieron al menos una muestra compuesta de cada día de la semana, repartidos estos días al azar entre los dos y medio primeros meses de muestreo, es decir, de diciembre de un año hasta mitad de febrero del año siguiente. Los resultados analíticos del muestreo compuesto de cada día de la semana, se integran posteriormente en un único valor que nos permite definir el estado de calidad del río Chiquito

Para evaluar la variabilidad de las características del agua del Río Chiquito a lo largo de los años se llevó a cabo un primer muestreo entre 1997 y 1998, y un segundo entre 1999 y 2000

En el tramo rural del río Chiquito se planteó un control menos exhaustivo. Para el tramo rural del Río Chiquito (estaciones de muestreo 4, 5, 6 y 7) se recogieron únicamente muestras simples durante 1998 (cinco para la estación 4, 5 y 6; y cuatro muestras para la 7) en un intervalo de 3 meses y medio (de finales de enero a principios de mayo de 1998).

En el caso del Río Pochote, la muestra se compone de un número menor de submuestras, sin por ello reducir su nivel de representatividad. Debido a que el Río Pochote aun no está influido por la actividad humana al nivel de lo que lo está el Chiquito, parece lógico pensar que la variabilidad temporal del estado de sus aguas puede ser bastante menor. El análisis de las desviaciones estándar de los resultados analíticos obtenidos ha permitido confirmar con posterioridad esta hipótesis.

En este sentido, la muestra objeto de análisis se reduce al conjunto de tres submuestras que son recogidas en los siguientes intervalos:

Submuestra A:	entre 7:30 a.m. y 8:30 a.m.
Submuestra B:	entre 11:00 a.m. y 12:00 a.m.
Submuestra C:	entre 15:30 p.m. y 16:30 p.m.

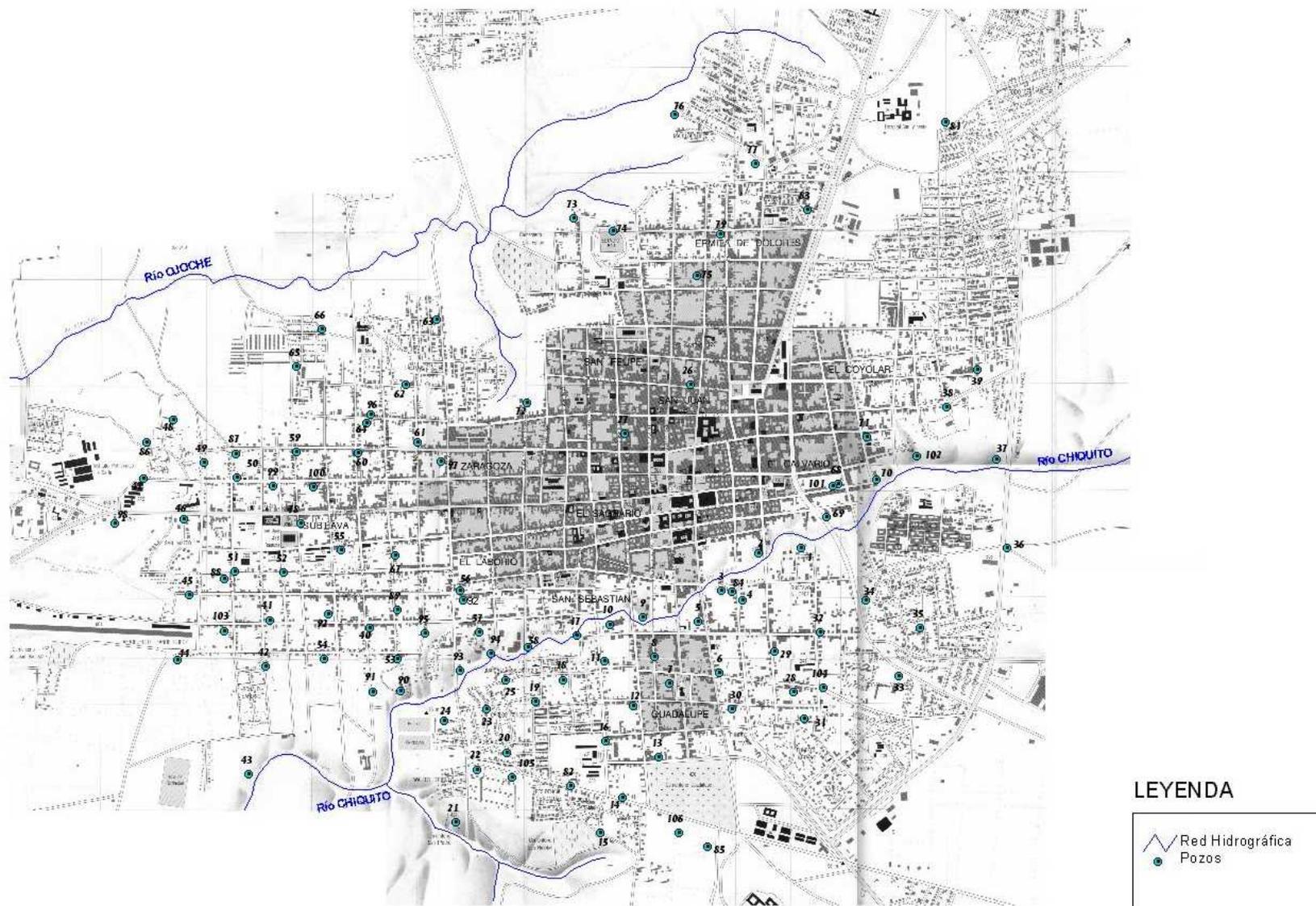
De igual manera se reduce el número de días de la semana objeto de recogida de muestras. Se recogió un lunes, un miércoles, un sábado y un domingo distribuidos en el lapso de un mes (de mitad de enero de 1998 a mitad de febrero de 1998).

5.1.5 Distribución temporal y periodicidad del muestreo para el agua subterránea

Con el objeto de observar el estado y las variaciones de la calidad del agua poco profunda del acuífero de la ciudad de León, se realizó un primer muestreo al final de la época seca tropical (abril - mayo), y un segundo un mes después de iniciadas las lluvias, en junio. Este segundo muestreo se realizó al azar sobre 25 de los 107 pozos valorados en primera instancia, intentando cubrir de manera homogénea el área urbana anteriormente muestreada.

El primero de los muestreos, del 27 de abril al 6 de mayo de 2000, tuvo como objetivo caracterizar el estado del agua subterránea en su momento de menor afección por los procesos de infiltración debida a la lluvia. El muestreo posterior, del 12 al 13 de junio, intentó evidenciar cambios en ciertos parámetros atribuibles a las intensas lluvias caídas durante el intervalo.

MAPA 12: Distribución sobre la ciudad de León de los 107 pozos muestreados



5.1.6 Selección de los parámetros analíticos indicadores

Los parámetros que se determinaron para el control de la calidad del agua fluvial fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica como demanda química de oxígeno, detergentes (agentes tensoactivos), grasas y aceites, nutrientes en forma de nitrógeno y fósforo, sólidos, sulfato, sulfuro, cromo y oxígeno disuelto. Todos los parámetros fueron analizados en laboratorio, menos la temperatura y el oxígeno disuelto que se determinaron in situ. No se ha determinado materia orgánica en forma de demanda bioquímica de oxígeno debido a la alta probabilidad de la presencia en el agua de tóxicos inhibidores del metabolismo microbiano o de concentraciones extremas de ciertos parámetros (salinidad, sulfuros, cromo) que de igual manera pudieran interferir en el resultado de la prueba.

Los parámetros indicadores que se determinaron en el análisis del agua subterránea fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, nitratos, nitritos, coliformes totales y coliformes fecales. En la totalidad de los 107 pozos se midió conductividad del agua, en 103 profundidad de la lamina de agua, en 102 temperatura, en 82 nitritos y pH, en 81 nitratos y en 30 coliformes fecales y totales. Durante el segundo muestreo se midieron únicamente temperatura, pH, conductividad y nitritos. Todos los parámetros fueron analizados en laboratorio, menos la temperatura y la conductividad que se determinaron in situ. Las analíticas se realizaron antes de pasadas 24 horas desde la recolecta de las muestras.

Los métodos analíticos empleados en este caso fueron los siguientes:

- *Conductividad*: mediante la utilización de un conductivímetro digital Hanna, modelo Commet 1, con compensación de temperatura y un rango de detección de 0 a 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- *Temperatura*: mediante la utilización de un termómetro digital, marca Dailymate, con un rango de lectura de -50° a $+150^{\circ}\text{C}$
- *pH*: Phmetro portátil EC-10 de Hach
- *Nitratos*: Método colorimétrico de la reducción con cadmio, con un rango de 0 a 4,5 mg/L NO_3^- -N. Valorado en espectrofotómetro Hach DR/2010
- *Nitritos*: Método colorimétrico de la diazotización, por reacción del nitrito con ácido sulfanílico, con un rango de 0 a 0,300 mg/L NO_2^- -N. Valorado en espectrofotómetro Hach DR/2010
- *Coliformes totales*: Método de los tubos múltiples. Cultivo sobre agar Mc Conkey incubado a 37°C entre 24 a 48 horas
- *Coliformes fecales*: Presencia o ausencia en cultivo a 44°C en agar Mc Conkey entre 24 y 48 horas

Dado que en el caso de las aguas subterráneas tanto los nitratos como los nitritos fueron obtenidos en forma de nitrógeno se procedió a multiplicar los resultados por un factor de 4,4 y 3,3 respectivamente.

5.1.7 Metodología para la recogida de agua de los ríos y la medición de caudales

Se tomó agua en las estaciones de muestreo definidas. Todas las analíticas fueron llevadas a cabo en laboratorio, menos la temperatura y el oxígeno disuelto que se determinaron in situ.

Las muestras de agua fueron recogidas en botes plásticos con tapón de rosca y capacidades de 1 y 2 litros. Se tomó agua del centro del cauce en aquellos ríos o tramos más limpios. En las estaciones del Río Chiquito N° 1, 2 y 3, el agua se recogió desde la orilla. En el caso de muestras compuestas, al final del día se realizó una mezcla a partes iguales con el conjunto de las submuestras.

Para mantener su integridad, las muestras fueron preservadas a baja temperatura durante su transporte y almacenamiento antes del análisis en laboratorio. Se utilizaron neveras de campo con hielo durante la recogida y transporte.

La referencia de los botes plásticos fue marcada con tinta indeleble, y apuntados todos los datos de recogida en el cuaderno de campo establecido al efecto.

El caudal se determinó a través del cálculo de la sección del río y la velocidad de la corriente en ese punto. Se eligieron secciones del río no perturbadas, con canales derechos, uniformes y relativamente libres de rocas y vegetación. Asimismo, flujos uniformes, libre de remolinos o turbulencias. Únicamente en el caso de la estación de muestreo N° 1 (Río Chiquito, Km 2.1), el caudal se midió 50 metros río arriba de donde se recogieron las muestras. Las consideraciones respecto a la uniformidad del cauce determinaron esta decisión.

Después de haber ubicado la sección transversal, se determinó el ancho del río. Se extendió una cinta métrica de orilla a orilla en ángulo recto a la dirección de flujo. Posteriormente se determinaron las verticales o profundidades. En cauces más anchos y en aquellos estrechos pero de sección no uniforme se tomaron cinco medidas de profundidad, en aquellos más estrechos y uniformes solo tres. Siempre se midió a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de la sección, en las ocasiones en que se realizaron cinco medidas se midió a 50 o 30 cm de cada orilla, dependiendo de la anchura del cauce. Posteriormente se calculó la sección.

Las velocidades de flujo se calcularon para una distancia de entre siete y cuatro metros, tomando como punto medio de esta longitud la sección transversal objeto de cálculo. Se tomaron entre 3 y cinco medidas de la velocidad del flujo en superficie mediante cronómetro, una en la posición de cada vertical medida. Se realizó un promedio de estas velocidades, que fue aplicada a la sección en el cálculo del caudal.

5.1.8 Metodología para la recogida de muestras de agua subterránea

La profundidad del pozo se midió con una cinta métrica. La recogida de agua se realizó con un bote plástico sujeto a una cuerda. El transporte de las muestras, así como su almacenamiento hasta la realización de los análisis se realizó en frío, utilizando nevera y frigorífico. En el caso de la recogida de agua destinada al análisis microbiológico se realizó con botellas de cristal de 1 litro de capacidad y con cierre de rosca, que habían sido previamente esterilizadas en autoclave. Durante el muestreo se recogieron todos los datos que fueron considerados de interés para la futura interpretación de los resultados: usos del pozo, posibles focos de contaminación situados en los alrededores del pozo y su orientación con respecto a este, número de habitantes en la casa, método de extracción utilizado, etc.

Todos los parámetros fueron analizados en laboratorio, menos la temperatura y la conductividad que se determinaron in situ. Las analíticas se realizaron antes de pasadas 24 horas desde la recolecta de las muestras.

5.1.9 Representación cartográfica de los resultados del agua subterránea

Los mapas elaborados de isoterminas, isoconductividad e isoconcentración de nitratos y nitritos se han realizado a partir de la aplicación informática ArcView GIS, con su extensión de análisis espacial; interpolación de cuadrícula de mapa y creación de contornos. Para cada uno de ellos se ha definido unos

intervalos de concentración, con diferente gradación de color, y se han creado isolíneas con distintos intervalos para cada parámetro. El parámetro pH no se ha representado, debido a que los valores son muy heterogéneos entre pozos próximos, por lo que no proporciona información relevante.

Previo al análisis de la información que aportan los mapas, hay que tener en cuenta las siguientes premisas:

- ✓ Los mapas representan una situación puntual en el tiempo, siendo representativo únicamente del instante en el que se realizó el muestreo, entre abril y mayo de 2.000.
- ✓ La distribución de los pozos en el área de estudio no es homogénea, quedando zonas escasamente representadas. Esto implica que los datos interpolados para la representación de los diferentes mapas en toda la ciudad, puede ofrecer una visión de la concentración del contaminante en el acuífero que no se adapte a la realidad.
- ✓ La representación de los mapas no aporta información del flujo del agua subterránea, no debiendo entender la información como penachos de contaminación.

La representación no contempla las variaciones verticales en la calidad del agua subterránea. Por tanto, solo pretende delinear la extensión lateral del impacto urbano en las aguas subterráneas, no su extensión vertical. Asimismo, tampoco incide en la migración y transporte de los contaminantes.

5.2 PRESENTACION DE RESULTADOS

5.2.1 Resultados físico químicos del Río Chiquito

En la tabla 34 y 35 se presentan los valores de las temperaturas observadas a lo largo de las dos campañas de muestreo en 1997-1998 y 1999-2000. Los rangos horarios hacen referencia a los intervalos de tiempo en los que se realizó el conjunto de observaciones para cada estación de muestreo.

TABLA 34. Resumen de temperaturas observadas en el Río Chiquito en la campaña 1997 - 1998.

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Rango horario	Mínima observada	Máxima observada	Variación
1	20	7:05 – 20:25	24,5 °C	30,6 °C	6,1 °C
2	26	0:00- 24:00	25,4 °C	31,0 °C	5,6 °C
3	21	7:25 – 20:55	24,9 °C	30,3 °C	5,4 °C
4	6	7:55 – 13:10	25,8 °C	33,6 °C	7,8 °C
5	5	8:35 – 13:05	26,9 °C	31,4 °C	4,5 °C
6	5	8:50 – 13:50	28,0 °C	30,6 °C	2,6 °C
7	4	9:05 – 14:35	26,0 °C	28,3 °C	2,3 °C

TABLA 35. Resumen de temperaturas observadas en el Río Chiquito en la campaña 1999 - 2000

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Rango horario	Mínima observada	Máxima observada	Variación
2	25	7:15 - 21:10	24,6 °C	32,1 °C	7,5 °C
3	24	7:25 - 21:20	24,6 °C	31,4 °C	6,8 °C
4	24	7:40 - 21:35	23,4 °C	33,1 °C	9,7 °C

La tabla 36 presenta el conjunto de resultados analíticos obtenidos en la campaña de muestreo 1997 - 1998 para cada estación de muestreo. Cada valor medio de las estaciones 1, 2, 3 y 4 es para todos los casos el resultado de integrar 8 muestras de agua, compuestas a su vez por 4 submuestras, a excepción del valor del fósforo total, que integra 5 muestras por 4 submuestras, y el valor del plomo, que integra 3 muestras por 4 submuestras.

Los valores de las estaciones 5 y 6 integran 3 muestras simples, ampliadas a 4 en el caso de la conductividad, DQO, nitrato y sólidos en suspensión, y 5 para el cromo. La estación 7 integra 3 muestras simples para el total de los valores a excepción del valor del cromo, con 4 muestras simples.

TABLA 36. Resumen estadístico de los valores de la calidad del agua del Río Chiquito obtenidos durante la campaña 1997 - 1998 por estación de muestreo

Parámetro	Unidad	Estación N° 1				Estación N° 2			
		X	S	MAX	MIN	X	S	MAX	MIN
PH		7,24	0,11	7,4	7,1	7,65	0,29	8,2	7,4
Conductividad	us/cm	522,75	21,25	555	496	1074,1	351,92	1746	687
DQO	mg /l	84,93	33,26	131	42,24	213,08	90,18	378	111
Cromo	mg/l	0,15	0,37	1,07	0	3,13	2,49	8,2	1,18
Detergente	mg/l	2,73	0,64	3,67	1,64	1,66	0,31	2,13	1,2
Fósforo total	mg/l	1,43	0,29	1,76	1,14	1,10	0,22	1,41	0,8
Grasas y aceites	mg/l	80,8	82,33	280,5	26,4	72,48	31,14	116,5	30,8
Nitrato	mg/l	5,04	3,51	10,41	1,29	4,12	2,40	7,27	1,29
Nitrógeno amoniacal	mg/l	1,10	0,21	1,38	0,79	1,8	0,41	2,39	1,15
N. total Kjeldahl	mg/l	1,36	0,21	1,67	1,02	2,31	0,54	3,18	1,65
Plomo	mg/l	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Sólidos sedimentables	ml/l	0,29	0,25	0,8	0	1,41	0,89	3	0,2
Sólidos en suspensión	mg/l	118,43	134,2	403	21	445,07	869,21	2414	60
Sulfuro	mg/l	1,90	1,92	5,2	0	2,96	1,48	5	1,09

Parámetro	Unidad	Estación N° 3				Estación N° 4			
		X	S	MAX	MIN	X	S	MAX	MIN
pH		7,54	0,32	8,3	7,3	7,68	0,41	8,15	7,4
Conductividad	us/cm	712,75	100,48	865	540	613	105,76	722,00	468
DQO	mg /l	229,15	129,25	514	86	158,02	44,49	220,08	122
Cromo	mg/l	4,14	5,65	16,34	0,18	0,56	0,51	1,23	0
Detergente	mg/l	1,33	0,55	2,02	0,56	1,73	0,88	2,73	1,06
Fósforo total	mg/l	1,27	0,45	1,92	0,69	1,07	0,35	1,33	0,67
Grasas y aceites	mg/l	64,24	19,14	103,5	36,4	41,67	16,26	56,00	24
Nitrato	mg/l	8,89	7,51	22,88	2,26	9,7	9,61	24,09	4,23
Nitrógeno amoniacal	mg/l	1,32	0,42	1,96	0,8	1,08	0,15	1,25	0,96
N. total Kjeldahl	mg/l	2,07	0,71	3,17	1,34	1,28	0,22	1,46	1,04
Plomo	mg/l	0,03	0,03	0,06	0,01	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/l	1,10	0,52	2	0,6	0,2	0,14	0,30	0,1
Sólidos en suspensión	mg/l	168,57	127,37	437	75	96,25	54,70	159,00	47
Sulfuro	mg/l	2,70	1,99	6,62	0,9	1,15	0,70	1,95	0,67
Sulfato	mg/l	-	-	-	-	26,19	10,49	33,60	18,77

Parámetro	Unidad	Estación N° 5				Estación N° 6			
		X	S	MAX	MIN	X	S	MAX	MIN
pH		7,57	0,06	7,61	7,5	7,53	0,05	7,59	7,5
Conductividad	us/cm	300,25	41,02	355,00	262	302,50	33,93	353,00	280
DQO	mg /l	67,38	50,58	132,50	23	89,36	55,48	140,20	15,23
Cromo	mg/l	0,15	0,21	0,50	0	0,14	0,22	0,52	0
Detergente	mg/l	0,3	0,17	0,47	0,13	0,36	0,13	0,50	0,25
Fósforo total	mg/l	0,44	0,10	0,50	0,33	0,48	0,14	0,63	0,36
Grasas y aceites	mg/l	32,53	10,07	39,60	21	38,67	10,97	45,00	26
Nitrato	mg/l	24,58	24,95	59,29	1,29	37,40	17,92	61,06	18,15
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0,6	0,40	1,06	0,35	0,45	0,08	0,52	0,36
N. total Kjeldahl	mg/l	1,3	0,67	1,85	0,56	0,54	0,14	0,70	0,43
Plomo	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/l	0,2	0,14	0,30	0,1	0,15	0,07	0,20	0,1
Sólidos en suspensión	mg/l	38,25	11,21	47,00	22	35,75	8,14	43,00	25
Sulfuro	mg/l	0,93	0,81	1,45	0	0,35	0,48	0,90	0
Sulfato	mg/l	7,6	0,73	8,11	7,08	7,35	1,08	8,11	6,58

Parámetro	Unidad	Estación N° 7			
		X	S	MAX	MIN
pH		7,38	0,14	7,50	7,23
Conductividad	us/cm	449,00	27,07	468,00	418
DQO	mg /l	117,63	73,29	160,00	33
Cromo	mg/l	0,25	0,28	0,60	0
Detergente	mg/l	0,59	0,41	1,06	0,29
Fósforo total	mg/l	0,79	0,14	0,95	0,67
Grasas y aceites	mg/l	36,83	16,91	56,00	24
Nitrato	mg/l	26,38	20,45	46,06	5,23
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0,66	0,52	1,25	0,29
N. total Kjeldahl	mg/l	0,76	0,61	1,46	0,35
Plomo	mg/l	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/l	0,05	0,07	0,10	0
Sólidos en suspensión	mg/l	26,33	24,38	54,00	8
Sulfuro	mg/l	1,09	0,65	1,53	0,34
Sulfato	mg/l	11,92	9,69	18,77	5,07

La tabla 37 presenta el conjunto de resultados analíticos obtenidos en la campaña de muestreo 1999 - 2000 para las tres estaciones en las que se desarrolló muestreo. Cada valor medio es para todos los casos el resultado de integrar 7 muestras de agua, compuestas a su vez por 4 submuestras. Es de resaltar que en esta campaña se redujo el número de parámetros a analizar con respecto a la campaña de 1997-1998.

TABLA 37. Resumen estadístico de los valores de la calidad del agua del Río Chiquito obtenidos durante la campaña 1999 - 2000 por estación de muestreo

Parámetro	Unidad	Estación N° 2				Estación N° 3			
		X	S	MAX	MIN	X	S	MAX	MIN
pH		7,58	7,53	8,00	7,33	7,62	7,62	7,90	7,37
Conductividad	us/cm	824,57	863,00	994,00	605	594,00	563,00	843,00	418
DQO	mg /l	281,39	241,20	741,40	52	158,44	128,90	273,00	60
Cromo	mg/l	1,00	1,00	2,30	0,002	0,26	0,10	0,89	0,001
N. total Kjeldahl	mg/l	1,96	1,39	5,00	1,23	1,07	0,97	1,44	0,82
Sólidos sedimentables	ml/l	2,21	1,20	7,00	0,5	0,83	1,00	1,45	0,1
Sólidos en suspensión	mg/l	83,43	62,00	250,00	14	40,14	35,00	107,00	14
Sulfuro	mg/l	1,84	0,96	5,62	0,17	1,29	0,92	3,53	0,21

Parámetro	Unidad	Estación N° 4			
		X	S	MAX	MIN
pH		7,60	7,61	7,80	7,37
Conductividad	us/cm	566,14	564,00	707,00	446
DQO	mg /l	224,44	240,00	564,40	64
Cromo	mg/l	0,11	0,10	0,22	0,01
N. total Kjeldahl	mg/l	1,13	1,16	1,45	0,8
Sólidos sedimentables	ml/l	0,56	0,30	1,50	0,1
Sólidos en suspensión	mg/l	32,29	30,00	76,00	7
Sulfuro	mg/l	2,50	2,40	6,80	0,5

En las Tablas 38 y 39 se presentan, como porcentaje de saturación, los valores del oxígeno disuelto observados en Río Chiquito a lo largo de las dos campañas de muestreo

TABLA 38. Variación del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto a lo largo del recorrido del río Chiquito durante la campaña de muestreo 1997 - 1998

Estación de muestreo	N° observaciones	Media %	Mediana %	Desviación estándar	Incremento relativo de O2 disuelto entre estaciones de muestreo respecto a la media	
1	6	18,0	14,4	14,7		
2	5	10,6	1,3	19,4	-41,1 %	
3	6	15,8	13,3	18,0		49,1 %
4	1	18,5	18,5	-	17,1 %	
5	2	44,1	44,1	8,6		138,4 %
6	3	54,9	61,7	12,8	24,5 %	
7	3	20,1	14,2	10,5		-63,4 %

TABLA 39. Variación del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto a lo largo del recorrido del río Chiquito durante la campaña de muestreo 1999 - 2000

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Media %	Mediana %	Desviación estándar	Incremento relativo de O2 disuelto entre estaciones de muestreo respecto a la media	
2	6	27,0	31,5	13,4	45,6 %	
3	6	39,3	40,2	5,4		
4	6	45,0	53,9	25,1		14,5 %

5.2.2 Resultados físico químicos de otros ríos de la cuenca

En la tabla 40 se presentan los valores de las temperaturas observadas en el Río Pochote en la campaña de muestreo de 1997-1998. Al igual que en las tablas 34 y 35, los rangos horarios hacen referencia a los intervalos de tiempo en los que se realizó el conjunto de observaciones para cada estación de muestreo.

TABLA 40. Resumen de temperaturas observadas en el Río Pochote en la campaña 1997 - 1998

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Rango horario	Mínima observada	Máxima observada	Variación
8	15	7:45 – 17:50	25,0 °C	30,1 °C	5,1 °C
9	16	7:35 – 17:10	25,7 °C	29,4 °C	3,7 °C

La tabla 41 presenta el conjunto de resultados analíticos obtenidos en la campaña de muestreo 1997-1998 en las dos estaciones muestreadas en el Río Pochote. Cada valor medio es el resultado de integrar 4 muestras de agua, compuestas a su vez por 3 submuestras, a excepción del valor del plomo, que integra 3 muestras por 3 submuestras.

TABLA 41. Resumen de los valores obtenidos durante el muestreo del Río Pochote durante la campaña 1997 - 1998

Parámetro	Unidad	Estación Nº 8				Estación Nº 9			
		X	S	MAX	MIN	X	S	MAX	MIN
Ph		7.78	0,1	7,9	7,7	7.8	0,22	8,1	7,6
Conductividad	us/cm	264.25	23,64	292	240	206.25	16,03	225	191
DQO	mg /l	72	85,54	200	21	50.04	32,34	98	28,16
Cromo	mg/l	0.1	0,18	0,37	0	0.08	0,16	0,32	0
Detergente	mg/l	0.04	0,06	0,12	0	0.01	0,02	0,03	0
Fósforo total	mg/l	0.1	0,04	0,15	0,05	0.11	0,04	0,15	0,05
Grasas y aceites	mg/l	51.38	16,95	65,5	29	43.13	11,12	55	29
Nitrato	mg/l	63.8	18,59	83,3	38,64	48.31	16,64	68,57	27,85
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0.2	0,08	0,3	0,14	0.24	0,17	0,49	0,12
N. total Kjeldahl	mg/l	0.3	0,13	0,49	0,2	0.33	0,13	0,52	0,22
Plomo	mg/l	0.01	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos sedimentables	ml/l	0.03	0,05	0,1	0	0.05	0,06	0,1	0
Sólidos en suspensión	mg/l	14.5	14,15	35	3	15	11,86	30	5
Sulfuro	mg/l	0.48	0,1	0,53	0,32	0.52	0,19	0,67	0,25

TABLA 41. Variación del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en el Río Pochote durante la campaña 1997 - 1998

Estación de muestreo	Porcentajes de saturación observados				X %	S	Incremento relativo
	%						
8	77,7	75,0	75,5	74,3	75,6	1,5	18,8 %
9	90,1	88,5	91,4	89,0	89,8	1,3	

La tabla 42 presenta los valores analíticos de una muestra simple de agua recogida en dos ríos pertenecientes a la cuenca del Río Chiquito, así como el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto observado in situ.

TABLA 42. Valores analíticos de un muestreo simple en dos afluentes del Río Chiquito durante la campaña de muestreo 1997 - 1998

Parámetro	Unidades	Río Acosasco	Río San Benito
		Estación N° 10	Estación N° 11
Temperatura	°C	28,1	28,8
PH	-	7,7	7,6
Conductividad	us/cm	155	232
DQO	mg/l	82	61
Cromo	mg/l	0,6	-
Detergente	mg/l	0,02	-
Fósforo total	mg/l	0,08	< 0,01
Grasas y aceites	mg/l	19,5	-
Nitrato	mg/l	11,47	57,5
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,2	0,15
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	0,22	0,38
Sólidos sedimentables	ml/l	< 0,10	-
Sólidos suspensión	mg/l	8	30
Sulfuro	mg/l	0,68	-
Sulfato	mg/l	5,6	-
O ₂	% de saturación	87,2	84,4
Caudal	m ³ /sg	0,08	0,04

5.2.3 Caudales de la cuenca

En las tablas 43 y 44 se presentan los valores de los caudales obtenidos en cada una de las estaciones del Río Chiquito durante las dos campañas de muestreo. En la campaña de 1997-1998 se realizaron mediciones de caudales durante la época del muestreo, pero no coincidentes con el día de la recogida de la muestra de agua. En la campaña de 1999-2000 se realizó una medición de caudal por cada uno de los días en los que se recogió muestra de agua.

En la tabla 45 se presentan los caudales observados en las dos estaciones de muestreo del Río Pochote durante la campaña de 1997-1998. Se tomaron tres medidas de caudal durante el período de muestreo.

TABLA 43. Resumen de caudales observados en cada una de las estaciones del Río Chiquito durante la campaña de muestreo de 1997-1998.

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Valor promedio m ³ /sg	Incremento relativo de caudal entre estaciones en %	
1	2	0,03	500	94,4
2	3	0,18		
3	2	0,35	65,7	96,5
4	4	0,58		
5	5	1,14	7	- 11,5
6	5	1,22		
7	5	1,08		

TABLA 44. Resumen de caudales observados en 3 estaciones de muestreo del Río Chiquito durante la campaña de muestreo de 1999-2000.

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Valor promedio m ³ /sg	Incremento relativo de caudal entre estaciones en %	
2	7	0,31	51,6	68,1
3	7	0,47		
4	7	0,79		

TABLA 45. Resumen de caudales observados en 2 estaciones de muestreo del Río Pochote durante la campaña de muestreo de 1997-1998.

Estación de muestreo	Nº de observaciones	Valor promedio m ³ /sg	Incremento relativo de caudal entre estaciones en %	
8	3	0,16	262,5	
9	3	0,58		

5.2.4 Resultados físico químicos del agua subterránea

Los valores estadísticos de los resultados analíticos de los parámetros considerados se resumen en la Tabla 46. Asimismo, se representan los histogramas de las variables agrupadas en intervalos de clase, indicando la tendencia de cada parámetro; y por otro lado, el valor máximo, mínimo, media y percentiles 25% y 75%, en gráficas de *Box & Whisker Plot*.

TABLA 46. Análisis estadístico de resultados

Parámetro	Temperatura °C	PH Unidad pH	Conductividad uS/cm	Nitritos mg/L	Nitratos Mg/L
N° Pozos muestreados	102	82	107	82	81
Media	27,9	6,9	719	0,151	105,9
Desviación Estándar	0,67	0,19	417,3	0,664	97,43
Máximo	29,1	7,5	2568	5,973	514,8
Mínimo	25,9	6,5	230	0,007	8,4
Percentil 10	27,1	6,7	356	0,013	21,1
Percentil 25	27,5	6,8	456	0,017	44,0
Percentil 50	28,0	6,9	581	0,033	79,2
Percentil 75	28,5	7,0	845	0,072	136,4
Percentil 90	28,7	7,1	1343	0,211	211,2

GRAFICO 5. Histograma de la conductividad dada en intervalos de clase y gráfica de Box & Whisker Plot para el conjunto de los valores de la variable.

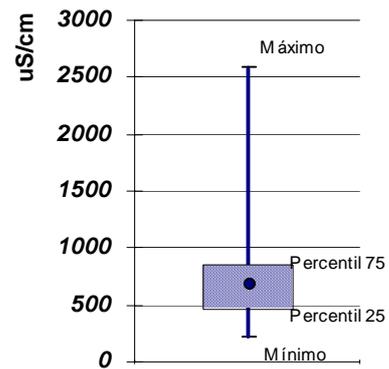
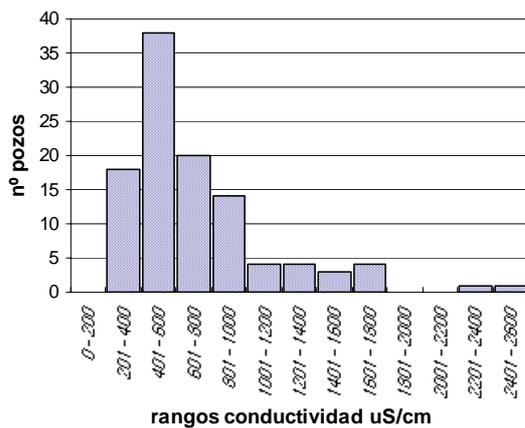


GRAFICO 6. Histograma de pH dado en intervalos de clase y gráfica de Box & Whisker Plot para el conjunto de los valores de la variable.

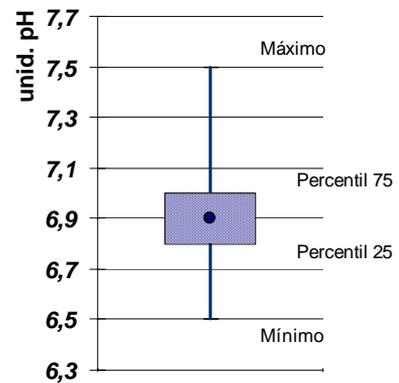
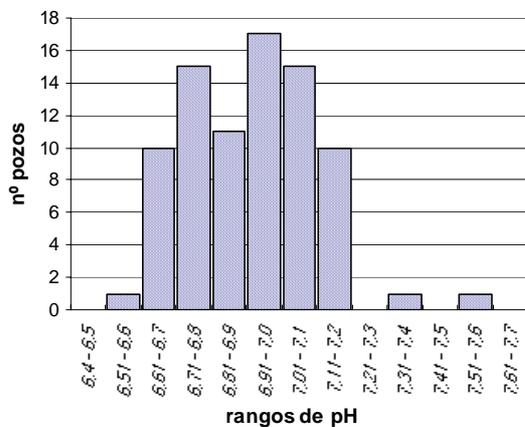


GRAFICO 7. Histograma de la temperatura dada en intervalos de clase y gráfica de Box & Whisker Plot para el conjunto de los valores de la variable

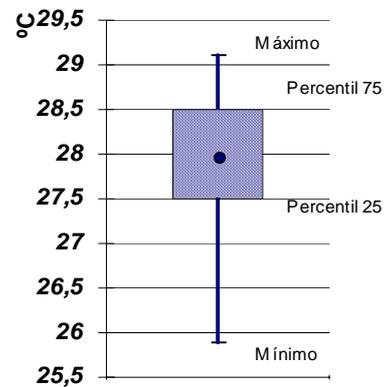
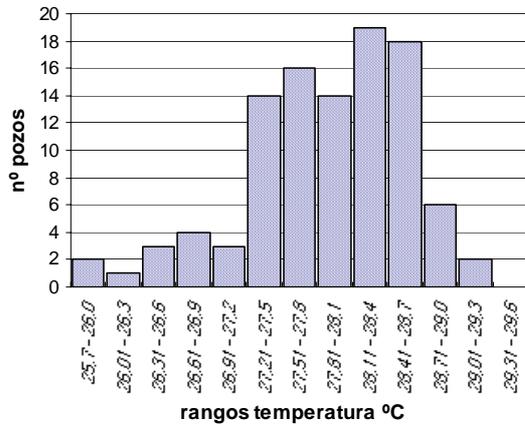


GRAFICO 8. Histograma del nitrito dados en intervalos de clase y gráfica de Box & Whisker Plot para el conjunto de los valores de la variable.

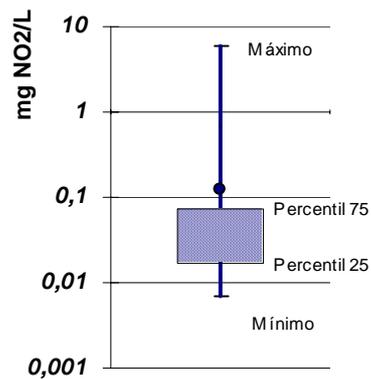
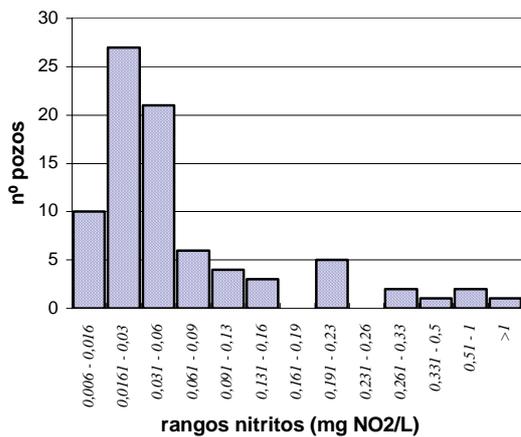
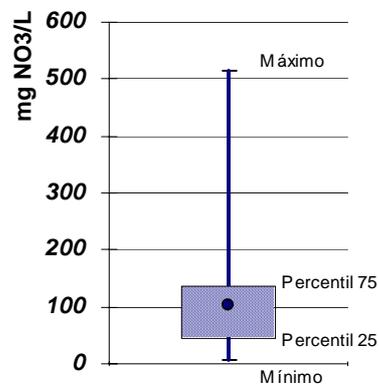
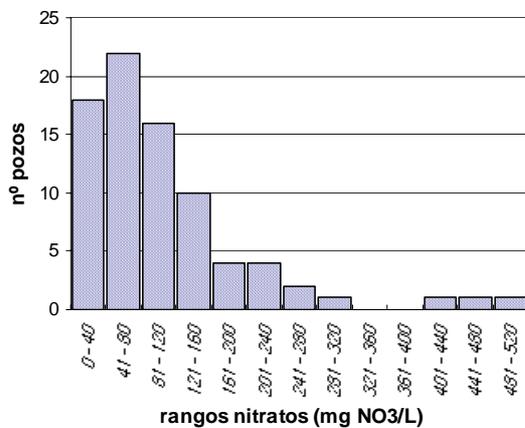


GRAFICO 9. Histograma del nitrato dado en intervalos de clase y gráfica de Box & Whisker Plot para el conjunto de los valores de la variable.



Capítulo 6. La calidad del agua como indicador ambiental. Análisis de resultados

6.1 CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO CHIQUITO

6.1.1 Producción y comportamiento de los contaminantes

La pluviometría anual determina en buena medida las condiciones del agua. Así, durante el muestreo iniciado en 1997, posterior a un año extremadamente seco, las condiciones organolépticas y las concentraciones químicas del agua mostraron unos niveles de contaminación superiores a los de la campaña iniciada en 1999, después de un año extremadamente lluvioso. Sin embargo, el cálculo de la carga total de contaminantes en el río (ver tabla 49) evidencia el carácter aparente del fenómeno de la dilución, pues para ciertos parámetros (conductividad y DQO) se observa una evolución al alza entre la primera y la segunda campaña de muestreo.

Durante 1997, el primer kilómetro y medio de cauce se encontraba seco debido a la reducida producción de los manantiales naturales en un año de escasa pluviometría. Algunas descargas de aguas negras se producían en ese tramo inicial, si bien dado que el volumen no era muy elevado y constante se producía su total infiltración en el lecho seco del río. Las primeras descargas importantes se encontraban entonces a partir del Km. 1,6 de la cabecera, donde se vierten aguas residuales provenientes de las viviendas situadas al norte del Puente Martínez. A partir de ese punto el río presentaba caudal durante todo el año.

En la campaña de 1999 - 2000 se observa un aumento del caudal para cada uno de los puntos medidos, debido a la alta producción de los manantiales en un año con una pluviometría bastante elevada respecto a la media²³. En este caso, el río presenta caudal a partir del kilómetro 0,5 de la cabecera, donde se registró la primera descarga de aguas servidas (proveniente del lavado, cocina y aseo personal de unas 30 o 40 familias) que se une a los manantiales posteriores para crear un mínimo, pero continuo caudal.

TABLA 47. Resumen de los caudales obtenidos durante los dos años de muestreo en m³/sg. Expresados como valores medios del conjunto de medidas realizadas para cada estación. Pluviometría anual correspondientes a los años de inicio del muestreo expresadas en mm.

Año	Pluviometría mm/año	Estación de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
1997 – 1998	1098,8	0,03	0,18	0,35	0,58	1,14	1,22	1,08
1999 – 2000	2225	-	0,31	0,47	0,79	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia. Datos pluviométricos: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Estación de León

El río pierde su calidad y potencial de uso desde el mismo momento de su nacimiento. La presión antrópica en todas sus formas es responsable de la alteración de las características físicas, químicas y biológicas del Río Chiquito en comparación con la de sus afluentes cercanos. Esta alteración se manifiesta, entre otros indicadores, por la drástica reducción del nivel de O₂ disuelto en las primeras cuatro estaciones de muestreo, donde la media de los porcentajes de saturación observados varía entre 10,6% (estación 2) y 18,5% (estación

²³ De acuerdo al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), la media de pluviometría para la estación de León durante el período 1974 - 1999 fue de 1.581,8 mm. anuales.

4) en la campaña de 1997-1998, a diferencia de porcentajes de entre un 75 a un 90% observados para la misma campaña en sus subsidiarios.

En general puede decirse que la mineralización de las aguas del Río Chiquito es baja, con valores de conductividad eléctrica que no sobrepasan los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tablas 36 y 37). Los máximos valores se alcanzaron en la estación N° 3 durante 1998, donde ocasionalmente se llegaron a registrar valores máximos medios de 1746 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este parámetro presenta una disminución progresiva a medida que aumenta la distancia como consecuencia de los aportes de manantiales y de otros ríos mucho menos influenciados por el impacto urbano, los cuales presentan conductividades comprendidas entre 292 y 155 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Finalmente, este parámetro experimenta un ligero incremento. Este hecho, puede atribuirse al efecto de la evaporación que el agua sufre tras un tiempo de retención en la serie de lagunas existentes en el último tramo del río Chiquito. Estas lagunas se asientan sobre la formación geológica "Grupo Tamarindo", que constituye un terreno impermeable, y estuvieron sujetas, durante los meses de enero a abril de 1997, a una insolación media de 289.85 horas/mes y una evaporación real media de 280.15 mm/mes (INETER, Estación León). El aumento de conductividad también se debe a la remoción de los sedimentos de las lagunas debido a procesos eutróficos que se producen, al menos, en la época estival.

A tenor de los resultados analíticos obtenidos durante la campaña 1997 - 1998, en la que se caracterizó la calidad del agua del Río Chiquito en toda su extensión, se observa que la máxima degradación del río se produce a lo largo de las primeras estaciones de muestreo, cuando recibe la presión de la actividad urbana. En la primera estación es de destacar la mayor concentración de detergentes, fósforo, así como de grasas y aceites, mientras que las concentraciones de cromo son bajas. Estos parámetros apuntan a un predominio de los vertidos urbanos cuya tipología se puede asignar principalmente a las actividades domésticas.

Los valores de DQO y sólidos en suspensión son máximas entre el Km. 3,2 y el Km. 4 (estación 2 y 3); además, es entre estos dos puntos donde se observan las mayores concentraciones de cromo, sulfuros y sólidos en suspensión. Sin embargo, parámetros como fósforo, detergentes, grasas y aceites han disminuido respecto a las concentraciones de la estación N° 1. Estas diferencias evidencian un cambio en la tipología del vertido apuntando a un carácter más industrial. Ello se debe a la presencia de las fábricas de tratamiento del cuero, conocidas como tenerías o curtiembres.

Ciertos cálculos realizados a partir de estimaciones en la producción de la industria tenera de León han valorado que entre 10 y 16 toneladas de Cr^{3+} están siendo vertidas al año en el cauce del Río Chiquito (AML, 1998) [57]. Los cálculos obtenidos a partir de los resultados analíticos de la primera campaña de muestreo parecen confirmar las estimaciones anteriores, pues la carga total de Cr^{3+} que estaría pasando anualmente por la estación de muestreo N° 2 sería de 17,7 toneladas, mientras que en la estación de muestreo N° 3 sería de 12,5 toneladas/año.

La presencia de la industria tenera genera también una enorme variabilidad a lo largo del día en la composición del agua del río, y es la responsable de la dispersión observada a lo largo del muestreo para ciertos parámetros. Así, durante un día completo en el que se realizaron 11 mediciones puntuales, el valor de la conductividad se desplazó desde un valor mínimo de 558 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a uno máximo de 5.400. Lo mismo se observó con otros parámetros como el cromo, que varió entre 0.23 y 22 mg/l; la DQO, entre 101 a 784 mg/l; o el nitrógeno total entre 1.46 a 9,9 mg/l.

Tras la salida de la ciudad (a partir de la estación de muestreo N° 3) se produce una disminución de la mayor parte de los parámetros debido al descenso de los vertidos y al proceso de dilución como consecuencia del continuo aporte de manantiales y la confluencia con otros ríos no contaminados. En este sentido, se puede destacar los descensos de cromo durante la campaña de muestreo 1997 - 1998, que pasaron de 4,14 (estación 3) a 0,56 mg/l (estación 4) y de sólidos sedimentables que descendieron de 1,10 a 0,2 mg/l para las

mismas estaciones, lo que apunta a una relación común entre ambos parámetros. De hecho, los valores de pH del agua superiores a 6,5 dificultan enormemente la presencia de cromo en disolución (Metcalf y Eddy, 1998) [51], por lo que este tiende a unirse a los materiales particulados que van sedimentándose en el fondo del cauce del río.

La reducción de la mayoría de los parámetros analizados continúa en la estación N° 5 como consecuencia de la dilución que provoca la entrada de aguas limpias del río Pochote. Si bien también se registran valores de nitratos por encima de 20 mg/l., tales incrementos se deben principalmente al aporte de aguas con contenido en nitratos por encima de 50 mg/L de los ríos Pochote y San Benito. El origen de este nitrato probablemente se debe a que estos afluentes del Río Chiquito drenan partes del acuífero cuya superficie ha sido destinada a actividades agrícolas en las que la utilización de fertilizantes ha sido elevada. En menor medida no se puede descartar un posible enriquecimiento de nitratos como consecuencia de la estabilización de los vertidos orgánicos con respecto a la demanda de oxígeno.

6.1.2 Capacidad autodepurativa del Río Chiquito

El fenómeno de la autodepuración depende sobremanera del contenido en oxígeno disuelto. Por un lado se registra un consumo de oxígeno debido a la oxidación biológica de materias orgánicas carbonadas y nitrogenadas, la descomposición bentónica de los depósitos de fondo y la respiración de las plantas acuáticas y organismos vivos en general y, por otro lado, existe un consumo directo necesario para la oxidación de sustancias químicas reductoras. Además de todos estos procesos consumidores de oxígeno, también se producen aportes principalmente a través de la fotosíntesis de plantas y organismos unicelulares con clorofila, aguas limpias de afluentes y reoxigenación o transferencia de oxígeno desde la atmósfera a la masa de agua.

El resultado de los procesos consumidores y aportadores de oxígeno es que el contenido de dicho elemento disuelto en las aguas del río, evoluciona a lo largo de este a partir del punto de vertido de las aguas residuales, tal y como puede observarse en la Gráfica 10.

Es determinante en la capacidad autodepuradora del Río Chiquito el aporte de oxígeno disuelto que se produce en su confluencia con el Río Pochote, entre las estaciones de muestreo N° 4 (Km. 6,5) y N° 5 (Km. 10,5). Con un caudal similar al del Río Chiquito en ese punto, el Río Pochote mantiene en sus aguas un porcentaje de saturación en oxígeno disuelto próximo al 90%, lo que provoca un incremento relativo de este parámetro en el Río Chiquito del 138,4%, el más elevado observado entre estaciones de muestreo, pasando de un 18,5% de saturación en la estación N° 4 a un 44,1% en la N° 5. Además, el aporte de aguas limpias al sistema, provenientes del acuífero y de al menos 5 afluentes de importancia, provocan la dilución de contaminantes en la corriente de agua, algo que se refleja en la variación de la conductividad a lo largo del sistema (gráfico 11).

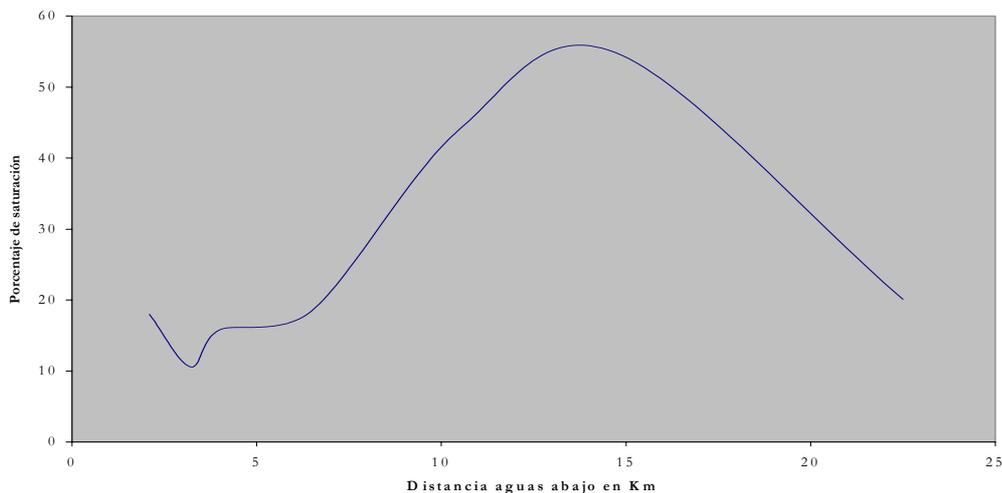
Los elementos flotantes (sólidos y grasas) o productos tensoactivos (detergentes) van quedando retenidos por las plantas y el propio terreno de las orillas. Los remansos colaboran con esta acción y poco a poco la superficie del agua va quedando liberada de elementos extraños (gráficos 12 y 13).

El seguimiento de los diferentes parámetros analíticos a lo largo del Río Chiquito demuestra que los contaminantes van variando de acuerdo a procesos físicos, químicos y biológicos. Por ejemplo, los elementos pesados, dependiendo de su densidad y de la corriente del agua, van quedando depositados en el fondo del cauce, más en las zonas remansadas y menos en la zona de corriente, pero a medida que el río discurre sus aguas van quedando libres de partículas sedimentables. Los valores indican una rápida disminución de la concentración de cromo, que es paralela a la disminución de sólidos en suspensión

(Gráficos 14 y 15). Muchos metales, entre ellos el cromo, se encuentran ligados al material particulado, sedimentos o suspensiones, lo que hace que la concentración en solución de los mismos en un río muy a menudo está regulada por el material en suspensión²⁴. La capacidad que tienen los sedimentos para retener muchos metales suele ser muy elevada, especialmente a pHs superiores a 6,5 [51], como es el caso. En condiciones anaerobias y a pHs bajos, algunos metales son más solubles y pueden ser solubilizados.

Desde la estación de muestreo N° 2 (Km 3,2) hasta la estación de muestreo N° 6 (Km 14,7) se pudiera producir, de acuerdo a los resultados analíticos obtenidos en la campaña de muestreo 1997-1998, una deposición de 12,3 toneladas de cromo al año, que quedarían retenidas en los sedimentos del fondo del cauce. Esta deposición no se produce de una manera constante debido a las grandes avenidas que provoca la época lluviosa. Es probable que al inicio de esta época, los fangos bentales se remuevan viajando las partículas ricas en cromo hacia partes más bajas del río. Se puede suponer por tanto que durante las primeras lluvias torrenciales se producirá el mayor impacto contaminante sobre el ecosistema estuarino del estero de Las Peñitas, al ser arrastrados hasta éste los sedimentos acumulados en el río a lo largo de cinco a siete meses de sequía.

GRAFICO 10. Variación de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998



Es de destacar el papel que la serie de lagunas, localizadas entre las estaciones de muestreo 6 y 7 (Km. 14,7 y 22,5), tienen en el proceso de autodepuración del Río Chiquito, por lo menos durante la época de verano que ha sido investigada. Su influencia se traduce en un aumento de la mineralización del agua como consecuencia de la evaporación y una inversión de las tendencias para ciertos parámetros debido a los procesos de eutrofización que se originan durante la época seca en estas lagunas de poca profundidad y sometidas a intensa insolación. Los procesos eutróficos disminuyen drásticamente los niveles de oxígeno disuelto y nitratos (gráfico 10 y 16), aumentando a su vez los de sulfuro y amoníaco (gráficos 17 y 18). Asimismo, la retención del agua provoca la eliminación por decantación de una gran parte de los sólidos en suspensión todavía existentes (gráfico 15).

La presencia en el agua del fósforo artificialmente añadido disminuye generalmente al quedar fijado en los sedimentos y ser consumido por las especies fitoplanctónicas, que también van a parar al fondo cuando

²⁴ Entre los elementos más tóxicos solo el arsénico es relativamente soluble: 25% en solución de media en los ríos no contaminados, contra 2.5% para el cadmio, 0.5% para el plomo, 0.25% para el cromo y 0.05% solamente para el mercurio [64].

mueren [60]. Es probable que en la zona de lagunaje, se produzca un desbalance en la cadena alimentaria en beneficio de la descomposición bacteriana, que consume la energía del fondo y da lugar a una ligera acidificación que, junto con la desoxigenación, provoca una liberación intensiva de materiales atrapados en los sedimentos, entre ellos metales pesados, materia orgánica y fósforo. Esta situación provoca que la carga bruta de algunos parámetros como el fósforo (gráfico 19), la DQO (gráfico 20) o el cromo (gráfico 14) sean mayores a la salida de las lagunas que en su entrada.

De acuerdo a la UNESCO (1992) [63], el papel de los sedimentos en la dinámica del reciclado del fósforo en estos sedimentos y en la columna de agua es de particular interés en las masas de agua eutróficas, especialmente en las poco profundas y homeotérmicas, como es el caso. En lagos y lagunas, una parte sustancial de los nutrientes importados queda retenida en los sedimentos. Sin embargo, en lagos con sobrecargas, en los que los sedimentos del fondo se han enriquecido en gran manera con fósforo a lo largo del tiempo, la liberación de este desde los sedimentos puede superar el flujo hacia los mismos durante ciertos períodos de tiempo en el verano, como resultado de la reducción de oxígeno hasta la anóxia y la formación de sulfuro de hidrógeno en la interfase de agua fangosa. La liberación de fósforo puede hacerse significativa cuando los sedimentos están saturados con fosfato. El reciclado de nutrientes es particularmente importante en lagos poco profundos, esto es, con una profundidad media menor de 5 m.

Las concentraciones de nitrato se elevan gradualmente durante todo el recorrido hasta el kilómetro 14.7. Como ya se comentó anteriormente la preponderancia de nitrógeno en forma de nitratos en un agua es un fiel indicador de que los residuos que contenía se han estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. Esta tendencia se ve frenada con la incorporación del agua al sistema de lagunas, donde la anóxia vuelve a reducir los nitratos disminuyendo su concentración y carga bruta (gráfico 16).

GRAFICO 11. Variación de la conductividad a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997-1998

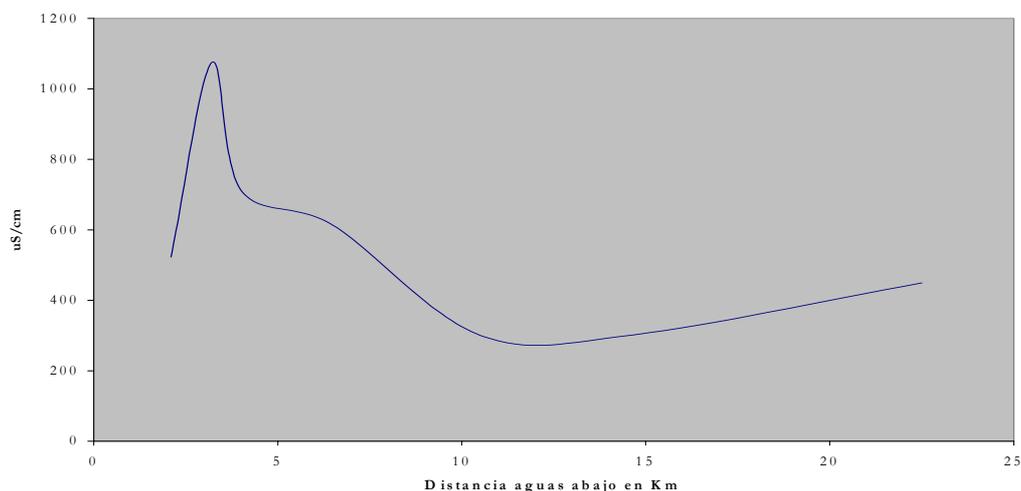


GRAFICO 12. Variación de la concentración de grasas y aceites a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

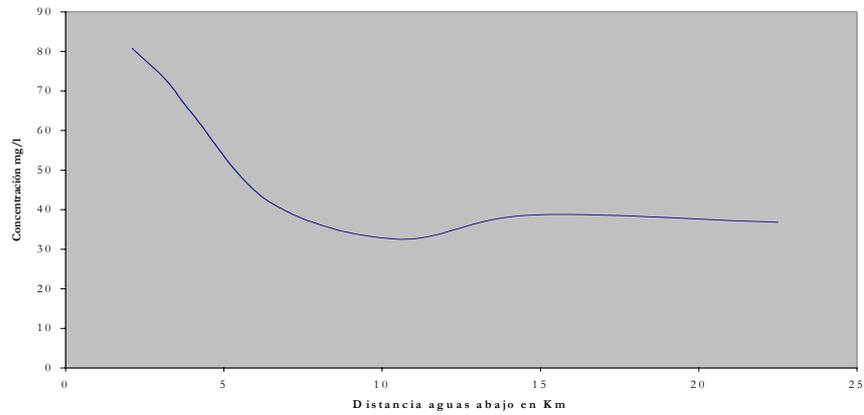


GRAFICO 13. Variación de la concentración de detergentes a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

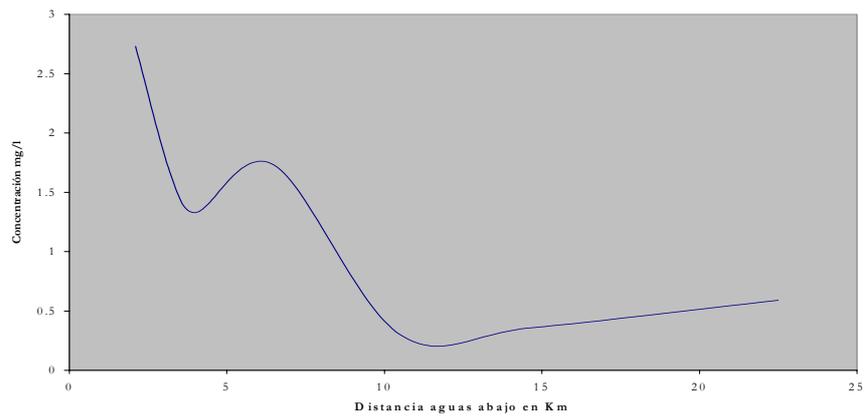


GRAFICO 14. Variación de la concentración de cromo total a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

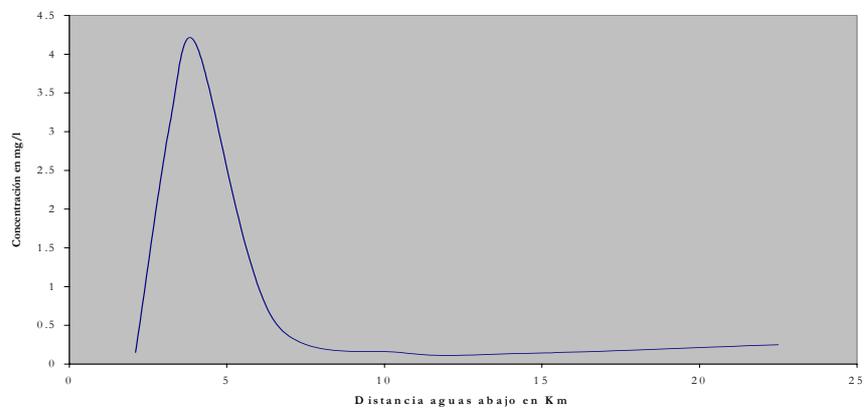


GRAFICO 15. Variación de la concentración de sólidos en suspensión a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

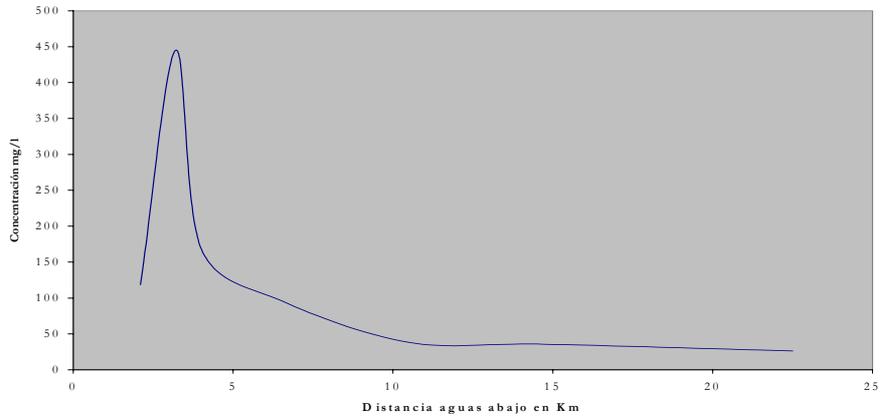


GRAFICO 16. Variación de la concentración de nitratos a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

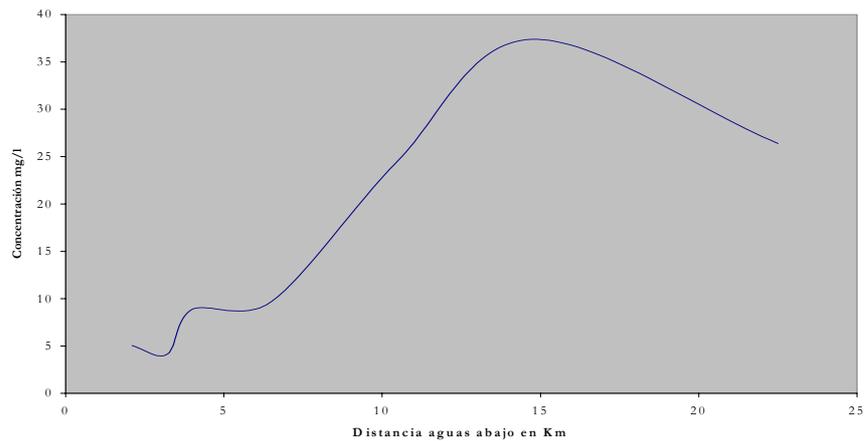


GRAFICO 17. Variación de la concentración de sulfuro a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

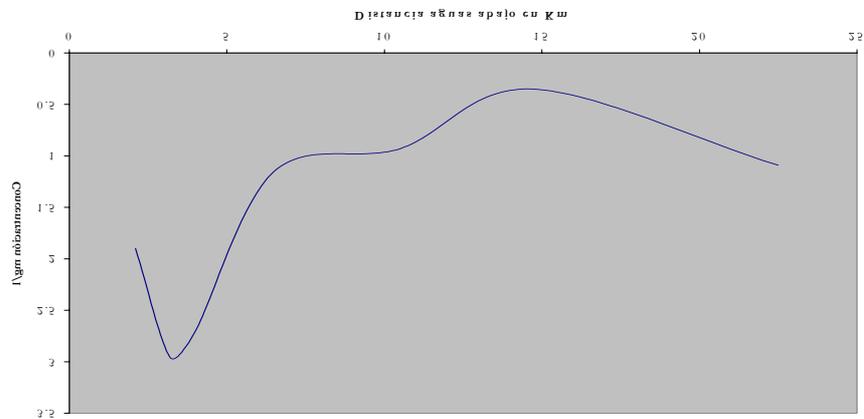


GRAFICO 18. Variación de la concentración de nitrógeno amoniacal a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

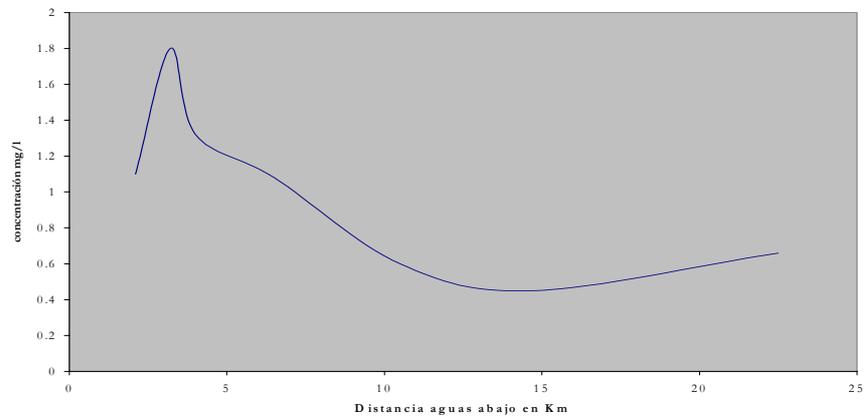


GRAFICO 19. Variación de la concentración de fósforo total a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998

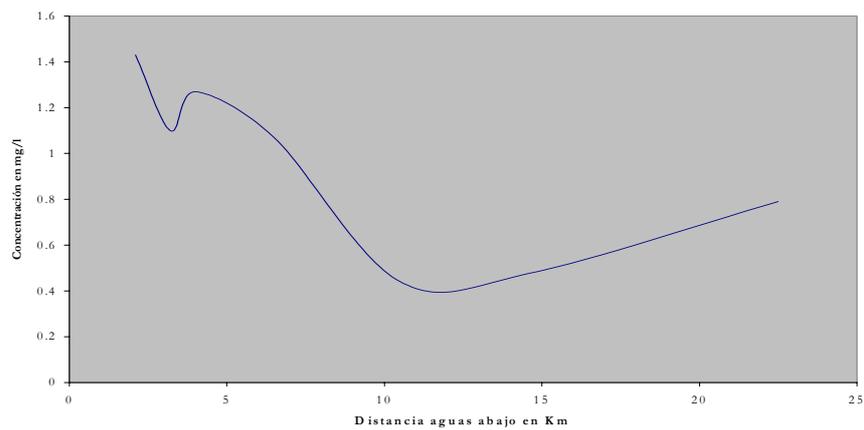
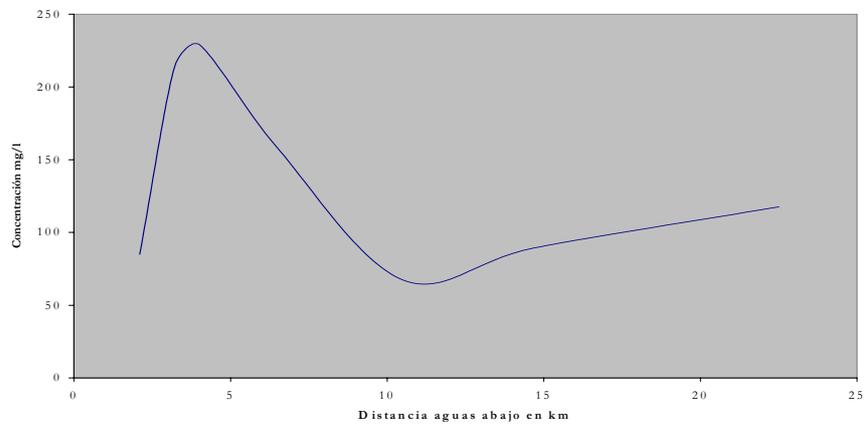


GRAFICO 20. Variación de la demanda química de oxígeno a lo largo del Río Chiquito en la campaña de muestreo 1997 - 1998



6.1.3 Variaciones en la calidad del agua entre las dos campañas de muestreo

El análisis de la variación de la carga contaminante entre las dos campañas de muestreo se ha realizado en función de la valoración de la carga bruta o total de cada uno de los parámetros analizados, estimada como la concentración media del parámetro por el caudal medio del río en ese punto, y dada como gr/sg. En la Tabla 48 se presentan los valores de carga total observados a lo largo de la campaña de muestreo 1997 - 1998 en las siete estaciones de muestreo del Río Chiquito. En la Tabla 49 se comparan los valores, entre estaciones de muestreo, que fueron estudiados en ambas campañas.

TABLA 48. Carga total de parámetros analíticos en gr/sg para cada estación de muestreo en el Río Chiquito de acuerdo a los diferentes caudales observados. Datos de la campaña 1997 - 1998

Parámetro	Estación de muestreo						
	1	2	3	4	5	6	7
Salinidad	10,04	123,7	159,7	227,5	218,9	235,8	310,4
Cromo	0,004	0,56	1,45	0,32	0,17	0,17	0,27
Detergente	0,08	0,3	0,47	1	0,34	0,44	0,64
Fósforo total	0,04	0,2	0,44	0,62	0,50	0,59	0,85
Grasas y aceites	2,4	13	22,5	24,2	37,1	47,2	39,8
Nitrato	0,15	0,74	3,11	5,63	28,02	45,63	28,49
Nitrógeno amoniacal	0,03	0,32	0,46	0,63	0,68	0,55	0,71
Nitrógeno total	0,04	0,42	0,72	0,74	1,48	0,66	0,82
Sólidos sedimentables	0,009	0,25	0,38	0,12	0,23	0,18	0,05
Sólidos en suspensión	3,6	80,1	59	55,8	43,6	43,6	28,4
Sulfuro	0,06	0,53	0,94	0,67	1,06	0,43	1,18

TABLA 49. Evolución de la carga total de contaminantes en las tres estaciones de muestreo en las que se realizaron analíticas en 1997-1998 y 1999-2000.

Variable	Unidad	Estación de muestreo por campaña					
		2		3		4	
		1998	2000	1998	2000	1998	2000
Salinidad	gr/s	123.73	163.58	159.7	178.65	227.53	257.77
DQO	gr/s	38.35	87.2	80.2	74.5	91.65	132.54
Cromo	gr/s	0.56	0.3	1.45	0.1	0.32	0.1
Detergente	gr/s	0.3	-	0.47	-	1	-
Fósforo total	gr/s	0.2	-	0.44	-	0.62	-
Grasas y aceites	gr/s	13.05	-	22.48	-	24.17	-
Nitrato	gr/s	0.74	-	3.11	-	5.63	-
Nitrógeno Amoniacal	gr/s	0.32	-	0.46	-	0.63	-
Nitrógeno total Kjeldahl	gr/s	0.42	0.6	0.72	0.5	0.74	0.9
Sólidos sedimentables	l/s	0.25	0.7	0.38	0.4	0.12	0.4
Sólidos suspensión	gr/s	80.11	25.9	59	18.9	55.82	25.5
Sulfuro	gr/s	0.53	0.6	0.94	0.6	0.67	2

En relación a la carga total de contaminantes, se observan, entre las dos campañas de muestreo, diferencias

significativas tanto al alza como a la baja. Así, se evidencia un descenso significativo de parámetros tales como sólidos en suspensión y cromo, y un aumento en las concentraciones de DQO, salinidad y sólidos sedimentables. Algunos hechos han podido incidir en estas diferencias. Por un lado, la creciente presión humana que ejerce una ciudad que crece a un ritmo de un 4% anual (FNUAP, 1999); de acuerdo a este índice y al último censo oficial realizado en 1995, podemos estimar que León ha pasado de tener una población de 135.200 personas en 1997 a otra de 146.200 en 1999. Aunque la expansión tienden a realizarse en la periferia de la ciudad en forma de nuevos barrios espontáneos, es probable que el nivel de hacinamiento familiar haya también aumentado, con lo que el impacto del vertido de aguas domiciliarias de las 3.200 familias que en 1997 carecían de servicio de alcantarillado en el sector de Río Chiquito, se haya incrementado.

Por otro lado, durante los años que transcurrieron entre las dos campañas de muestreo se han realizado proyectos que han incidido positivamente en la calidad del agua del Río Chiquito, por ejemplo, se observa una disminución significativa en la carga bruta de cromo. Esta reducción puede estar vinculada al desarrollo y puesta en marcha de un sistema de reciclaje de cromo en la Tenería Bataan, que por su capacidad productiva se constituye en la más grande de Nicaragua y también en la más contaminante del Río Chiquito. También pudiera reflejar estos resultados el poco impacto que la industria artesanal tuvo durante la segunda campaña en relación a la primera, la cual ha notado la crisis económica y podría estar en recesión.

Otro de los proyectos que concluyó y entró en funcionamiento durante este período es la aplicación de plantas macrofitas en el tratamiento de las aguas residuales de la laguna de oxidación de El Cocal, localizada entre los puntos de muestreo 2 y 3, y que en 1997 recogía el agua residual de aproximadamente 3.630 conexiones domiciliarias. Las diferentes evaluaciones del rendimiento de este nuevo sistema han demostrado la eficiencia en la reducción de la carga contaminante. En primera instancia se percibe una disminución del caudal vertido al Río Chiquito desde esta planta depuradora. Los 3.085 m³/día (JARQUIN y GONZALEZ, 1997) [50] vertidos en 1997, se redujeron hasta 2.333 m³/día en 1999 (BALDIZON, DOLMUS y QUINTANA, 1999) [65 y 66] a pesar incluso que el afluente que entra al sistema aumentó entre los dos años: 3925 m³/día en 1997 por 4.400 m³/día durante 1999. La disminución del caudal de salida es producto de la mayor retención del agua por la adición de nuevas lagunas, lo que ha favorecido los procesos de evaporación e infiltración. Asimismo, por la evapotranspiración provocada por la incorporación al sistema de plantas macrofitas.

En segundo lugar, se observa que aunque las eficiencias en la depuración de la DQO han disminuido en 1999 con respecto a 1997, la carga orgánica total vertida al Río Chiquito es menor debido a la disminución del afluente desde el sistema. En total se observa entre los dos años una reducción del 13% con respecto a este parámetro. Este hecho podría explicar en parte la disminución en la DQO que se observa entre 1997 y 1999 en la estación de muestreo N° 3 (ver tabla 49).

6.2 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

6.2.1 Origen y transformación de los contaminantes en el medio subterráneo

La contaminación urbana sobre el acuífero se manifiesta por el aumento de la salinidad del agua, presencia de materia orgánica (que se puede manifestar como NH₄⁺, NO₃⁻ o NO₂⁻) y posible contaminación biológica. La contaminación por vertidos industriales es mucho más variada, siendo frecuente la aparición de sustancias tóxicas y cambios importantes del pH. La contaminación de origen agrícola se manifiesta por fuertes incrementos de compuestos nitrogenados.

El ión nitrito (NO₂⁻) contiene nitrógeno en un estado intermedio y relativamente inestable de oxidación

(+3), fundamentalmente se genera por la nitrificación del amonio. La presencia de nitritos en el agua indica procesos de actividad biológica influenciados por la contaminación orgánica. La nitrificación, es un proceso de oxidación microbiana del amonio a nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) mediado principalmente por bacterias aeróbicas. Las bacterias nitrificantes son mesofílicas, con un óptimo de temperatura de 30°C . La denitrificación es otra fuente de nitritos, procedente de la reducción de nitratos por mediación de bacterias y hongos en condiciones anaeróbicas. Hay que tener en cuenta, que los nitritos rara vez aparecen en las aguas en cantidades significativas, dado que rápidamente son oxidados por los procesos de nitrificación a nitratos.

El ión nitrato (NO_3^-) es la forma oxidada (+5) de nitrógeno combinado en aguas naturales. Los nitratos pueden ser reducidos bioquímicamente a nitritos por desnitrificación, como ocurre normalmente en medios anaerobios. Las concentraciones de nitratos en aguas subterráneas pueden ser más elevadas como resultados de los procesos de lavado de suelo o por la nitrificación del nitrógeno orgánico.

En general, los niveles globales de fondo debidos a la mineralización son bajos en el acuífero de León, lo que permite distinguir fácilmente entre el agua subterránea afectada por alguna de las actividades humanas que se desarrollan sobre el territorio y aquella menos contaminada, basándose en la mayoría de los iones. Las fuentes contaminantes en el área del estudio proceden de las aguas residuales, tanto domiciliarias como industriales, con un alto contenido en materia orgánica y cuya incidencia se produce a través de la infiltración desde las letrinas, las fugas en el sistema de alcantarillado o el vertido directo. También se originan a partir de otro tipo de residuos de origen orgánico e inorgánico que depositados sobre el terreno afectan al subsuelo, tales como acúmulos de basura o la contaminación del suelo provocada por diferentes procesos industriales. Otras fuentes de aporte, que puede tener cierta importancia en esta región, son las rocas ígneas y las emisiones volcánicas, que son fuentes naturales de incorporación de nitratos en las aguas. También, los fertilizantes empleados en agricultura, constituyendo una fuente despreciable en el área de estudio debido a la lejanía de zonas de producción intensiva y a la decadencia del sector agrícola en el municipio.

También hay que considerar las actividades domiciliarias llevadas a cabo en el entorno de los puntos de muestreo, que se constituyen en potenciales focos puntuales de contaminación al producir lixiviados que por infiltración pueden llegar a la capa freática. En la tabla 50 se presenta un análisis de estas actividades para los 107 pozos muestreados. De igual manera, no se debe desestimar en la calidad del agua subterránea la influencia que puede tener la utilización y protección que la población lleva a cabo sobre los pozos: pozo abierto o cerrado al exterior, utilización de bombas, extracción por medio de cubos, limpiezas periódicas, etc.

TABLA 50. Localización de focos potencialmente contaminantes del agua subterránea en la proximidad de los 107 pozos muestreados.

	Ubicación ≤ 10 metros (Nº de pozos)	% de pozos	Ubicación 10 - 25 metros (Nº de pozos)	% de pozos	Total de pozos	%
Letrina	26	24,3	14	13,1	40	37,4
Baño para la ducha ^A	45	42,1	2	1,9	47	44
Lavadero de ropa ^A	37	34,6	0	0	37	34,6
Corrales y establos	18	16,8	3	2,8	21	19,6
Otros ^B	5	4,7	4	3,7	9	8,4

A) En Nicaragua estas actividades se pueden desarrollar fuera de la vivienda, aprovechando los patios donde se localiza el pozo y que forman parte de muchas casas. Por lo general, las aguas provenientes del aseo o del lavado de ropa discurren libremente por el terreno y se infiltran en el subsuelo. En algunos casos, la población ha establecido pequeñas fosas de infiltración para facilitar este proceso.

B) cauces con aguas contaminadas, depósitos de cal, desagües industriales, pilas para curtir pieles

De los 82 pozos sobre los que se realizó una analítica completa, el 12% de los mismos era utilizado con fines industriales (hieleras, curtiembres, embotelladoras y bloqueras), el 47% para el aseo y la limpieza personal y doméstica, el 13,3 % era empleado para riego de patios y jardines, y el 34,9% se encontraba fuera de uso en el momento del muestreo. Además, en el 26,5% de los casos los propietarios declararon abiertamente utilizar sus pozos como abastecimiento para beber y cocinar, aunque esta cifra podría elevarse hasta el 33,7% en virtud de lo observado sobre el terreno y de la aprensión que existe en ocasiones por parte de la población para reconocer este hecho. En este sentido, 6 de los pozos declarados como de no uso para la bebida presentaban indicios que permitían pensar lo contrario, tales como estar ubicados en áreas sin agua potable o en domicilios en extrema pobreza.

La frecuencia de distribución de los pozos para la conductividad es mayor en el rango de 400 a 600 uS/cm (ver gráfico 5), con un total de 38 pozos. Para este mismo parámetro se pueden observar desviaciones grandes de los valores máximos, presentándose dos valores por encima de los 2.200 uS/cm. Los pozos que presentan estos valores (N° 68 y 102) se ubican próximos a una antigua salinera que se localizaba en el Barrio de El Calvario, por lo que los niveles de salinidad obtenidos son atribuibles a la difusión de la contaminación que persiste en el suelo, fruto de esa actividad pasada. Otros valores altos de conductividad se presentan de igual manera en áreas afectadas por actividades industriales con procesos en los que se emplean productos salinos a niveles elevados. Por ejemplo, existe un pozo con un nivel de conductividad de 1.649 uS/cm, el cual está contiguo a un plantel donde se desalan las pieles en bruto que luego serán curtidas en las tenerías.

El rango de pH de las muestras se encuentra entre los naturales, con un máximo de 7,5 y un mínimo de 6,5. El mayor número de pozos se distribuye en el rango de 6,9 a 7,0, en total 17 pozos (ver gráfico 6).

La temperatura es alta, con una media de 27,9 °C, este hecho puede ser debido al termalismo regional, por la presencia de diferentes fallas, como evidencia de la cadena de volcanes de Los Maribios. El intervalo de temperatura de 28,1 a 28,4 °C es en el que mayor frecuencia se encuentran las aguas muestreadas, con 19 pozos. Se da una pequeña desviación de las temperaturas mínimas (ver gráfico 7).

Para los nitritos, los pozos se distribuyen mayoritariamente en las concentraciones más bajas, con un percentil 75% de 0,072 mg NO₂/L, y con una mayor frecuencia de distribución en el rango de concentración de 0,016 a 0,06 mg NO₂/L. Pero existen valores máximos muy altos, excesivamente desviados, que hacen que la media de concentraciones se sitúe por encima del percentil 75%, con 0,151 mg NO₂/L (ver gráfico 8). Los niveles altos pueden explicarse por las distintas actividades que se desarrollan en el entorno de los pozos, tales como letrinas, presencia de animales domésticos o lavaderos de ropa, que afectan por la infiltración de los contaminantes en el subsuelo. También puede deberse al estado de abandono de algunos pozos que se encuentran destapados y en los que viven murciélagos y sobre los que puede caer materia orgánica. Por ejemplo, los dos valores más altos constatados se dieron durante el primer muestreo en el pozo 63 (5,97 mg/l) y durante el tercero en el pozo 36 (1,51 mg/l), ambos destapados. En el primero de los casos las frutas maduras de un árbol caían libremente en el interior del pozo; en el segundo de los casos, cuatro días antes del muestreo se había sacado del agua el cadáver de un gato. Las elevadas desviaciones de los valores máximos parecen indicar que los niveles de nitritos en el agua subterránea son muy sensibles a fuentes puntuales de contaminación orgánica y por tanto un buen indicador para este fin.

La distribución de las concentraciones de nitratos presenta una mayor frecuencia en el rango de 40 a 80 mg NO₃/L, con 22 pozos muestreados. Se dan también valores máximos muy desviados de la media, encontrando resultados de 3 pozos por encima de 400 mg NO₃/L (pozos N° 8, 52 y 68).

Por otro lado, la profundidad máxima registrada fue de 30.7 metros (pozo 39) y la mínima de 2.55 metros

(pozo 3), habiéndose obtenido una profundidad media para el conjunto de los pozos de 16.58 metros. Los pozos más profundos se sitúan en las zonas más elevadas de la ciudad: al Noreste con unas profundidades que oscilan entre los 30 y los 27 metros, al Norte de Sutiaba con profundidades de entre 26 y 23 metros, y al Sudeste con profundidades entre 24 y 18 metros. A medida que la localización de los pozos se aproxima a los cauces de los diferentes ríos y vertientes, se observa una disminución progresiva de las profundidades encontradas.

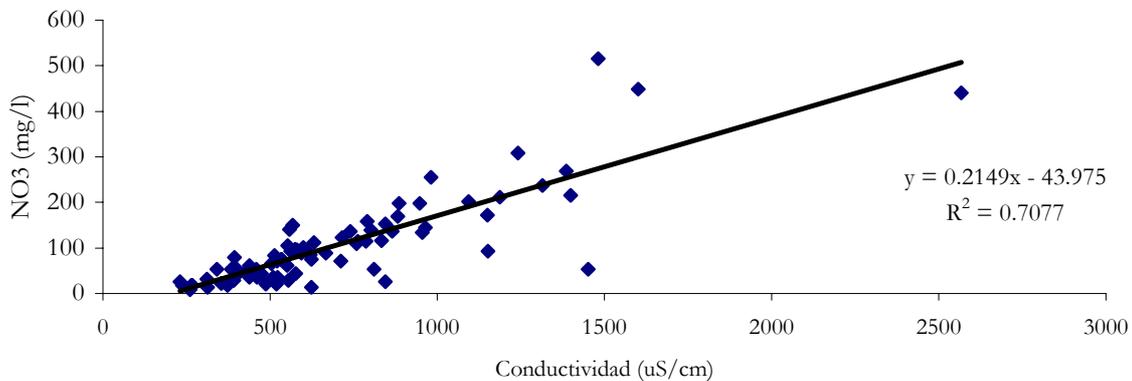
6.2.2 Correlación entre parámetros analíticos

Tal y como se observa en la Tabla 51, los parámetros para los que se ha observado una correlación significativa, son por un lado la conductividad y la concentración de nitratos, y por otro lado la temperatura y la profundidad del pozo.

TABLA 51. Correlación entre variables. El * indica $p < 0.05$

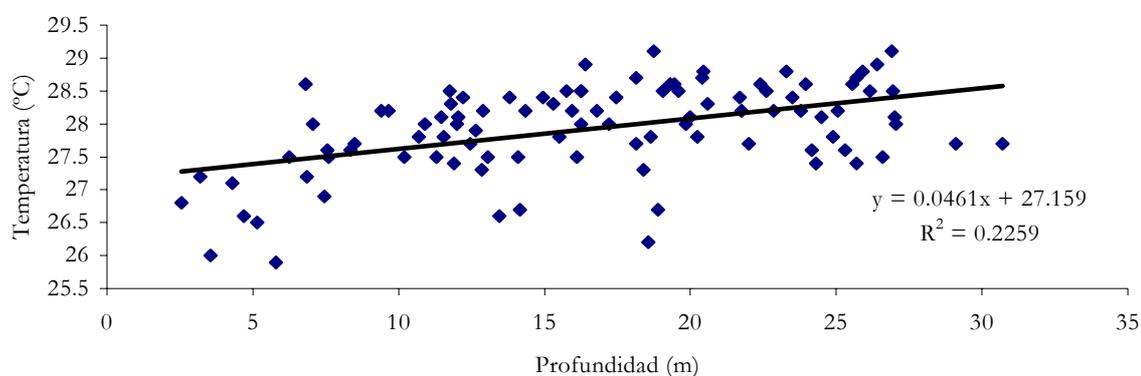
	Temperatura	Ph	Conductividad	NO2	NO3	Profundidad
Temperatura	1					
PH	- 0,01	1				
Conductividad	- 0,15	- 0,24	1			
NO2	- 0,04	- 0,21	0,12	1		
NO3	0,03	- 0,16	0,84*	0,13	1	
Profundidad	0,47*	- 0,02	- 0,01	0,17	0,17	1

GRAFICO 21. Relación de dependencia entre la conductividad y los nitratos del agua subterránea



La relación funcional lineal entre la conductividad y el contenido en nitrato demuestra la dependencia estocástica entre las dos variables. La representatividad de la recta es alta dado que la dispersión existente entre las variables es pequeña. El coeficiente de determinación R^2 nos indica que el 70,7% de una de las variables es explicada por la otra variable.

GRAFICO 22. Relación de dependencia entre la profundidad del pozo y la temperatura del agua



En el caso de la profundidad del pozo y la temperatura del agua existe de igual manera relación funcional lineal, aunque la representatividad de la recta es menor debido a que la dispersión existente entre las variables es mayor. Se observa una tendencia a que las temperaturas del agua sean más elevadas a mayores profundidades del pozo.

6.2.3 Representación gráfica de la concentración de parámetros

Los mapas elaborados de isoterma, isoconductividad e isoconcentración del nitrito y nitrato se han representado a partir de la aplicación informática *ArView GIS*, con su extensión de análisis espacial; interpolación de cuadrícula de mapa y creación de contornos. Para cada uno de ellos se ha definido unos intervalos de concentración, con diferente gradación de color, y se han creado isolíneas con distintos intervalos para cada parámetro.

El parámetro pH no se ha representado, debido a que los resultados son valores muy heterogéneos entre pozos próximos, y no proporciona una información en la que se puedan interpretar conclusiones generales sobre la distribución del pH y la presencia de puntos contaminantes.

Previo al análisis de la información que aportan los mapas, hay que tener en cuenta las siguientes premisas:

- Los mapas de isolíneas representan una situación puntual en el tiempo, siendo representativo únicamente del instante en el que se realizó el muestreo, entre abril y mayo del año 2000.
- La distribución de los pozos en el área de estudio no es homogénea, quedando zonas escasamente representadas. Esto implica que los datos interpolados para la representación de los diferentes mapas en toda la ciudad, puede ofrecer una visión de la concentración del contaminante en el acuífero que no se adapte a la realidad.
- La representación de los mapas no aporta información del flujo del agua subterránea, no debiéndose entender la información como penachos de contaminación.

El mapa 13 representa la temperatura del agua subterránea en °C y ha sido elaborado con las determinaciones realizadas “in situ” en 102 pozos. Las líneas isotermas, se han representado con intervalos de 0,3 °C. Se observan elevadas temperaturas en el agua subterránea en toda la superficie de la ciudad. Esto

se debe al termalismo regional que se origina en las fallas de la cadena volcánica de Los Maribios. En general, las temperaturas más altas se dan en las zonas S y O de la ciudad. Esta mayor temperatura podría deberse a la proximidad de la Formación Tamarindo, situada al SO de León (ver Mapa 3. Mapa Geológico de León). Esta zona se caracteriza por la presencia de anticlinales y fracturas del terreno que pueden aumentar de forma significativa, dada su proximidad, la temperatura de las aguas subterráneas. Se puede observar una ligera tendencia al descenso de las temperaturas del agua en los pozos próximos al cauce de río Chiquito.

El mapa 14 representa la conductividad del agua subterránea. Para su elaboración se han incorporado 107 medidas realizadas "in situ". Las isólinas de conductividad se han representado con un intervalo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la mayoría de los pozos que presentan alta conductividad, se da presencia de varios puntos contaminantes próximos, que influyen la entrada de contaminantes al agua subterránea, por vía tanto directa (vertido de aguas residuales u otro tipo de residuos orgánicos) como indirecta (infiltración en el terreno de efluentes contaminados). Esta contaminación es principalmente originada por la materia orgánica procedente de las fosas sépticas de letrinas, corrales de pollos y cerdos, pero también aguas de aseo y lavado, con contenido de detergentes.

Por ejemplo, teniendo en cuenta el flujo natural del agua subterránea, los pozos 68 y 102, con conductividad superior a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pueden ejercer cierta influencia sobre el pozo 69 con una conductividad de 1,452 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y localizado aguas abajo de los anteriores según la dirección del flujo. No ocurre lo mismo con el pozo 70, que aun encontrándose próximo a estos pozos, al situarse aguas arriba, según la dirección del flujo, no se ve influenciado por la alta conductividad observada.

Los pozos en los que se ha determinado una menor conductividad, que se pueden observar en el mapa como zonas blancas, se corresponden en su mayoría con pozos en los cuales se realiza una extracción continua, ya sea para uso industrial o doméstico, por medio de bombas eléctricas, bombas de mecate (bombas de cuerda), aerobombas o por medio de cubo, lo que parece demostrar que el uso del pozo contribuye a disminuir su concentración de contaminantes. Otros pozos con bajas concentraciones se corresponden con zonas periféricas de la ciudad donde la contaminación es menor, o a la zona Este, donde las aguas del acuífero no han entrado todavía en contacto con la contaminación urbana, como son los pozos 37, 38 y 39.

El mapa 15 muestra la distribución de la concentración de nitratos a partir de los resultados analíticos obtenidos en 81 pozos. Las líneas de isoconcentración de nitratos en el mapa se encuentran representadas con intervalo de 40 $\text{mg NO}_3/\text{L}$. Dado que la conductividad se encuentra relacionada con la presencia de nitratos en el agua, la interpretación de la distribución de este parámetro sobre el territorio se explica mayoritariamente en función de la conductividad. Al igual que en la conductividad, los pozos con menores concentraciones de nitratos son aquellos en los que se realiza una extracción continua, tanto para uso industrial como domiciliar y aquellos situados al Este y en la periferia de la ciudad.

El pozo 52, tiene las mayores concentraciones de nitratos, con 514,8 $\text{mg NO}_3/\text{L}$. Este pozo se encuentra abandonado y no tiene uso, y en sus proximidades no se han localizado posibles puntos contaminantes, como fosas sépticas, infiltración de aguas de baño o lavaderos, corrales de pollos o cerdos. Además, se encuentra localizado dentro del área servida de red de alcantarillado sanitario, no pudiendo atribuir una causa concreta a dichas concentraciones.

El mapa 16 representa la distribución de nitritos en el agua subterránea, y se ha elaborado con los resultados analíticos de 82 pozos. Las isólinas de concentración de nitritos se han representado en el mapa con un intervalo de 0,05 $\text{mg NO}_2/\text{L}$. La mayoría de los pozos en los que se dan altas concentraciones de nitritos se

corresponden con el área de la ciudad que no se encuentra cubierta por el servicio de alcantarillado sanitario y en los que se localizan con proximidad actividades potencialmente contaminantes, tales como letrinas, fosas de infiltración de aguas del lavado de ropa, drenajes de baños y presencia de ganado aviar y porcino.

Se ha originado un caso especial, con una concentración máxima de nitritos de 5,97 mgNO₂/L. Es un pozo en abandono localizado fuera del área cubierta por el alcantarillado sanitario y en el que se pudo atestiguar la presencia de desechos vegetales en su interior, más concretamente fruta podrida. En todo el área Sur, Este y Centro de la ciudad se han observado concentraciones bajas de nitritos, que se corresponden con el área cubierta por el alcantarillado sanitario.

Como se ha destacado para el resto de parámetros, en los pozos 37, 38 y 39, pertenecientes al tramo de “cabecera” del acuífero, antes de que las aguas subterráneas sean vulnerables a la contaminación urbana, no se ha dado presencia significativa de nitritos.

6.2.4 Carácter del acuífero con respecto al Río Chiquito

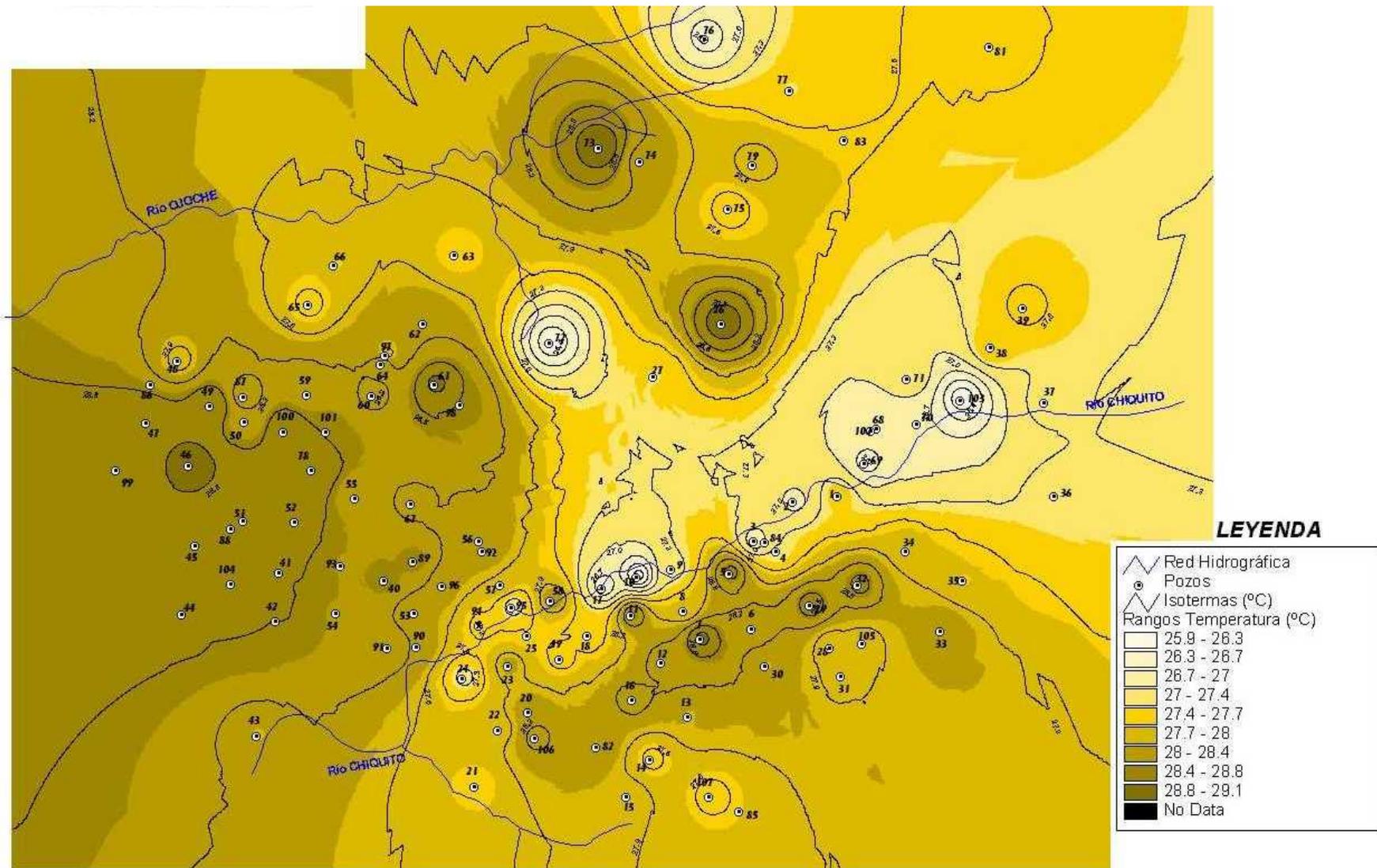
Para demostrar si el estado de contaminación que sufre el Río Chiquito a su paso por la ciudad de León influye de alguna manera sobre el estado de calidad del agua del acuífero, se realizó la correlación entre la conductividad del agua y la proximidad al cauce del Río Chiquito de los 36 pozos que se localizaban dentro de una franja de 400 metros a ambos lados del cauce. El pozo más cercano al cauce del río se encuentra a 15 metros mientras que el más alejado a 390 metros.

Aunque hay conexión hidráulica entre el lecho del río y el acuífero, dado la presencia de múltiples manantiales de diverso caudal a lo largo del cauce, la no correlación entre los valores de conductividad y el posicionamiento del pozo con respecto al cauce del río, evidencia que el río Chiquito es efluente o ganador con respecto al acuífero. Esto quiere decir que, por lo menos en época seca, el cauce se encuentra por debajo del nivel freático y por lo tanto la propia presión hidráulica del acuífero impide la intrusión del agua del río. De todas formas, esto no excluye la posibilidad de que el río pueda actuar de zona de recarga del acuífero en algún punto de su recorrido.

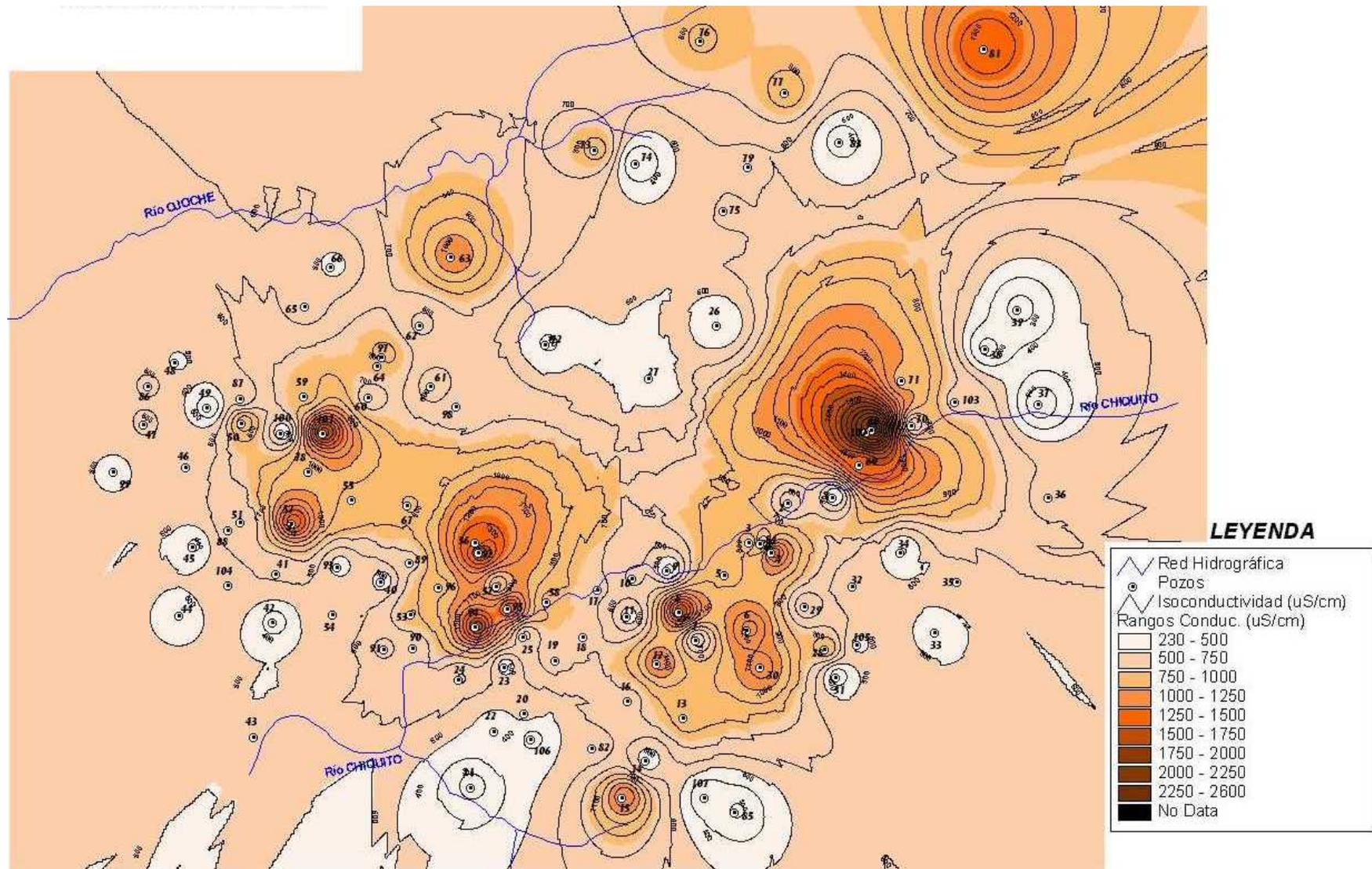
Una situación que podría modificar la relación existente entre el acuífero y el río es la presencia de bombeo en pozos próximos al lecho del río Chiquito. Este bombeo puede perturbar el flujo natural, modificando la trayectoria de las líneas de corriente. La inversión de flujo que originan puede inducir la contaminación del acuífero debido a la depresión que se origina en el pozo de bombeo para atraer el flujo hacia el mismo en contra de la presión hidráulica natural. Catorce de los pozos muestreados tienen bomba eléctrica instalada, correspondiendo a industrias y viveros, seis de los cuales se sitúan cercanos al Río Chiquito.

Se puede concluir que el flujo de corriente del acuífero se lleva a cabo en dirección perpendicular a las curvas de nivel del terreno y siguiendo el sentido que marca la cuenca natural de drenaje que establece el Río Chiquito. De igual manera, el acuífero actúa como un receptor de la contaminación difusa producida por la actividad humana en la ciudad de León, la cual es arrastrada hacia el río Chiquito por medio de los numerosos manantiales que le proporcionan el cauce. En este sentido, y teniendo en cuenta que las aguas que proporcionaban el cauce al Río Chiquito en tiempos pasados seguramente se aproximaban en calidad a los valores de fondo obtenidos en los pozos más alejados del núcleo urbano, se puede concluir que en estos momentos el acuífero subyacente a León es un foco de contaminación para el Río Chiquito al arrastrar hacia este la contaminación difusa de la ciudad.

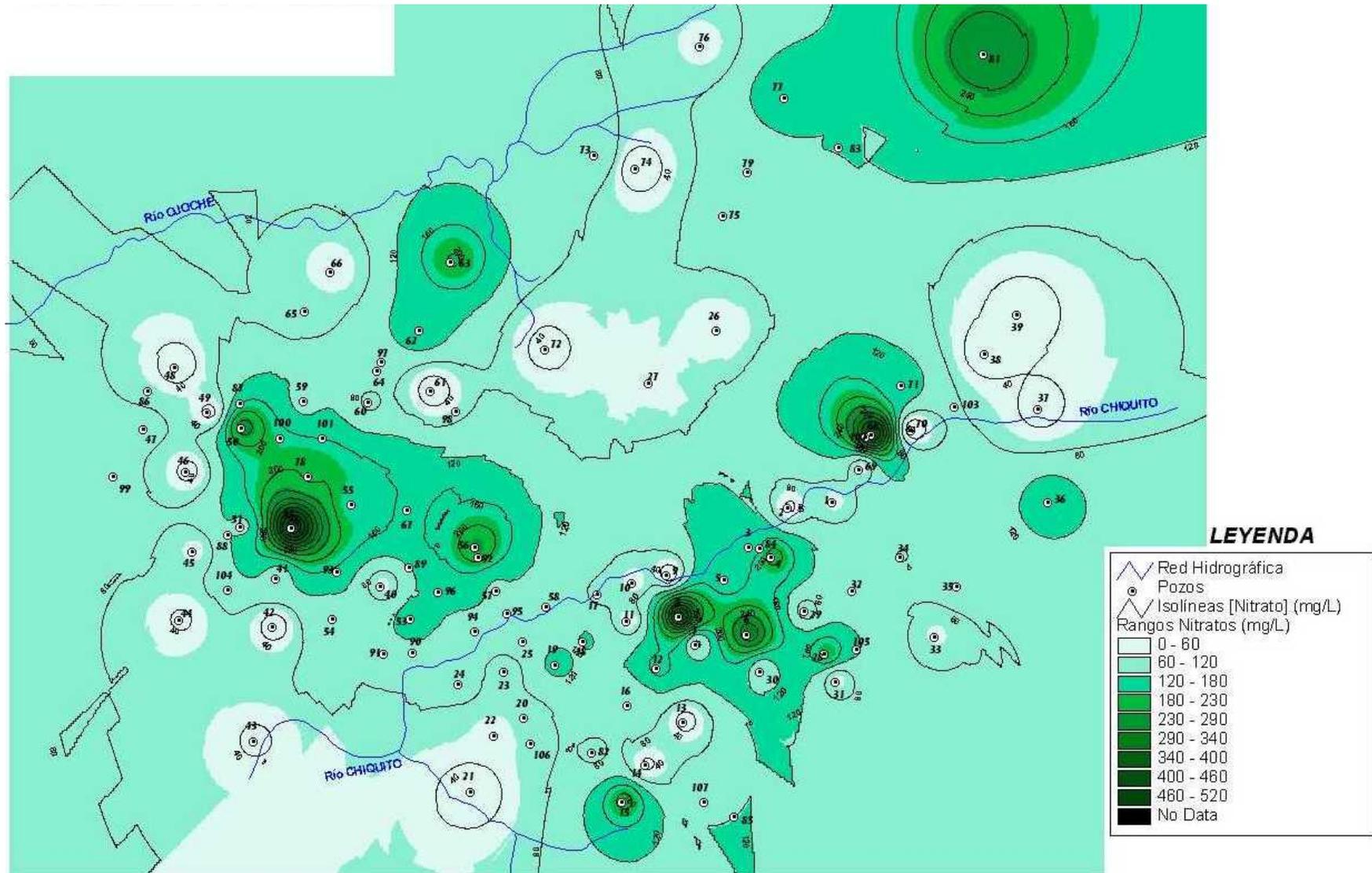
MAPA 13. Mapa de isotemperatura del acuífero subyacente a León



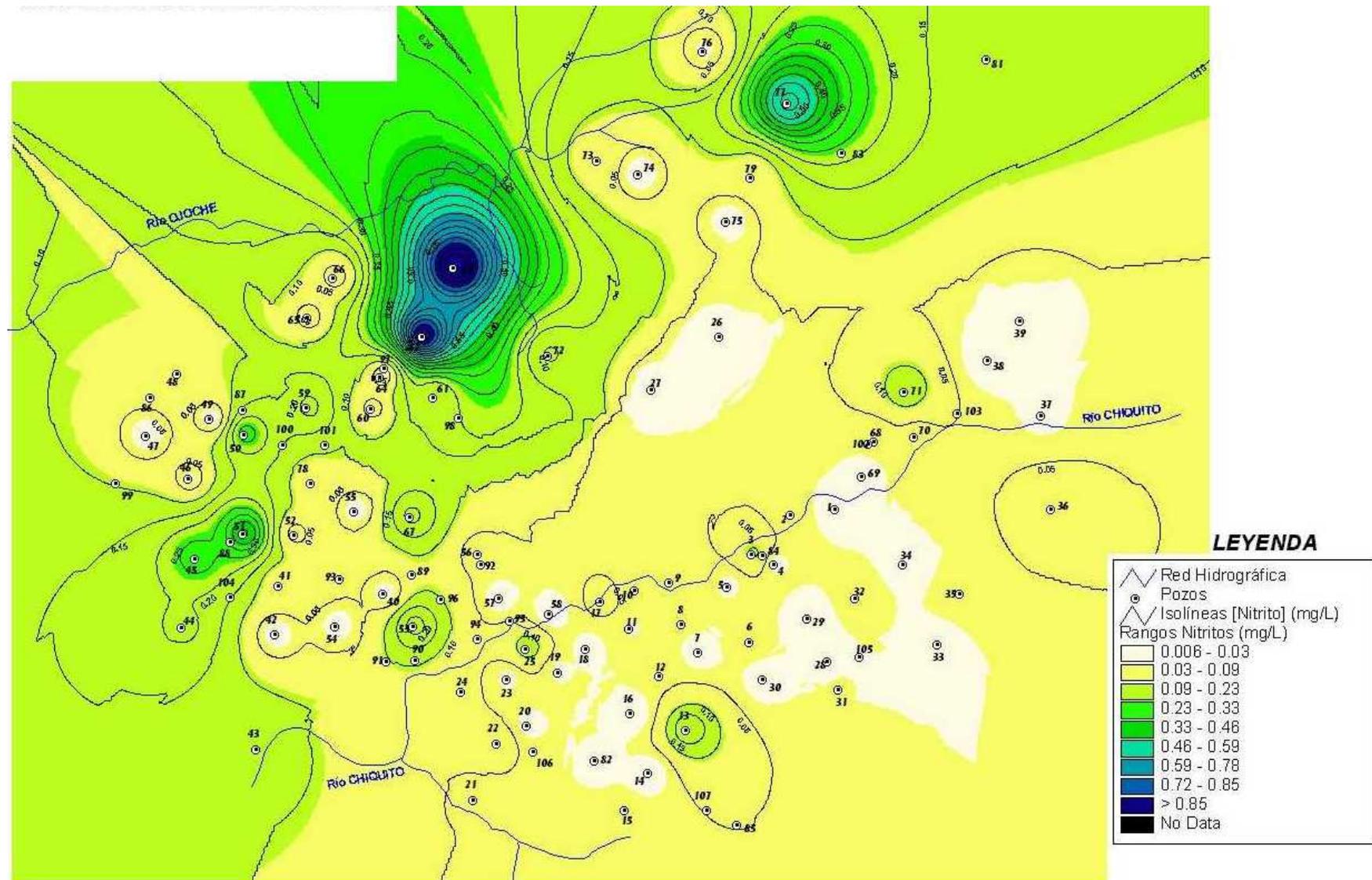
MAPA 14. Mapa de isoconductividad del acuífero subyacente a León



MAPA 15. Mapa de isólinas de concentración de nitratos en el acuífero subyacente a León



MAPA 16. Mapa de isolíneas de concentración de nitritos en el acuífero subyacente a León



6.2.5 Variación de la calidad del agua subterránea en dependencia del régimen de lluvias

Un mes después de transcurrido el primer muestreo (del 27 de abril al 6 de mayo), se realizó un segundo (del 12 al 13 de junio) y un tercero (del 26 al 30 de octubre) sobre 23 de los 107 pozos analizados en primera instancia. A falta de datos precisos y por comparación con años anteriores, se puede estimar que durante el período entre el primero y el segundo muestreo existió una precipitación de alrededor de 250 mm, y entre el segundo y el tercer muestreo una de aproximadamente 1.000 mm. Dada la correlación existente entre el contenido de nitrato y la conductividad, durante el segundo y tercer muestreo solo se midieron temperatura, conductividad, pH y nitritos.

TABLA 52. Comparación de resultados analíticos de los 23 pozos muestreados tres veces durante el período de lluvias en el año 2000. Muestreo I realizado al final de la época seca. Muestreo II realizado 1 mes después del inicio de las lluvias. Muestreo III realizado a la conclusión del período de lluvias, 6 meses después del primero.

	Muestreo I				Muestreo II				Muestreo III			
	Temp. °C	pH	Conduc. uS/cm	NO ₂ mg/L	Temp. °C	PH	Conduc. uS/cm	NO ₂ mg/L	Temp. °C	PH	Conduc. uS/cm	NO ₂ mg/L
Max	29,1	7,4	1649	0.568	29,1	7,8	1561	1.426	28.8	7.16	2490	0.459
Min	26,2	6,5	264	0.013	25,0	6,8	276	0.013	25.8	6.58	308	0.004
Promedio	27,8	6,9	716	0.080	27,8	7,2	697	0.122	27.6	6.8	750	0.041
Mediana	27,8	6,9	624	0.036	27,8	7,1	604	0.043	27.6	6.8	565	0.010
S	0,72	0,2	375	0.125	0,86	0,27	358	0.293	0.87	0.16	475.4	0.098

El análisis realizado sobre las medianas nos muestra la progresiva disminución de la conductividad del agua a lo largo de la época de lluvias. Este hecho puede deberse a los procesos de lavado del suelo durante los seis meses transcurridos entre el primer y el tercer muestreo. En el caso de los nitritos, la diferencia al alza entre el primer y el segundo muestreo pudiera deberse a un aumento de los lixiviados orgánicos en los primeros momentos de la época de lluvias, que se reducen considerablemente en el tercer muestreo por el mismo proceso de lavado del suelo. El pH también aumenta ligeramente durante el segundo muestreo, probablemente como consecuencia de un mayor metabolismo bacteriano en el agua producto de la mayor infiltración de compuestos orgánicos durante ese primer mes de lluvias. La temperatura del agua disminuye ligeramente al final del período, al igual que lo hace la temperatura ambiental.

6.2.6 Agua subterránea y salud pública

Como ya se mencionó con anterioridad, de los 82 pozos sobre los que se desarrolló una analítica completa, 22 son declarados por sus propietarios como de uso para bebida, siendo dos de ellos utilizados para la fabricación de refrescos. Además, se han incluido en esta categoría otros 6 pozos que aunque no fueron explícitamente definidos para este uso, presentaban evidencias que permitían pensar lo contrario.

Los resultados de los análisis efectuados en estos 28 pozos se presentan en la Tabla 53, donde se comparan con los niveles admitidos por la legislación española para el agua potable.

Dos son los parámetros estudiados que parecen estar por encima de los niveles máximos admisibles para el agua potable. En primer lugar, se observa un alto contenido en nitrato. Los niveles altos de nitratos en el agua potable pueden causar una enfermedad potencialmente fatal en los infantes. Esta enfermedad se llama “síndrome del bebé azul” o metahemoglobinemia, que consiste en la transformación de la hemoglobina en

otra molécula incapaz de transportar oxígeno. Aunque esta enfermedad puede ocurrir en cualquier edad, el agua contaminada con nitratos afecta principalmente a niños menores de 6 meses. Esta intoxicación, provocada por la absorción de pequeñas dosis de nitratos, es en realidad debida a los nitritos formados por reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción bacteriana en el tracto gastrointestinal [67]. En los infantes de corta edad, el líquido gástrico, insuficientemente ácido permite la formación de gérmenes reductores que transforman los nitratos en nitritos. Esto no ocurre en adultos, en los que la acidez más elevada del jugo gástrico evita ésta reducción.

TABLA 53. Análisis estadístico de los 28 pozos utilizados dentro de la muestra para el consumo humano, y valoración del riesgo potencial para la salud con respecto a la legislación española sobre aguas potables [62].

	Conductividad	Nitritos	Nitratos	Coliformes totales	Coliformes fecales
Media	597 uS/cm	0,060 mg/L	81,4 mg/L	-	-
Mínimo	311 uS/cm	0,007 mg/L	14,1 mg/L	23 u.f.c./100ml	Ausencia / 100 ml
Máximo	1187 uS/cm	0,271 mg/L	255,2 mg/L	> 2.400 u.f.c./100ml	Presencia / 100 ml
Valor Guía ^A	400 uS/cm	-	25 mg/L	-	-
Valor máximo admisible ^A	-	0,1 mg/L	50 mg/L	< 1 u.f.c./100ml	< 1 u.f.c./100ml
Pozos por encima del nivel guía	23 (82,1%)	-	25 (89,3%)	-	-
Pozos por encima del nivel máximo admisible	-	4 (14,3%)	18 (64,3%)	24 (96%) ^C	24 (96%) ^C
Consumidores por encima del nivel guía ^B	191 (83%)	-	200 (87%)	-	-
Consumidores por encima del nivel máximo admisible ^B	-	40 (17,4%)	152 (66,1%)	230 (100%)	230 (100%)

^A Según Real Decreto 1.138/1990, de 14 de septiembre.

^B No se incluyen los potenciales consumidores de los refrescos fabricados en dos embotelladoras, para los que sus aguas se encuentran en el límite del nivel máximo admisible para los nitratos (44 y 52,8 mg/L).

^C Solo en 25 de los 28 pozos utilizados para bebida se hicieron análisis microbiológicos

Se recomienda que los infantes de menos de un año no beban agua que contenga más de 45 mg/l de nitrato, siendo esta cifra la que impone la EPA como límite para el agua potable [51]. En las 18 viviendas en las que los pozos de agua son utilizados para el consumo y se supera la cantidad de 45 mg/L de NO₃, fueron censados 3 niños menores de 1 año, que consumen respectivamente 70,4, 140,8 y 255,2 mg de NO₃ por cada litro que ingieren, convirtiéndose de esta manera en potenciales afectados por esta enfermedad. Asimismo, extrapolando los datos al conjunto de la ciudad, podemos afirmar que un 66,1% de la población que consume agua procedente de pozos lo hace por encima de los niveles máximos admisibles para el nitrato.

Por otro lado, el 100% de las personas que beben agua de pozo en León lo hacen bajo condiciones de contaminación por coliformes fecales.

Capítulo 7. Conclusiones

1. La gestión ambiental urbana debe incidir en la búsqueda y análisis de indicadores de estado, presión y respuesta que permitan evaluar el grado de eficacia o sustentabilidad de las iniciativas llevadas a cabo en una ciudad. El presente trabajo pretende demostrar la utilidad del estudio del agua en León, Nicaragua, como un indicador del estado cambiante del recurso como consecuencia de la disminución de la presión urbana y el aumento de la respuesta social hacia los conflictos ambientales de León.
2. La presión urbana sobre el medio físico está condicionada en León por el acelerado crecimiento poblacional existente, próximo al 4% anual según el FNUAP, lo que unido a unas condiciones de pobreza extrema inciden negativamente sobre el desarrollo físico de la ciudad y por lo tanto sobre el deterioro de las condiciones higiénicas y ambientales urbanas.
3. Aun así, gracias fundamentalmente a los aportes técnicos y financieros de la cooperación internacional en León, durante los últimos años ha sido creciente el volumen de recursos transferidos a la ciudad para la resolución de los diferentes problemas ambientales, fundamentalmente lo relacionado al aumento de la cobertura de aguas negras domiciliarias y al fortalecimiento de las capacidades municipales para la gestión de la basura.
4. Durante los próximos años, el conjunto de iniciativas y proyectos dirigidos a solucionar los diferentes problemas ambientales de la ciudad deberían proveer cambios significativos en el estado de los recursos naturales de León y fundamentalmente en la calidad de sus aguas naturales. Parece que se han producido algunos cambios significativos a lo largo de los últimos dos años en la calidad del agua del Río Chiquito. Algunos proyectos podrían empezar a tener consecuencias positivas sobre este aspecto, aunque el aumento de la presión urbana sobre este recurso también podría estar contrarrestando ciertos logros alcanzados. Durante los próximos años se concluirá la construcción del sistema de alcantarillado que dará servicio a las 3.200 familias del sector del Río Chiquito que carecen de él. Asimismo, se pondrá en marcha el sistema de depuración anaeróbico de las aguas residuales del matadero municipal (localizado entre los puntos 2 y 3) y el sistema de reciclaje de cromo del nuevo plantel para la pequeña industria del curtido (localizado entre los puntos 3 y 4), donde es previsible se reubiquen hasta 25 pequeñas tenerías hoy dispersas entre los puntos de muestreo 1 y 3. Todas estas acciones en su conjunto promoverán nuevos cambios en la calidad del agua del Río Chiquito, por lo que entre los años 2001 y 2002 será enormemente interesante realizar una tercera campaña de muestreo.
5. La calidad del agua del Río Pochote y del Río Chiquito en 1997 debe servir como indicador de estado inicial para la evaluación de la presión y la respuesta social en los años venideros.
6. La calidad del agua del Río Pochote, por su relativo buen estado de conservación, constituye un marco de referencia de la calidad del agua a la que debería tender el Río Chiquito a medida que se implanten soluciones correctivas al impacto urbano actual
7. Aun así, no es de esperar una disminución de la contaminación del agua en Río Chiquito. La ampliación de la cobertura del alcantarillado sanitario provocará mayor flujo de aguas residuales hacia su cauce, tanto desde la pila de oxidación de Sutiava, como la de El Cocal. El conjunto de

acciones debe incidir por lo menos en una reducción del grado de contaminación en el área urbana, lo que tendría una incidencia positiva sobre la salud pública.

8. Entre 1997 y 1999 no se han desarrollado acciones significativas en relación a la disminución de la contaminación de Río Chiquito, por lo que no es posible relacionar los resultados obtenidos con acciones emprendidas. Se evidencia, eso sí, una importante reducción del cromo durante el muestreo de 1999, que puede ser debido a la instalación de una planta recicladora de cromo en La Bataan y al cierre y reubicación entre ambos muestreos de al menos 10 tenerías de tamaño pequeño.
9. Se evidencia también un aumento en la DQO y la salinidad, lo que puede ser significativo de que la presión urbana crece más rápida en ciertos aspectos que la respuesta social a la minimización del impacto.
10. El Río Chiquito presenta una gran capacidad autodepurativa, que se demuestra por la comparación entre el estado de calidad del agua a la salida de la ciudad y antes de su entrada en el estero (estaciones 3 y 7). El momento de mayor afectación sobre el estero es previsible se produzca con las primeras lluvias del año, cuando las crecidas del río levanten y arrastren hasta el mar el conjunto de sedimentos depositados en el fondo del cauce a lo largo de la época seca.
11. No existe correlación entre contaminación del agua subterránea y la proximidad del pozo al cauce del Río Chiquito, lo que demuestra que éste es un río efluente o ganador, con un claro carácter freático en la formación de su cauce. Esto invierte la creencia popular de que el río puede contaminar los pozos, siendo más bien lo contrario: el agua subterránea traslada hacia el río Chiquito la contaminación del subsuelo que recoge a lo largo de la ciudad de León.
12. Es de esperar una reducción de la contaminación del agua subterránea debido a la gradual desaparición de letrinas y cauces incontrolados de aguas servidas, y a los esfuerzos que se realicen en lo concerniente a la gestión de los residuos sólidos. Aun así, la contaminación es más perecedera en el subsuelo, lo que recomienda seguimientos a más largo plazo.
13. La conductividad es un excelente parámetro para la medición de la calidad del agua subterránea en relación al estudio del impacto urbano, tal y como lo demuestra la estrecha relación de dependencia que existe entre esta variable y la concentración de nitratos, y por lo tanto es recomendable su utilización como un indicador de su estado.
14. La evaluación de la calidad del agua subterránea, del Río Chiquito y del Pochote durante estos años, a supuesto alrededor del 0,09% de la inversión realizada en León desde 1996 a 2001 en materia de saneamiento, descontaminación industrial y depuración de aguas residuales. Esta cifra es ilustrativa de lo relativamente barato que puede suponer establecer un observatorio urbano de sostenibilidad ambiental.
15. Como propuesta de indicadores se recomienda utilizar la conductividad en el caso del control y seguimiento del agua subterránea, y la conductividad, DQO, cromo y sólidos en suspensión en el control del agua del Río Chiquito. Para el Río Pochote y otros ríos de la cuenca se pudiera desestimar de las anteriores la medición del cromo total al no encontrarse industria tenera alguna cercana a sus márgenes.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACEVEDO, A. J. (1998). Economía política y desarrollo sostenible. Instituto de Desarrollo Sostenible (INDES); Managua; 325 p.
- [2] AGURTO, S. (1999). Tendencias del mercado de trabajo en las ciudades de Managua, León y Granada 1992-1999. El Observador económico N° 94. Managua. Pág. 28 - 41
- [3] AGURTO, S. (2000). Condiciones de vida y de pobreza en las ciudades de Managua, León y Granada. El Observador económico N° 96. Managua. Pág. 2 - 8
- [4] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1993). Plan Maestro Estructural de León. León, Nicaragua; 69 p.
- [5] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1993). Sistema de Información para la Planificación Física. Dirección de Planificación Física y Asentamientos Humanos. León
- [6] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1997). Informe final 1997. Dirección de Cooperación Externa. León
- [7] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1999) Boletín Municipal, Mayo. León
- [8] ALCALDIA DE LEON, COOPERACION ESPAÑOLA (2000). Plan Estratégico de León. León; 119 p.
- [9] ARELLANO J. (1990). Nueva Historia de Nicaragua. Fondo Editorial CIRA; Managua; 124 p.
- [10] CENTRO LATINOAMERICANO DE DEMOGRAFIA (1997). América Latina: Población por años calendario y edades simples, 1995 - 2005. Boletín demográfico N° 60; Chile
- [11] FENZL, N. (1988). Nicaragua: geografía, clima, geología y hidrogeología. UFPA/INETER/INAN; Belém, Brasil; 62 p.
- [12] FONDO DE POBLACION DE LAS NACIONES UNIDAS, FNUAP (1999). Estado de la población mundial 1999. 6 mil millones es hora de optar. 76 p.
- [13] INCER, J., WHEELOCK, J., CARDENAL, L., RODRÍGUEZ, A. (2000). Desastres Naturales en Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos. HISPAMER; Managua; 278 p.
- [14] INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (1971). Mapa Geológico. Hoja n° 2853. Escala 1:50.000. Catastro e Inventario de Recursos Naturales.
- [15] INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTADISTICAS Y CENSOS (1996). VII Censo Nacional de Población y III de Vivienda 1995. Managua. 170 p.
- [16] INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTADISTICAS Y CENSOS & BANCO MUNDIAL (1998). Encuesta nacional sobre medición de niveles de vida. Managua
- [17] INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (1989). Mapa Hidroquímico, Hoja Managua, N.C. 16-15. Escala 1:250.000.
- [18] INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (1999). Ciclones tropicales que han penetrado en el territorio de Nicaragua en los últimos 106 años. Dirección de Metrología y Recursos Hídricos. Revista MAPPING N° 57. Managua, p. 40 - 42
- [19] JICA, INIFOM (1997). Estudio sobre el mejoramiento de condiciones sanitarias urbanas de las principales ciudades de la República de Nicaragua (León, Chinandega y Granada). Managua.
- [20] KRÁSNÝ, J., HECHT, G. (1998). Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la Región del Pacífico de Nicaragua. INETER/COSUDE/GTZ; Managua; 154 p.
- [21] MALDIDIER, C., ANTILLON, T., ARTOLA, N., RUIZ, A., CASTILLO K. (1997). Deforestación y frontera agrícola en Nicaragua; Cuadernos CRIES n°2; Managua; p. 77-103
- [22] NITAPLAN (1998). Hora de oportunidades y oportunismos. Universidad Centroamericana; Revista Envío; n° 201; Managua; p. 3-15

- [23] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACION INTERNACIONAL, MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, (1990). Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina y el Caribe. Madrid; 229 p.
- [24] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD (1997). Informe sobre desarrollo humano en Nicaragua 1997. Managua, 70 p.
- [25] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD (1999). Informe sobre desarrollo humano 1999. 262 p.
- [26] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD (2000). El Desarrollo Humano en Nicaragua 2000. Managua; 196 p.
- [27] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO; UNION EUROPEA (1999) . El estado de la región en desarrollo humano sostenible. Proyecto Estado de la Nación; San José; Costa Rica; 464 p.
- [28] RIZO M. (1999). Identidad y Derecho: Los Títulos Reales del Pueblo de Sutiaba. Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica; Managua; 291 p.
- [29] ROCHA, J. L., MARTINEZ, T., ROCHA, X. (1999). Balance de la tragedia: lo bueno, lo malo y lo feo del Mitch. Universidad Centroamericana; Revista Envío; N° 213; Managua; p. 14-29
- [30] ROMERO E. (1999). Evolución Histórica de la Ciudad de León. Estudio Base. Oficina Centro Histórico y urbanismo; Alcaldía de León - Cooperación Española; León, Nicaragua; 65 p.
- [31] SALGADO, C.M. (1995). Estudio económico: Plan Maestro de Desarrollo Económico de León. Trabajo de consultoría no publicado; León, Nicaragua; 65 p.
- [32] TEFEL, R.A. *et al.* (1999). El huracán que desnudó a Nicaragua. Foro Democrático; Managua; 125 p.
- [33] TORRES, M., ANDREU, J.M., PRATS, D. (2000). El impacto de la ciudad de León sobre el Río Chiquito. Revista Geotemas 1(3). P 177 - 182
- [34] INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (1999). El mapa de las cuencas hidrográficas de Nicaragua. pp 44 - 46. Dirección de Metrología y Recursos Hídricos. Revista MAPPING N° 57. Managua, p. 40 - 42
- [35] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (2000). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Informe GEO 2000. Ediciones MUNDI-PRENSA; Madrid; 398 p.
- [36] INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES (1998). Recursos mundiales. El medio ambiente urbano. Ministerio de Medio Ambiente de España; Madrid; 398 p.
- [37] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1998). Sistema español de indicadores ambientales: subáreas de agua y suelo. Madrid; 103 p.
- [38] INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1993). Estudio de ordenamiento urbano de la Ciudad de León. Propuesta. Documento N° 2; 62 p.
- [39] DIRECCION DE ORDENAMIENTO FISICO DE LA MUNICIPALIDAD DE UTRECHT (1998). Plan de acción para el desarrollo del distrito León Sudeste. Hermanamiento Utrecht - Leon. Documento no publicado
- [40] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (1997). Guía metodológica de capacitación en gestión ambiental urbana para organismos no gubernamentales de América Latina y el Caribe. Proyecto Regional de capacitación en gestión ambiental urbana. Santiago de los Caballeros; 202 p.
- [41] VARGAS, O. R. (1999). Nicaragua: después del Mitch ... ¿qué?. Centro de Estudios de la Realidad Nacional de Nicaragua (CEREN). Managua; 188 p.
- [42] NITLAPÁN (1999). El fondo de la presión del fondo. Universidad Centroamericana. Revista Envío; n° 212; p. 3-11

- [43] GOBIERNO DE LA REPUBLICA DE NICARAGUA (2000). Una nación, muchas voces: Sociedad, Gobierno y Economía en el nuevo milenio. Reunión del Grupo Consultivo para la Reconstrucción y Transformación de Nicaragua. Washington; 104 p.
- [44] BANCO MUNDIAL (2000). En el umbral del siglo XXI. Informe sobre el desarrollo mundial 1999-2000. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid; 291 p.
- [45] MINISTERIO DE ACCION SOCIAL, UNICEF, UNFPA, PNUD (1996). Mapa de pobreza de Nicaragua - 1995. Medición de la pobreza, Tomo I, Managua
- [46] MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J. (1992). Más allá de los límites del crecimiento. El País Aguilar Ediciones; Madrid; 355 p.
- [47] BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (1999). Programa de modernización de las Alcaldías de León y Granada. Propuesta perfil preliminar. Documento de consultoría no publicado; 40 p.
- [48] CENDRERO, A. (1997). Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones. Revista Naturzale N° 12; p. 5 - 25
- [49] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON, INSTITUTO NICARAGUENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (1997). Proyecto de alcantarillado sanitario de Río Chiquito.
- [50] JARQUIN, J. F., GONZALEZ, E. (1997). Evaluación de la eficiencia del sistema de lagunas del Barrio "El Cocal" de la Ciudad de León. Tesis para el título de ingeniería. Universidad de Ingeniería. Managua
- [51] METCALF, EDDY (1998). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Mc Graw Hill; 3ª edición; Madrid; 1485 p.
- [52] MENDOZA, R., ARTOLA, N. (1999). El papel de los gobiernos municipales en la gestión de los recursos naturales. León, dilemas en la gestión del bosque seco y el manglar. Nitlapán - UCA, CIFOR, PROTIERRA - INIFOM; Managua, 118 p.
- [53] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1997). Informe final 1997. Dirección de Cooperación Externa. León
- [54] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1999). Boletín Municipal, Mayo. León
- [55] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1997). Encuesta socioeconómica a la población del Sector Río Chiquito. Proyecto Río Chiquito. Documento no publicado. León
- [56] MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES (1995). Propuesta técnica para la minimización de residuos industriales en las tenerías. Dirección General del Ambiente. Managua; 107 p.
- [57] ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON (1998). Estudio de factibilidad para la instalación de unidades de pretratamiento de aguas residuales en las tenerías de tipo medio de León. Proyecto Río Chiquito. León
- [58] MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES (1995). Encuesta sobre actividades industriales en la ciudad de León. No publicado. León
- [59] MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES, PROTIERRA (1997). Propuesta de ordenamiento ambiental del territorio. Departamentos de León y Chinandega
- [60] BARROIN, G. (1990). La contaminación del agua por los fosfatos. Mundo Científico, N° 104, volumen 10, p. 790 - 797
- [61] BRITISH GEOLOGICAL SURVEY-BGS-, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA DE MEXICO, UNIVERSIDAD DE CHIHUAHUA y MUNICIPIO DE LEÓN (1996). Effects of Wastewater Reuse on Urban Groundwater Resources of León. México. Final Report. BGS Technical Report WD/95/64, Keyworth.
- [62] Real Decreto 1.138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico - Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público.

- [63] UNESCO (1992). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid; 375 p.
- [64] MEYBECK, M. (1990). La contaminación de los ríos. Mundo Científico, N° 104, volumen 10, p. 780 - 788
- [65] BALDIZON, M.A.; DOLMUS, R.; QUINTANA, J. (1999). Aplicación de macrofitas en el tratamiento de aguas residuales. El Cocal, León. Evaluación II etapa. Período de febrero a junio de 1999. UNI - ENACAL - UNAN. León
- [66] BALDIZON, M.A.; DOLMUS, R.; QUINTANA, J. (1999). Aplicación de macrofitas en el tratamiento de aguas residuales. El Cocal, León. III Etapa experimental. Agosto - Diciembre de 1999. UNI - ENACAL - UNAN. León