



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA**



**DISEÑO DE UNA RED ESTRATÉGICA DE MONITOREO PARA EL
CURSO ALTO DEL RÍO LERMA Y SU UTILIZACIÓN EN EL
ESTUDIO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DEL AGUA**

PRESENTA

ALEJANDRO HINOJOSA PEÑA

DIRECTORES:

**Dra. MARÍA DEL CARMEN JIMÉNEZ MOLEÓN
Dr. CHEIKH FALL**

RESUMEN

El río Lerma es uno de los cuerpos de agua más contaminados de México. El Curso Alto del Río Lerma (CARL) comprende 50 km desde su origen, se asientan 2500 de las 3500 industrias y adicionalmente, en él habitan aproximadamente 2 millones de habitantes. La contaminación del río Lerma tiene tres grandes fuentes: las actividades agropecuarias, el gran volumen de aguas residuales municipales e industriales y la desecación del sistema hidrológico por trasvases al valle de México.

En el presente trabajo, se estableció una red de monitoreo en el CARL que consistió en 21 puntos en el río y 13 en tributarios sobresalientes. La red estratégica de monitoreo común se desarrolló para proponer un sistema de referenciación común a los diferentes actores tras reevaluar la ubicación de las antiguas estaciones de muestreo. Se geoposicionaron con el sistema GPS (Global Position System) todas las estaciones de la red de monitoreo, así como todas las descargas identificadas en el CARL, lo que permitió generar un atlas de ubicación y descripción de las descargas, tributarios y principales infraestructuras en el CARL. Para la realización de un análisis espacial, se integraron los datos de campo en un sistema de información geográfica y se actualizó el trazo del río.

Posteriormente, se utilizó la red estratégica de monitoreo para el estudio de los parámetros físico-químicos en agua y sedimentos del CARL. Se llevaron a cabo dos campañas de muestreo: una correspondiente a un periodo de aguas altas (en el mes de noviembre) y otra en periodo de aguas bajas (en el mes de marzo), según el régimen de precipitación para el valle de Toluca. Se recabaron los parámetros de campo (velocidad de corriente, temperatura, potencial de hidrógeno y oxígeno disuelto), mientras que, en las muestras recolectadas, se analizaron la demanda química de oxígeno, grasas y aceites y sólidos en sus diferentes formas.

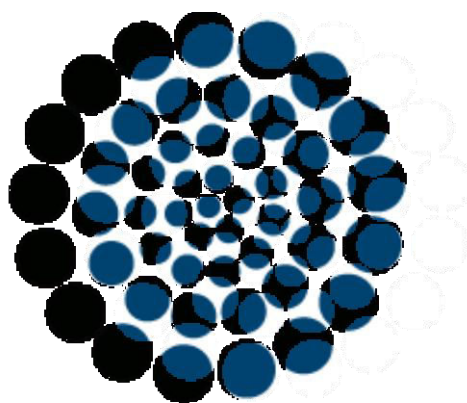
Para cada parámetro, se realizó el análisis estadístico y de distribución espacial y temporal, a lo largo del cauce del río y en los principales tributarios. Los resultados de los análisis físico-químicos se compararon, cuando fue posible, con los valores establecidos por la Norma Oficial Mexicana, que fue rebasada en su límite máximo hasta 8 veces la NOM-001-ECOL-1996, para los datos de DQO (1312 mg/L), mientras que los valores de sólidos suspendidos rebasan hasta 5 veces la NOM (770 mg/L). Los valores de oxígeno disuelto a lo largo del río están alrededor de cero, sólo en la laguna de Almoloya del río existen valores de 5-8 mg/L y en la compuerta de la presa Alzate de 3-5 mg/L.

Se realizó un análisis de centroides para identificar la zona más afectada, asimismo, un análisis de correlación de Pearson, con el interés de conocer la interrelación entre los parámetros en estudio en el agua, así como, entre agua y sedimento. El tramo más afectado correspondió a la zona industrial de Lerma, en el tramo del río comprendido entre la carretera México-Toluca y Toluca-Naucalpan. Existió una correlación positiva entre la conductividad, los sólidos fijos y la demanda química de oxígeno en agua, así como una correlación negativa entre potencial de hidrógeno, DQO y Grasas y aceites. En la comparación agua-sedimento, destacó la correlación positiva entre DQO y sedimentos finos para aguas bajas, en tributarios.

EL PRESENTE TRABAJO TITULADO:

DISEÑO DE UNA RED ESTRATÉGICA DE MONITOREO PARA EL CURSO ALTO DEL RÍO LERMA Y SU UTILIZACIÓN EN EL ESTUDIO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

FUÉ POSIBLE POR EL FINANCIAMIENTO DEL



SEP • CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

MEDIANTE EL OTORGAMIENTO DE LA BECA 16429 PARA ESTUDIOS DE MAESTRIA Y LA BECA EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO:

FUENTES DE APORTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS TÓXICOS EN EL AGUA Y SEDIMENTO DEL CURSO ALTO DEL RÍO LERMA

PROYECTO CONACYT NO. 37909T BAJO LA DIRECCIÓN DEL
DR. CHEKH FALL

ÍNDICE

Agradecimiento	
Resumen.....	i
Índice.....	iii
Índice de Tablas.....	v
Índice de Figuras.....	vii
Acrónimos.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1. Normativa aplicable.....	6
2.2. Área de estudio.....	7
2.3. Estado del arte.....	11
2.4. Estudios anteriores sobre el río Lerma.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. HIPÓTESIS.....	22
5. OBJETIVOS Y METAS.....	22
5.1. Objetivo General.....	22
5.2. Objetivos específicos.....	22
5.3. Metas.....	23
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1. Revisión bibliográfica y documental.....	25
6.2. Selección y reconocimiento de la zona de estudio.....	25
6.3. Diseño de la red estratégica de monitoreo.....	26
6.4. Selección de la red de muestreo.....	27
6.5. Programa de muestreo.....	27
6.6. Programa de análisis físico-químicos.....	28
6.7. Tratamiento de datos.....	30
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
7.1. Diseño de la red de monitoreo.....	31
7.2. Aplicación de la red estratégica de monitoreo al estudio de los parámetros físico-químicos.....	47

7.2.1.	Caudales.....	49
7.2.2.	Velocidad.....	51
7.2.3.	Temperatura.....	53
7.2.4.	Potencial de Hidrógeno	55
7.2.5.	Conductividad.....	57
7.2.6.	Oxígeno Disuelto.....	59
7.2.7.	Turbiedad.....	61
7.2.8.	Demanda Química Oxígeno.....	63
7.2.9.	Sólidos Totales.....	66
7.2.10.	Grasas y Aceites	80
7.3.	Centroides.....	81
7.4.	Análisis de correlación en agua.....	83
7.5.	Uso de la red para el estudio del sedimento.....	86
7.6.	Análisis de correlación agua-sedimento.....	90
8.	CONCLUSIONES	94
9.	RECOMENDACIONES.....	96
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	97

ANEXO I “Estadísticos usados durante la realización del presente estudio”

ANEXOII “Atlas de tributarios del Curso Alto del río Lerma”

 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Límites máximos permisibles de la NOM-001-ECOL-1996	7
Tabla 2.2	Uso del agua de la cuenca Lerma-Chapala	11
Tabla 6.1	Análisis físico-químicos (APHA, 1995)	29
Tabla 7.1	Categorización de tributarios del CARL	35
Tabla 7.2	Principales poblados y zonas industriales que vierten aguas en el CARL	37
Tabla 7.3	Microlocalización de los puntos de red y tributarios	38
Tabla 7.4	Dimensiones de la red de monitoreo del CARL	46
Tabla 7.5	Coordenadas GPS de los puntos muestreados	47
Tabla 7.6	Estadísticos de caudales (m ³ /s) en los puntos de red y tributarios	49
Tabla 7.7	Estadísticos de velocidades (m/s) en los puntos de red y tributarios	51
Tabla 7.8	Estadísticos de temperatura (°C) en los puntos de red y tributarios	53
Tabla 7.9	Estadísticos de potencial de hidrógeno en los puntos de red y tributarios	55
Tabla 7.10	Estadísticos de conductividad (µS/cm) en los puntos de red y tributarios	57
Tabla 7.11	Estadísticos de oxígeno disuelto (mg/L) en los puntos de red y tributarios	59
Tabla 7.12	Estadísticos de turbiedad (UTN) en los puntos de red y tributarios	61
Tabla 7.13	Estadísticos de DQO (mg/L) en los puntos de red y tributarios	63
Tabla 7.14	Número de veces que los valores de DQO medidos rebasan la NOM-001-ECOL-1996 (150mg/L)	64
Tabla 7.15	Estadísticos de sólidos totales (mg/L) en los puntos de red y tributarios	66
Tabla 7.16	Estadísticos de sólidos totales fijos (mg/L) en los puntos de red y tributarios	68
Tabla 7.17	Estadísticos de sólidos totales volátiles (mg/L) en los puntos de red y tributarios	70
Tabla 7.18	Porcentaje de sólidos en sus diferentes formas en aguas altas	72
Tabla 7.19	Porcentaje de sólidos en sus diferentes formas en aguas bajas	73
Tabla 7.20	Estadísticos de sólidos suspendidos totales (mg/L) en los puntos de red y tributarios	74
Tabla 7.21	Número de veces que los sólidos suspendidos totales rebasan la NOM-001-ECOL-1996 (150 mg/L)	76
Tabla 7.22	Estadísticos de sólidos suspendidos volátiles (mg/L) en los puntos de red y tributarios	77
Tabla 7.23	Estadísticos de sólidos disueltos totales (mg/L) en los puntos de red y tributarios	78
Tabla 7.24	Estadísticos de sólidos disueltos volátiles (mg/L) en los puntos de red y tributarios	79
Tabla 7.25	Evaluación de DQO respecto la NOM-001-ECOL-1996	79
Tabla 7.26	Ubicación de centroides en el CARL	82
Tabla 7.27	Distancias entre puntos y cumulativa del tramo donde se ubican los centroides	83

Tabla 7.28	Coeficiente de correlación de Pearson en los puntos de red en periodo de aguas altas	84
Tabla 7.29	Coeficiente de correlación de Pearson en los puntos de red en periodo de aguas bajas	85
Tabla 7.30	Coeficiente de correlación de Pearson de los tributarios en periodo de aguas altas	85
Tabla 7.31	Coeficiente de correlación de Pearson de los tributarios en periodo de aguas bajas	86
Tabla 7.32	Potencial de hidrógeno en sedimento del CARL	87
Tabla 7.33	Humedad (%) en sedimentos del CARL	88
Tabla 7.34	Coeficiente de correlación de Pearson agua-sedimento de los puntos de red en periodo de aguas altas	91
Tabla 7.35	Coeficiente de correlación de Pearson agua-sedimento de los tributarios en periodo de aguas altas	91
Tabla 7.36	Coeficiente de correlación de Pearson agua-sedimento de los puntos de red en periodo de aguas bajas	92
Tabla 7.37	Coeficiente de correlación de Pearson agua-sedimento de los tributarios en periodo de aguas bajas	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Curso alto del río Lerma	8
Figura 6.1	Esquema de la metodología empleada en el proyecto	24
Figura 7.1	Modelo conceptual de muestreo para el CARL	31
Figura 7.2	Mapa de las descargas en el CARL	36
Figura 7.3	Red de monitoreo y principales tributarios en el CARL	44
Figura 7.4	Distribución espacial y temporal de caudales (m ³ /s) en el CARL	50
Figura 7.5	Distribución espacial y temporal de velocidades (m/s) en el CARL	52
Figura 7.6	Distribución espacial y temporal de temperaturas (°C) en el CARL	54
Figura 7.7	Distribución espacial y temporal de potencial de hidrógeno en el CARL	56
Figura 7.8	Distribución espacial y temporal de conductividad (μS/cm) en el CARL	58
Figura 7.9	Distribución espacial y temporal de oxígeno disuelto (mg/L) en el CARL	60
Figura 7.10	Distribución espacial y temporal de turbiedad (UTN) en el CARL	62
Figura 7.11	Distribución espacial y temporal de DQO (mg/L) en el CARL	65
Figura 7.12	Distribución espacial y temporal de sólidos totales (mg/L) en el CARL	67
Figura 7.13	Distribución espacial y temporal de sólidos totales fijos (mg/L) en el CARL	69
Figura 7.14	Distribución espacial y temporal de sólidos totales volátiles (mg/L) en el CARL	71
Figura 7.15	Sólidos suspendidos totales (mg/L) en los tributarios del CARL	75
Figura 7.16	Sólidos suspendidos totales (mg/L) en los puntos de red del CARL	75
Figura 7.17	Valores medidos de grasas y aceites (ml/L) en aguas altas y bajas comparados con los valores de la NOM-001-ECOL-1996	84
Figura 7.18	Composición de gravas, arenas y finos (%) en los puntos de red	89
Figura 7.19	Composición de gravas, arenas y finos (%) en los tributarios	90

UAEM	Universidad Autónoma del Estado de México
SEP	Secretaria de Educación Pública
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CIRA	Centro Interamericano de Recursos del Agua
CNA	Comisión Nacional del Agua
CARL	Curso Alto del Río Lerma
EPA	Environmental Protection Agency
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
DOF	Diario Oficial de la Federación
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
FAO	Food an Agricultural Organization
UNESCO	United Nations Educational, Sciencific and Cultural Organization
USDA	Unites Stated Departament of Agriculture
WEF	Water Environment Federation
SIG	Sistema de Información Geográfica
SICHEM	Sistema de Información para las Cuencas Hidrológicas del Estado de México
GPS	Global Position Sistem
OD	Oxígeno Disuelto
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
PH	Potencial de Hidrógeno
ST	Solidos Totales
STF	Sólidos Totales Fijos
STV	Sólidos Totales Volátiles
SSF	Sólidos Suspendidos Fijos
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
SDF	Sólidos Disueltos Fijos
SDV	Solidos Disueltos Volátiles

UAEM

Universidad Autónoma del Estado de México

1. INTRODUCCIÓN

La Cuenca Lerma-Chapala-Santiago es uno de los sistemas hidrológicos más importantes de México, no tanto por su extensión, si no por sus actividades económicas, su densidad demográfica y su ubicación geográfica, pero lo que más interesa en el presente estudio es su hidrografía.

El río Lerma, desde su origen, tiene una alta cantidad de contaminantes provenientes de diferentes fuentes como son: la población, las actividades agropecuarias, y la intensa actividad industrial en el interior de sus subcuencas. Éstas tributan al río, a través de canales o tuberías de descargas, arroyos y ríos en lugares dispersos, de manera permanente o intermitente.

La cuenca alta del río Lerma comprende la vertiente norte de la sierra Nahutlaca-Matlazinca, así como la vertiente nororiental del Nevado de Toluca. En esta área queda contemplado el altiplano meridional de la cuenca con 2,580 m.s.n.m. Aunque fue un altiplano de lagunas y un valle rico en vegetación y vida acuática, en la actualidad, la contaminación representa un riesgo real tanto para la población que habita en el valle de Toluca como de quienes viven aguas abajo y usan sus aguas para riego.

Entre las instituciones que han realizado estudios, acerca de la contaminación del CARL, se encuentran: la Universidad Autónoma del Estado de México (a través del CIRA), el ININ (a través de la Gerencia de Ciencias Ambientales), la CNA y la UAM Iztapalapa. Todos los estudios tienen una conclusión común: la problemática de contaminación del CARL se ha agravado con tal magnitud que deberá de ser atendida y resuelta a la brevedad posible.

Los estudios puntuales que han sido realizados con anterioridad, reportan la existencia de fuentes poluentes dispersas, múltiples y difusas. Por lo que generar una propuesta factible de solución de la problemática de contaminación deberá de conocerse el origen y, la permanencia temporal y espacial de los contaminantes.

En este sentido, en el presente proyecto, se estableció una red de monitoreo a lo largo del CARL, como una herramienta para conocer las fuentes y distribución en el ambiente de los contaminantes, así como para estudiar de manera particular la aportación o dilución que pudieran provenir de los tributarios, dejando un precedente para estudios posteriores. En el capítulo dos se presentan los antecedentes del tema de estudio; en el capítulo tres, la justificación del presente estudio; en el capítulo cuatro, la hipótesis; en el capítulo cinco, los objetivos; mientras que el capítulo seis contiene la metodología que fue seguida en el desarrollo del presente trabajo; en el capítulo siete, los resultados y discusión; en el capítulo ocho se presentan las conclusiones; en el capítulo nueve se presentan las recomendaciones y en el capítulo diez, la bibliografía utilizada en el presente trabajo.

2. ANTECEDENTES

La localización de una estación de muestreo es un factor clave que determina la validez de la información que se pretende inferir, a través del análisis de las muestras colectadas en la misma. Las matrices de datos que se extraen de un tramo de río, efluente o sedimento sirven para definir las condiciones de calidad media del mismo, prevalecientes en el ámbito espacial y/o temporal que se pretenden identificar en un estudio. Pueden definirse tres niveles en el proceso de selección de las estaciones de monitoreo y puntos de toma de muestras: la macrolocalización (tramos del río que son representativos del nivel de calidad de toda la cuenca), la microlocalización (ubicación, dentro del tramo precedente, de la estación de muestreo) y la selección final del o de los puntos de toma de muestras (que van a dar un valor representativo del área de monitoreo).

Es conveniente sistematizar la metodología con que se efectúa la macrolocalización, a fin de independizarla de preferencias o sesgos sobre la temática a abordar en el caso de estudio. Esta primera fase depende del interés del estudio emprendido. Esto se visualiza mejor, mediante técnicas para caracterizar, por ejemplo, la carga contaminante aportada por determinado río

hasta una zona determinada de la cuenca, o para comparar las cargas aportadas por diferentes zonas a través de las que circula un río.

La microlocalización de estaciones se halla más vinculada al tema de lograr un punto de toma óptimo, donde la mezcla respecto a los contaminantes de interés sea perfecta, es decir, que el tramo o zona seleccionada posea homogeneidad, esto considerando aspectos hidrológicos y geomorfológicos del cauce. El objetivo que se busca es caracterizar la zona mediante pocas muestras simples de agua (Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente, Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental de Argentina, 1999).

Así, una estimación de la carga contaminante que vuelca un río en su desembocadura se realiza mediante balances hidroquímicos que sirven para los denominados *Enfoques Globales por Cuenca* de un río en particular. En los que se monitorean pocas estaciones para caracterizar la situación o nivel base en las nacientes y los niveles de concentración y caudal alcanzados en la desembocadura de cada uno de los afluentes, como si se tratara de cajas negras que dan las cargas contaminantes respectivas. Las autoridades consideran este dato relevante cuando se seleccionan las diferentes cuencas en las que se desea trabajar. Esta información se complementa con otras de tipo socioeconómico para definir una alternativa de solución a la problemática. Por otro lado, el *Enfoque por Subcuenca*, también puede ser una fase posterior al anterior.

El tema de seleccionar zonas óptimas para establecer una macrolocalización coherente debe efectuarse sistemáticamente hasta cierto nivel, luego puede llegar a ser lógica la aplicación de preferencias y/o presunciones del grupo de análisis a cargo del estudio ambiental en cuestión (por ejemplo, situar la estación antes o después de una descarga puntual relevante).

Las mejores metodologías propuestas, y aún reconocidas en la actualidad, luego de algunas modificaciones que las perfeccionaron, son las de Horton (1945),

Sharp (1971) y Sanders (1983), éstas se basan en ir asignando diferentes categorías a los tramos del río, acorde al número de tributarios que éstos reciben. El cauce naciente posee un valor 1, luego de la confluencia de otro similar, su jerarquía es 2 y así sucesivamente. Cuando aguas abajo de un río de categoría 2, se une un tributario de igual jerarquía, el tramo siguiente posee un número 4 (es decir, se suman ambas categorías). Se suele asignar categoría de tributarios a las descargas de establecimientos industriales que, de esta forma, reflejan la incidencia de los efluentes vertidos de cada uno de ellos, incrementando su categoría. Otra variante consiste en asignar valores a cada tramo del curso principal, acorde al flujo másico de contaminantes que va llegando al mismo (por ejemplo, carga acumulada desde el inicio del tramo en DBO, tóxicos, etc.), un nuevo tributario implica el aporte de su carga natural y la derivada de las fuentes puntuales que recibe; este flujo másico se adiciona al ya circulante en el curso principal. Debe existir un criterio técnico consensuado por todos los interesados en los usos prioritarios (por ejemplo, los encargados de zonas recreativas, plantas potabilizadoras de agua, agricultores, etc.), respecto a la escala de mapas a emplear para esta selección y para definir cuando un tributario es relevante por su aporte ya sea desde el punto de vista hidráulico y/o de flujo másico de un contaminante en particular, es decir, cuando un tributario es capaz de elevar la jerarquía del curso receptor por el caudal vertido, carga orgánica (por ejemplo en DBO), tóxicos o por su incidencia bacteriológica (Sanders, 1983).

Las Redes pueden ser diferentes según el flujo másico de los contaminantes en cuestión y si es importante o no el seguimiento de dos o más parámetros. Esto último genera situaciones que llevan a un análisis pormenorizado de la situación, y nuevos requisitos de número de muestras y frecuencia. Cuando, por cualquiera de los métodos citados, se llega hasta la desembocadura del río (si es el curso analizado), el tramo final posee un valor numérico, que si se divide por 2 da el centroide o zona clave que caracteriza la Cuenca, esta jerarquía es posible que no haya sido citada explícitamente en el mapa, o croquis que detalla los diferentes aportes al río, habilitando el uso del criterio personal de los encargados del estudio

para la elección del tramo a muestrear, es decir, si el valor numérico hallado es, por ejemplo, igual a 16, quien diseña la red podrá optar por el tramo número 15 o 17 para el criterio de categorización por número de tributarios, algo similar puede acontecer si se trabaja con tributarios más descargas, o flujos máxicos de contaminantes, allí se elige el tramo por el que circula una carga similar. Se suelen efectuar esquemas indicativos dibujando, con un espesor de línea creciente, las diferentes jerarquías de los tramos de un río hasta su desembocadura. Esta primera división deja ahora dos subcuencas sobre las que se puede repetir la operación de selección (UNESCO, 1992).

Lo ideal es poseer la mayor cantidad posible de estaciones que vayan caracterizando los tramos del río e inclusive las zonas directamente afectadas por fuentes puntuales (por ejemplo, de tóxicos). Luego de la macro y microlocalización, se trabaja finalmente en la ubicación real de la estación de monitoreo y las premisas para asegurar su funcionamiento y la utilidad de la información a coleccionar en la misma (por ejemplo, puente sobre ruta número a tomar en total 6 muestras igual a 3 muestras sub-superficiales y 3 a 4/3 de la profundidad total, dividiendo la sección transversal en canal central y márgenes). Respecto a los requerimientos para esta última fase, son fijados, en parte, por la clasificación y/o categorización de la Estación como Fija/Permanente o Transitoria. En el primer caso, se suelen monitorear tendencias a largo plazo y flujos máxicos de una serie significativa de parámetros de Calidad de Agua, derivados de listas asociadas a la preservación de usos prioritarios y a efluentes de las industrias regionales y/o productos de descomposición de los mismos. Suele utilizarse esta información para verificar el cumplimiento de Normas Guía u objetivos de estudio, especificando, por ejemplo, el porcentaje de datos que se hallan fuera de norma y frecuencia con que esto acontece en diferentes estaciones a lo largo del curso, si se están operando un número suficiente de estaciones (situación ideal), los resultados serían óptimos para todo tipo de estudios y las series temporales que de allí se extraigan también permitiría la identificación de fuentes difusas de contaminación.

Por otro lado, las estaciones transitorias tienen por finalidad el seguimiento de menos parámetros de calidad, por periodos acotados temporalmente. En cierto modo, son más flexibles porque su ubicación puede llegar a cambiarse, relocalizándose en función de resultados de las primeras campañas y su cantidad reducirse, si con menos estaciones se sigue cumpliendo con los objetivos del estudio. Son útiles en la determinación de la existencia así como la localización de fuentes puntuales de contaminación y en la cuantificación de sus efectos ambientales (severidad), en particular, en el ámbito espacial (Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente, Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, Argentina, 1999).

2.1. Normativa aplicable

En México, a través de la ley general de equilibrio ecológico y protección ambiental (LGEEPA), se han adoptado medidas para el control y prevención de la contaminación, que son las normas guía aplicables a las que se refirió la información en las campañas de muestreo de la red, y en las que se realizó la verificación de su cumplimiento.

En particular, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), por conducto de la Procuraduría de Protección del Ambiente (PROFEPA), han emitido alrededor de 50 normas oficiales mexicanas (NOM), enfocadas a descargas de aguas residuales, contaminación atmosférica, residuos peligrosos, recursos naturales, y biodiversidad.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) establece los Límites Máximos Permisibles de vertidos en aguas y en bienes nacionales. En la Tabla 2.1, se citan parcialmente los valores de dicha norma, que es la que deben cumplir las descargas de aguas residuales industriales y los efluentes de plantas de tratamiento municipales, en lo relacionado con los contaminantes básicos.

TABLA 2.1 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE LA NOM-001-ECOL-1996

PARÁMETROS mg/L excepto si se especifica	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS						SUELO RIEGO AGRÍCOLA		HUMEDALES NATURALES			
	RIEGO AGRÍCOLA		PÚBLICO URBANO		VIDA ACUÁTICA		RIEGO AGRÍCOLA		PÚBLICO URBANO		PESQUERA NAVEGACIÓN		RECREACIÓN		ESTUARIO		PM	PD	PM	PD		
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD		
PROMEDIO MENSUAL O DIARIO																						
TEMPERATURA °C	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
GRASAS Y ACEITES mg/L	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	25	
MATERIA FLOTANTE mg/L	A U S E N T E										A U S E N T E											
SÓLIDOS SEDIMENTABLES mL/L	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
SÓLIDOS SUSPENDIDOS mg/L	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	125	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO mg/L	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	150	

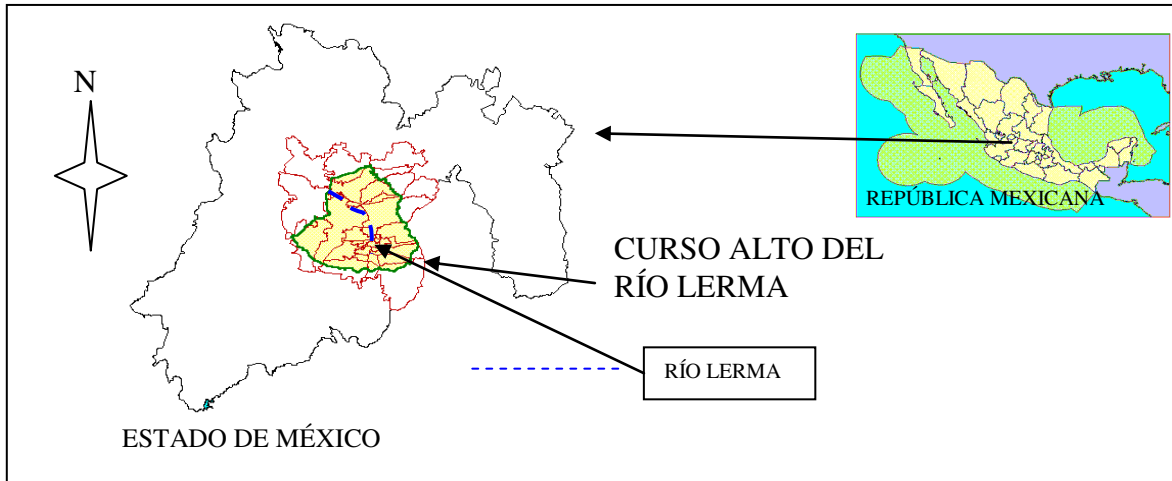
N.A. No aplica

Los parámetros empleados para comparar la NOM con los valores medidos en el CARL, son la denominación, de río con utilizado para riego agrícola, no obstante la misma norma, adicionalmente, regula otros parámetros que no fueron estudiados en el presente trabajo.

2.2. Área de estudio

En la cuenca alta del río Lerma queda contemplado el altiplano meridional de la cuenca con 2,580 m.s.n.m., aproximadamente 9 km aguas abajo de la presa J. Antonio Alzate y a una altitud de 2,570 m.s.n.m. termina el Curso Alto en el escalonamiento tectónico del Valle de Ixtlahuaca (Figura 2.1.).

FIGURA 2.1 CURSO ALTO DEL RÍO LERMA



Gobierno del Estado de México, 1993, Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma, México

Desde su nacimiento hasta la presa Alzate, el río se carga fuertemente con un gran número de contaminantes, ya que existen aproximadamente 2500 industrias que descargan parte de sus aguas residuales, a las que se suman las descargas domésticas de los poblados aledaños y de la ciudad de Toluca (Barceló *et al*, 2002).

Las actividades industriales que se pueden mencionar en el área de estudio, son de diversos giros, desde pequeñas agroindustrias para satisfacer las necesidades locales, hasta grandes transnacionales de producción predominantemente metal-mecánica, lo que hace que las aguas residuales contengan componentes múltiples y complejos. En el Valle de Toluca, dentro de las actividades agrícolas, se encuentran como cultivos predominantes los cereales que aportan cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio y residuos de herbicidas fenólicos, como 2,4-D y Atrazina, de toxicidad probada. Además, en la región sur-este de la cuenca, existen actividades de floricultura que aportan residuos de agroquímicos como insecticidas cuyo mecanismo de acción para matar insectos tiene consecuencias, por su similitud bioquímica, en organismos como el hombre (OMS, 1993a y 1993b).

En cuanto a las aguas municipales que se vierten en el río Lerma, inicialmente provenían principalmente de la población asentada en el Valle de Toluca, en las faldas del Nevado de Toluca y las riberas del río Verdiguél.

Actualmente, el crecimiento urbano ha tomado espacios agrícolas, formando una gran urbe que comprende el altiplano formado por las regiones, Toluca-Lerma, Toluca-Temoaya, Toluca-Ixtlahuaca-Atlacomulco, Toluca-Zinacantepec y Toluca-Tenango del Valle, además de la zona Tianguistengo-Ocoyoacac, todos urbanizados e industrializados, con problemas de sobreexplotación de sus acuíferos y vertido de aguas residuales al río. En el centro de este gran altiplano, se encuentra la presa José Antonio Alzate, primer cuerpo de agua receptor a lo largo de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. La problemática de esta presa tiene origen en los fenómenos de sobreexplotación del acuífero de su cuenca (lo que hizo que disminuyera el caudal, por la demanda de agua de la población) y de vertido de aguas residuales. A partir de su construcción sobre el río Lerma (1961-1963), la presa José Antonio Alzate de inmediato mostró contaminación y disminución del caudal, de manera que, a principios de la década de los setenta, ya era un fenómeno expreso. Actualmente, en el tramo del río Lerma comprendido entre el puente de la carretera México-Toluca hasta el puente de Temoaya, antes de la descarga del río en La Presa José Antonio Alzate, prevalecen condiciones sépticas de putrefacción y gérmenes patógenos durante todo el año (OMS,1983), debido a:

- 1) Las actividades agropecuarias desarrolladas en las zonas marginales del río y en el interior de su cuenca.
- 2) El gran volumen de aguas residuales con altas cargas de materia orgánica que descarga el complejo industrial Toluca-Lerma y los municipios aledaños.

- 3) El poco caudal (por extracción de volúmenes para trasvases) y pendiente de la corriente que tiene como consecuencia una dilución mínima y un escaso poder de autopurificación.

Además de la contaminación presentada, otro elemento que agrava la problemática del Curso Alto del Río Lerma es el siguiente: El programa de aprovechamiento integral de las Cuencas en México, y la transferencia de volúmenes de agua de la cuenca de Lerma a la cuenca cerrada del Valle de México, para abastecimiento de la población ahí asentada (Albores, 1994).

El proyecto de extracción y transferencia se inició en 1942 y fue terminado en 1951 (con un caudal inicial de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$) al canalizarse los manantiales de Lerma y Almoloya, originando consecuentemente una desecación de la Laguna de Lerma (Gobierno del Estado México, 1993). Para 1966, el volumen de extracción de agua fue calculado en $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y se ampliaron los convenios entre el Estado de México y el Distrito Federal para extraer $14 \text{ m}^3/\text{s}$ iniciándose la perforación de 132 pozos de los cuales, en 1969, operaban 67. Hasta llegar a la situación actual cuyo volumen de trasvase es de $284 \text{ Mm}^3/\text{año}$, o bien, $9 \text{ m}^3/\text{s}$, calculado a partir de la Tabla 2.2 (Plan Maestro de la Cuenca Lerma-Chapala, 1998).

TABLA 2.2 USO DEL AGUA DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Localidades	Núm Localidades	Población Miles	Extracción Mm ³ /año	Gasto Descargado L/s	Cobertura %		
					Agua potable	Alcantarillado	Tratamiento
Menores de 2 500 hab (rural)	5991	2867	105	1196	60	28	8
De 2500 a 10 000 hab	239	1095	50	721	70	60	44
De 10 00 a 50 000 hab	66	1368	81	1334	75	65	58
Mayores de 50 000	18	3539	577	7296	88	78	18
Transferencia al Valle de México			284				
Transferencia a Guadalajara			240				
Total	6224	8869	1101	10547			

Boletín del Centro de Información de la Cuenca Lerma-Chapala, 1998, info Lerma, 2(1), México

2.3. Estado del arte

Toda actividad humana produce un impacto ambiental. En los procesos industriales, la fabricación de un producto impacta desde la extracción de las materias primas utilizadas como insumos, hasta el momento en que el producto finaliza su vida útil, por eso el "Análisis del Ciclo de Vida" de los materiales a utilizar es tan importante para poder evaluar y cuantificar el impacto ambiental de un producto, y como se dice siempre, debe ser considerado "desde la cuna a la tumba". Estas actividades determinan que, seguido a la solución de una necesidad para el hombre, aparece la problemática de vertido de contaminantes al ambiente.

En un estudio llevado a cabo en Francia por Vervier *et al.* (1999), para desarrollar una estrategia de saneamiento en el río Save, se dio prioridad a la identificación de las fuentes de aportación de nitratos, que eran múltiples y difusas. Como estrategia para el conocimiento de la problemática, se estableció una red de monitoreo y un periodo de muestreo interestacional e interanual. Mediante el

coeficiente de correlación, se pudo identificar la aportación de los campos agrícolas, de los habitantes de la cuenca y de los bosques. Como principal conclusión del estudio, se obtuvo que las fuentes de nitratos permanecían aun en verano por la aportación de las intensas actividades agrícolas.

En Reino Unido, White *et al.* (1999) hicieron uso de una red de monitoreo en el Río Dee, para evaluar la eficiencia de las prácticas de protección ambiental y detectar las cargas críticas en este río, al Noreste de Escocia. Se realizó el estudio a lo largo de un año, con variable estacional, para estudiar los regímenes de flujos altos y bajos. Se encontraron los valores críticos de los iones Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Cl^- . Concluyendo que en regímenes de flujo alto, se pueden estar rebasando los límites de las normas de dicha región, debido a los fenómenos de resuspensión de contaminantes.

En Reino Unido, Hutchings *et al.* (1999), en la frontera de Gales y la parte este de Midland, realizaron un estudio con variación espacial y temporal para identificar las fuentes de aportaciones de sólidos principalmente, considerando como supuestos de aportación las fuentes antropogénica, geológica, agrícola y atmosférica. Previo al inicio del estudio, se realizó un mapeo del área para fijar las zonas de muestreo y se decidió una resolución de dos muestras por kilómetro cuadrado. En la interpretación de los datos, se usó el diagrama de Piper tridimensional y como una de las principales conclusiones se encontró que el agua del río excede en NO_3^- , la norma de agua para beber del Reino Unido. En una segunda etapa, con la misma infraestructura de red y monitoreo, se determinó la influencia de la materia orgánica en la calidad del agua y en la solubilización de componentes minerales.

Un estudio llevado a cabo en China por Lau y Chu (2000) determinó el efecto de las descargas residuales domésticas e industriales en el río Kam Tin. Los parámetros medidos se compararon en una matriz de doble entrada, con un cuadro de correlación del que se concluyó que existía interrelación en las aportaciones de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales que descargan al río Kam Tin. La principal conclusión es que el origen de los contaminantes es múltiple, que la contaminación rebasa la capacidad de depuración del cuerpo de agua e impacta en la biota, por lo que los autores sugieren introducir planes de mitigación.

En una etapa posterior en el río Kam Tin, Lau (2000) estableció un sistema de monitoreo para el estudio de la contaminación proveniente de múltiples orígenes, entre los que se pueden citar Mailand y Hong Kong. Su interés fue el de encontrar el potencial efecto de los contaminantes del citado río y su variación espacial y temporal a través de las estaciones del año. Finalmente, usó el coeficiente de correlación de Pearson para interpretar la relación entre variables. Concluyó que los altos niveles de contaminación se ven agravados con los continuos vertidos de aguas domésticas que, junto con las condiciones climáticas y la salinidad, agravan los problemas de contaminación y ponen en peligro el equilibrio de la biota. Concluyó, por tanto, que la solución del problema de la contaminación es un tanto compleja, por las fuentes de contaminación difusas. Las fuentes múltiples de aportación y el tiempo largo que los contaminantes permanecen en los estuarios ponen en peligro a las especies migratorias. Además, se sugiere que la contaminación se aborde como un problema desde las fuentes, para prevenir generación a nivel local y, si aun así se llega a dar ésta, se puedan tener suficientes elementos para realizar la modelación de los fenómenos de dispersión de contaminantes.

Ballester *et al.* (1999), en Brasil, establecieron una red de monitoreo para medir el efecto de la materia orgánica sobre el oxígeno disuelto. Se establecieron 7 estaciones de muestreo a lo largo del río Piracicaba para estudiar el impacto de los tributarios. Donde se encontró que condiciones aeróbicas eran propias de

sitios poco contaminados y que las altas cantidades de CO₂, provenientes de la degradación de la materia orgánica, son directamente proporcionales al flujo de efluentes de fuentes antropogénicas.

Asare-Ansa *et al.* (2000), en la región Aberdeen (Reino Unido), estudiaron el comportamiento del oxígeno disuelto y la relación que guarda con la materia orgánica contenida en el agua. Encontrando que la presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua hace disminuir inicialmente el oxígeno disuelto, pero conforme ésta se degrada, el nivel de oxígeno se recupera, alcanzando valores de 5 mg/L y, por ello, concluyeron que el valor de oxígeno disuelto es un claro indicador de la materia orgánica presente.

Djordjic *et al.* (2000), en Suecia, estudiaron espacial y temporalmente las fuentes de aportación de fósforo durante un periodo de 4 años, en el Vara Plain, en el suroeste de este país. Concluyeron que la presencia de fósforo en el agua tiene una correlación positiva con la cantidad de precipitación pluvial, por los fenómenos de arrastre y escurrentía de los suelos de campos agrícolas.

Márquez y Bueno (2001) estudiaron los parámetros físico-químicos en el río Pardo en Sao Paulo (Brasil), el cual recibe las aguas residuales municipales de Botucapu y Sao Paulo. El estudio tuvo una duración anual con muestreos de frecuencia mensual en ocho estaciones a lo largo del río Pardo. Uno de los principales resultados encontrados fue que la calidad de las aguas en periodo seco es inferior, debido a las fuentes de contaminación antrópicas, principalmente, aguas residuales municipales, encontrando altos valores de conductividad eléctrica. Concluyen que las fuentes importantes de contaminación del río son las aguas residuales municipales y las de los campos agrícolas. Durante el periodo de lluvias, la contaminación es menor por el efecto de dilución.

Schulz (2001) estudió en el río Laurens (Sudáfrica) la entrada de poluentes, pesticidas, y las aportaciones de los tributarios. Los pesticidas estudiados son

múltiples tanto en agua como en sedimentos y se realizaron además pruebas de ecotoxicidad. Concluyó que la entrada de pesticidas estaba asociada con los sólidos en suspensión y que sus máximos valores se presentaban a pocas horas de haber ocurrido una precipitación.

Jonnalagadda y Mhere (2001) estudiaron en el río Odzi (Zinbawe), la naturaleza de las fuentes de contaminación en seis estaciones de muestreo. A través de varios meses del año, analizaron los parámetros físico-químicos: temperatura, conductividad, pH, sólidos totales y disueltos, demanda química de oxígeno, fosfatos totales y nitratos totales, por la problemática generada debida a la existencia de minas abandonas y granjas. Los valores altos de pH se debieron a los desechos provenientes de piscifactorías y los valores de pH bajos se los atribuyeron a los lixiviados de minas abandonadas. Respecto a los sólidos, concluyeron que su variación está directamente relacionada con los fenómenos de lluvia. Mientras que los valores de demanda química de oxígeno estaban directamente relacionados con la contaminación biológica donde, los valores altos correspondían principalmente a los tributarios provenientes de piscifactorías. Los valores más altos de nitratos los encontraron en los valles agrícolas donde se los atribuyeron al uso intensivo de fertilizantes.

Bordalo *et al.* (2001) estudiaron el río Bangpa Kong en Tailandia. Establecieron puntos de muestreo para estudiar la calidad y los usos de las aguas de dicho río a lo largo de 227 km. Muestrearon en dos periodos: uno de aguas altas (en los meses de junio-noviembre) y otro de aguas bajas (en los meses de diciembre-mayo). Una vez establecidos los puntos de muestreo, estudiaron los parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos suspendidos, pH, amonio, coliformes fecales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, fosfatos y metales pesados. Concluyeron que, para las normas de dicho país, el agua sólo puede ser usada para peces (que toleren las cargas de dicho río) y para formas de vida salvaje y no se recomienda para uso recreativo ni para beber.

Blanchard *et al.* (2001) estudiaron el origen y distribución de los hidrocarburos poliaromáticos en el área de París (Francia). La problemática era diferenciar las fuentes de emisión entre aguas residuales municipales y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, en diferentes condiciones meteorológicas, durante diferentes episodios de lluvias. Concluyeron que en periodo de lluvia, la contaminación se incrementó al doble y lo atribuyeron a la aportación de la contaminación atmosférica. Concluyeron que hay dos orígenes de entrada de contaminantes: la urbana, por el procedimiento de limpieza de las calles, y las aguas residuales municipales de los 8 millones de habitantes de París. La principal aportación de hidrocarburos poliaromáticos es, según los autores, el tejido graso animal y humano, a la que se adicionan los que provienen de la atmósfera.

Huang y Foo. (2002), en los Estados Unidos de América, estudiaron la salinidad del río Apalachicola en Florida. Para dicho estudio, se apoyaron en el establecimiento de una red de monitoreo. El modelo para establecer la red de monitoreo se inspiró en el sistema nervioso de los seres vivos, con el objetivo de crear una serie de puntos de red como una herramienta para resolver un problema científico complejo, como lo es el de las descargas de aguas residuales. Las estaciones de muestreo fueron análogas a las terminales nerviosas de los seres vivos que se interrelacionan de manera directa o indirecta. Concluyeron que el modelo neural es capaz de relacionar múltiples variables en el estudio de un fenómeno. El sistema "Neural Network", sólo requiere de un campo de observación y series de datos en el tiempo, y puede ser una herramienta de fácil uso para el estudio de cuerpos de agua.

Sudo *et al.* (2002) estudiaron las fuentes, cargas y concentraciones de pesticidas en el lago Biwa (Japón), en un periodo de 5 años y dieron seguimiento al río Seta que es la única salida de dicho lago. Las muestras fueron colectadas tanto en la red central del río Seta como en los tributarios. Además de estudiar las fuentes de contaminantes, se realizó un balance hidráulico de cada uno de los

tributarios durante el periodo de observación. En este estudio, se concluyó que los pesticidas, después de su aplicación, permanecieron un tiempo largo en los suelos y fueron removidos por lixiviación durante los eventos de altas precipitaciones.

Owens y Desmond (2002) examinaron el contenido de fósforo en agua y sedimento en la zona de Yorkshire (Inglaterra), sobre el río Swale que drena áreas rurales, urbanas y zonas industriales. Como las aportaciones eran de fuentes contaminantes múltiples, se estableció una red de monitoreo a lo largo del río y sus tributarios Aire y Calder. El objetivo fue monitorear las cargas de fósforo y los volúmenes de tributación, además del interés de medir las cargas provenientes de las zonas rurales, urbanas e industriales. Concluyeron que los valores de fósforo en las zonas rurales fue baja (río Swale). En el río Aire, los elevados niveles de fósforo, se debieron a la tributación de áreas urbanas, de ciudades como Leeds y Bradford. Finalmente, el río Calder mostró altos niveles de fósforo provenientes de zonas industriales y áreas altamente pobladas de Halifax y Huddersfield.

Feng *et al.* (2002) investigaron el río Hudson en los Estados Unidos de América, respecto a fuentes y la dinámica de transporte de metales. Cerca de la Bahía de New York, muestrearon en noviembre y en agosto a lo largo de 15 km de longitud del cauce. Donde concluyeron que los metales pueden ser transportados por las partículas contenidas en el agua y el sedimento, y a través de ambos, ser transportados a otros sitios del río. Primero, la columna de agua puede depositarlos en los sedimentos y, posteriormente, puede volver a mezclarlos en regímenes de flujo turbulentos, a su vez, pueden ser transportados y redistribuidos según la magnitud de las corrientes dinámicas y el equilibrio de éstas con los sedimentos.

2.4. Estudios anteriores sobre el río Lerma

El primer estudio del que se tiene referencia fue realizado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en los años 70. En dicho estudio, se evaluaron los parámetros físico-químicos, la calidad del agua del río, particularmente en la presa J. A. Alzate y el tramo Toluca-Atzacomulco. En ese momento, se comenzaron a detectar problemas ambientales en la presa José Antonio Alzate, que presentaba una acelerada mortandad de peces.

De 1976 a 1978, la SARH recopiló los resultados de diversos análisis físico-químicos: pH, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos en Suspensión. El análisis de agua en 31 estaciones de muestreo evidenció una problemática de contaminación creciente.

Desde 1989, se ha concertado un programa para la restauración del río Lerma, con la participación de los estados que atraviesa el río. En el Estado de México, se inició el proyecto de Restauración Integral del CARL, el cual ha tenido resultados positivos por lo que se refiere a las aguas de origen doméstico, con la construcción de plantas de tratamiento para poblaciones medianas de la cuenca Alta del río Lerma incluyendo Toluca con dos macroplantas (CCRECRL ,1993).

En los años recientes, se han realizado estudios ambientales acerca del río Lerma por parte de la Universidad Autónoma del Estado de México destacando los de Ávila en 1995 y 2001, que evaluó la acumulación de metales pesados en la presa José Antonio Alzate, analizando sedimento y agua y diferentes partes del lirio acuático; Zarazúa (2000), que se interesó en la problemática de bioacumulación de metales pesados en la biota de la presa, y Barceló (2000) que evaluó los perfiles de distribución y movilidad de metales pesados en agua y sedimentos.

Solís *et al.* (1997) estudiaron la variación de los parámetros físico-químicos en la presa J. A. Alzate. Concluyeron que la temperatura en los primeros 20 cm es mayor debido a la turbiedad del agua, que hace que a profundidades mayores a 20 cm lleguen poco los rayos solares y la temperatura decrezca. La zona donde el río Lerma se introduce en la presa Alzate mostró elevada turbiedad en el disco Secchi con lecturas menores a 20 cm, las zonas cercanas a la compuerta mostraron coloraciones café-rojizas y lecturas en el disco de Secchi mayores a 20 cm. Los autores determinaron que a medida que se avanza de la entrada hacia la compuerta de la presa, se incrementaba el pH, concluyeron que dicho fenómeno se debió a la existencia de la actividad biológica por lo que asociaron el comportamiento de la presa al de una laguna de oxidación. Respecto de las cantidades de OD, las zonas inicial y final de la presa fueron anóxicas, pero la zona intermedia tiene mayores cantidades de OD, por la turbulencia generada por las actividades de navegación entre los poblados aledaños.

Ávila *et al.* (1999) presentaron los resultados de estudios sobre metales pesados en el agua de la presa J. A. Alzate donde concluyeron que los valores de cromo, hierro y mercurio excedían los valores de la norma mexicana SEDUE, 1989 y los metales níquel, cobre y zinc no presentaron valores mayores a los de la norma. Concluyeron que la fuente principal de aporte fue el río Lerma, por lo que sugirieron que en estudios futuros se estudiaran de manera particular las áreas que tributan, para caracterizar sus aguas y, así, establecer las medidas y procesos necesarios para la limpieza de la presa José Antonio Alzate.

Barceló *et al.* (2002) evaluaron los contaminantes metálicos en sedimentos de la presa Alzate. Concluyeron que para cobre, hierro y manganeso no existe una problemática grave, sin embargo, para zinc existe fuerte contaminación. También reportaron que la presa José Antonio Alzate se ha convertido en una gran laguna de oxidación de la cuenca alta del río Lerma y que lo preocupante no era que hubiese variado su función inicial de irrigación y de control de inundaciones, sino que el uso de su agua para riego representaba un alto riesgo para la salud, por la

presencia de metales pesados en estado de biodisponibilidad tales como plomo y cadmio.

Recientemente, un trabajo realizado por la Comisión Nacional del Agua (Mantilla-Morales *et al.*, 2000), cuyo objetivo fue identificar las zonas de contaminación del río Lerma y sus afluentes, estableció 10 segmentos críticos.

Uno de éstos es el tramos Ocoyoacac-Toluca con un reporte DBO mayor a 100 mg/L y un valor de OD menor a 1.5 mg/L. Al mismo tiempo, se detectó que la DBO del 83% de los afluentes no cumple con los límites de la NOM de descargas para riego agrícola.

Díaz *et al.* (2003) elaboraron un “Atlas Hidrológico del Curso Alto del Río Lerma” en el laboratorio de Hidrogeomática del Centro Interamericano de Recursos del Agua. Recopilaron la información de los temas básicos como: Ubicación geográfica, Historia, Cartografía y la información acerca de la problemática de contaminación del CARL disponible hasta el momento (principalmente estudios de contaminación por metales pesados).

Gómez (2005), en el Centro Interamericano de Recursos del Agua, realizó mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), una estimación de las necesidades de tratamiento de aguas residuales en el curso alto del río Lerma y su posible relación en la incidencia de enfermedades gastrointestinales. Dicho estudio fue realizado tanto a nivel de subcuencas mediante la estimación de los volúmenes de aguas residuales de vertido, como en su conjunto en el CARL, identificando mediante mapas las zonas de mayor riesgo para las poblaciones aledañas.

3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo está orientado hacia el reconocimiento preciso del Curso Alto del Río Lerma para la generación de una red estratégica de monitoreo y su aplicación en el estudio de los parámetros físico-químicos en un periodo interanual de investigación.

El río Lerma es reportado como uno de los más contaminados del país. En particular, el Curso Alto del Río Lerma está afectado por la contaminación difusa y por las descargas de aguas residuales municipales e industriales que provienen de la zonas industriales y de diversos municipios tributarios.

Aun con la contaminación, el río Lerma sigue siendo fuente de abastecimiento para riego en los estados aguas abajo del mismo. El riego de cultivos ocasiona una alta exposición de los trabajadores a contaminantes además de constituir una fuente real y potencial de transferencia de compuestos tóxicos al hombre, a través de la alimentación y la cadena trófica, por el consumo de productos contaminados.

A pesar de varios estudios realizados, el conocimiento del estado de contaminación es todavía parcial. Identificar geográficamente la cantidad y distribución de la contaminación mediante una red de monitoreo ayudará a proponer una solución más factible y precisa, además de aportar opciones viables para su saneamiento.

Los datos obtenidos hasta hoy están enfocados en algunos tramos, como la presa J. A. Alzate y no existe una integración global. Como los estudios se hacen por diferentes instituciones e investigadores, se pretende unificar criterios en el diseño de una red de monitoreo integrando criterios e intereses comunes de muestreo.

Para generar una propuesta factible de saneamiento para el Curso Alto del Río Lerma es fundamental conocer de forma completa la distribución espacial y temporal de la problemática con una red de monitoreo común. Ello permitirá dar a conocer las fuentes puntuales y difusas de aportación de contaminantes.

Asimismo, permitirá implementar las medidas y políticas para mitigar y/o resolver de manera definitiva la problemática.

Por otro lado, recabar los datos de cartografía y mapeo mediante sistema satelital de posicionamiento global (GPS), permitirá rastrear de manera sistemática la problemática objeto de estudio, unificar criterios respecto a puntos de muestreo, evaluar de manera precisa y concreta las fuentes de aportación de contaminantes y su evolución en el tiempo y el espacio.

Por lo anterior, en el presente proyecto se establecerá la red de monitoreo del curso alto del río Lerma y se comenzará con su aplicación para el estudio de los parámetros físico-químicos de campo y laboratorio. Y quedará la red de monitoreo, como un precedente para investigaciones subsecuentes y será una herramienta útil en las propuestas de medidas y acciones que se han de implementar para el saneamiento definitivo del Curso Alto del Río Lerma.

Por lo anterior, es fundamental identificar los puntos y descargas que aportan contaminantes en el Curso Alto del Río Lerma, para proponer las medidas que permitan la disminución del aporte de contaminantes y, en consecuencia, realizar una contribución a elaborar una propuesta que haga factible su saneamiento.

4 HIPÓTESIS

El diseño de una red estratégica de monitoreo para el Curso Alto del Río Lerma y su utilización en el estudio espacial y temporal de los parámetros físico-químicos permite complementar el conocimiento de la problemática de contaminación y contribuye a generar una propuesta factible de saneamiento

5 OBJETIVO GENERAL

Diseñar de una red estratégica de monitoreo para el curso alto del río Lerma y utilizarla para estudiar espacial y temporalmente los parámetros físico-químicos del agua

5.1. Objetivos específicos

- Geoposicionar los tributarios importantes del Curso Alto del Río Lerma.
- Recabar la información básica (coordenadas, imágenes, planos, etc.) para el establecimiento de una red de monitoreo.
- Seleccionar los puntos de interés para ser muestreados.
- Realizar dos campañas de muestreo.
- Medir en campo Oxígeno Disuelto, Conductividad, Velocidad de la Corriente y Temperatura.
- Realizar los análisis físico-químicos en el laboratorio de Calidad del Agua (CIRA).
- Conocer las zonas de mayor contaminación del Curso Alto del Río Lerma.
- Complementar el atlas digital de Curso Alto del Río Lerma.

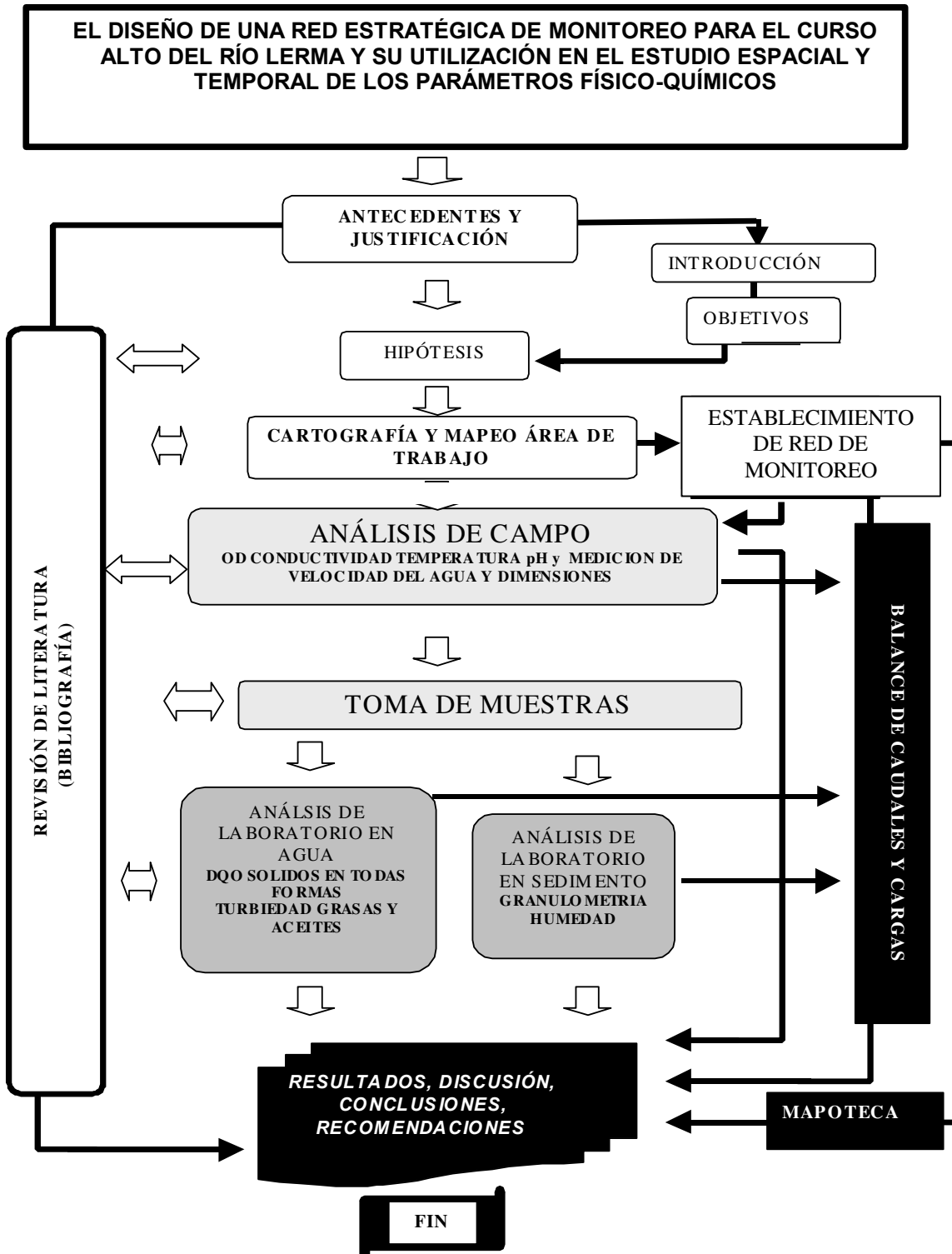
5.2. Metas.

- a) Establecer una red de monitoreo para el Curso Alto del Río Lerma.
- b) Hacer uso de la red de monitoreo del Curso Alto del Río Lerma para caracterizar sus aguas.
- c) Generar mapas cartográficos del Curso Alto del Río Lerma.
- d) Complementar la información del Atlas del Curso Alto del río Lerma en Versión impresa y Disco Compacto.
- e) Identificar los puntos de máxima afectación por la contaminación, así como su variación espacial y temporal.
- f) Establecer la información básica para generar una propuesta factible de saneamiento para el Curso Alto del Río Lerma.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos y metas planteados en el presente proyecto de investigación, se propone utilizar la siguiente metodología que se esquematiza en la figura No.2

FIGURA No. 2 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA A EMPLEAR EN EL PRESENTE PROYECTO



Para que logaran los objetivos y metas del presente proyecto de investigación, las actividades realizadas se dividieron en los siguientes rubros:

Revisión bibliográfica y documental

Selección y reconocimiento de la zona de estudio

Diseño de la red estratégica de monitoreo

Programa de muestreo

Programa de análisis físico-químicos

Tratamiento estadístico de datos e interpretación de resultados

6.1. Revisión bibliográfica y documental

La recopilación bibliográfica fue permanente durante todo el periodo de investigación. Dentro de la cual, se puso especial atención en los estudios realizados acerca del Río Lerma, y se revisaron otros trabajos realizados en otros ríos y lagos del mundo con una problemática análoga o semejante.

Las principales fuentes de datos fueron: revistas de arbitraje internacional, organismos públicos de los niveles federal, estatal y municipal, así como bases de datos existentes y en Internet.

6.2. Selección y reconocimiento de la zona de estudio

El estudio se realizó en el Río Lerma en el segmento que comprende el curso Alto, que va de la laguna de Chignahuapan en Almoloya del Río, hasta 9 km aguas abajo de la compuerta de la presa José Antonio Alzate lo cual permitió conocer las características de las aguas en su tributación y las transformaciones que éstas puedan sufrir en su permanencia en dicho reservorio.

El recorrido completo del curso alto del río Lerma comprendió los siguientes aspectos:

Identificar mediante un recorrido a pie las características del terreno, los tributarios, la infraestructura que exista y las características cambiantes del terreno.

Identificar a lo largo del río obstáculos, infraestructuras, zonas de turbulencias (pendientes), zonas muertas (zonas de mayor acumulación de sedimentos) y determinar dimensiones del río tanto ancho y profundidad.

Identificar los puntos particulares que ofrecen una ubicación y accesibilidad ideal, para albergar estaciones de muestreo de aguas y sedimentos tanto en el río como en los tributarios.

Las visitas de campo fueron permanentes tanto en periodo de lluvias como en periodo seco, para detectar los factores estacionales cambiantes y detectar así en los tributarios cuáles son cambiantes y cuáles son permanentes y poder también conocer la variación de sus caudales.

6.3. Diseño de la red estratégica de monitoreo

Una vez realizado el recorrido identificando los tributarios del Curso Alto del Río Lerma, se procedió a referenciar geográficamente y mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), los puntos de interés que consistieron en una red de monitoreo común.

La red contiene los puntos de interés para ser muestreados, y es flexible en cuanto al número de nodos a muestrear ya que estos se pueden seleccionar según el interés y los recursos disponibles, para asegurar un gradiente diferencial de una estación a otra, Como por ejemplo, incremento de sólidos por la carga aportada por tributario.

El plan de red buscó satisfacer a lo máximo posible el interés de muestreo de agua y sedimentos, tanto el cuerpo del río como en los tributarios

Durante el trabajo de diseño de una red estratégica de monitoreo en el presente proyecto de investigación se realizó las siguientes actividades:

- 1 Una vez recopilados los datos , se diseñará una red teórica de muestreo y se validó en campo con un nuevo recorrido para confirmar posiciones y validar información.
- 2 Se definió y nombró, con un código, los puntos por muestrear tanto en los tributarios (Tabla No. 5) como en el río (Tabla No.6).
- 3 Se referenció geográficamente los puntos de red respecto de puntos relevantes por ejemplo: carreteras, árboles o infraestructuras que para este fin sirvan, como puentes, tuberías, etc.
- 4 Se emitió la cartografía y atlas definitivos para facilitar el acceso a los puntos, en estudios subsecuentes.

Programa de muestreo

Una vez posicionados los puntos con el equipo GPS y ubicados en un sistema cartográfico, se procedió a definir una red de muestreo en una mesa de trabajo interinstitucional del Centro Interamericano de Recursos del Agua, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y Comisión Nacional del Agua, con el interés de hacer converger el interés sobre los puntos de red y los muestreos.

Una vez definida la red de muestreo, incluyendo los tributarios de interés, se procedió a muestrear según la estrategia y frecuencia que a continuación se enuncian:

Se tomaron muestras de agua tipo simple en el centro de la corriente y en cada estación seleccionada y en los tributarios designados para muestreo.

Se utilizó una botella de tipo “grab”. Una vez colectada la muestra se transvasó a frascos con previamente tratados según el análisis correspondiente que se valla a realizar. Los frascos permanecieron en refrigeración hasta su análisis.

Una vez tomadas las muestras se tomaron los parámetros de campo de Temperatura, Conductividad, pH y Oxígeno Disuelto con un equipo medidor de parámetros múltiple portátil WTW P4.

Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimento a nivel superficial con una draga de acero inoxidable y serán transvasadas a frascos de vidrio y permanecieron en refrigeración hasta su análisis con el interés de conocer el estado general del río.

La frecuencia de muestreo fue definida por dos épocas del año, la primera que es la época de lluvias y la segunda en época de estiaje, donde la de lluvias corresponde a los periodos julio – noviembre y la de secas corresponde al periodo enero-mayo, según los datos reportados por la estación meteorológica del Centro Interamericano de Recursos del Agua.

6.5. Programa de análisis físico-químicos

El análisis de los parámetros físico químicos constituyó la etapa inicial para el desarrollo de un diagnóstico de una corriente de agua.

El presente trabajo se enfocó en el estudio de los parámetros físico-químicos tanto en el Curso Alto del río Lerma, como en sus tributarios. Su variación espacial y temporal, tanto en agua como en sedimento, ya que las variaciones estacionales en los gradientes hidráulicos a lo largo del año son el factor que origina una dispersión de los contaminantes, inundaciones y sequías, movimiento y depósito de los contaminantes Tabla No. 7 (Hupp, 2000).

AGUA:

- Temperatura (T),
- pH,
- Oxígeno Disuelto (O D)
- Conductividad
- Grasas y Aceites(G&A)
- Demanda Química de Oxígeno(DQO)
- Sólidos totales (fijos y volátiles)
- Sólidos suspendidos (fijos y volátiles)
- Sólidos disueltos (fijos y volátiles)

SEDIMENTO SUPERFICIAL:

- pH
- Granulometría
- Humedad

TABLA No. 7 ANALISIS FÍSICO-QUÍMICOS (APHA, 1995)

PARAMETRO	EN AGUAS	EN SEDIMENTO
PH	APHA-AWWA-WPCF método 4500-H B	Método EPA 9045-SW846 (EPA)
DQO	Método 5220 D APHA-AWWA-WPCF	
Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos	Métodos 2440 B y D APHA-AWWA-WPCF	
Conductividad	Métodos 2510 B, APHA-AWWA-WPCF	
Temperatura	Métodos 2550 B, APHA-AWWA-WPCF	
Oxígeno Disuelto	Método 4500-0 G APHA-AWWA-WPCF	
Velocidad de la corriente	Por molinete tipo Swoffer, modelo 2100	
Granulometría		ASTM D422 (ASTM 1990) Medidor de tamaño de partícula Láser LS 100 y Tamices Tiller

Interpretación de resultados

Media: es el valor medio ponderado de la serie de datos. Se pueden calcular diversos tipos de media, siendo las más utilizadas:

Mediana: es el valor de la serie de datos que se sitúa justamente en el centro de la muestra (un 50% de valores son inferiores y otro 50% son superiores).

Existen diversas medidas de dispersión, entre las más utilizadas podemos destacar las siguientes:

Rango: mide la amplitud de los valores de la muestra y se calcula por diferencia entre el valor más elevado y el valor más bajo.

Varianza: Mide la distancia existente entre los valores de la serie y la media. Se calcula como sumatorio de las diferencias al cuadrado entre cada valor y la media, multiplicadas por el número de veces que se ha repetido cada valor. El sumatorio obtenido se divide por el tamaño de la muestra.

$$S^2_x = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 * n_i}{n}$$

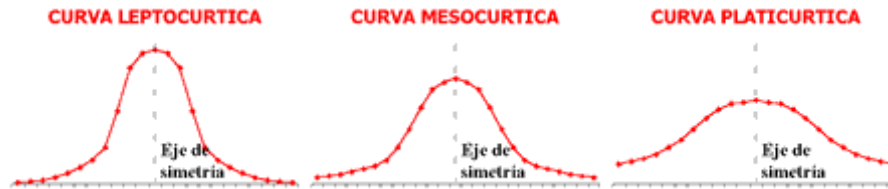
El Coeficiente de Curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución.

Se definen 3 tipos de distribuciones según su grado de curtosis:

Distribución mesocúrtica: presenta un grado de concentración medio alrededor de los valores centrales de la variable (el mismo que presenta una distribución normal).

Distribución leptocúrtica: presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

Distribución platicúrtica: presenta un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.



El Coeficiente de Curtosis viene definido por la siguiente fórmula:

$$g_2 = \frac{(1/n) * \sum (x_i - \bar{x})^4 * n_i}{((1/n) * \sum (x_i - \bar{x})^2 * n_i)^2} - 3$$

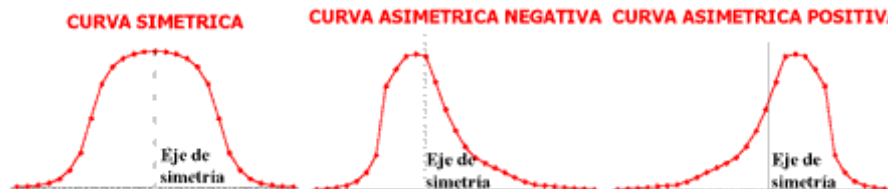
Los resultados pueden ser los siguientes:

$g_2 = 0$ (distribución mesocúrtica).

$g_2 > 0$ (distribución leptocúrtica).

$g_2 < 0$ (distribución platicúrtica).

Asimetría se refiere a si la curva que forman los valores de la serie presenta la misma forma a izquierda y derecha de un valor central (media aritmética)



Para medir el nivel de asimetría se utiliza el llamado Coeficiente de Asimetría de Fisher, que viene definido:

$$g_1 = \frac{(1/n) * \sum (x_i - \bar{x})^3 * n_i}{((1/n) * \sum (x_i - \bar{x})^2 * n_i)^{3/2}}$$

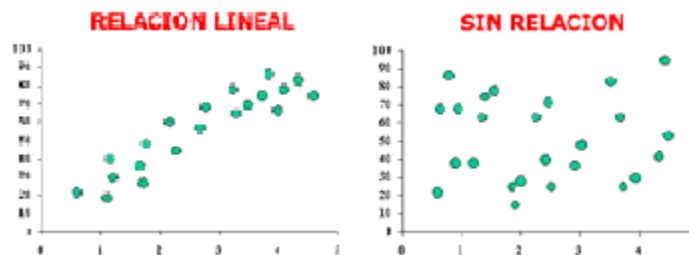
Los resultados pueden ser los siguientes:

$g_1 = 0$ (distribución simétrica; existe la misma concentración de valores a la derecha y a la izquierda de la media)

$g_1 > 0$ (distribución asimétrica positiva; existe mayor concentración de valores a la derecha de la media que a su izquierda)

$g_1 < 0$ (distribución asimétrica negativa; existe mayor concentración de valores a la izquierda de la media que a su derecha)

En una distribución bidimensional puede ocurrir que las dos variables guarden algún tipo de relación entre si. El coeficiente de correlación lineal mide el grado de intensidad de esta posible relación entre las variables. Este coeficiente se aplica cuando la relación que puede existir entre las variables es lineal (es decir, si representáramos en un gráfico los pares de valores de las dos variables la nube de puntos se aproximaría a una recta).



No obstante, puede que exista una relación que no sea lineal, sino exponencial, parabólica, etc. En estos casos, el coeficiente de correlación lineal mediría mal la intensidad de la relación las variables, por lo que convendría utilizar otro tipo de coeficiente más apropiado.

No obstante, puede que exista una relación que no sea lineal, sino exponencial, parabólica, etc. En estos casos, el coeficiente de correlación lineal mediría mal la

intensidad de la relación las variables, por lo que convendría utilizar otro tipo de coeficiente más apropiado.

Para ver, por tanto, si se puede utilizar el coeficiente de correlación lineal, lo mejor es representar los pares de valores en un gráfico y ver que forma describen.

El coeficiente de correlación lineal se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$r = \frac{1/n * \sum (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\left((1/n * \sum (x_i - \bar{x})^2) * (1/n * \sum (y_i - \bar{y})^2) \right)^{1/2}}$$

Es decir:

Numerador: se denomina covarianza y se calcula de la siguiente manera: en cada par de valores (x,y) se multiplica la "x" menos su media, por la "y" menos su media. Se suma el resultado obtenido de todos los pares de valores y este resultado se divide por el tamaño de la muestra.

Denominador se calcula el producto de las varianzas de "x" y de "y", y a este producto se le calcula la raíz cuadrada.

Los valores que puede tomar el coeficiente de correlación "r" son: $-1 < r < 1$

Si "r" > 0, la correlación lineal es positiva (si sube el valor de una variable sube el de la otra). La correlación es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a 1.

Si "r" < 0, la correlación lineal es negativa (si sube el valor de una variable disminuye el de la otra). La correlación negativa es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a -1.

Si "r" = 0, no existe correlación lineal entre las variables. Aunque podría existir otro tipo de correlación (parabólica, exponencial, etc.)

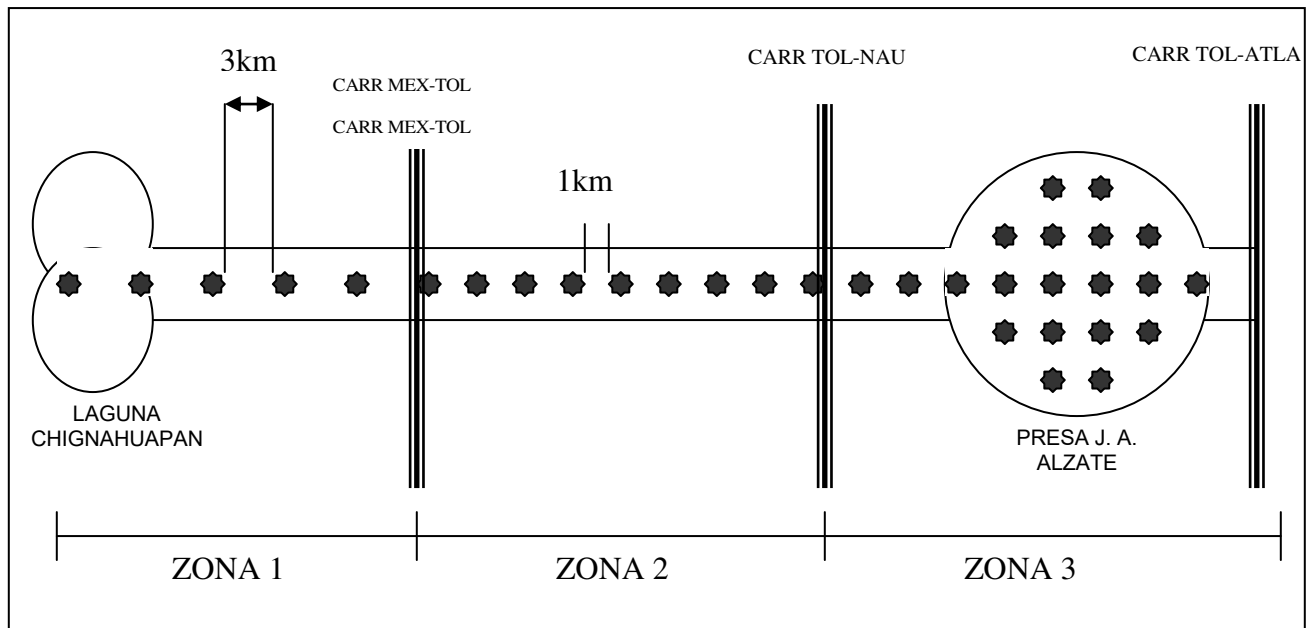
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se muestran en el presente capítulo comprenden dos grandes rubros: El establecimiento de una red de monitoreo para el CARL y la aplicación de la misma en el estudio de los parámetros físico-químicos en el CARL.

7.1. Diseño de la red de monitoreo

En el inicio, para el establecimiento de la red de monitoreo para el CARL, se diseñó un modelo teórico (Figura 7.1), que consistió en una distribución uniforme de estaciones de muestreo, a partir de la cartografía existente hasta ese momento del CARL.

FIGURA 7.1 MODELO CONCEPTUAL DE MUESTREO PARA EL CARL



El modelo conceptual de la red de monitoreo para el CARL fue modificado principalmente por los factores siguientes:

- La distribución espacial de los tributarios obedece principalmente a la geomorfología del CARL y no se ajusta a un modelo preestablecido.
- La distribución espacial de las cargas contaminantes depende de la distribución de los núcleos de población y las zonas industriales.
- No fue técnicamente viable aplicar el modelo teórico, ya que la distribución uniforme incrementaba los costos de muestreo en algunas estaciones que por no presentar tributarios entre sus nodos, no aseguraban un gradiente diferencial en las lecturas medidas. En caso contrario, en puntos de particular interés por la existencia de un tributario sobresaliente se incrementó la densidad de nodos ubicando estaciones antes y después de dicho tributario.
- Una vez realizados los recorridos preliminares se tuvieron elementos para la realización del muestreo de los principales tributarios.
- Se prefirió una homologación de puntos de muestreo con las estaciones de CNA para buscar sinergia positiva de resultados.

Se realizaron varios recorridos a lo largo del CARL en periodos interanuales para recabar la información básica tanto natural (geomorfología) como artificial (carreteras puentes y otras infraestructuras).

Se identificaron ochenta y cinco (85) puntos a lo largo de los 50 km del Curso Alto que permitieron obtener el trazo actual del río ya que, a través del tiempo, ha sufrido modificaciones por los desasolves y el establecimiento de infraestructura como puentes, también se inventariaron cincuenta y un (51) tributarios (ríos y

descargas) con un ancho o diámetro de tubo entre 0.3 y 15 m (Tabla 7.1). Siete (7) de ellos correspondieron a ríos que desembocan en el Lerma y que, por lo general, conducen aguas residuales no tratadas de comunidades de la región (Figura 7.1). De los cincuenta y un (51) tributarios localizados, diez y nueve (19) se encuentran entubados, mientras que el resto está constituido por canales de tierra y arroyos. El conjunto de información al respecto se presenta en la Tabla 7.1, con la descripción individual de cada descarga o tributario de interés (mostrando sus dimensiones, su categorización en canales, tubos o ríos). Además, sus valores medidos en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), así como su posible origen (Anexo II).

Los principales tributarios fueron caracterizados por sus dimensiones (Figura 7.2), además, se identificaron las poblaciones y zonas industriales (Tabla 7.2) que descargan sus aguas residuales en cada uno de ellos. Dicha información fue corroborada con las zonas industriales y poblaciones reportadas por el INEGI (2000).

Para el ordenamiento de los datos se generaron tres códigos de identificación de puntos: el primero corresponde al inventario de tributarios en total, que corresponde a los valores T1...T51; el segundo fue para la identificación de los puntos que contiene la red de monitoreo del CARL, cuyos valores son de R1...R21, y un tercer código que se asignó a los tributarios que se muestrearon en el presente trabajo, cuyos valores son de D1...D13.

Se observaron marcadamente cuatro zonas a lo largo del CARL por sus características hidrográficas.

Una primera zona, comprendida entre la laguna de Almoloya del río y la carretera Toluca-Santiago Tianguistengo, donde las aguas que corren por el río Lerma son predominantemente residuales (provenientes del tributario Tenango o arroyo Agua Bendita).

Una segunda, comprendida entre la carretera Toluca-Santiago y la autopista México-Toluca, donde existen múltiples descargas difusas.

Una tercera zona, comprendida entre la autopista México-Toluca y la carretera Toluca-Naucalpan, donde comienzan las descargas de grandes dimensiones como el tributario Ocoyoacac y los canales colectores de las Torres, siendo las descargas que contienen vertidos industriales como las de Reciclagua y el arroyo Totoltepec.

Una cuarta zona es la comprendida entre la carretera Toluca-Naucalpan y la presa Alzate, caracterizada por la existencia de grandes escurrimientos pluviales a través de ríos como: Sta. Catarina, San Lorenzo, Verdiguél, Tejalpa y Temoaya.

TABLA 7.1 CATEGORIZACIÓN DE TRIBUTARIOS DEL CARL

#	Nombre	Dimensiones(m)		Coordenadas		Origen	Observaciones
		Tipo *	ancho	N	W		
T1	Drenaje de Texcaliacac	T	0.5	19.13745	99.50613	Municipal (Planta)	
T2	Drenaje	T	2 de 0.25	19.13745	99.50613	Municipal (Industrias)	Color café claro
T3, D1	Drenaje de Tenango	C	3	19.17492	99.51864	Municipal (Industrias)	Color negro
T4	Drenaje Hacienda Atenco	T	0.7	19.18414	99.51384	Municipal	
T5	Drenaje granja de cerdos	T	0.3	19.18479	99.51372	Municipal	Santiago-Toluca**
T6, D2	Drenaje Arroyo-Mezapa, Santiago Tia.	C	2	19.18684	99.51382	Municipal (Industrias)	Color rojo púrpura
T7	Drenaje de Chapultepec	C	9	19.20269	99.51432	Municipal (agroindustrias)	
T8	Drenaje Sn Pedro Tlaltizapan	T	0.5	19.20269	99.51432	Municipal	
T9	Canales de campos	C	0.5	19.20896	99.51500	Pluvial	
T10	Descarga Sn Lucas Tunco y más	C	8	19.23831	99.51570	Municipal	
T11, D3	Drenaje de Ocoyoacac	C	4	19.27801	99.52220	Municipal (Industrias)	Color gris
T12	Drenaje A de Metepec y Sn Mateo	C	4	19.27899	99.52216	Municipal (Curtiduría y otros)	
T13, D4	Drenaje B de Metepec y Sn Mateo	T	3	19.28291	99.52200	Municipal (Curtiduría y otros)	México-Toluca**
T14, D5	Descarga Planta Reciclagua	T	sumergida	19.28691	99.52153	Parque Industrial Lerma, color	Color café óxido
T15	Descarga de plantas de trat. Induce.	T	2 de 0.5	19.29376	99.52119	Residual tratada	Color Traslucido
T16	Descarga Amealco-Atarasquillo	C	1.5	19.30282	99.52118	Municipal Zona Lerma	
T17	Canales de campos	A	0.5	19.30681	99.52115	Pluvial	
T18	Río Amealco	R	5	19.31769	99.52124	Pluvial y Municipal	
T19	Descarga de Álvaro Obregón, Lerma	T	0.5	19.33431	99.52660	Municipal con bomba	
T20	Descarga por Vertedor	C	5	19.35317	99.53361	Municipal	
T21	Descarga Sta Catarina, Lerma	C	0.5	19.36091	99.53320	Municipal con bomba	
T22, D6	Des. Arroyo-Totoltepec-Toluca Oriente	C	5	19.36587	99.54527	Municipal Tratada	Color negro
T23, D7	Río Xonacatlan	R	15	19.37081	99.54969	Pluvial y Municipal	Color gris
T24	Drenaje pluvial	T	0.4	19.37666	99.55511	Pluvial	Naucalpan-Toluca **
T25	Drenaje Pluvial de Carretera	T	2 de 1	19.37725	99.55552	Pluvial	
T26	Drenaje Municipal	C	1.7	19.39058	99.56758	Municipal	
T27, D8	Descarga de la planta Toluca-Norte	C	2.3	19.39446	99.57224	Agua Tratada	Color verde claro
T28, D9	Río Sta Catarina	R	12	19.39707	99.57705	Pluvial más Municipal	Color Amarillo claro
T29	Descarga Parque Toluca 2000	C	2	19.40138	99.58726	Municipal más Industrial	
T30, D10	Río Sn Lorenzo	R	15	19.40390	99.59339	Pluvial más Municipal	Traslucida
T31	Canales de campos	A	0.5	19.40540	99.59990	Pluvial	
T32	Canales de campos	C	3	19.40525	99.60412	Pluvial	
T33	Drenaje Municipal	C	2	19.40508	99.60512	Municipal más Pluvial	
T34, D11	Río Verdiquel	R	6	19.40512	99.60787	Municipal Toluca	
T35	Drenaje de la comunidad llano de la Y	T	0.4	19.40675	99.60981	Municipal pequeña comunidad	color gris
T36	Canales de campos	A	0.5	19.40788	99.61277	Pluvial	
T37	Drenaje A de San Antonio del Puente	C	1.5	19.40809	99.61328	Municipal más Pluvial	
T38	Drenaje B de San Antonio del Puente	T	0.5	19.41045	99.61799	Municipal más Pluvial	Temoaya-Toluca **
T39, D12	Río Tejalpa	R	13	19.41173	99.61954	Municipal más Pluvial	Traslucido
T40, D13	Río Temoaya	R	5	19.41511	99.62373	Manantial más Municipal	Traslucido
T41	Drenaje de la Costa	T	0.3	19.42992	99.64169	Municipal	
T42	Drenaje de Tejocote	C	0.3	19.45916	99.65376	Municipal brazo de Alzate	
T43	Drenaje de Balbuena	T	0.3	19.44058	99.65232	Municipal	
T44	Descarga A Tlacheloya I	T	0.3	19.44527	99.65857	Municipal	
T45	Descarga B Tlacheloya I	T	0.7	19.44749	99.65981	Municipal, sumergido	
T46	Descarga C Tlacheloya I	T	2 de 0.3	19.45119	99.66340	Municipal	
T47	Descarga D Tlacheloya I	C	0.5	19.45223	99.66377	Municipal	
T48	Descarga Tlacheloya II	T	0.3	19.45868	99.66148	Municipal	
T49	Descarga de Taborda	C	0.5	19.44933	99.68886	Municipal	
T50	Descarga de la Trinidad	C	0.5	19.47285	99.66698	Municipal brazo de Alzate 5 m	
T51	Descarga Arroyo-Sn Cayetano	A	0.8	19.44879	99.70900	Municipal	Toluca-Atlacomulco**

Tributarios muestreados

R Ríos

T = tubo

C = canal

R = río

A = arroyo

**Principales carreteras

FIGURA 7.2 MAPA DE LAS DESCARGAS EN EL CARL

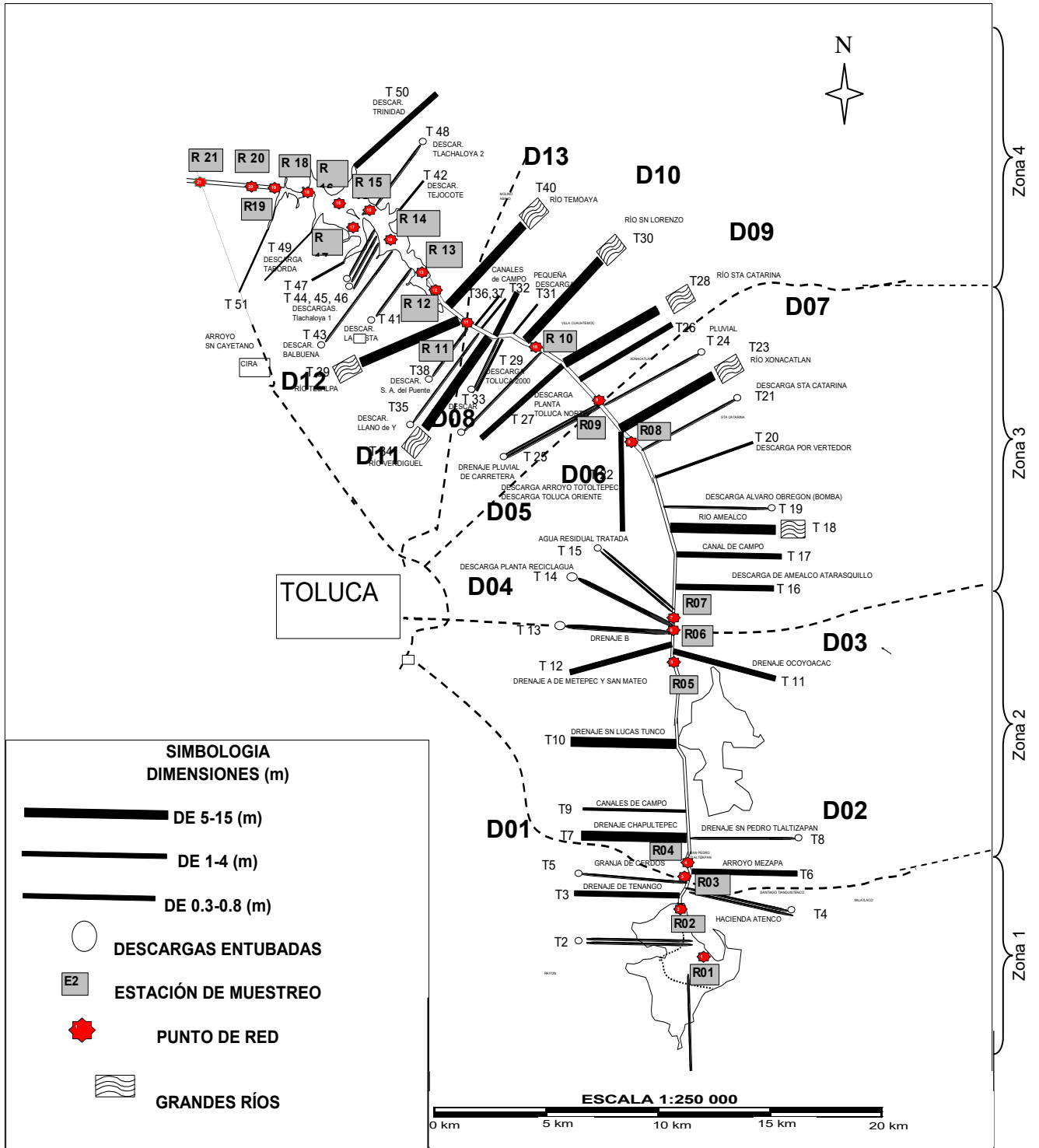


TABLA 7.2 PRINCIPALES POBLADOS Y ZONAS INDUSTRIALES QUE VIERTEN AGUAS EN EL CARL

ESTACIÓN	DENOMINADA	PRINCIPALES TRIBUTARIOS MUNICIPALES	PRINCIPALES TRIBUTARIOS INDUSTRIALES
R01	A. del Río	Texcaliacac, Almoloya del Río	No detectada
R02	Salida de la laguna	Texcaliacac, Almoloya del Río	No detectada
D01 (T3)	Tenango	Tenango del Valle	Tenango del Valle Múltiple
R03	Carr Tol-Santiago	Hacienda Atenco	No detectada
D02 (T6)	Mezapa	Sta Cruz Atizapan, Santiago Tianguistengo, Jalatlaco	Santiago Tianguistengo Metal mecánica
R04	Mezapa	Sta Cruz Atizapan, Santiago Tianguistengo, Jalatlaco	Santiago Tianguistengo Metal mecánica
R05	Ocoyoacac	Ocoyoacac	Ocoyoacac
D03 (T11)	Ocoyoacac	Ocoyoacac	Ocoyoacac
D04(T13)	Tol-Méx.	San Mateo Atenco, Metepec	San Mateo Atenco, Toluca Calzado
R06	Tol-Méx.	San Mateo Atenco, Metepec	San Mateo Atenco, Toluca Calzado
D05(T14)	Reciclagua	Corredor Industrial Toluca-Lerma	Industrias Lerma Metal mecánica
R07	Reciclagua	Corredor Industrial Toluca-Lerma	Industrias Lerma Metal mecánica
R08	Arroyo Totoltepec	Toluca, Sn Pedro Totoltepec, Lerma	Lerma El Cerrillo Exportec Toluca Oriente Agua residual tratada
D06(T22)	Arroyo Totoltepec	Toluca, Sn Pedro Totoltepec, Lerma	Lerma El Cerrillo Exportec Toluca Oriente Agua residual tratada
D07(T23)	Río Xonacatlan	Xonacatlan, Col Álvaro Obregón	Xonacatlan
R09	Carr Toluca-Naucalpan	Xonacatlan	No detectada
D08(T27)	Toluca Norte	Municipio de Toluca Agua residual tratada	Toluca 2000, PI Santín
D09(T28)	Sta. Catarina	Villa Cuauhtemoc	No detectada
R10	Puentes Cuates	Toluca, Xonacatlan, Villa Cuauhtemoc	Planta Toluca Norte, Parque Toluca 2000, Santín
D10(T30)	S.Lorenzo	Sn Lorenzo Oyamel, Mimbres, San Mateo Capulhuac	No detectada
D11(T34)	Verdiguel	Toluca, Cuexcontitlan	Toluca Centro
R11	Carr. Tol-Temoaya	San Cristóbal Huichchitlan, San Andrés Cuexcontitlan	Zona Industrial Norte de Toluca
D12(T39)	Tejalpa	Toluca, Sn Pablo Autopan, Zinacantepec, San Diego Linares, Tejalpa, Calixtlahuaca, Azcapztaltongo	Ojuelos, Zinacantepec Zona Industrial Palmillas Toluca
D13(T40)	Temoaya	Temoaya	No detectada
R12	Entrada a Alzate	Pathe	No detectada
R13	Zona A	Buenavista, San Diego Linares	No detectada
R14	Zona B	La Costa, Balbuena	No detectada
R15	Zona C	El Tejocote, Tlachaloya I y II	No detectada
R16	Zona D	La Trinidad, Taborda, San José las Lomas	No detectada
R17	Zona E	Allende	No detectada
R18	Zona F	No detectada	No detectada
R19	Compuerta Alzate	No detectada	No detectada
R20	100 después de cortina	No detectada	No detectada
R21	Pte Tol-Atlacomulco	No detectada	No detectada

Los principales tributarios (en negrita) y puntos de red, se referenciaron e identificaron, en el ámbito local, con el interés de dejarlos fijos de manera definitiva, y facilitar la localización y acceso de los actores interesados en el uso de la red. Se realizó una descripción de las estaciones de la red de monitoreo y los tributarios (en negrita) del CARL seleccionados (Tabla 7.3), el orden en que son citados y descritos corresponde a una trayectoria de sur a norte, partiendo de la laguna de Almoloya del Río hasta el puente de la carretera Toluca-Atlacomulco.

TABLA 7.3. MICROLOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

Estación de muestreo	Acceso terrestre	Descripción
R01	Por la carretera de la batería de pozos del sistema Alto Lerma. A 100m al sur de la planta de tratamiento de aguas residuales de la población de Almoloya del Río	En el costado oriente de la laguna Chignahuapan, frente al poblado de Almoloya del Río. El interés de su muestreo es conocer las condiciones predominantes en el cuerpo lacustre actual de dicha laguna ESTACIÓN DE MUESTREO CNA. CLAVE HIDROMÉTRICA 00MX12AA0040001 DENOMINADA LAGUNA CHIGNAHUAPAN EN ALMOLOYA DEL RÍO
R02	Por el camino ribereño del lado poniente del río Lerma. En trayectoria de norte a sur, llegar hasta el puente que permite acceder al interior de la laguna, la estación se estableció en el centro de dicho puente	Extremo sur de la laguna de Chignahuapan, cerca del río Lerma (aunque en la actualidad se encuentra separado). Zona donde anteriormente la laguna vertía sus aguas al Río Lerma.
D01	Acceder por el camino ribereño del río Lerma, bordeando hasta encontrar el taponamiento que separa a la laguna de Chignahuapan del río, Lerma. Ahí, pasar a la rivera poniente del río, caminar de sur a norte 400m (hasta encontrar el tributario). La trayectoria de inserción de la descarga es de oriente a poniente	Primer tributario de interés en el río Lerma nombrado también arroyo Agua Bendita. Su origen se encuentra en el Nevado de Toluca y colecta aguas residuales de municipios como Tenango del Valle, Rayón y la Isla, entre otros. Es el tributario que da movimiento inicial al Río Lerma.

R03	Sobre la carretera Toluca-Santiago Tianguistengo. Se accede directamente, al costado sur de dicho puente, donde se ubica la estación de aforo de CNA y a un costado del monumento a la ruta de la independencia	Primera estación , donde el movimiento del agua en el río Lerma ya es perceptible. Sus aguas son predominantemente residuales, su color es negro ESTACIÓN DE MUESTREO CNA CLAVE HIDROMÉTRICA 00MX12AAA0120001 Nota: no muestrada
D02	Acceder por la carretera Toluca-Santiago Tianguistengo. En el puente de la Hacienda de Atenco caminar por la rivera oriente del río 230m hacia el norte. La trayectoria se inserta en el río Lerma con trayectoria de oriente a poniente	Segundo tributario de interés sobre el río Lerma. Sus aguas provienen de los poblados de Capulhuac, Santiago Tianguistengo, Santa Cruz Atizapan, Xalatlaco y otros. Su ancho es aproximadamente de 4m.
R04	Acceder por la carretera Toluca-Santiago Tianguistengo. En el puente de la Hacienda de Atenco, caminar por la rivera poniente del Río Lerma 250 m al norte, donde las aguas del arroyo Mezapa han alcanzado una mezcla total con las del Río Lerma	El interés este punto de la red de monitoreo es evaluar el impacto de la contaminación en los tramos iniciales del río Lerma.
R05	Puente peatonal de San Mateo Atenco. Acceder por la carretera México-Toluca en la intersección con el río Lerma, caminar por la rivera poniente, de norte a sur 700m. en el puente peatonal, se estableció la estación	El interés de monitoreo es verificar el enriquecimiento o autodepuración del tramo comprendido entre el arroyo Mezapa y la presente estación cuya longitud es de 9 969m, antes de cargarse de contaminantes en la zona de descarga de los corredores industriales de Ocoyoacac y Lerma.
D03	En el puente peatonal de San Mateo Atenco. Cruzar el puente peatonal de la rivera poniente a la rivera oriente y ahí caminar de sur a norte 150m. La descarga se inserta al río Lerma con trayectoria suroriente a norponiente.	Canal que aparece entre los campos de 3.5m de ancho 0.4m de profundidad sus aguas están altamente cargadas, provenientes de la zona industrial de Ocoyoacac y aguas municipales de las comunidades que en él descargan.

<p>D04</p>	<p>Descender en los puentes de los cuerpos centrales de la autopista México-Toluca. Ahí se detecta con facilidad un tubo de 2m de diámetro que es la descarga en estudio. La descarga se inserta en el río Lerma con trayectoria poniente a oriente</p>	<p>Contiene aguas residuales provenientes de las poblaciones Toluca, Metepec y San Mateo Atenco.</p>
<p>R06</p>	<p>En el centro de la carretera lateral cuya trayectoria es de México-Toluca. Descender su interior por el canal que se ubica en el centro de los dos cuerpos de la autopista que corre de oriente a poniente.</p>	<p>Evaluar las modificaciones sufridas en el río Lerma por las cargas de Ocoyoacac, Metepec, San Mateo y los tributarios que se encuentran en el centro de los cuerpos de la autopista México-Toluca. ESTACIÓN DE MUESTREO CNA. CLAVE HIDROMÉTRICA 000MX12AA0510001 DENOMINADA: CARRETERA MÉXICO-TOLUCA</p>
<p>D05</p>	<p>Acceder por la carretera que corre paralela a la autopista México-Toluca con trayectoria Toluca Atarasquillo. En su intersección con el río Lerma, caminar en trayectoria de sur a norte por la rivera poniente 350m. Se encuentra entonces un tubo de inyección parcialmente sumergido en el río Lerma con 1m de diámetro, cuyo material de construcción es piedra y concreto. La descarga se inserta en el río Lerma con trayectoria poniente a oriente</p>	<p>Descarga de interés procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales Reciclagua, su presencia es rápidamente detectable por los vapores que de sus aguas se desprenden, debido a las temperaturas superiores a las del ambiente. Su color es particularmente llamativo siendo café oxido y su inserción en el río Lerma genera una turbulencia marcada. El canal de concreto que emite dichas aguas proviene de la planta Reciclagua.</p> <p>Nota: puede encontrarse el tubo de descarga sumergido en el río Lerma en aguas altas.</p>
<p>R07</p>	<p>La trayectoria de acceso es la misma que de la descarga anterior, con la particularidad de que sobre la rivera poniente del río Lerma en trayectoria de sur a norte se debe de caminar 200m más, aguas abajo.</p>	<p>Evaluar el impacto de la tributación de la planta de tratamiento Reciclagua y de las zonas industriales que preceden al presente punto de red.</p>

R08	Acceder por la carretera Toluca-Naucaupan. En su intersección con el río Lerma, abordar la riera poniente con trayectoria de norte sur, recorrer 1750m aguas arriba. Se deberán rebasar la posición aguas arriba del arroyo Totoltepec, en 140m.	Evaluar las modificaciones sufridas por el río Lerma en el tramo Reciclagua-Totoltepec donde los tributarios son, en su mayoría por bombeo ya el que el río Lerma se presenta con mayor altura piezométrica que los campos que en las rieras se ubican. Así como conocer las condiciones que preceden a la inserción de arroyo Totoltepec. ESTACIÓN DE MUESTREO CNA. CLAVE HIDROMÉTRICA: SIN CLAVE, DENOMINADA TOTOLTEPEC
D06	Acceder por la carretera Toluca-Naucaupan. En su intersección con el río Lerma, abordar la riera poniente e iniciar una trayectoria de norte a sur y caminar 1600m aguas arriba. La descarga se inserta con trayectoria de sur a norte al río Lerma.	El arroyo Totoltepec es de interés ya que, colecta aguas de zonas industriales en trayectoria paralela al río Lerma
D07	Acceder por la carretera Toluca-Naucaupan y, en su intersección con el río Lerma abordar la riera oriente del río ahí caminar aguas arriba 720m. El río se inserta en el Lerma con trayectoria oriente a poniente	Es el primer río de grandes dimensiones en el CARL, su ancho es de 20m. Se une al río Lerma en dirección oriente a poniente.
R09	Acceder por la carretera Toluca-Naucaupan. En su intersección con el río Lerma, descender a la parte inferior del puente	Evaluar el impacto que ha sufrido el río Lerma por el arroyo Totoltepec principalmente. ESTACIÓN DE MUESTREO CNA CLAVE HIDROMÉTRICA 00MX12AK1150001 DENOMINADA CARRETERA TOL-NAUCALPAN
D08	Paralelo a la carretera Toluca-Villa Cuauhtemoc, en su costado oriente, corre el canal objeto de estudio. Su inserción en el río Lerma es en trayectoria de sur a norte	Conocer las características del efluente de la planta de tratamiento Toluca-norte. El color de sus aguas es tenuemente verdoso

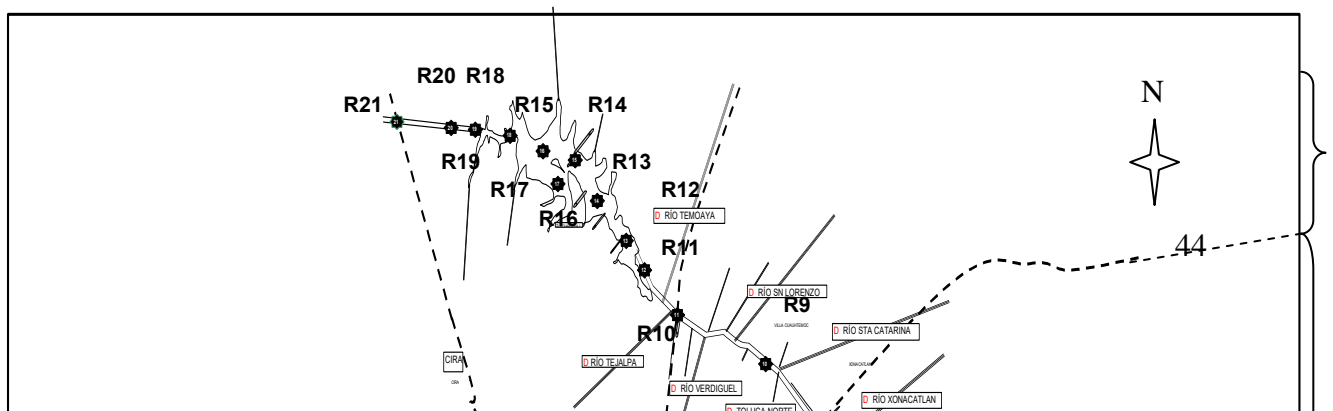
D09 STA	Acceder por la carretera a fabrica María y a Villa Cuauhtemoc. En su intersección con el río Lerma, ubicarse en el puente norte de los puentes cuates. Su inserción al río Lerma ocurre con trayectoria de sur oriente a norponiente.	Río que proviene de la zona boscosa de la Sierra de las Cruces, además, lleva en su cauce aguas residuales municipales de los poblados de Sta. Catarina y Oztolotepec
R10	Por la carretera Toluca-Villa Cuauhtemoc, sin pasar los puentes cuates, abordar la rivera sur del río Lerma y descender aguas abajo 380m, deberá rebasarse el delta del río Santa Catarina, por más de 50m.	Conocer las modificaciones sufridas por el río Lerma debido a la tributación de la planta Toluca norte y del río Sta. Catarina. ESTACIÓN DE MUESTREO CNA. SIN CLAVE HIDROMÉTRICA: DENOMINADA VILLA CUAUHTEMOC
D10	Acceder por la carretera Toluca-Temoaya. En su intersección con el río Lerma, caminar por la rivera sur, aguas arriba, 2740m. El tributario se inserta en el río Lerma con trayectoria norte a sur	Río cuyas aguas provienen principalmente de las zonas forestales de San Lorenzo Oyamel, su trayectoria es de norte a sur.
D11	Acceder por la carretera Toluca-Temoaya. Abordar la rivera sur y caminar por ella aguas arriba 1200m. La descarga se inserta al río Lerma con trayectoria sur a norte.	Río de gran longitud, con origen en el Nevado de Toluca que, además de aguas de deshielo y pluviales, carga gran cantidad de contaminantes provenientes de la densa población del municipio de Toluca.
R11	Carretera Toluca-Temoaya, en el centro del puente que permite pasar el río Lerma.	Evaluar el impacto sufrido en el río Lerma principalmente por el río Verdiguél ESTACIÓN DE MUESTREO CNA. CLAVE HIDROMÉTRICA: 00MX12AB0870002 DENOMINADA PUENTE CARRETERA TOLUCA- TEMOAYA
D12	Por la carretera Toluca Temoaya, abordar la rivera sur del río Lerma y caminar aguas abajo 230m. Se encuentra un puente cruce peatonal del Tejalpa. Sus aguas entran al río Lerma con trayectoria sur a norte.	Río de gran longitud originado en el Nevado de Toluca, que lleva en su cauce aguas de deshielo, pluviales y gran cantidad de aguas residuales provenientes de los municipios de Toluca y Zinacantepec. Durante episodios de lluvia, sus avenidas son particularmente grandes

D13	Acceder por la carretera Toluca-Temoaya. Abordar la rivera norte y caminar aguas abajo 800m, hasta encontrar la inserción del río con trayectoria de norte a sur.	Río que se encuentra en posición opuesta al río Tejalpa, sus aguas provienen de zonas boscosas y manantiales, principalmente.
R12	Se accede por la carretera Toluca-Temoaya. En el puente con el mismo nombre, abordar la rivera norte del río Lerma y recorrer de oriente a poniente 1 000m.	La zona es diferente hidráulicamente, ya que el río tiene 30m de ancho y presenta un pequeño incremento en la pendiente, lo que origina que sea visible el fondo. ESTACIÓN DE MUESTREO CNA CLAVE HIDROMÉTRICA : 00MX12AB0870002 DENOMINADA ALZATE
R13	Se accede en lancha por el embarcadero de la comunidad de Tlachaloya I. Viajar aguas arriba en trayectoria poniente oriente 5500m aguas arriba	Zona de interés donde las aguas del río Lerma se mezclan con las aguas de la presa Alzate. Por la disminución de velocidad de las aguas, es la zona donde se sedimentan grandes cantidades de sólidos. Zona A
R14	Acceder por el embarcadero de Tlachaloya I. En lancha, viajar en trayectoria oriente poniente 2300m	Es la zona donde la presa Alzate comienza a ensancharse. Zona B
R15	Se accede en lancha por el embarcadero de. viajar aguas adentro en trayectoria norte Tlachaloya I	Zona ubicada entre las comunidades de Tlachaloya I y Tlachaloya II. Es la zona donde (en un solo cuerpo) la presa Alzate alcanza su mayor ancho. Zona C
R16	Acceder por el embarcadero de Tlachaloya I. Viajar aguas abajo 1200m	Zona central de los dos grandes brazos de la presa Alzate originado por el cuerpo terrestre de Tlachaloya que penetra a la presa en forma peninsular. Zona D
R17	Acceder por el embarcadero de Tlachaloya I. Bordear al mismo poblado con trayectoria sur	Brazo sur de la presa Alzate que tiene un efecto pistón con ciclos de recarga anuales. Se aísla del resto de la presa con un plegamiento terrestre que al descender las aguas, queda como una isleta que forma un bordo y detiene las aguas dentro de la zona E.
R18	Acceder por el embarcadero de Tlachaloya I. Viajar aguas abajo 4500m.	Es la zona cercana a la compuerta de la presa Alzate, su ancho es reducido pero donde la presa alcanza mayor profundidad. Zona F
R19	Acceder por la carretera Toluca-San José las lomas. En el puente la compuerta se accede directamente	Zona donde las aguas salen de la presa Alzate lo que puede ser por dos vías: la compuerta o el vertedor de demasías. Compuerta Alzate

R20	Acceder por la carretera Toluca-San José las Lomas. En el puente de la compuerta, caminar con trayectoria hacia el poniente 200m	Zona donde las aguas han perdido la turbulencia de la compuerta y se estabilizan para integrarse al cuerpo del río.
R21	Carretera libre Toluca-Atlacomulco. En el puente denominado San Bernabé, debajo del puente, en el centro	Zona donde comienza el curso medio del río Lerma

En el laboratorio de hidrogeomática del CIRA, se procedió al traslado de la información a sistemas de información geográfica (SIG) para la validación de las coordenadas y dimensiones de la red de monitoreo (Figura 7.3). Con lo que se pudieron obtener las dimensiones que se presentan en la Tabla 7.4.

FIGURA 7.3 RED DE MONITOREO Y PRINCIPALES TRIBUTARIOS EN EL CARL



R21.- ESTACIÓN DE MUESTREO UBICADA EN AL PUENTE DE LA CARRETERA LIBRE TOLUCA ATLAZOMULCO
R20.- ESTACIÓN DE MUESTREO UBICADA A 100 M AL NORTE DE LA COMPUERTA DE LA PRESA JOSÉ ANTONIO ALZATE
R19.- ESTACIÓN DE MUESTREO UBICADA EN LA COMPUERTA DE LA PRESA JOSÉ ANTONIO ALZATE
R18.- ESTACIÓN DE MUESTREO DE LA ZONA F DE ALZATE
R17.- ESTACIÓN DE MUESTREO DE LA ZONA E DE ALZATE
R16.- ESTACIÓN DE MUESTREO DE LA ZONA D DE ALZATE
R15.- ESTACIÓN DE MUESTREO DE LA ZONA C DE ALZATE
R14.- ESTACIÓN DE MUESTREO DE LA ZONA B DE ALZATE
R13.- ESTACIÓN DE MUESTREO DE LA ZONA A DE ALZATE
R12.- ESTACIÓN DE MUESTREO EN LA ENTRADA DE LA PRESA ALZATE
R11.- ESTACIÓN DE MUESTREO EN EL PUENTE TOLUCA - TEMOAYA
R10.- ESTACIÓN DE MUESTREO DELANTE DEL RÍO STA CATARINA
R9.- ESTACIÓN DE MUESTREO PUENTE TOLUCA-NAUCALPAN
R8.- ESTACIÓN DE MUESTREO ANTES DE ARROYO TOTOLTEPEC
R7.- ESTACIÓN DE MUESTREO DESAPUES DE LA DESCARGA DE RECICLAGUA
R6.- ESTACIÓN DE MUESTREO CARRETERA MÉXICO-TOLUCA
R5.- ESTACIÓN DE MUESTREO ANTES DE LA DESCARGA DE OCOYOACAC
R4.- ESTACIÓN DE MUESTREO DESPUÉS DEL ARROYO MEZAPA
R3.- ESTACIÓN DE MUESTREO AVRRETERA TOLUCA-SANTIAGO
R2.- ESTACIÓN DE MUESTREO LADO NORTE LAGUNA DE ALMOLOYA DEL RÍO
R1.- ESTACIÓN DE MUESTREO PARTE CENTRAL LAGUNA DE ALMOLOYA DEL RÍO

TABLA 7.4 DIMENSIONES DE LA RED DE MONITOREO DEL CARL

ESTACIÓN	Distancia entre estaciones (m)	CUMULATIVA (km+m)
R01 ALMOLOYA		0+0
R02 ALMOLOYA	2658	2+658
D01 TENANGO	1181	3+839
R03 TOL-SANTIAGO	1207	5+046
D02 MEZAPA	234	5+280
R04 MEZAPA	8	5+288
R05 SAN MATEO	9969	15+257
D03 OCOYOACAC	152	15+409
D04 MEXICO-TOL	543	15+952
R06 MEX-TOL	20	15+972
D05 RECICLAGUA	439	16+412
R07 RECICLAGUA	143	16+554
R08 TOTOLTEPEC	8835	25+390
D06 TOTOLTEPEC	139	25+528
D07 XONACATLAN	717	26+246
R09 TOL-NAU	883	27+128
D08 TOL-NORTE	2647	29+776
D09 S CATARINA	582	30+358
R10 DES. PUENTES CUATES	377	30+735
D10 S LORENZO	1497	32+232
D11 VERDIGUEL	1526	33+759
R11 TOL-TEM	1207	34+966
D12 TEJALPA	224	35+189
D13 TEMOAYA	577	35+767
R12 ENTRADA ALZATE	120	35+887
R13 ZONA A	3180	39+066
R14 ZONA B	1274	40+341
R15 ZONA C	1042	41+383
R16 ZONA D	1181	42+564
R17 ZONA E	1238	43+802
R18 ZONA F	2163	45+965
R19 COMPUERTA ALZATE	2095	48+061
R20 100m ABAJO DE LA COMPUERTA	193	48+254
R21TOL-ATLA	5190	53+444

7.2. Aplicación de la red estratégica de monitoreo al estudio de los parámetros físico-químicos.

La red de monitoreo debía tener como característica principal ser flexible, de manera que la selección de los puntos se pueda ajustar a los intereses particulares de cualquier investigación. En este sentido, para conseguir los fines del proyecto global, en el cual se enmarca esta tesis, de los 21 puntos de red, se muestrearon 15, así como 13 tributarios (Tabla 7.5).

TABLA 7.5 COORDENADAS GPS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Estación	COORDENADAS		Estación	COORDENADAS	
	N	W		N	W
R1	19.15254	99.49194			
R2	19.16561	99.51315			
			D1	19.17493	99.51866
			D2	19.18677	99.51354
R4	19.18709	99.56375			
R5	19.27664	99.52235			
			D3	19.27768	99.52177
			D4	19.28281	99.52214
R6	19.28295	99.52181			
			D5	19.28691	99.52153
R7	19.28757	99.52159			
R8	19.36510	99.54423			
			D6	19.36587	99.54527
			D7	19.37070	99.54916
R9	19.37694	99.55507			
			D8	19.39440	99.57231
			D9	19.39525	99.57258
R10	19.39842	99.58035			
			D10	19.40400	99.59267
			D11	19.40569	99.60781
R11	19.41043	99.61791			
			D12	19.41146	99.61958
			D13	19.41548	99.62373
R12	19.41558	99.62476			
R15	19.44918	99.65943			
R16	19.45810	99.66561			
R19	19.46611	99.70463			
R20	19.46663	99.70639			
R21	19.47118	99.75560			

En el estudio de cada uno de los parámetros físico-químicos evaluados, se presenta un mapa conceptual del CARL, donde se muestran los valores medidos para época de lluvias y para estiaje (valor mostrados entre paréntesis). También se ofrece una tabla, donde se muestran los principales estadísticos de cada una de las dos series de datos (época de lluvias y de estiaje), así como un valor de correlación entre aguas altas y bajas.

Los datos mostrados correspondieron, a los valores puntuales medidos en el momento de la realización de los muestreos. Al respecto, cabe aclarar, por ejemplo, que el valor medio de caudal mostrado, corresponde a la media de la serie de datos puntuales mostrados y no a la media del caudal de dicho cauce.

Otro resultado que vale destacar, es el rango mostrado, delimitado por el valor máximo y mínimo, donde dicho valor muestra la amplitud del intervalo de valores de la serie de datos mostrados y no el rango de variación del parámetro en un cauce.

Entonces, los datos de las tablas de estadísticos de resultados muestran el máximo, media, mínimo, desviación estándar, curtosis, asimetría y coeficiente de correlación, resultado de una campaña de muestreo puntual de cada uno de los periodos estacionales de estudio.

7.2.1. Caudales

Una vez medidas las velocidades en los distintos puntos del río, con los datos de la geometría del mismo se procedió a la estimación de los caudales.

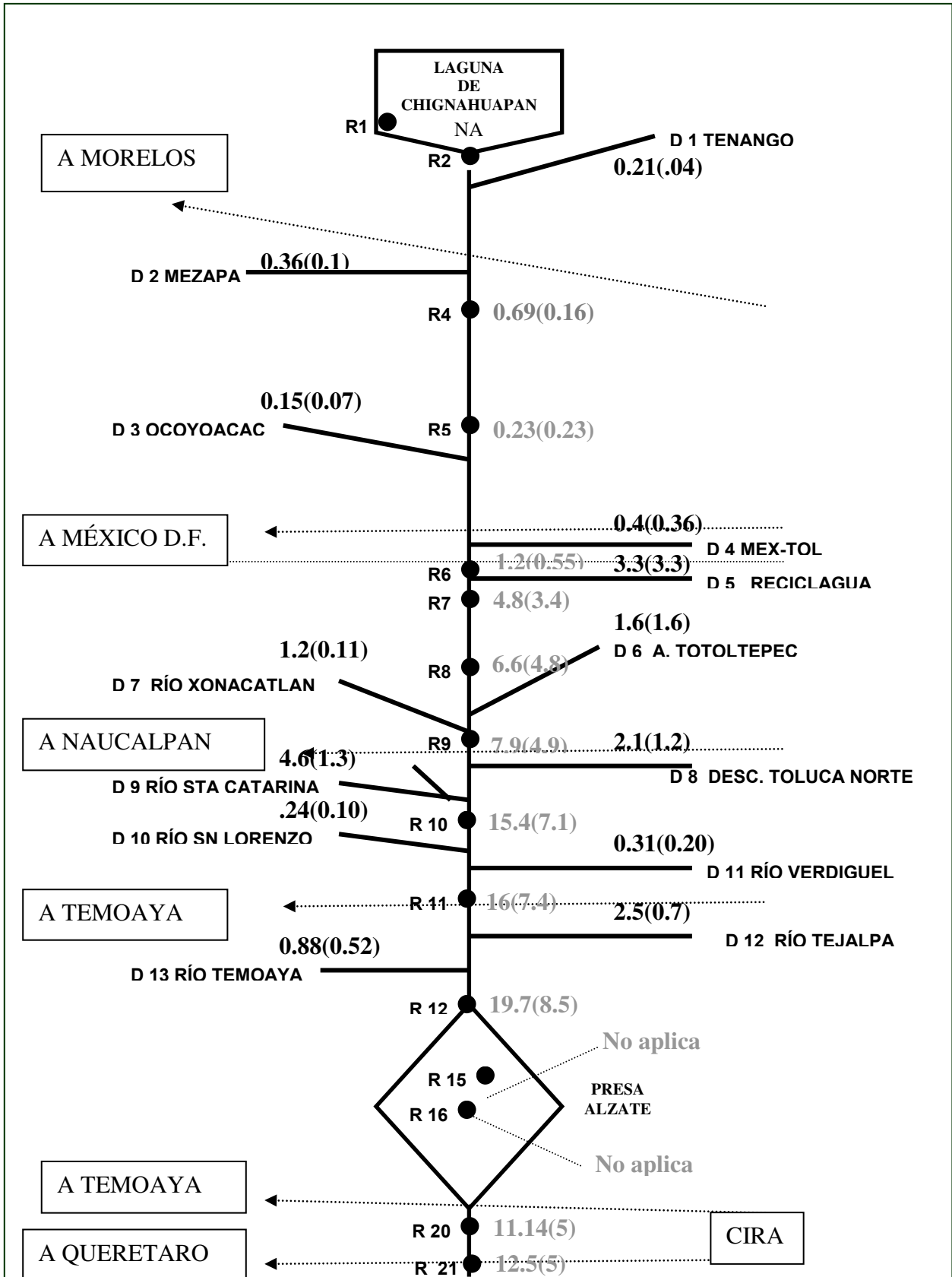
En los puntos de red como puede observarse en la Figura 7.4, el máximo se midió en la estación R12 que correspondieron a la entrada de la presa Alzate, ya que a lo largo del recorrido del río los caudales se van sumando en forma acumulativa, Los caudales máximos medidos en los tributarios (Tabla 7.6) correspondieron en aguas altas, al río Santa Catarina y, en aguas bajas, a la descarga Reciclagua, aunque se debe considerar además, que pueden existir picos en los tributarios que no se detectaron en los muestreos puntuales realizados, como ejemplo, el río Tejalpa puede alcanzar avenidas de 30 m³/s (Díaz *et al.*, 2000). Por su valor de curtosis (Tabla 7.6), el caudal de los tributarios es muy cercano a la media, especialmente en aguas bajas, mientras que en los puntos de red, los caudales se separan de la media. La asimetría en los tributarios es hacia la derecha, porque los influentes más caudalosos se encuentran en el tramo final del CARL. Mientras que para los puntos de red, en aguas bajas, la curva es asimétrica hacia izquierda, por la disminución de los caudales de los grandes ríos y la presencia constante de influentes residuales en los tramos inicial y medio del CARL.

TABLA 7.6 ESTADÍSTICOS DE CAUDALES (m³/s) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	19.8	8.5	4.6	3.3
media	8.8	4.7	1.4	0.7
mínimo	0.6	0.2	0.2	0.0
desviación estándar	6.7	2.9	1.4	0.9
curtosis	-1.3	-0.9	0.8	4.2
asimetría	0.2	-0.6	1.2	1.9
c correlación	1.0		0.7	

Por su correlación, los caudales muestran el mismo patrón de comportamiento para aguas altas y bajas (Tabla 7.6)

FIGURA 7.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE CAUDALES (m³/s) EN EL CARL



7.2.2. Velocidad

Las velocidades más altas medidas en el CARL correspondieron a puntos particulares como estrechamientos de la sección por puentes, o caídas por escalonamientos ya que, en términos generales, el CARL presenta velocidades bajas porque su pendiente a lo largo de sus 50 km es menor a 30m, lo que hace que no presente grandes variaciones en velocidad (Figura 7.5). La máxima velocidad, en periodo de aguas altas, en los tributarios, se midió en el canal de la tributación de la planta Toluca norte (Figura 7.5).

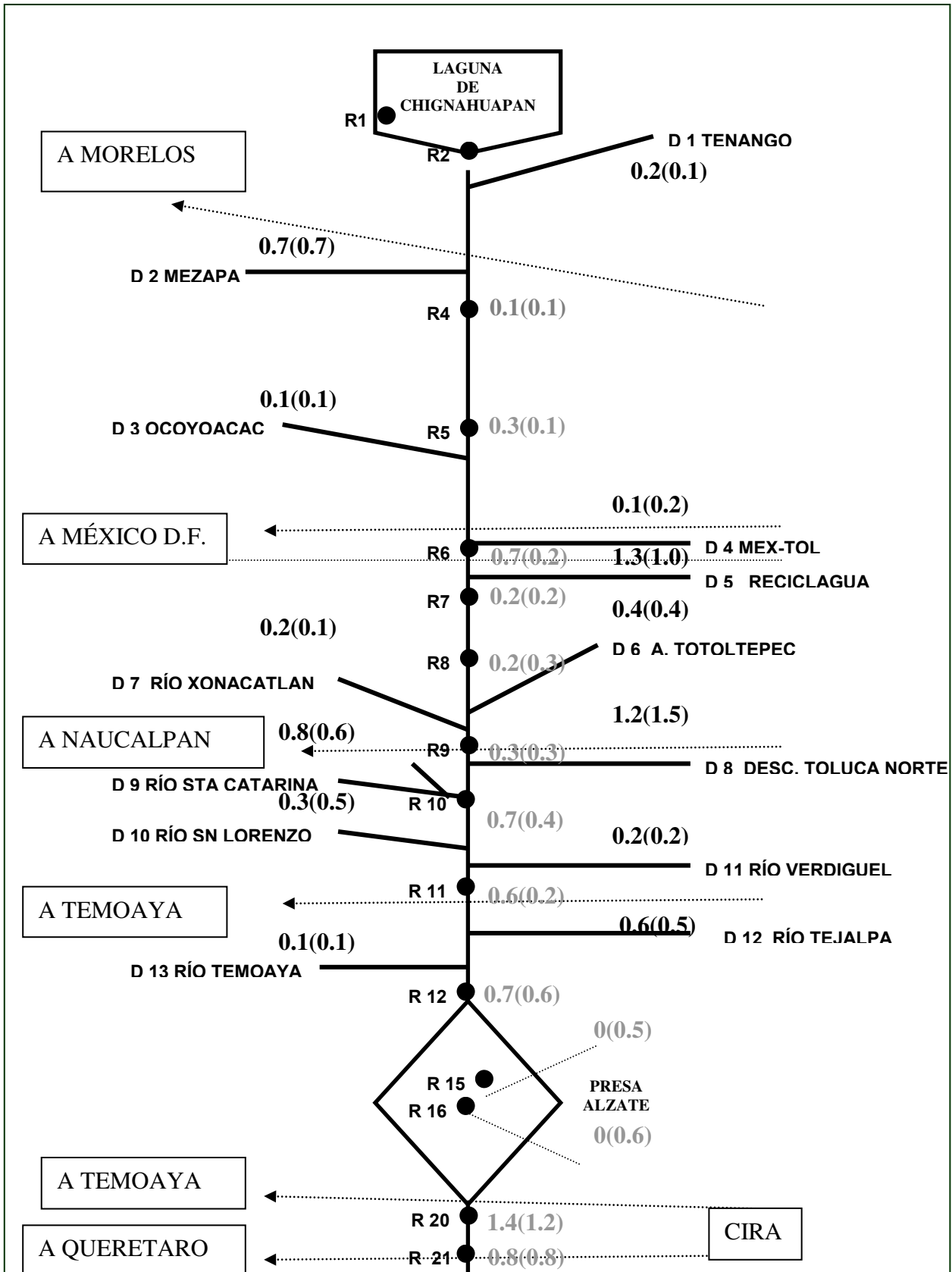
Por los valores de curtosis (Tabla 7.7), todos los valores son cercanos a la media, excepto en los tributarios en aguas altas donde cada tributario toma su propio patrón de velocidades según sus dimensiones, los episodios climáticos y la superficie de su subcuenca. Por su asimetría, para todos los casos, las mayores velocidades se registran en el tramo final del CARL, al ser donde se suman los caudales, ya que la sección del CARL es aproximadamente constante.

TABLA 7.7 ESTADÍSTICOS DE VELOCIDADES (m/s) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	1.4	1.3	1.2	1.5
media	0.4	0.4	0.5	0.5
mínimo	0.0	0.0	0.1	0.1
desviación estándar	0.4	0.3	0.4	0.4
curtosis	0.5	1.4	-1.1	0.6
asimetría	0.9	1.2	0.5	1.0
c correlación	0.7		1.0	

Por sus valores de correlación, tanto los puntos de red como los tributarios muestran el mismo patrón de comportamiento para aguas altas y bajas (Tabla 7.7).

FIGURA 7.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE VELOCIDADES (m/s) EN EL CARL



7.2.3. Temperatura

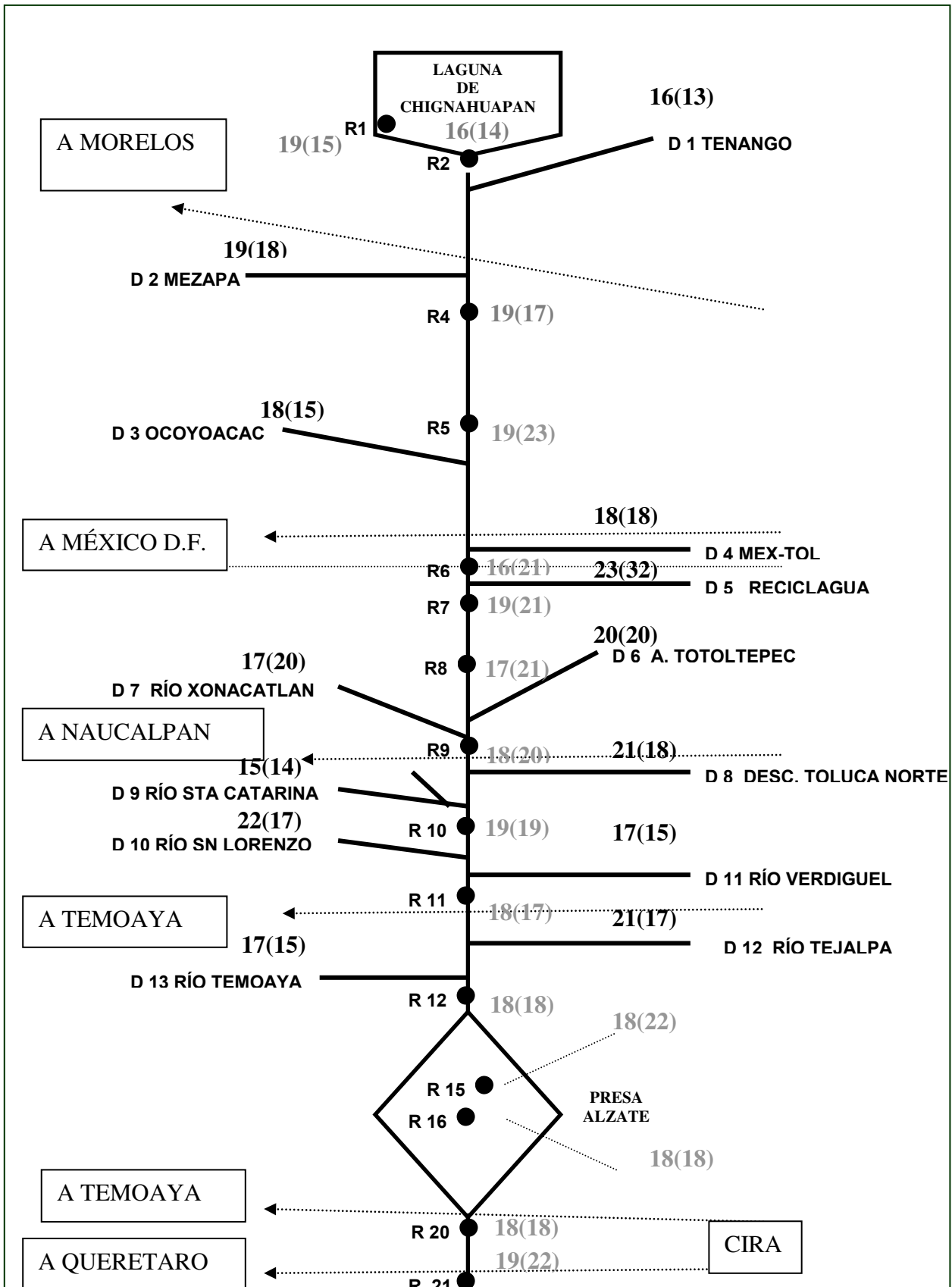
La máxima temperatura en los tributarios en aguas altas y bajas fue medida en la descarga Reciclagua, reportando un máximo de 32°C que a pesar de estar por debajo de la NOM, por su caudal, impactó en la temperatura del río sobre todo en aguas bajas, aunque cabe aclarar: en ninguno de los puntos muestreados se rebasó el valor de 40°C que marca la NOM (Figura 7.6). La diferencia de temperatura promedio de aguas altas y bajas no alcanza los 2°C (Tabla 7.8).

TABLA 7.8 ESTADÍSTICOS DE TEMPERATURA (°C) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	19.0	22.9	22.9	32.0
media	17.9	19.1	18.7	18.0
mínimo	15.6	14.0	15.5	13.6
desviación estándar	1.1	2.6	2.3	4.7
curtosis	-0.2	-0.3	-1.0	7.1
asimetría	-0.9	-0.5	0.4	2.4
c correlación	0.1		0.6	

Por su correlación, los tributarios siguen un patrón de comportamiento semejante en aguas altas y bajas, mientras que en los puntos de red, la temperatura se ve más influida por las condiciones ambientales (Tabla 7.8).

FIGURA 7.6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE TEMPERATURAS (°C) EN EL CARL



7.2.4. Potencial de Hidrógeno

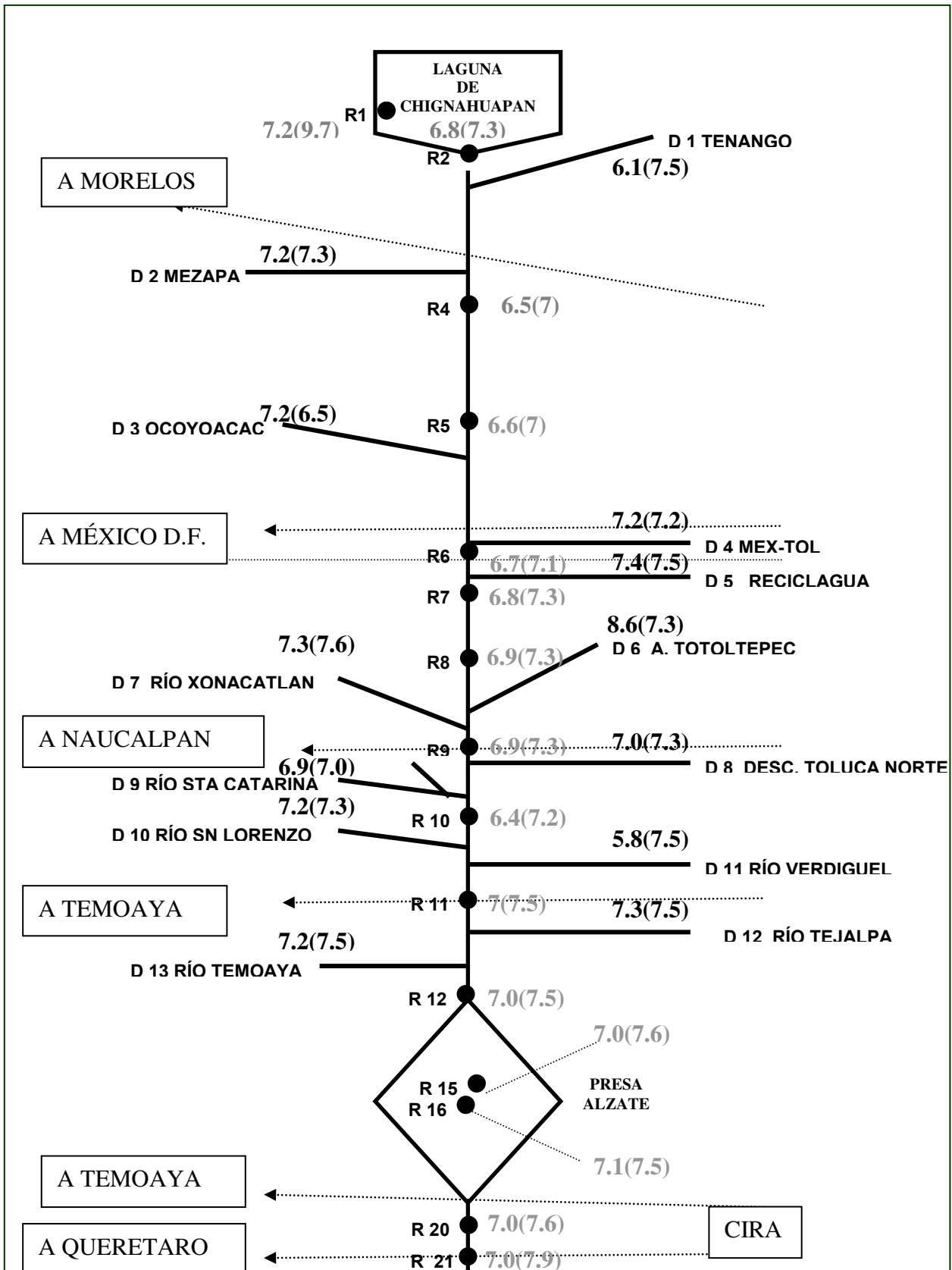
En los puntos de red del CARL (Figura 7.7), el pH medido tiene valores alrededor de la neutralidad, con una baja desviación estándar, incrementándose ésta ligeramente en aguas bajas por el valor medido en la laguna de Almoloya del Río. El valor máximo del potencial de hidrógeno en los tributarios, para aguas altas, correspondió al arroyo Totoltepec y, para el periodo de aguas bajas, al río Xonacatlan. El valor mínimo de potencial de hidrógeno medido en el periodo de aguas altas correspondió al río Verdiguél y para el periodo de aguas bajas, al tributario Tenango. En los puntos de red, el valor máximo para aguas altas y bajas se encontró en la laguna de Almoloya del Río.

TABLA 7.9 ESTADÍSTICOS DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	7.2	9.7	8.6	7.6
media	6.9	7.5	7.1	7.2
mínimo	6.4	7.0	6.0	5.5
desviación estándar	0.2	0.7	0.6	0.6
curtosis	-0.5	9.2	2.6	6.0
asimetría	-0.5	2.8	0.2	-2.4
c correlación	0.7		0.4	

Por su correlación, en los puntos de red, el patrón de comportamiento es semejante para aguas altas y bajas; mientras que los tributarios, se ven más influidos por las condiciones ambientales (Tabla 7.9).

FIGURA 7.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN EL CARL



7.2.5. Conductividad

El valor máximo de conductividad medido en el CARL (Figura 7.8) para los periodos de aguas altas y bajas correspondió a la descarga Reciclagua, mientras que, el mínimo, para aguas altas y bajas, correspondió al tributario Temoaya, que es el único que, en la actualidad, transporta agua proveniente de los manantiales de tres ojuelos. El valor máximo en los puntos de red para el periodo de aguas altas correspondió al punto R07 Reciclagua, por el impacto del tributario del mismo nombre. Asimismo, el máximo en aguas bajas correspondieron al punto Totoltepec, donde sigue persistiendo el impacto de la descarga Reciclagua.

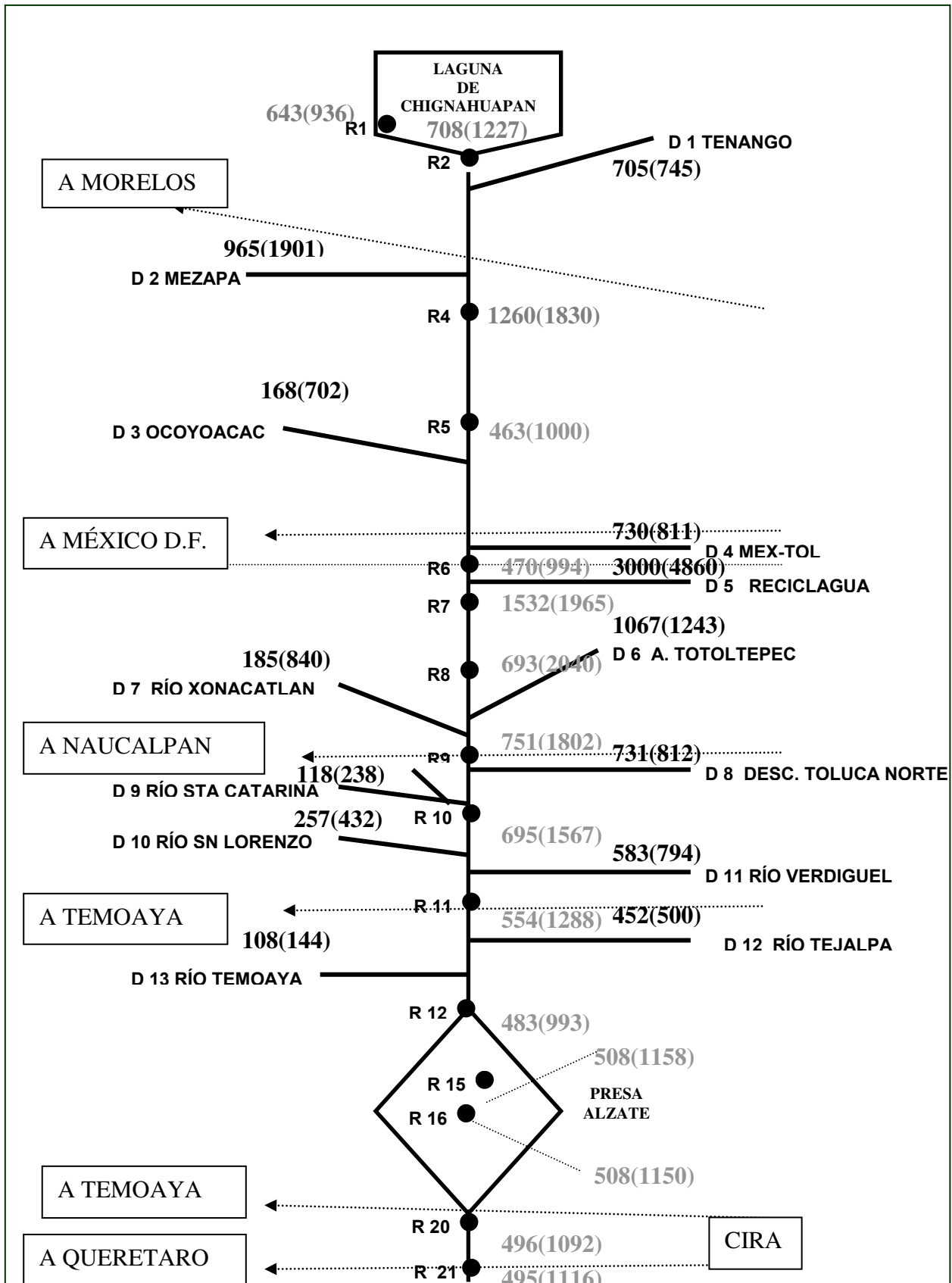
TABLA 7.10 ESTADÍSTICOS DE CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	1532.0	2040.0	3000.0	4860.0
media	683.9	1343.9	698.4	1078.6
mínimo	463.0	936.0	108.0	144.0
desviación estándar	309.7	387.4	763.5	1220.3
curtosis	3.9	-1.0	7.6	8.9
asimetría	2.1	0.8	2.5	2.9
c correlación	0.7		1.0	

Los resultados de curtosis indican que en los tributarios todos los valores se encuentran cercanos a la media, mientras que, en los puntos de red, los datos se dispersan en aguas bajas. Su asimetría, para todos los casos, es a la derecha ya que los tributarios con valores más altos de conductividad se ubican en la segunda mitad del CARL.

Por su valores de correlación, los puntos de red y los tributarios siguen el mismo patrón de comportamiento en aguas altas y bajas (Tabla 7.10).

FIGURA 7.8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$) EN EL CARL



7.2.6. Oxígeno Disuelto

Los valores de OD a lo largo del río son cercanos a cero para aguas altas y bajas (Figura 7.9), sólo se midieron valores entre 5-8 mg/L en la laguna de Almoloya del río y entre 3-5 mg/L en la compuerta de la presa Alzate, lo que puede deberse a la actividad fotosintética de las algas que en el agua se encuentran.

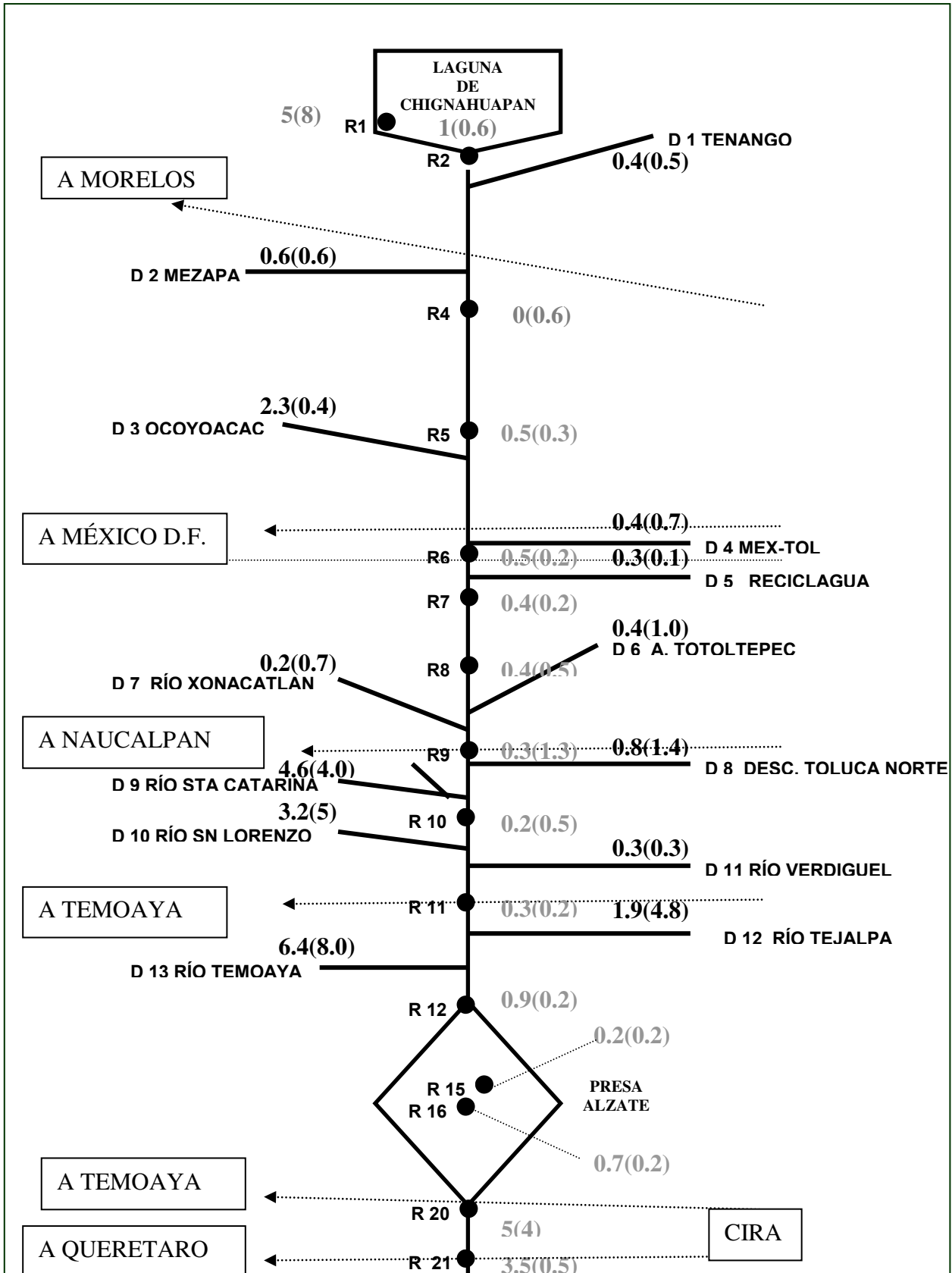
Los valores máximos medidos en los tributarios se determinaron en el río Temoaya, tanto para aguas altas como bajas. El valor mínimo, para aguas altas, correspondió al río Xonacatlan y para bajas, a Reciclagua, con valores cercanos a cero.

TABLA 7.11 ESTADÍSTICOS DE OXÍGENO DISUELTO (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	5.0	8.0	6.4	8.0
media	1.3	1.2	1.6	2.1
mínimo	0.2	0.2	0.2	0.1
desviación estándar	1.7	2.1	2.0	2.5
curtosis	1.5	8.4	1.4	1.0
asimetría	1.7	2.9	1.5	1.4
c correlación	0.8		0.9	

El valor de curtosis, para todos los casos, es positivo y, por tanto, los datos se concentran alrededor de la media. Para todos los casos los valores son asimétricos a la derecha, por la existencia de tributarios menos contaminados en tramo final del CARL. Por sus valores de correlación, tanto los puntos de red, como los tributarios, muestran el mismo patrón de comportamiento en aguas altas y bajas (Tabla 7.11).

FIGURA 7.9 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE OXÍGENO DISUELTO (mg/L) EN EL CARL



7.2.7. Turbiedad

El valor máximo de turbiedad para los tributarios correspondió al río Verdiguél (Figura 7.10) en periodo de aguas altas y a la descarga de Reciclagua en periodo de aguas bajas; en los puntos de red, el valor máximo de turbiedad correspondieron en aguas altas D11 Verdiguél y bajas al punto de red R07 Reciclagua. El valor mínimo de turbiedad, para los tributarios en el periodo de aguas altas, correspondió a la descarga Ocoyoacac y, en periodo de aguas bajas, al río Temoaya y Sta Catarina; en los puntos de red, el valor mínimo de turbiedad para aguas altas y bajas correspondieron a la laguna de Almoloya del río.

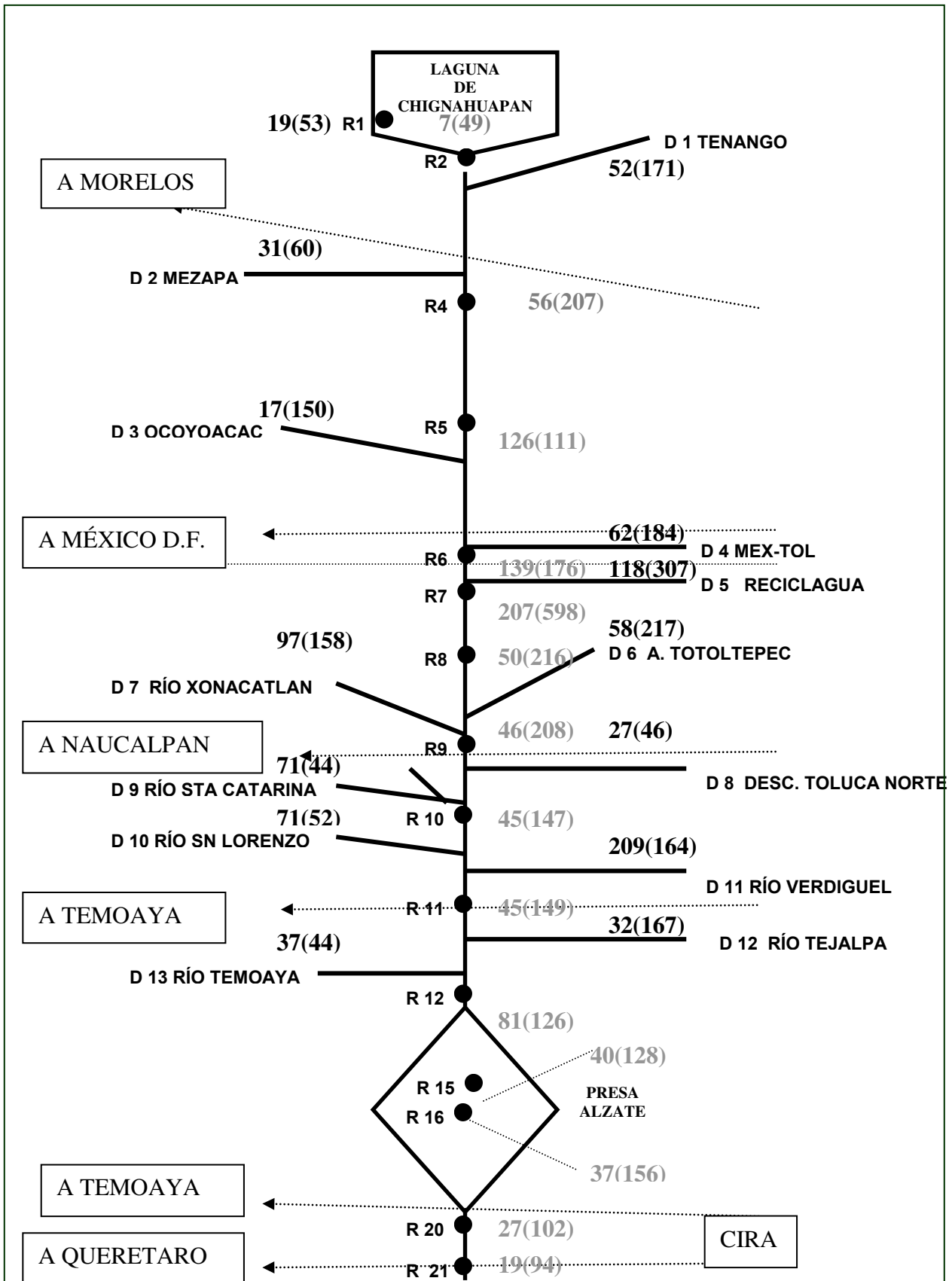
TABLA 7.12 ESTADÍSTICOS DE TURBIEDAD (UTN) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	207.0	597.7	208.7	307.0
media	61.4	168.1	67.9	135.7
mínimo	6.6	49.5	17.1	43.9
desviación estándar	55.0	129.5	51.1	81.4
curtosis	2.5	9.7	4.4	-0.2
asimetría	1.7	2.9	1.9	0.5
c correlación	0.8		0.4	

Su curtosis es positiva (Tabla 7.12), excepto para aguas bajas en tributarios, donde los valores se agrupan formando dos picos: Reciclagua-Totoltepec y Verdiguél-Tejalpa. Su asimetría es a la derecha por la tributación en el segundo tramo del CARL.

Por su correlación, en los puntos de red el patrón de comportamiento es semejante para aguas altas y bajas; sin embargo, los tributarios son medianamente influidos por los episodios climáticos.

FIGURA 7.10 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE TURBIEDAD (UTN) EN EL CARL



7.2.8. Demanda Química de Oxígeno

El valor máximo de los tributarios correspondió al río Verdiguél (Figura 7.11), en el periodo de aguas altas, y a la descarga Tenango en periodo de aguas bajas. El valor mínimo correspondió al río Temoaya en los periodos de aguas altas y bajas. En los puntos de red, el valor máximo en aguas altas correspondió a los puntos 02 de la laguna de Almoloya del Río y R 10 Sta. Catarina; y en aguas bajas, al punto Reciclagua. El valor mínimo para aguas altas, se encontró en R 15 Alzate zona C en aguas altas y Carretera Tol-Atzacomulco en aguas bajas.

Los estadísticos de DQO se muestran en la Tabla 7.13. Por su curtosis, en periodo de aguas altas, los valores están alejados de la media por la dilución debida a la precipitación pluvial y, en periodo de aguas bajas, son más cercanos. Por su asimetría, a excepción de los puntos de red en aguas altas (por la influencia del río Tenango), la curva es asimétrica a la derecha por la mayor tributación en el segundo tramo del CARL.

TABLA 7.13 ESTADÍSTICOS DE DQO (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	209.5	1206.2	224.0	1312.0
media	148.8	388.4	112.2	363.9
mínimo	56.0	187.5	36.5	20.7
desviación estándar	55.9	268.5	64.1	385.7
curtosis	-1.3	6.1	-0.6	2.4
asimetría	-0.4	2.3	0.6	1.7
c correlación	0.5		0.2	

Por su correlación (Tabla 7.13), los puntos de red son medianamente influidos por los episodios climáticos; sin embargo, en los tributarios, la DQO es un parámetro fuertemente influido por el proceso de dilución que realiza la precipitación pluvial.

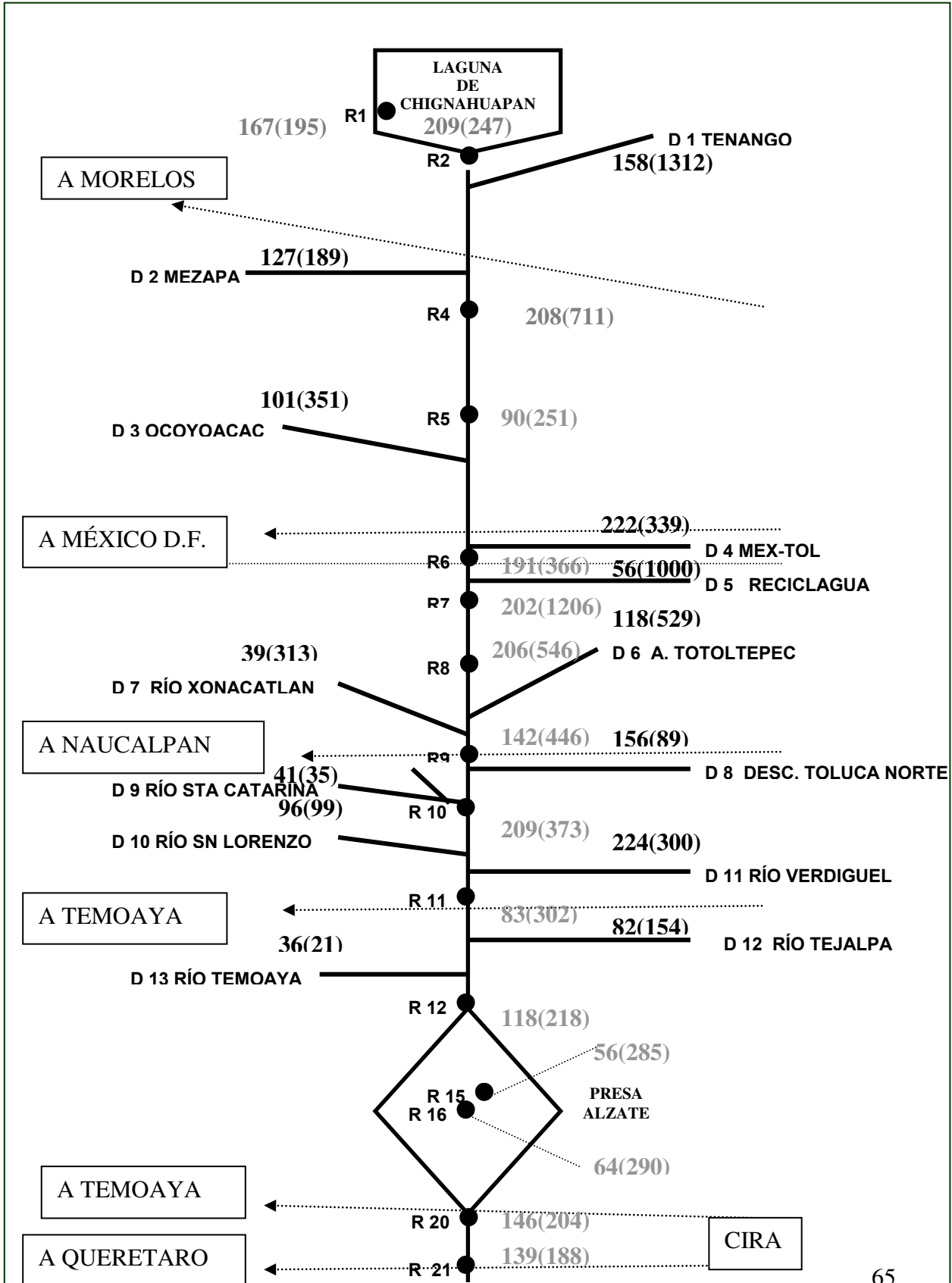
Demanda química de oxígeno es uno de los parámetros regulado por la NOM, la proporción en que los tributarios y los puntos de red rebasan la NOM se ilustra en la Tabla 7.14.

TABLA 7.14 NÚMERO DE VECES QUE LOS VALORES MEDIDOS DE DQO REBASAN LA NOM-001-ECOL-1996 (150 mg/L)

parámetro		
tributario	periodo anual	
	aguas altas	aguas bajas
D01 TENANGO	1.1	8.7
D02 MEZAPA	0.8	1.3
D03 OCOYOACAC	0.7	2.3
D04 MEXICO-TOL	1.5	2.3
D05 RECICLAGUA	0.4	6.7
D06 TOTOLTEPEC	0.8	3.5
D07 XONACATLAN	0.3	2.1
D08 TOL-NORTE	1.0	0.6
D09 S CATARINA	0.3	0.2
D10 S LORENZO	0.6	0.7
D11 VERDIGUEL	1.5	2.0
D12 TEJALPA	0.5	1.0
D13 TEMOAYA	0.2	0.1

parámetro		
punto de red	periodo anual	
	aguas altas	aguas bajas
R01 ALMOLOYA	1.1	1.3
R02 ALMOLOYA	1.4	1.6
R04 MEZAPA	1.4	4.7
R05 SN MATEO	0.6	1.7
R06 MEX-TOL	1.3	2.4
R07 RECICLAGUA	1.3	8.0
R08 TOTOLTEPEC	1.4	3.6
R09 TOL-NAU	0.9	3.0
R10 S CATARINA	1.4	2.5
R11 TOL-TEMOAYA	0.6	2.0
R12 ENT ALZATE	0.8	1.5
R15 ALZATE C	0.4	1.9
R16 ALZATE D	0.4	1.9
R20 COMPUERTA	1.0	1.4
R21 TOL-ATLA	0.9	1.3

FIGURA 7.11 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE DQO (mg/L) EN EL CARL



7.2.9. Sólidos Totales

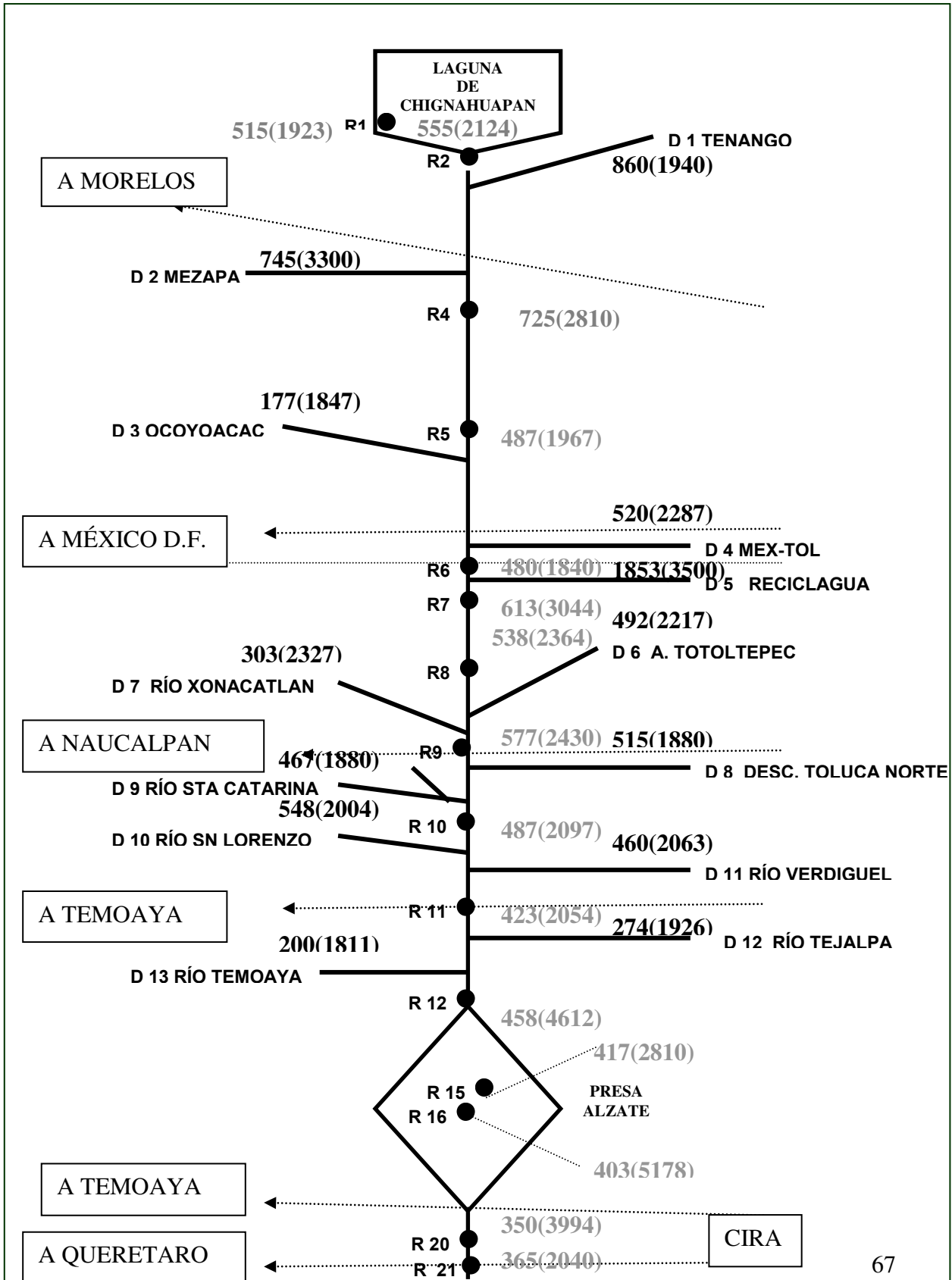
En la figura 7.12, se observa que el valor máximo medido en los tributarios correspondió a la descarga Reciclagua para los periodos de aguas altas y bajas; asimismo, el valor mínimo correspondió, en periodo de aguas altas, a la descarga Ocoyoacac y en aguas bajas, al río Temoaya. Mientras que, el valor máximo en los puntos de red, para el periodo de aguas altas correspondió al punto de red R04 Mezapa y para el periodo de aguas bajas el punto R16 Alzate D. El valor mínimo para los puntos de red correspondió, en periodo de aguas altas, al punto R20 Compuerta de la presa Alzate y, en periodo de aguas bajas, al tramo R06 Méx-Tol.

Los estadísticos de Sólidos Totales en las estaciones de muestreo se muestran en la Tabla 7.15. Por su curtosis, para aguas altas y bajas, los valores son cercanos a la media. Su asimetría, para ambos casos, es hacia la derecha, ya que los tributarios con mayor flujo másico se encuentran en el tramo final del río. Su correlación en tributarios es alta, por lo que no están marcadamente influidos por la precipitación pluvial. En los puntos de red, los Sólidos Totales sí son influidos por los eventos estacionales de lluvia.

TABLA 7.15 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS TOTALES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	725	5178	1852	3500
media	492	2752	571	2229
mínimo	350	1840	177	1811
desviación estándar	99	1041	432	547
curtosis	0.7	1.0	7.0	2.3
asimetría	0.7	1.4	2.4	1.8
c correlación	-0.25		0.8	

FIGURA 7.12 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE SÓLIDOS TOTALES (mg/L) EN EL CARL



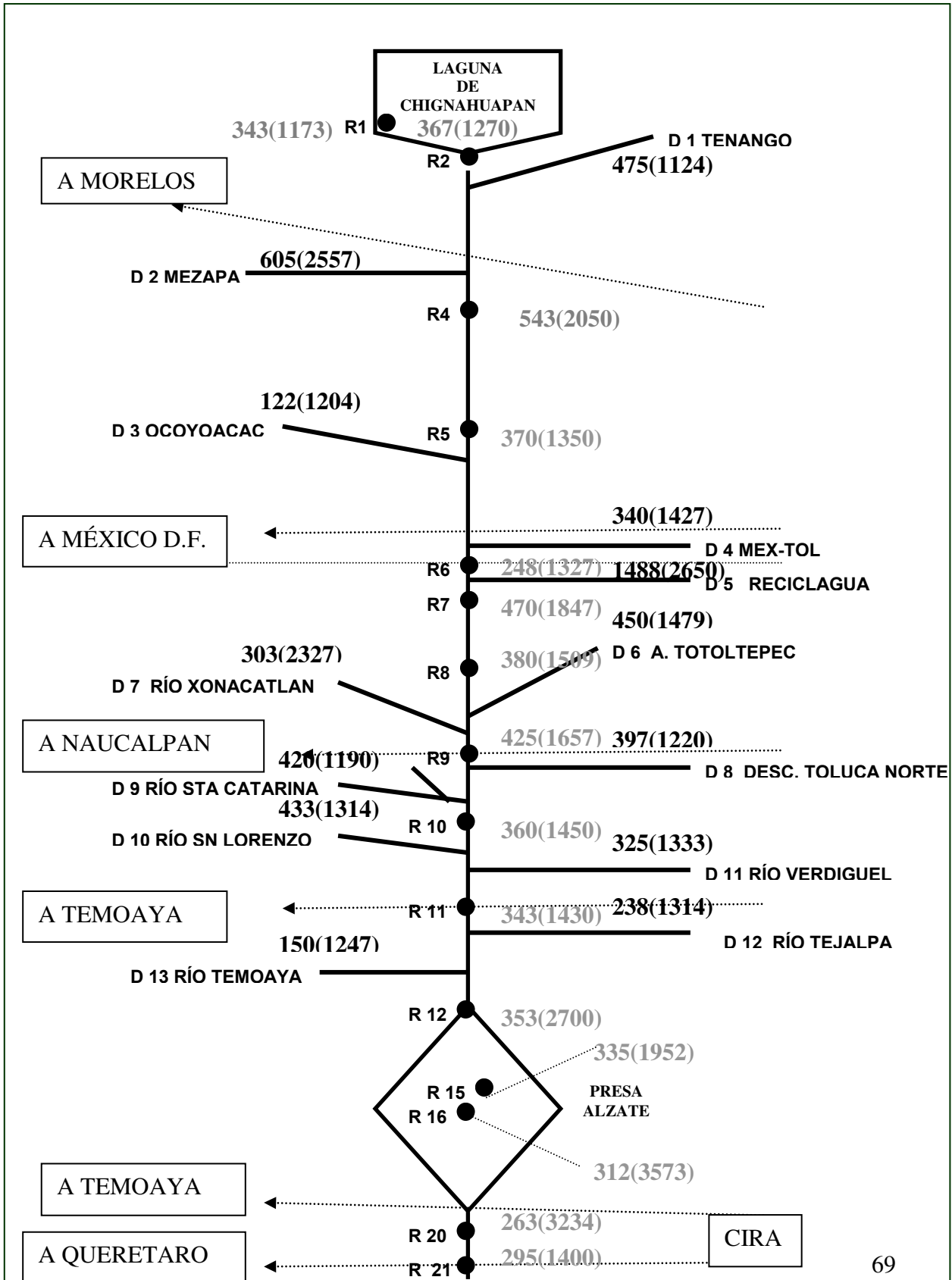
Se realizó el análisis de Sólidos Totales Fijos y Volátiles que en seguida se cita: en la Figura 7.13 se observa el valor máximo para **Sólidos Totales Fijos** en tributarios correspondió a la descarga de Reciclagua para el periodo de aguas altas y bajas; mientras que valor mínimo, al río Verdiguél, en periodo de aguas altas, y al río Tejalpa, en periodo de bajas. En los puntos de red, el valor máximo correspondió al punto R04 Mezapa para aguas altas, y al punto R 16 Alzate D, para bajas. El valor mínimo, para el periodo de aguas altas, correspondió al punto de red R 06 Méx-Tol, para aguas altas, y a R01 laguna de Almoloya del río, para bajas

Al igual que sólidos totales, la curtosis es positiva, por lo que los valores son muy cercanos a la media. Su asimetría, para todos los casos, es a la derecha, lo que muestra que el tramo final del CARL, es el más afectado por Sólidos Totales Fijos. La correlación, para los puntos de red, muestra que es un parámetro fuertemente influido por la dilución de las lluvias en aguas altas. Mientras que los tributarios siguen un patrón de comportamiento similar para aguas altas y bajas (Tabla 7.16).

TABLA 7.16 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	542.5	3574.0	1487.5	2650.0
media	359.7	1861.4	437.8	1505.4
mínimo	247.5	1173.0	122.5	1123.5
desviación estándar	75.1	740.2	343.2	500.9
curtosis	1.6	1.1	8.3	2.6
asimetría	1.0	1.4	2.7	1.9
c correlación	-0.14		0.8	

FIGURA 7.13 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE SÓLIDOS TOTALES FIJOS (mg/L) EN EL CARL



En cuanto a **Sólidos Totales Volátiles**, en la Figura 7.14 se observan los valores medidos en tributarios, el máximo, para aguas altas, correspondió al tributario D01 Tenango y, para aguas bajas, a la descarga R05 Reciclagua, al igual que sólidos totales y sólidos totales fijos. El valor mínimo, para el periodo de aguas altas, correspondió al tributario D12 Tejalpa y para aguas bajas, al D13 Temoaya. En los puntos de red, el máximo para aguas altas correspondió al punto R06 Méx-Tol y para aguas bajas, al punto R12 entrada a Alzate. El valor mínimo correspondió al punto de red R21 Tol-Atzacmulco en aguas altas; en bajas, al punto R06 Méx-Tol .

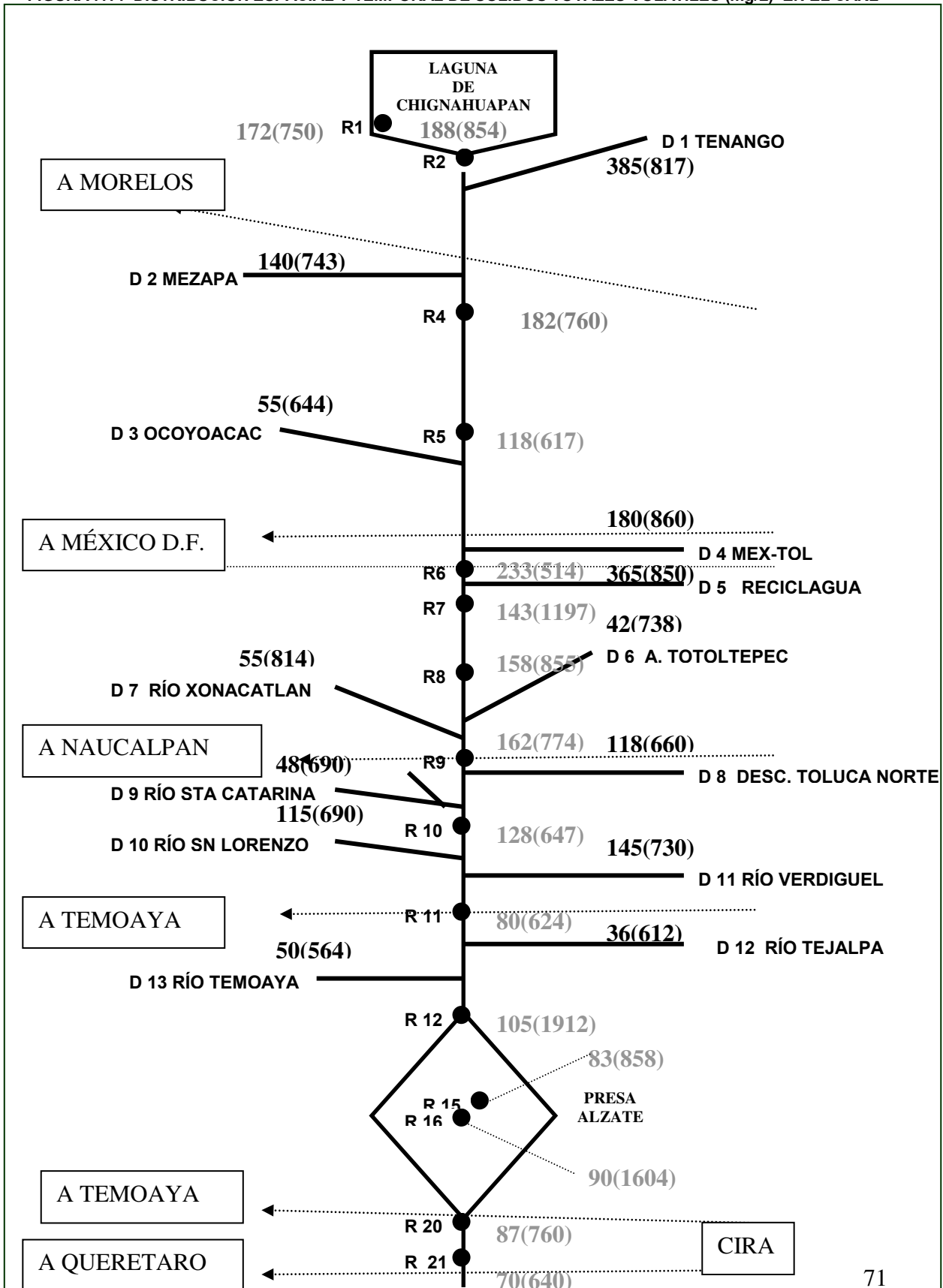
Por su curtosis, los puntos de red se alejan de la media. La asimetría es a la derecha en aguas altas y a la izquierda en bajas, ya que disminuye la tributación en la parte derecha de los grandes ríos y permanece constante la de aguas residuales en el tramo inicial y medio.

Por su correlación, los puntos de red están altamente influidos por las condiciones climáticas, mientras que los tributarios siguen un patrón de comportamiento similar tanto para aguas altas como para aguas bajas (Tabla 7.17).

TABLA 7.17 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	232.5	1912.0	385.0	860.0
media	133.2	890.9	133.3	723.9
mínimo	70.0	513.5	36.0	564.0
desviación estándar	48.4	389.8	117.0	92.4
curtosis	-0.7	2.9	1.4	-0.9
asimetría	0.5	1.8	1.5	0.0
c correlación	-0.3		0.7	

FIGURA 7.14 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L) EN EL CARL



Para terminar de caracterizar los **Sólidos Totales**, se realizó su división en suspendidos y disueltos (Tablas 7.18 y 7.19), y dentro de cada uno de ellos, su distribución porcentual de fijos y volátiles, en aguas altas y bajas.

TABLA 7.18 PORCENTAJE DE SÓLIDOS EN SUS DIFERENTES FORMAS EN AGUAS ALTAS

PUNTO	STT(mg/L)	SST%	SDT%	SVT(mg/L)	SSV%	SDV%
R01 ALMOLOYA	515	4	96	172	13	87
R02 ALMOLOYA	487	5	95	188	27	73
R04 MEZAPA	725	17	83	182	32	68
R05 SN MATEO	487	51	49	118	49	51
R06 MEX-TOL	480	40	60	233	18	82
R07 RECICLAGUA	613	40	60	143	41	59
R08 TOTOLTEPEC	538	5	95	158	6	94
R09 TOL-NAU	577	5	95	162	9	91
R10 S CATARINA	487	4	96	128	12	88
R11 TOL-TEMOAYA	423	12	88	80	20	80
R12 ENT ALZATE	458	12	88	105	18	82
R15 ALZATE C	417	11	89	83	16	84
R16 ALZATE D	403	12	88	90	20	80
R20 COMPUERTA	350	3	97	87	11	89
R21 TOL-ATLA	365	9	91	70	21	79

MAX	725	51	97	233	49	94
MIN	350	3	49	70	6	51

D01 TENANGO	860	19	81	385	14	86
D02 MEZAPA	745	5	95	140	20	80
D03 OCOYOACAC	177	15	85	55	25	75
D04 MEXICO-TOL	520	13	87	180	27	73
D05 RECICLAGUA	1853	11	89	365	15	85
D06 TOTOLTEPEC	492	10	90	42	79	21
D07 XONACATLAN	158	21	79	55	64	36
D08 TOL-NORTE	515	7	93	118	21	79
D09 S CATARINA	467	15	85	48	44	56
D10 S LORENZO	548	30	70	115	21	79
D11 VERDIGUEL	470	20	80	145	20	80
D12 TEJALPA	274	19	81	36	69	31
D13 TEMOAYA	200	47	53	50	46	54

MAX	1853	47	95	385	79	86
MIN	158	3	49	36	6	21

TABLA 7.19 PORCENTAJE DE SÓLIDOS EN SUS DIFERENTES FORMAS EN AGUAS BAJAS

PUNTO	STT(mg/L)	SST%	SDT%	SVT(mg/L)	SSV%	SDV%
R01 ALMOLOYA	1923	6	94	750	9	91
R02 ALMOLOYA	2124	5	95	854	9	91
R04 MEZAPA	2810	9	91	760	26	74
R05 SN MATEO	1967	3	97	617	7	93
R06 MEX-TOL	1840	8	92	514	17	83
R07 RECICLAGUA	3044	25	75	1197	50	50
R08 TOTOLTEPEC	2364	5	95	855	11	89
R09 TOL-NAU	2430	4	96	774	10	90
R10 S CATARINA	2097	4	96	647	8	92
R11 TOL-TEMOAYA	2054	5	95	624	9	91
R12 ENT ALZATE	4612	3	97	1912	4	96
R15 ALZATE C	2810	7	93	858	16	84
R16 ALZATE D	5178	3	97	1604	7	93
R20 COMPUERTA	3994	2	98	760	8	92
R21 TOL-ATLA	2040	3	97	640	9	91

MAX	5178	25	98	1912	50	96
MIN	1840	2	75	514	4	50

D01 TENANGO	1940	8	92	817	14	86
D02 MEZAPA	3300	2	98	743	6	94
D03 OCOYOACAC	1847	5	95	644	11	89
D04 MEXICO-TOL	2287	7	93	860	14	86
D05 RECICLAGUA	3500	4	96	850	12	88
D06 TOTOLTEPEC	2217	14	86	738	31	69
D07 XONACATLAN	2327	9	91	814	21	79
D08 TOL-NORTE	1880	3	97	660	7	93
D09 S CATARINA	1880	4	96	690	6	94
D10 S LORENZO	2004	1	99	690	4	96
D11 VERDIGUEL	2063	6	94	730	15	85
D12 TEJALPA	1926	9	91	612	16	84
D13 TEMOAYA	1811	3	97	564	4	96

MAX	3500	14	99	860	31	96
MIN	1811	1	75	514	4	50

En cuanto a los valores medidos de **Sólidos Suspendidos Totales**, en tributarios, el valor máximo para el periodo de aguas altas corresponde al D11 Verdiguél y, en periodo de aguas bajas, D06 Totoltepec. El valor mínimo, para aguas altas correspondió al punto D03 Ocoyoacac y aguas bajas al punto D10 Sn Lorenzo. En los puntos de red, para el periodo de aguas altas, el máximo

correspondió al punto D05 Sn Mateo y, en aguas bajas, a D08 Totoltepec. En los puntos de red, para aguas altas, el valor mínimo correspondió al punto R20 Compuerta y para aguas bajas, al R21 Tol-Atlacomulco.

Los estadísticos de Sólidos Suspendidos Totales (Tabla 7.20), por su curtosis, los valores son cercanos a la media, excepto para los puntos de red en aguas altas, por la variación en el arrastre de sólidos. El valor de asimetría para todos los casos es a la derecha, por la influencia de las mayores velocidades alcanzadas por el agua del río en el tramo medio y final del mismo. Por su correlación, los puntos de red son medianamente influidos por los episodios climáticos.

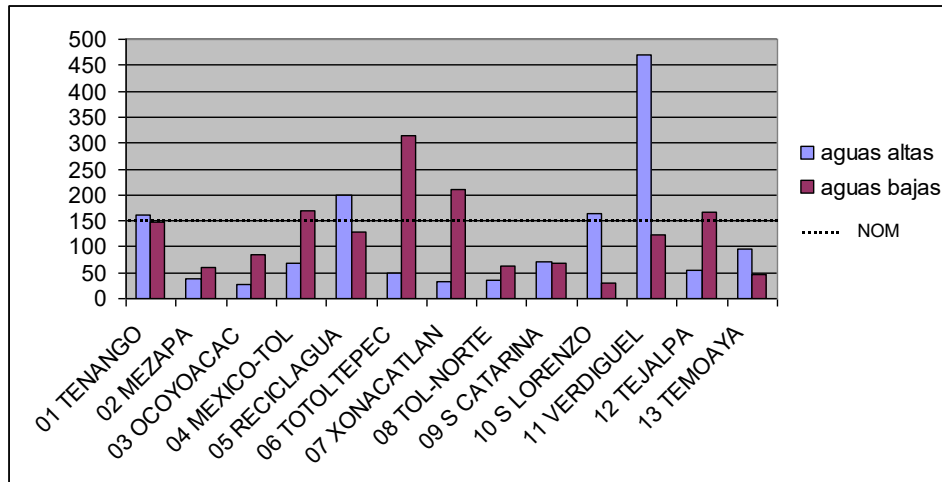
TABLA 7.20 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	247.0	770.0	470.0	315.5
media	91.3	164.3	112.7	123.8
mínimo	12.0	60.0	27.0	30.0
desviación estándar	88.2	175.1	121.4	79.7
curtosis	-0.8	12.0	6.6	1.4
asimetría	1.0	3.3	2.4	1.1
c correlación	0.5		-0.1	

Sólidos Suspendidos Totales es uno de los parámetros cuyo valor de vertido está regulado por la NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997), cuyo límite en ríos que se usan para riego es de 150 mg/L, promedio mensual y 200 mg/L, promedio diario. Para embalses, el límite máximo mensual es de 75mg/L y el límite diario 150 mg/L.

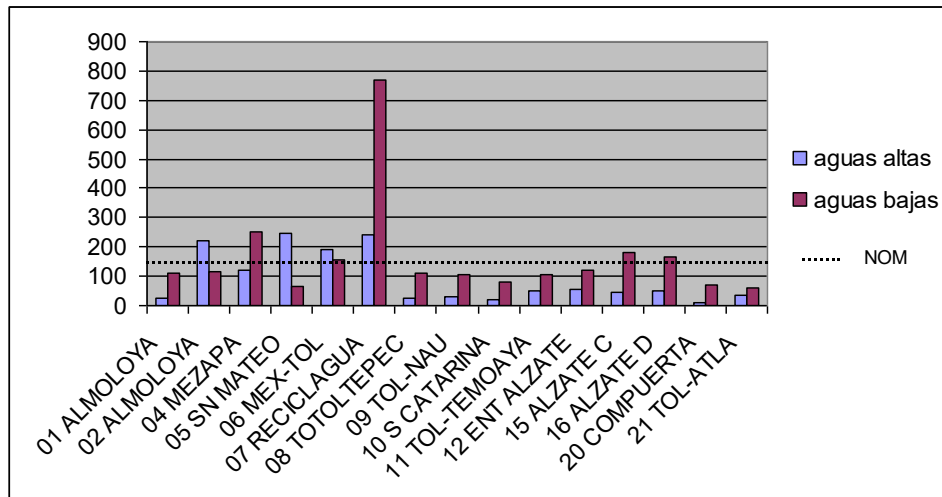
Como se muestra en la Figura 7.15, de los tributarios muestreados, sólo la descargas Mezapa, Ocoyoacac, Tol-norte, Sta. Catarina y Temoaya cumplen con la NOM.

FIGURA 7.15 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L) EN LOS TRIBUTARIOS DEL CARL



En la Figura 7.16, se presenta el análisis de los puntos de red comparados con la NOM.

FIGURA 7.16 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED DEL CARL



La proporción en que lo **Sólidos Suspendidos Totales** rebasan la NOM, en puntos de red y tributarios, se ilustran en la Tabla 7.21. Los valores en que los tributarios rebasan la NOM en aguas altas hasta 3 veces, siendo el máximo valor

el medido en la descarga Verdiguel. En aguas bajas, los tributarios rebasan en valores hasta 2 veces la NOM, el máximo se determinó en la descarga Totoltepec. En los puntos de red, para el periodo de aguas altas, rebasan la NOM los valores 1.6 veces, mientras que, para el periodo de aguas bajas hasta 5.1 veces, en ambos casos el valor fue medido en el punto Reciclagua.

TABLA 7.21 NÚMERO DE VECES QUE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES REBASAN LA NOM-001-ECOL-1996 (150mg/L)

parametro		
tributario	periodo anual	
	aguas altas	aguas bajas
D01 TENANGO	1.1	1.0
D02 MEZAPA	0.3	0.4
D03 OCOYOACAC	0.2	0.6
D04 MEXICO-TOL	0.5	1.1
D05 RECICLAGUA	1.3	0.9
D06 TOTOLTEPEC	0.3	2.1
D07 XONACATLAN	0.2	1.4
D08 TOL-NORTE	0.2	0.4
D09 S CATARINA	0.5	0.5
D10 S LORENZO	1.1	0.2
D11 VERDIGUEL	3.1	0.8
D12 TEJALPA	0.4	1.1
D13 TEMOAYA	0.6	0.3

parametro		
punto de red	periodo anual	
	aguas altas	aguas bajas
R01 ALMOLOYA	0.2	0.7
R02 ALMOLOYA	1.5	0.8
R04 MEZAPA	0.8	1.7
R05 SN MATEO	1.6	0.4
R06 MEX-TOL	1.3	1.0
R07 RECICLAGUA	1.6	5.1
R08 TOTOLTEPEC	0.2	0.7
R09 TOL-NAU	0.2	0.7
R10 S CATARINA	0.1	0.5
R11 TOL-TEMOAYA	0.3	0.7
R12 ENT ALZATE	0.7	1.6
R15 ALZATE C	0.6	2.4
R16 ALZATE D	0.7	2.2
R20 COMPUERTA	0.1	0.5
R21 TOL-ATLA	0.2	0.4

En cuanto a los valores medidos de **Sólidos Suspendidos Volátiles** en tributarios, el máximo para el periodo de aguas altas correspondió al punto D 11 Verdiguel y para bajas al punto D 06 Totoltepec. El valor mínimo para el periodo de aguas altas correspondió al punto D 03 Ocoyoacac y para bajas, al punto D 13 Temoaya. En los puntos de red, el valor máximo para el periodo de aguas altas correspondió al punto D 04 y D05 Mezapa y Sn Mateo, respectivamente, y para bajas a el punto D 07 Reciclagua. En los puntos de red, el valor mínimo para el periodo de aguas altas correspondió al punto R 01 Almoloya y para bajas al punto D 05 Sn Mateo.

Los estadísticos de Sólidos Suspendidos Volátiles se muestran en la Tabla 7.22. Por su curtosis, los valores son cercanos a la media, excepto en los puntos de red en aguas altas, donde los valores se separan de la media. Su asimetría,

para ambos casos, es a la derecha y, por su correlación, es un parámetro medianamente influido por la estacionalidad de las lluvias en puntos de red y más influido en los tributarios.

TABLA 7.22 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	58.0	600.0	145.0	226.0
media	26.5	119.4	40.6	92.1
mínimo	2.0	44.0	14.0	20.0
desviación estándar	20.2	138.5	33.7	59.1
curtosis	-1.2	12.2	8.9	0.7
asimetría	0.8	3.4	2.8	0.9
c correlación	0.5		0.2	

En lo concerniente a **Sólidos Disueltos Totales** en tributarios, el valor máximo en periodo de aguas altas y para bajas está en el punto D 07 Reciclagua. El valor mínimo en aguas altas es en el punto D11 Verdiguél y D12 Tejalpa, en bajas. En los puntos de red, el valor máximo en aguas altas fue medido en el punto D 02 Almoloya y D16 Alzate D en bajas. El valor mínimo en el periodo de aguas altas fue medido en el punto R 05 Sn Mateo y R 06 Méx.-Tol en bajas.

Los estadísticos de Sólidos Disueltos Totales en los tributarios se muestran en la Tabla 7.23. Por su curtosis, los valores son cercanos a la media, excepto para los puntos de red en aguas altas. Su asimetría, para ambos casos, es a la derecha. Por su correlación, el patrón de comportamiento es semejante para aguas altas y bajas en tributarios, por lo que es escasamente influido por la estacionalidad de las lluvias. Mientras que, los puntos de red sí son fuertemente influidos por los episodios climáticos.

TABLA 7.23 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS

estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	665.0	5011.0	1653.5	3372.0
media	423.8	2588.0	453.2	2105.5
mínimo	240.5	1686.0	78.0	1759.0
desviación estándar	120.2	1031.1	417.2	547.7
curtosis	-0.4	1.3	5.8	2.7
asimetría	0.6	1.6	2.2	2.0
c correlación	-0.1		0.8	

En cuanto a los valores medidos de **Sólidos Disueltos Volátiles** en tributarios, el valor máximo en periodo de lluvias fue medido en el punto D 01 Almoloya y D 05 Reciclagua, en bajas. El valor mínimo en aguas altas fue medido en el punto D 06 Totoltepec y en bajas D 12 Tejalpa. En los puntos de red, el valor máximo en el periodo de aguas altas fue medido en el punto D 01 Almoloya y D 12 entrada a Alzate, en bajas, y el valor mínimo medido en el punto R 21 Tol-Atla y D 06 Méx.-Tol bajas.

Los estadísticos de Sólidos Disueltos Volátiles se muestran en la Tabla 7.24. Por su curtosis, los valores son más cercanos a la media en tributarios en aguas altas y, en los puntos de red, son más cercanos a la media en bajas. Su asimetría, es a la derecha, excepto en tributarios en aguas bajas.

Por su correlación, los tributarios son medianamente influidos por la estacionalidad de las lluvias, sin embargo, los puntos de red son fuertemente influidos por la estacionalidad de las lluvias, ello debido a los fenómenos de dilución y autodepuración que se verifican en el cauce del río.

TABLA 7.24 ESTADÍSTICOS DE SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES (mg/L) EN LOS PUNTOS DE RED Y TRIBUTARIOS


estadísticos	puntos de red		tributarios	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
máximo	150.5	1838.0	333.0	752.0
media	99.5	771.5	113.0	631.8
mínimo	55.0	425.5	9.0	512.0
desviación estándar	35.6	380.6	107.9	80.1
curtosis	-1.5	4.6	0.5	-1.0
asimetría	0.4	2.3	1.2	-0.2
c correlación	-0.1		0.5	

Finalmente, se realizó la evaluación de los parámetros en estudio que son regulados por la NOM de los tributarios y los puntos de red (Tabla 7.25), tomando en cuenta los parámetros medidos en el presente trabajo que se encuentran incluidos en dicha norma.

TABLA 7.25 EVALUACIÓN DE DQO RESPECTO A LA NOM-001-ECOL-1996

PUNTO	DQO (mg/L)		SST (mg/L)		T(°C)	
	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas	aguas altas	aguas bajas
R01 ALMOLOYA	167	195	24	110	19	15
R2 ALMOLOYA	209	247	220	114	16	14
R04 MEZAPA	208	711	122	252	19	18
R05 SN MATEO	90	251	247	66	19	23
R06 MEX-TOL	191	366	193	154	16	21
R07 RECICLAGUA	202	1206	242	770	19	21
R08 TOTOLTEPEC	206	546	26	110	17	21
R09 TOL-NAU	142	446	30	104	18	20
R10 S CATARINA	209	373	20	80	19	19
R11 TOL-TEMOAYA	83	302	52	104	18	17
R12 ENT ALZATE	118	218	53	122	18	18
R15 ALZATE C	56	285	44	184	17	22
R16 ALZATE D	64	290	50	167	18	18
R20 COMPUERTA	146	204	12	68	18	18
R21 TOL-ATLA	139	188	34	60	19	22

D01 TENANGO	158	1312	162	148	16	14
D02 MEZAPA	127	189	39	59	19	18
D03 OCOYOACAC	101	351	27	85	18	15
D04 MEXICO-TOL	222	339	68	170	18	18
D05 RECICLAGUA	56	1000	199	128	23	32
D06 TOTOLTEPEC	118	529	49	316	19	21
D07 XONACATLAN	39	313	33	210	17	20
D08 TOL-NORTE	156	89	37	62	21	18
D09 S CATARINA	41	35	70	68	16	14
D10 S LORENZO	96	99	163	30	22	17
D11 VERDIGUEL	224	300	470	122	17	15
D12 TEJALPA	82	154	53	167	21	17
D13 TEMOAYA	36	21	95	46	17	17

 Puntos que rebasan la NOM

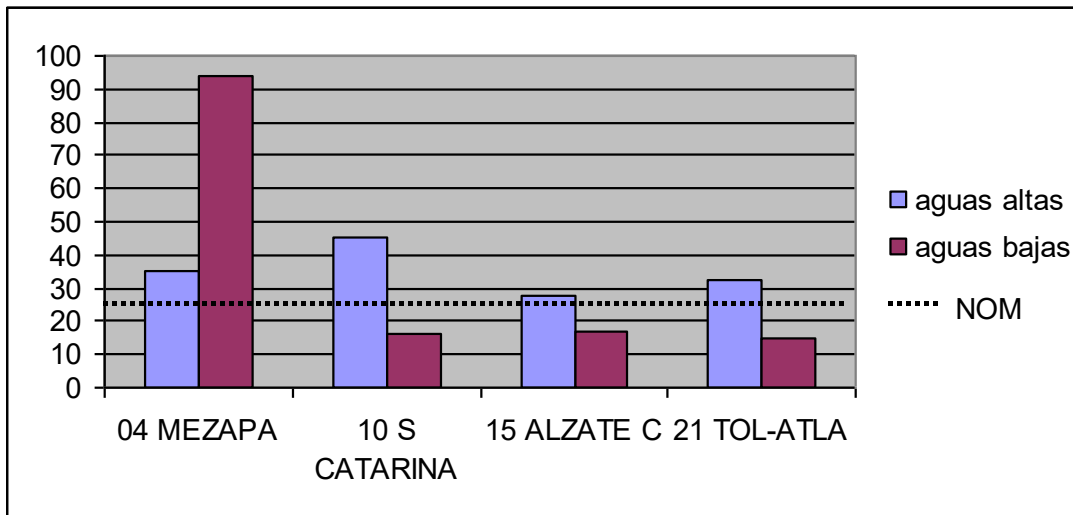
Las temperaturas medidas en ningún caso rebasan la NOM, siendo el principal problema los altos valores de DQO. Los puntos más agravados en el contenido de sólidos suspendidos y DQO correspondieron a los puntos de red y tributarios Méx-Tol y Reciclagua (Tabla 7.24), lo cual acentúa la contaminación en el tramo subsecuente (Tabla 7.25). En el caso contrario, los puntos menos agravados son los tributarios Xonacatlan, Sta Catarina, Sn Lorenzo y Temoaya, que, por sus bajos valores de sólidos suspendidos, tienen un efecto de dilución en el río Lerma.

7.2.10 Grasas y Aceites

Se realizó el análisis en algunos puntos (sólo aguas altas) respecto a su contenido grasas y aceites, como complemento de los parámetros físico-químicos estudiados anteriormente. Como no existieron antecedentes de problemática grave de contaminación por grasas y aceites, y por los costos de análisis, se disminuyó el número de muestras a cuatro. Procurando con una menor cantidad de análisis sostener la cobertura de muestras en los principales puntos donde los afluentes sobresalientes tributan a lo largo del CARL (Figura 7.18).

Grasas y aceites es uno de los parámetros cuyo límite es regulado por la NOM-001-ECOL-1996 (DOF,1997), con valor de promedio mensual de 15 mg/L y para el promedio diario 25 mg/L, representado por la línea horizontal en la Figura 7.17 donde se muestra la comparación de este límite con los valores medidos a lo largo del CARL . La principal entrada de grasas y aceites es el arroyo Mezapa.

FIGURA 7.17 VALORES MEDIDOS DE GRASAS Y ACEITES (mL/L) EN AGUAS ALTAS Y BAJAS COMPARADOS CON LOS VALORES DE LA NOM-001-ECOL-1996



7.3. Centroides

El análisis de Centroides se usa como herramienta para la identificación de las zonas más afectadas por uno o más parámetros físico-químicos. Se ubicó la posición de los centroides por parámetro y el promedio de centroides, tomando como punto de origen el punto R01, y como centro de momentos, la compuerta de la presa Alzate (Tabla 7.26).

En la Tabla 7.27, se ilustra la ubicación de la zona más afectada del CARL, donde la posición está dada en km tomando como origen la estación R01 Almoloya del Río. Se observa que el tramo más afectado es el comprendido entre la autopista México-Toluca y la carretera Toluca-Naucalpan y, en particular, el segmento ubicado entre la descarga Reciclagua y el Arroyo Totoltepec. La ubicación del centroide promedio está particularmente marcada por la descarga predominantemente industrial de Reciclagua, por sus cargas altas y grandes caudales, a lo cual se suman, las aguas municipales-industriales del arroyo Totoltepec y las descargas ubicadas cercanas a la carretera México-Toluca, tanto

en la parte central como en su costado sur (tributario Ocoyoacac y el drenaje proveniente de vialidad las Torres). Cabe destacar que la ubicación del promedio de centroides, está próxima a las descargas Reciclagua y Totoltepec, mismas que presentan recurrencia en los valores de parámetros indicadores de contaminación (Tabla 7.25).

TABLA 7.26 UBICACIÓN DE CENTROIDES EN EL CARL

PARÁMETRO	CENTROIDES(m)	
	A. ALTAS	A. BAJAS
SÓLIDOS TOTALES	26629.7	25649.7
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	24448.9	24316.6
SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	24588.5	23308.0
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	23719.0	24708.0
SÓLIDOS DISUELTOS	27005.7	25728.2
SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS	27320.8	26135.0
SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	25769.4	24624.9
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	22143.9	29006.9
TURBIEDAD	23771.7	27124.6
CAUDAL	22158.5	26968.7
CONDUCTIVIDAD	28115.3	29502.5
VELOCIDAD	22815.2	24110.8
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	21897.6	23804.0
OXÍGENO DISUELTO	17169.9	16582.5
TEMPERATURA	22307.8	25694.1
Máximo	28115.3	29502.5
PROMEDIO DE CENTROIDES (Promedio)	23990.8	25151.0
Mínimo	17170	16582
Curtosis	1	5
Asimetría	-0.70	-1.52
Desviación Estándar	2801.7	2972.9

TABLA 7.27 DISTANCIAS ENTRE PUNTOS Y CUMULATIVA DEL TRAMO DONDE SE UBICAN LOS CENTROIDES

Puntos	Distancia entre estaciones(m)	Cumulativa a lo largo del CARL (km+m)
R06 MEX-TOL	20	15+972
D05 RECICLAGUA	439	16+412
<i>R07 RECICLAGUA</i>	143	16+554
<i>ZONA MÁS AFECTADA (PROMEDIO DE CENTROIDES)</i>	A. ALTAS A. BAJAS	23+990 25+151
<i>R08 TOTOLTEPEC</i>	8835	25+390
D06 TOTOLTEPEC	139	25+528
D07 XONACATLAN	717	26+246

7.4. Análisis de correlación en agua

Para observar la interrelación de los parámetros físico-químicos estudiados, se realizó el análisis de Correlación de Pearson, el cual detecta sólo las relaciones de tipo lineal, con los niveles de significancia correspondientes.

Un primer análisis de correlación, se realizó en periodo de aguas altas en los puntos de red (Tabla 7.28), donde destaca la correlación lógica y esperada entre valores como sólidos en sus distintas formas, caudal y velocidad. Particularmente, existen valores que expresan las características particulares del agua en estudio, como la correlación positiva entre sólidos totales fijos y conductividad, y la DQO con sólidos suspendidos volátiles. Finalmente, vale comentar que existieron resultados no esperados como la falta de correlación de oxígeno con parámetros como sólidos suspendidos volátiles, ello atribuido a que los valores de oxígeno cercanos a cero en prácticamente todo el curso, no permitieron que se generara una correlación significativa.

TABLA 7.28 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN LOS PUNTOS DE RED EN PERIODO DE AGUAS ALTAS

	pH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	TURBIE	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV	GRASAS
pH	1.000	-.286	.492	.032	.079	-.109	-.466	-.510	-.408	-.286	-.404	-.543*	-.015	-.509	-.611*	.009	-.067	-.934
CON		1.000	-.272	.337	-.488	-.339	.457	.549*	.794**	.836**	.333	.376	.397	.318	.541*	.406	.282	.252
OD			1.000	.236	.331	.371	-.369	.017	-.435	-.454	-.194	-.360	-.122	-.324	-.450	-.157	.000	-.219
TEMP				1.000	-.026	.040	.157	-.086	.117	.375	-.344	-.151	-.195	-.192	.005	-.174	-.214	.587
VEL					1.000	1.000**	-.083	-.334	-.768**	-.646*	-.548	-.424	-.565*	-.415	-.412	-.510	-.591*	.223
CAUDAL						1.000	.001	.031	-.517*	-.492	-.299	-.285	-.424	-.282	-.265	-.407	-.376	.583
TURBIE							1.000	.120	.293	.238	.237	.689**	-.459	.687**	.631*	-.485	-.304	.311
DQO								1.000	.613*	.356	.710**	.237	.548*	.211	.302	.461	.656**	.830
ST									1.000	.884**	.685**	.422	.643**	.361	.591*	.596*	.622*	.248
STF										1.000	.265	.272	.551*	.195	.512	.576*	.366	.157
STV											1.000	.448	.463	.443	.422	.330	.711**	.443
SST												1.000	-.099	.994**	.924**	-.098	-.083	-.202
SDT													1.000	-.135	.038	.979**	.848**	.408
SSF														1.000	.876**	-.144	-.086	-.403
SSV															1.000	.073	-.064	.042
SDF																1.000	.720**	.304
SDV																	1.000	.654
GRASAS																		1.000

*. nivel de significancia al 0.05

**. nivel de significancia al 0.01

Se realizó también, el análisis de correlación para los puntos de red en aguas bajas (Tabla 7.29). Al igual que la correlación anterior, se obtuvieron valores esperados como es la correlación de sólidos entre sí.

Adicionalmente, existe una correlación positiva entre conductividad y sólidos suspendidos volátiles. Otro valor de correlación destacable es la relación conductividad con la turbiedad y la DQO, por lo que se puede decir que las sales inorgánicas contenidas en las aguas y los ácidos grasos orgánicos, le confieren al agua turbiedad y son susceptibles de ser oxidados y demandar oxígeno.

TABLA 7.29 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN LOS PUNTOS DE RED EN PERIODO DE AGUAS BAJAS

	pH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	TURBIE	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV	GRASAS
pH	1.000	-.417	.860**	-.486	-.031	-.378	-.327	-.396	-.059	-.087	.007	-.216	-.023	-.170	-.224	-.078	.089	-.762
CON		1.000	-.285	.219	-.378	.340	.707**	.785**	-.106	-.123	-.049	.486	-.190	.297	.529*	-.140	-.243	.839
OD			1.000	-.454	-.032	-.469	-.265	-.259	-.095	-.044	-.170	-.172	-.066	-.164	-.170	-.035	-.112	.601
TEMP				1.000	.149	.468	.349	.282	-.055	-.016	-.115	.197	-.089	.102	.219	-.022	-.197	-.650
VEL					1.000	-.078	-.300	-.398	.503	.632*	.144	-.310	.561*	-.366	-.285	.653**	.251	-.591
CAUDAL						1.000	.277	.159	.095	.027	.201	.032	.090	.101	.011	.022	.202	-.514
TURBIE							1.000	.938**	.147	.077	.248	.915**	-.006	.787**	.931**	.035	-.085	.907
DQO								1.000	-.006	-.056	.092	.901**	-.159	.781**	.914**	-.099	-.239	.959*
ST									1.000	.960**	.848**	.144	.986**	.171	.134	.953**	.821**	.553
STF										1.000	.667**	.060	.960**	.064	.060	.999**	.662**	.649
STV											1.000	.269	.811**	.336	.244	.650**	.936**	.188
SST												1.000	-.025	.938**	.995**	.010	-.087	.783
SDT													1.000	.014	-.034	.961**	.844**	.483
SSF														1.000	.898**	.011	.017	.638
SSV															1.000	.012	-.114	.809
SDF																1.000	.662**	.646
SDV																	1.000	-.489
GRASAS																		1.000

** . nivel de significancia al 0.01

* . nivel de significancia al 0.05

Otro análisis de correlación, se realizó en los principales tributarios del CARL, en periodo de aguas altas (Tabla 7.30). Dentro de los valores esperados se encuentran los resultados de correlación de sólidos en sus diferentes formas entre sí, y éstos con la conductividad. En lo que se refiere al OD, para este caso ya muestra una clara correlación negativa contra DQO, ya que algunos tributarios muestran valores de OD medibles.

TABLA 7.30 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DE LOS TRIBUTARIOS EN PERIODO DE AGUAS ALTAS

	pH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	TURBIE	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV
pH	1.000	.198	.014	.410	.168	.242	-.403	-.400	-.027	.112	-.429	-.610*	.114	-.598*	-.565*	.226	-.294
CON		1.000	-.476	.591*	.301	.289	.256	.022	.930**	.944**	.666*	.202	.922**	.145	.194	.913**	.599*
OD			1.000	-.266	.389	.211	-.292	-.569*	-.381	-.330	-.438	-.153	-.340	-.117	-.408	-.293	-.362
TEMP				1.000	.265	.149	-.088	-.046	.477	.546	.160	-.063	.522	-.085	-.169	.516	.346
VEL					1.000	.615*	-.205	-.576*	.280	.367	-.042	-.241	.347	-.208	-.344	.398	.053
CAUDAL						1.000	.013	-.507	.289	.393	-.082	-.178	.344	-.167	-.229	.386	.077
TURBIE							1.000	.273	.287	.277	.246	.876**	.069	.910**	.890**	.084	-.006
DQO								1.000	-.021	-.125	.289	.426	-.086	.255	.603*	-.135	.108
ST									1.000	.981**	.818**	.270	.972**	.245	.189	.940**	.706**
STF										1.000	.689**	.212	.965**	.196	.125	.965**	.600*
STV											1.000	.375	.759**	.330	.331	.642*	.850**
SST												1.000	.054	.963**	.918**	.018	.150
SDT													1.000	.013	-.018	.976**	.700**
SSF														1.000	.862**	-.018	.108
SSV															1.000	-.051	.093
SDF																1.000	.526
SDV																	1.000

* . nivel de significancia al 0.05

** . nivel de significancia al 0.01

Otro análisis de correlación realizado en los tributarios en aguas bajas (Tabla 7.31), muestra la correlación esperada de los sólidos en sus diferentes formas entre sí. Por lo que se refiere al OD aquí es clara una correlación negativa con los sólidos totales volátiles. Destaca también, la correlación positiva de DQO con sólidos totales volátiles.

TABLA 7.31 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DE LOS TRIBUTARIOS EN PERIODO DE AGUAS BAJAS

	pH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	TURBIE	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV
pH	1.000	.159	.294	.406	.471	.280	.275	-.610*	.252	.310	-.194	.038	.246	.303	-.220	.038	.246
CON		1.000	-.464	.911**	.371	.750**	.256	.527	.877**	.861**	.529	.120	.859**	.857**	.502	.120	.859**
OD			1.000	-.286	.430	-.107	-.289	-.542	-.446	-.354	-.723**	-.400	-.387	-.350	-.450	-.400	-.387
TEMP				1.000	.442	.790**	.211	.368	.764**	.750**	.457	.251	.727**	.739**	.340	.251	.727**
VEL					1.000	.599*	-.172	-.249	.295	.386	-.348	-.418	.356	.393	-.029	-.418	.356
CAUDAL						1.000	.147	.284	.482	.488	.205	.186	.454	.474	.135	.186	.454
TURBIE							1.000	.166	.189	.135	.388	.146	.167	.141	.260	.146	.167
DQO								1.000	.328	.240	.645*	.383	.272	.230	.422	.383	.272
ST									1.000	.988**	.564*	.066	.989**	.986**	.588*	.066	.989**
STF										1.000	.431	-.007	.988**	.999**	.500	-.007	.988**
STV											1.000	.429	.500	.423	.774**	.429	.500
SST												1.000	-.080	-.051	-.229	1.000**	-.080
SDT													1.000	.992**	.621*	-.080	1.000**
SSF														1.000	.518	-.051	.992**
SSV															1.000	-.229	.621*
SDF																1.000	-.080
SDV																	1.000

*. nivel de significancia al 0.05

**.. nivel de significancia 0.01

7.5. Uso de la red para el estudio del sedimento

Se llevaron a cabo estudios en los sedimentos del CARL, como complemento de los análisis físico-químicos en las aguas.

Uno de los análisis realizados fue el de potencial de hidrógeno cuyos valores medidos se ilustran en la Tabla 7.32. Sus medias para aguas altas, están ligeramente por arriba de la neutralidad y, para bajas, por debajo, pero para ambos casos el pH se encuentra alrededor de la neutralidad.

TABLA 7.32 POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN SEDIMENTO DEL CARL

parámetro			parámetro		
tributario	periodo anual		punto de red	periodo anual	
	aguas altas	aguas bajas		aguas altas	aguas bajas
D 01 TENANGO	6.7	6.7	R 01 ALMOLOYA	6.7	7.1
D 02 MEZAPA	7.4	6.9	R 02 ALMOLOYA	6.5	6.7
D 03 OCOYOACAC	6.5	6.8	R 04 MEZAPA	6.6	7.1
D 04 MEXICO-TOL	7.1	6.8	R 05 SN MATEO	6.8	6.9
D 05 RECICLAGUA	7.0	8.4	R 06 MEX-TOL	6.9	6.6
D 06 TOTOLTEPEC	7.6	7.7	R 07 RECICLAGUA	7.1	7.1
D 07 XONACATLAN	6.8	6.7	R 08 TOTOLTEPEC	6.7	7.2
D 08 TOL-NORTE	N.A.	N.A.	R 09 TOL-NAU	6.6	7.2
D 09 S CATARINA	6.7	6.3	R 10 S CATARINA	6.5	7.0
D 10 S LORENZO	6.6	7.4	R 11 TOL-TEMOAYA	7.2	7.1
D 11 VERDIGUEL	7.0	7.4	R 12 ENT ALZATE	6.7	7.3
D 12 TEJALPA	7.1	7.0	R 15 ALZATE C	6.6	7.2
D 13 TEMOAYA	6.9	7.2	R 16 ALZATE D	6.6	7.3
			R 20 COMPUERTA	6.5	7.3
			R 21 TOL-ATLA	6.7	7.6
Estadísticos de tributarios	aguas altas	aguas bajas	estadísticos de puntos de red	aguas altas	aguas bajas
máximo	7.5	8.4	máximo	7.2	7.5
media	6.9	7.1	media	6.7	7.1
mínimo	6.4	6.2	mínimo	6.4	6.6
desviación estándar	0.3	0.6	desviación estándar	0.2	0.2
curtosis	0.0	1.2	curtosis	1.8	0.2
asimetría	0.6	1.0	asimetría	1.5	-0.2
correlación	0.35		correlación	-0.06	

N.A. No aplica, canal revestido de concreto (sin sedimentos)

Otro de los análisis realizados en sedimentos fue el de humedad (Tabla 7.33) cuyo valor medio medido en tributarios es mayor en aguas altas, mientras que en los puntos de red es mayor en aguas bajas. El valor mayor en aguas bajas en los puntos de red es determinado por la alta cantidad de partículas finas combinadas con materia orgánica que se depositan en el lecho del río cuando las velocidades de flujo disminuyen. En los tributarios sucede lo contrario, los valores de humedad en sedimentos son menores en aguas bajas.

TABLA 7.33 HUMEDAD (%) EN SEDIMENTOS DEL CARL

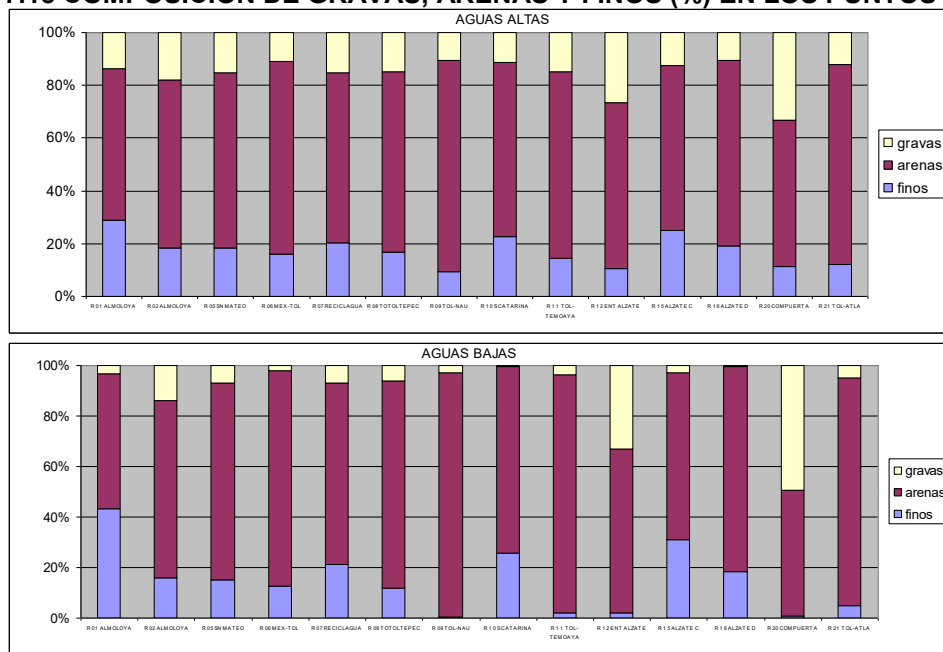
parámetro			parámetro		
	periodo anual			periodo anual	
tributario	aguas altas	aguas bajas	punto de red	aguas altas	aguas bajas
D 01 TENANGO	31.1	44.1	R 01 ALMOLOYA	34.3	63.9
D 02 MEZAPA	59.4	43.7	R 02 ALMOLOYA	40.0	64.9
D 03 OCOYOACAC	60.1	57.9	R 04 MEZAPA	42.7	74.6
D 04 MEXICO-TOL	77.2	57.6	R 05 SN MATEO	40.9	74.6
D 05 RECICLAGUA	29.6	15.5	R 06 MEX-TOL	64.6	39.4
D 06 TOTOLTEPEC	62.2	14.6	R 07 RECICLAGUA	29.8	41.2
D 07 XONACATLAN	43.1	46.9	R 08 TOTOLTEPEC	15.9	51.4
D 08 TOL-NORTE	N.A.	N.A.	R 09 TOL-NAU	52.2	51.9
D 09 S CATARINA	73.4	37.3	R 10 S CATARINA	49.0	36.1
D 10 S LORENZO	70.4	40.1	R 11 TOL-TEMOAYA	74.1	36.6
D 11 VERDIGUEL	81.8	23.4	R 12 ENT ALZATE	76.4	61.5
D 12 TEJALPA	78.5	24.8	R 15 ALZATE C	57.0	62.8
D 13 TEMOAYA	79.9	24.7	R 16 ALZATE D	39.4	56.8
			R 20 COMPUERTA	61.1	57.2
			R 21 TOL-ATLA	66.8	47.5
estadísticos de tributarios	aguas altas	aguas bajas	estadísticos de puntos de red	aguas altas	aguas bajas
máximo	81.8	57.9	máximo	76.4	74.6
media	62.2	35.9	media	49.6	54.7
mínimo	29.6	14.5	mínimo	15.8	36.0
desviación estándar	18.5	15.1	desviación estándar	17.1	12.7
curtosis	-0.6	-1.2	curtosis	-0.5	-1.0
asimetría	-0.8	0.0	asimetría	-0.1	0.0
correlación	-0.04		correlación	-0.23	

N.A. No aplica, canal revestido de concreto sin sedimentos

Adicionalmente, se realizó el análisis de granulometría, el cual es esencial para cualquier estudio de un río. Para clasificar los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula se han establecido muchas clasificaciones granulométricas. Básicamente, todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase. De todas estas escalas granulométricas, es la de Atterberg o Internacional (llamada así por haber sido aceptada por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) y la

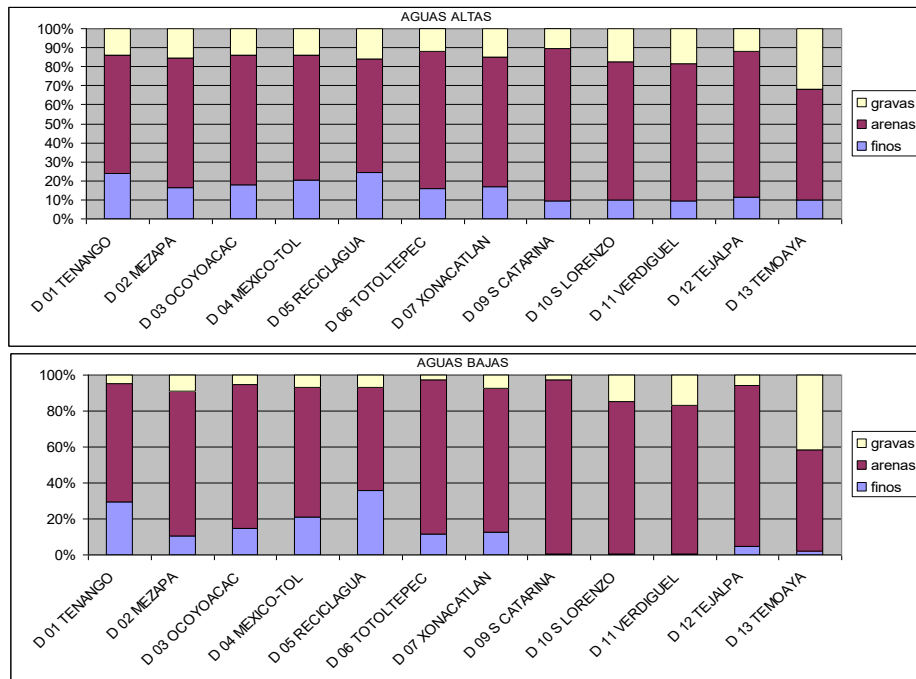
americana del USDA, las más ampliamente utilizadas. La distribución granulométrica en el CARL, según la clasificación de la USDA, se muestra en las Figuras 7.18 y 7.19. La composición de los sedimentos está fuertemente relacionada con la velocidad de flujo de las aguas, si las aguas son estáticas, tienen mayor contenido de finos y disminuyen sus gravas (como en la Laguna de Almoloya del Río). En caso contrario, cuando sus velocidades aumentan, los finos son arrastrados con las aguas y permanecen en los sedimentos gravas y arenas, como sucede en la compuerta de la presa Alzate.

FIGURA 7.18 COMPOSICIÓN DE GRAVAS, ARENAS Y FINOS (%) EN LOS PUNTOS DE RED



En los tributarios (Figura 7.18), la composición de sus sedimentos está fuertemente relacionada, con la concentración de sólidos en las aguas y las variaciones de velocidad que éstas llevan en su cauce por los eventos climáticos. Así, la cantidad de finos es mayor en los que contienen mayor carga de sólidos, como el tributario Reciclagua. En caso contrario, si la concentración de sólidos es baja, como es el caso del tributario Temoaya, la concentración de finos baja, y predominan en sus sedimentos las arenas y las gravas.

FIGURA 7.19 COMPOSICIÓN DE GRAVAS, ARENAS Y FINOS (%) EN LOS TRIBUTARIOS



7.6. Análisis de correlación agua-sedimento

En aguas altas, en los puntos de red (Tabla 7.34), no existe una correlación agua-sedimento marcada, sin embargo, en los valores de los sedimentos comparados contra sí mismos existe una marcada correlación negativa entre sedimentos finos y arenas contra gravas.

Para los tributarios (Tabla 7.35) en periodo de aguas altas, los valores de correlación sobresalientes son los que surgen de los sedimentos finos contra turbiedad, caudal y conductividad de las aguas que, por ser sus valores negativos, permiten deducir que los grandes caudales resuspenden los sedimentos (disminuyendo los finos) e incrementan los valores de turbiedad y conductividad en las aguas de los tributarios.

TABLA 7.34 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON AGUA-SEDIMENTO DE LOS PUNTOS DE RED EN PERIODO DE AGUAS ALTAS

		SEDIMENTO					
		HUMEDAD	FINOS	ARENAS	GRAVAS	pH	
AGUA	pH	.023	.037	-.047	.038	.534	
	CON	-.563	-.191	-.167	.172	.380	
	OD	.464	-.280	-.388	.375	-.406	
	TEMP	-.147	-.235	-.288	.284	.255	
	VEL	-.102	-.054	-.183	.169	.069	
	CAUDAL	-.055	-.054	-.122	.116	.046	
	TURBIE	.011	.198	.285	-.272	.013	
	DQO	.213	-.266	-.091	.113	.244	
	ST	-.660*	-.189	-.174	.177	.144	
	STF	-.599*	-.177	-.183	.184	.210	
	STV	-.681*	-.179	-.104	.113	-.082	
	SEDIMENTO	HUMEDAD	1.000	-.330	-.315	.320	.118
		FINOS		1.000	.979**	-.984**	-.147
		ARENAS			1.000	-1.000**	-.136
GRAVAS					1.000	.140	
pH						1.000	

*. nivel de significancia al 0.05

** nivel de significancia al 0.01

TABLA 7.35 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON AGUA-SEDIMENTO DE LOS TRIBUTARIOS EN PERIODO DE AGUAS ALTAS

		SEDIMENTO					
		HUMEDAD	FINOS	ARENAS	GRAVAS	pH	
AGUA	pH	.167	.064	.030	-.011	-.020	
	CON	-.475	-.040	-.011	-.003	.232	
	OD	.098	.027	.065	-.019	-.231	
	TEMP	-.152	-.038	-.042	.069	.127	
	VEL	.688**	-.162	-.382	.393	-.086	
	CAUDAL	.625*	-.085	-.268	.285	.017	
	TURBIE	-.070	-.282	-.350	.327	.616*	
	DQO	-.419	.280	.382	-.382	-.122	
	ST	-.523*	.041	.178	-.207	.042	
	STF	-.448	.035	.109	-.130	.071	
	STV	-.378	.028	.195	-.222	-.024	
	SEDIMENTO	HUMEDAD	1.000	-.457	-.625*	.651**	.137
		FINOS		1.000	.931**	-.916**	-.098
		ARENAS			1.000	-.995**	-.222
GRAVAS					1.000	.214	
pH						1.000	

*. nivel de significancia al 0.05

** nivel de significancia al 0.01

Para el periodo de aguas bajas en los puntos de red (Tabla 7.36), uno de los datos de correlación sobresaliente es la proporción inversa de caudal y velocidad contra arenas, en este caso, al incrementarse fuertemente los caudales, las arenas son arrastradas, de lo que se puede deducir que a mayor caudal menos arenas en el fondo del cauce y sólo prevalecen las gravas, como aparece en la relación arenas/gravas.

TABLA 7.36 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON AGUA-SEDIMENTO DE LOS PUNTOS DE RED EN PERIODO DE AGUAS BAJAS

		SEDIMENTO				
		HUMEDAD	FINOS	ARENAS	GRAVAS	pH
AGUA	pH	.143	.485	-.445	-.002	.305
	CON	-.220	-.092	.315	-.235	.084
	OD	.220	.425	-.605*	.210	.103
	TEMP	-.135	-.106	.318	-.212	.048
	VEL	-.061	-.416	-.171	.555*	.484
	CAUDAL	-.574*	-.220	.456	-.246	.002
	TURBIE	-.291	.009	.114	-.121	.118
	DQO	-.215	.084	.116	-.196	-.080
	ST	.189	-.218	-.301	.504	.386
	STF	.179	-.258	-.311	.550*	.390
SEDIMENTO	STV	.164	-.091	-.214	.301	.292
	HUMEDAD	1.000	.177	-.428	.258	.003
	FINOS		1.000	-.458	-.453	-.259
	ARENAS			1.000	-.584*	-.009
	GRAVAS				1.000	.244
	pH					1.000

*. nivel de significancia al 0.05

Por último, se realizó el análisis de correlación en agua y sedimento en los tributarios muestreados para el periodo de aguas bajas. En la Tabla 7.37, se muestran las interacciones positivas entre los finos del sedimento con conductividad, temperatura, DQO y STV del agua, de lo que se puede deducir que los sedimentos finos contienen sales inorgánicas como materia orgánica. Otra

correlación destacable fue el valor negativo obtenido entre pH de sedimento y humedad de sedimento, lo que indicó que valores de pH menores tuvieron mayores contenidos de humedad.

TABLA 7.37 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON AGUA-SEDIMENTO DE LOS TRIBUTARIOS EN PERIODO DE AGUAS BAJAS

		SEDIMENTO				
		HUMEDAD	FINOS	ARENAS	GRAVAS	pH
AGUA	pH	-.451	-.438	.107	.347	.412
	CON	-.366	.686*	-.431	-.236	.720**
	OD	-.238	-.603*	-.007	.665*	-.107
	TEMP	-.436	.585*	-.442	-.113	.787**
	VEL	-.609*	-.062	-.353	.484	.513
	CAUDAL	-.645*	.409	-.223	-.188	.671*
	TURBIE	-.366	-.062	-.009	.059	.374
	DQO	-.093	.867**	-.490	-.367	.315
	ST	-.184	.527	-.296	-.211	.509
	STF	-.234	.443	-.282	-.136	.524
	STV	.191	.715**	-.218	-.512	.158
SEDIMENTO	HUMEDAD	1.000	.112	.111	-.238	-.705*
	FINOS		1.000	-.595*	-.387	.302
	ARENAS			1.000	-.510	-.417
	GRAVAS				1.000	.152
	pH					1.000

*. nivel de significancia al 0.05

** . nivel de significancia al 0.01

8. CONCLUSIONES

Durante los recorridos preliminares se reconoció la topografía y las infraestructuras existentes a lo largo de CARL, además, se identificaron, categorizaron 51 tributarios, de los cuales 19 están entubados y 7 son ríos.

Se establecieron 21 puntos de red estratégica de monitoreo en el cauce principal y se seleccionaron 13 tributarios sobresalientes por sus cargas y/o caudales.

Se identificaron los posibles orígenes y áreas que vierten en los puntos de red estratégica de monitoreo y los tributarios.

Se realizó una descripción detallada (micro y macrolocalización) para la ubicación de los puntos de red estratégica de monitoreo y los tributarios principales.

Se trasladó la información a un sistema de información geográfica para hacer un análisis dimensional de los puntos de red estratégica de monitoreo y principales tributarios, estableciendo su geoposición.

Se utilizó la red estratégica de monitoreo para el estudio de los principales parámetros físico-químicos en agua (caudal, velocidad, temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbiedad, DQO, sólidos en todas sus formas y grasas y aceites) y en sedimento (humedad, pH, granulometría), para periodo de aguas altas y bajas.

Las velocidades oscilan entre 0.3 y 0.4 m/s, excepto la para la laguna de Almoloya del Río que no presentó movimiento, y la compuerta de la presa Alzate que presenta hasta 1.4m/s. Las temperaturas medidas oscilan entre 13 y 32 °C, ningún valor rebasó la NOM-001-ECOL-1996 (40°C), los valores medidos de potencial de hidrógeno se encontraron entre 5.5 y 9.7, el valor máximo

correspondió a la laguna de Almoloya del río; los valores de conductividad oscilan entre 108 y 4860 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el máximo fue medido en la descarga Reciclagua; los valores de OD se encuentran cercanos a cero a lo largo del río, excepto para la laguna de Almoloya del río donde se encuentra a niveles de saturación (8 mg/L) y la compuerta de la presa Alzate donde se midieron valores entre 3 y 5 mg/L; el valor mínimo de turbiedad se midió en la laguna de Almoloya del río (7 UTN) y el máximo en el punto Reciclagua (307 UTN). Los valores de DQO oscilan entre 20 y 1312mg/L, el máximo se midió en el tributario Tenango y el mínimo, en el río Temoaya; en cuanto a sólidos totales, el máximo se midió en la presa Alzate (5178mg/L) y el mínimo fue medido en el tributario Ocoyoacac (177mg/L).

En los puntos de red, de los valores medidos de DQO, 11 rebasan la NOM en aguas altas y todos rebasan la NOM en aguas bajas. De los tributarios, 4 rebasan la NOM en aguas altas y 11, en aguas bajas. En sólidos suspendidos, en los puntos de red, 4 puntos rebasan la NOM en aguas altas y 5, en aguas bajas incluyendo los medidos en el interior de la presa Alzate.

Por medio de un análisis de centroides, se identificó la zona más afectada por la contaminación, que es el tramo comprendido entre las carreteras México-Toluca y Toluca-Naucalpan, destacando los altos valores de sólidos totales, demanda química de oxígeno y conductividad.

Existió una correlación positiva de los sólidos comparados contra sí mismos, también para la comparación DQO, STF contra conductividad. La correlación negativa fue principalmente la de STV, DQO contra OD, en aquellos puntos en los que se pudo medir valores de OD diferentes de cero.

9. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones acerca de la problemática del CARL, que incluyan el monitoreo permanente a lo largo del año, para profundizar en el estudio de las variables espaciales y temporales de la contaminación.

Estudiar la problemática de contaminación, incluyendo estudios de toxicología ambiental, para conocer el impacto de la contaminación en el agua y en el medio ambiente, así como el posible riesgo para las comunidades aledañas.

Complementar los análisis espaciales con el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Generar un programa de cómputo (Software) capaz de simular “a priori” el impacto en el CARL de las acciones de saneamiento, para la mejor orientación de las políticas de saneamiento y, por tanto, optimizar los recursos que se apliquen.

Orientar las investigaciones subsecuentes hacia la elaboración de una propuesta de saneamiento del CARL, que comprendan desde la atención puntual y propositiva de la problemática de estudio, hasta la inclusión de una propuesta con un enfoque integral (que contemple las diferentes variables ambientales), integradora (que incluya las diferentes áreas del conocimiento) e integrante (con el fundamento ecológico, legal, económico y social para impulsarse y ser impulsada), para que las acciones tengan un enfoque ambientalista que permita mitigar y, de ser posible, resolver la problemática de contaminación del CARL.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Albores, B., 1994, "Sistemas Hidráulicos, Modernización de la Agricultura", Colegio Mexiquense.1994. p.303.
- ASTM,1990, American Society for Testing and Materials, D422, USA.
- APHA, AWWA, WPCF, 1995, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, USA.
- Asare–Ansa, D., Marr,L., Cresser, S., 2000, Evaluation of Modelled and Measured Patterns of Dissolved Oxygen in a Fresh Water Lake as an Indicator of the Presence of Biodegradable Organic Pollution, *Wat. Res.* 34(4) pp 1079-1088.
- Ávila, P., 1995, Dinámica de los metales pesados Cr,Fe, Ni, Cu, Zn, Cd,Pb y Hg en agua, sedimento y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) de la presa José Antonio Alzate, Estado de México, Tesis de Maestría, UAEMex.
- Ávila, P., 2001, Dinámica de metales pesados no esenciales en la interacción agua-sedimento-biota en la presa José Antonio Alzate, Tesis Doctoral, CIRA-UAEMex.
- Ávila, P., Balcázar, G., Zarazúa, G., Barceló, I.D.,Díaz, C., 1999, Heavy Metal Concentrations in Water and Bottom Sediments of an a Mexican Reservoir, *The Science of of the Total Environment*, 23(4) pp185-196
- Ballester,V., Martinelli,A., Krusche,V., Victoria,L., Bernardez,M., Camargo,B., 1999, Effects of Increasing the Dissolved O₂, Free Dissolved CO₂ and Respiration Rates in the Piracicaba River Basin, Southeast, Brazil, *Wat. Res.* 33(9) pp 2119-2129.
- Barceló, I.D., 2000, Estudio de la movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn,Pb, y Zn en sedimentos de la presa José Antonio Alzate en el Estado de México, Tesis doctoral CIRA-UAEMex.
- Barceló,I.,D., Laure,A., Solís,H., Ávila,P., Carapia,L. Barrios,L., 2002, Evaluación de los Contaminantes Metálicos de los Sedimentos de la Presa J.A. Alzate en el Estado de México, XXVIII, Congreso Latinoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México.
- Blanchard, M.,Teil,M., Ollivon, D.,Gorban, B.,Chesteredicoff, C.C. Chevreuil, M., 2001, Origin and Distribution of Polyaromatic Hydrocarbons and Polychlorobiphenyls in Urban Effluents to Wastewater Treatment Plants of the Paris Area (France), *Wat Res* 35(15) pp 3679-3687.

- Bordalo,A., Nilsumranchit,W., Charlemwat,K., 2001, Water Quality and Uses of the Bangpakong River Eastern Thailand(Eastern Thailand), Wat. Res. 35(15) pp 3635-3642.
- CCRECRL, 1993, Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma, Acuerdo Nacional para la Recuperación de la Cuenca Lerma-Chapala, México.
- Díaz,C., Quentin,E., Wendy,U., Bâ, K.M., 2003, Atlas Hidrológico Digital del Curso Alto del Río Lerma, Laboratorio de Hidrogeomática, Centro Interamericano de Recursos del Agua, UAEMex. Versión Disco Compacto.
- Djodjic,F., Ulén, B., Bergstrom,L., 2000, Temporal and Spatial Variations of Phosforus Losses and Drainage in a Structured Clay Soil, Wat. Res. 34(5) pp 1687-1695.
- DOF,1997, Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales, Publicada 6 de enero de 1997, México.
- Feng,H., Cochram, K., Hirschberg,D., 2002, Transport and Sources of Metal Contaminants Over the Course of Tidal Cycle in the Turbidity Maximum Zone of the Hudson River Estuari, Wat. Res. 36(3) pp 733-743.
- Gobierno del Estado de México, 1993, Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma, México.
- Gómez, A., 2005, Desarrollo de una Metodología Geomática para la Evaluación por Subcuenca de Indicadores de Deficiencias en el Tratamiento de Aguas Residuales, Tesis de Maestría, CIRA-UAEMex.
- Huang, W., Foo, S., 2002, Neural Network Modeling of Salinity Variation in Apalachicola River, Wat. Res. 36(3) pp 356-362.
- Hupp, R., 2000, Hydrology, Geomorphology, and Vegetation of Coastal Plain Rivers in the South-Eastern USA, US Geological Survey, Reston, VA, USA.
- Hutchings, G., Smit, B., Rawlins, G., Lister, R. 1999, Temporal and Spatial Variability of Stream Water in Wales. The Welsh Borders and Part of the Midlands. U.K. 1 Major Ion Concentrations, Wat. Res. 33(16) pp 3479-3491.
- INEGI, 2000, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, XII Censo

- General de Población y Vivienda 2000, México.
- Info Lerma, 1998, Boletín del Centro de Información de la Cuenca Lerma-Chapala, 2(1), México
- Jonnalagadda,B., Mhere,G., 2001, Water Quality of the Odzi River in the Estern Higlands of Zimbabwe, Wat. Res. 35(10), 2371-2376.
- Lau, S., 2000, The Significance of Temporal Varibility in Sediment Quality for Contamination Assement in a Coastal Wetland, Wat. Res. 34(2) pp 387-394.
- Lau, S., Chu, L., 2000, The Significance of Sediment Contamination in a Coastal Wetland, Hong Kong, China, Wat, Res. 34(2) pp 379-386.
- Mantilla-Morales,G., Izurieta,D., Sanvicente-Sánchez,H., 2000, Avances en Hidráulica 6, Editores Aparicio, México.
- Márquez,S., Bueno,L, 2001, Using Chemical and Physical Parameters to Define the Quality of Pardo River Water (Botucapu -SP-Brazil). Wat. Res. 35(6) pp1609-1616.
- Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente ,Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, 1999, Metodologías Diseño de Redes de Monitoreo, Estadísticas , Precisión de las Determinaciones Analíticas, Control de Calidad, Programa Desarrollo Institucional Ambiental, Control de Contaminación Industrial, Argentina.
- OMS, 1983, Diagnóstico ambiental de la zona industrial del alto Lerma por medio de la técnica de evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo, reporte de la OMS del Estado de México.
- OMS, 1993a, 2,4, D, Guía Para la Salud y la Seguridad, editorial Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México.
- OMS, 1993b, ATRAZINA, Guía Para la Salud y la Seguridad, editorial Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México.
- Owens, P., Desmond, E., 2002, The Phosphorus Content of Fluvial Sediment in Rural and Industrialized River Basins, Wat. Res. 36(3) pp 685-701.
- Plan Maestro de la Cuenca Lerma-Chapala, 1998, México.

- Sanders, T., 1983: "Design of Networks for Monitoring Water Quality", Water Resources Publications, Littleton, USA.
- SARH, 1970, Estudio de la Contaminación de la Cuenca del Río Lerma, México. p142.
- Schulz, R., 2001, Rainfall-Induced Sediment and Pesticide Input from Orchards in to the Laurence River, Western Cape, South Africa: Importance of a Single Event, *Wat. Res.* 35(8) pp 1869-1876.
- Solís, C., Barceló, I.D., González, C. García, J., 1997, Variación de los Parámetros Físico-Químicos en la Presa J. A. Alzate, Memorias Técnicas del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Zacatecas, Zac. México, del 4 al 7 al de Noviembre tomo II, pp 1-10.
- Sudo, M., Kunimatsu, T., Okubo, T., 2002, Concentrations and Loading of Pesticide Residues in Lake Biwa, Basin (Japan), *Wat. Res.* 36(3) pp 315-329.
- UNESCO, 1992, Water Quality Assessments in Environmental Monitoring, Publication of the UNESCO- WHO for the United Nations Environment Programme, Ed. Chapman and Hall, London-New York, 585 p.
- Vervier, P., Pinheiro, A., Fabre, A., Pinay, G., Fustec, E., 1999, Spatial Changes in the Modalities of N and P Inputs in a Rural River Network. *Wat. Res.* 33(1) pp. 95-104.
- White, C., Smart, R., Cresser S., 1999, Spatial and Temporal Variations in Critical Loads for Rivers in N.E. Scotland: Validation of Approaches *Wat. Res.* 34(6) .pp 1912-1918.
- Zarazúa, G., 2000, Bioacumulación y toxicidad de metales pesados Cr, Cu, Zn, Cd y Hg en *Daphnia pulex* de la presa José Antonio Alzate, Estado de México, Tesis de maestría, CIRA-UAEMex.

ANEXO

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN LOS PUNTOS DE RED EN PERIODO DE AGUAS ALTAS

	PH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	UTN	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV	GRASAS
PH	1.000	-.286	.492	.032	.079	-.109	-.466	-.510	-.408	-.286	-.404	-.543*	-.015	-.509	-.611*	.009	-.067	-.934
CON		1.000	-.272	.337	-.488	-.339	.457	.549*	.794**	.836**	.333	.376	.397	.318	.541*	.406	.282	.252
OD			1.000	.236	.331	.371	-.369	.017	-.435	-.454	-.194	-.360	-.122	-.324	-.450	-.157	.000	-.219
TEMP				1.000	-.026	.040	.157	-.086	.117	.375	-.344	-.151	-.195	-.192	.005	-.174	-.214	.587
VEL					1.000	1.000**	-.083	-.334	-.768**	-.646*	-.548	-.424	-.565*	-.415	-.412	-.510	-.591*	.223
CAUDAL						1.000	.001	.031	-.517*	-.492	-.299	-.285	-.424	-.282	-.265	-.407	-.376	.583
UTN							1.000	.120	.293	.238	.237	.689**	-.459	.687**	.631*	-.485	-.304	.311
DQO								1.000	.613*	.356	.710**	.237	.548*	.211	.302	.461	.656**	.830
ST									1.000	.884**	.685**	.422	.643**	.361	.591*	.596*	.622*	.248
STF										1.000	.265	.272	.551*	.195	.512	.576*	.366	.157
STV											1.000	.448	.463	.443	.422	.330	.711**	.443
SST												1.000	-.099	.994**	.924**	-.098	-.083	-.202
SDT													1.000	-.135	.038	.979**	.848**	.408
SSF														1.000	.876**	-.144	-.086	-.403
SSV															1.000	.073	-.064	.042
SDF																1.000	.720**	.304
SDV																	1.000	.654
GRASAS																		1.000

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN LOS PUNTOS DE RED EN PERIODO DE AGUAS BAJAS

	PH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	UTN	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV	GRASAS
PH	1.000	-.417	.860**	-.486	-.031	-.378	-.327	-.396	-.059	-.087	.007	-.216	-.023	-.170	-.224	-.078	.089	-.762
CON		1.000	-.285	.219	-.378	.340	.707**	.785**	-.106	-.123	-.049	.486	-.190	.297	.529*	-.140	-.243	.839
OD			1.000	-.454	-.032	-.469	-.265	-.259	-.095	-.044	-.170	-.172	-.066	-.164	-.170	-.035	-.112	.601
TEMP				1.000	.149	.468	.349	.282	-.055	-.016	-.115	.197	-.089	.102	.219	-.022	-.197	-.650
VEL					1.000	-.078	-.300	-.398	.503	.632*	.144	-.310	.561*	-.366	-.285	.653**	.251	-.591
CAUDAL						1.000	.277	.159	.095	.027	.201	.032	.090	.101	.011	.022	.202	-.514
UTN							1.000	.938**	.147	.077	.248	.915**	-.006	.787**	.931**	.035	-.085	.907
DQO								1.000	-.006	-.056	.092	.901**	-.159	.781**	.914**	-.099	-.239	.959*
ST									1.000	.960**	.848**	.144	.986**	.171	.134	.953**	.821**	.553
STF										1.000	.667**	.060	.960**	.064	.060	.999**	.662**	.649
STV											1.000	.269	.811**	.336	.244	.650**	.936**	.188
SST												1.000	-.025	.938**	.995**	.010	-.087	.783
SDT													1.000	.014	-.034	.961**	.844**	.483
SSF														1.000	.898**	.011	.017	.638
SSV															1.000	.012	-.114	.809
SDF																1.000	.662**	.646
SDV																	1.000	-.489
GRASAS																		1.000

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DE LOS TRIBUTARIOS EN PERIODO DE AGUAS ALTAS

	PH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	UTN	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV
PH	1.000	.198	.014	.410	.168	.242	-.403	-.400	-.027	.112	-.429	-.610*	.114	-.598*	-.565*	.226	-.294
CON		1.000	-.476	.591*	.301	.289	.256	.022	.930**	.944**	.666*	.202	.922**	.145	.194	.913**	.599*
OD			1.000	-.266	.389	.211	-.292	-.569*	-.381	-.330	-.438	-.153	-.340	-.117	-.408	-.293	-.362
TEMP				1.000	.265	.149	-.088	-.046	.477	.546	.160	-.063	.522	-.085	-.169	.516	.346
VEL					1.000	.615*	-.205	-.576*	.280	.367	-.042	-.241	.347	-.208	-.344	.398	.053
CAUDAL						1.000	.013	-.507	.289	.393	-.082	-.178	.344	-.167	-.229	.386	.077
UTN							1.000	.273	.287	.277	.246	.876**	.069	.910**	.890**	.084	-.006
DQO								1.000	-.021	-.125	.289	.426	-.086	.255	.603*	-.135	.108
ST									1.000	.981**	.818**	.270	.972**	.245	.189	.940**	.706**
STF										1.000	.689**	.212	.965**	.196	.125	.965**	.600*
STV											1.000	.375	.759**	.330	.331	.642*	.850**
SST												1.000	.054	.963**	.918**	.018	.150
SDT													1.000	.013	-.018	.976**	.700**
SSF														1.000	.862**	-.018	.108
SSV															1.000	-.051	.093
SDF																1.000	.526
SDV																	1.000

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DE LOS TRIBUTARIOS EN PERIODO DE AGUAS BAJAS

	PH	CON	OD	TEMP	VEL	CAUDAL	UTN	DQO	ST	STF	STV	SST	SDT	SSF	SSV	SDF	SDV
PH	1.000	.159	.294	.406	.471	.280	.275	-.610*	.252	.310	-.194	.038	.246	.303	-.220	.038	.246
CON		1.000	-.464	.911**	.371	.750**	.256	.527	.877**	.861**	.529	.120	.859**	.857**	.502	.120	.859**
OD			1.000	-.286	.430	-.107	-.289	-.542	-.446	-.354	-.723**	-.400	-.387	-.350	-.450	-.400	-.387
TEMP				1.000	.442	.790**	.211	.368	.764**	.750**	.457	.251	.727**	.739**	.340	.251	.727**
VEL					1.000	.599*	-.172	-.249	.295	.386	-.348	-.418	.356	.393	-.029	-.418	.356
CAUDAL						1.000	.147	.284	.482	.488	.205	.186	.454	.474	.135	.186	.454
UTN							1.000	.166	.189	.135	.388	.146	.167	.141	.260	.146	.167
DQO								1.000	.328	.240	.645*	.383	.272	.230	.422	.383	.272
ST									1.000	.988**	.564*	.066	.989**	.986**	.588*	.066	.989**
STF										1.000	.431	-.007	.988**	.999**	.500	-.007	.988**
STV											1.000	.429	.500	.423	.774**	.429	.500
SST												1.000	-.080	-.051	-.229	1.000**	-.080
SDT													1.000	.992**	.621*	-.080	1.000**
SSF														1.000	.518	-.051	.992**
SSV															1.000	-.229	.621*
SDF																1.000	-.080
SDV																	1.000

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

