



03067
2 ej 2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Colegio de Ciencias y Humanidades
Unidad Académica de los Ciclos
Profesionales y de Posgrado

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

**Evaluación del Proceso de Purificación Biológica
del Río Duero, en el Valle de Zamora
Michoacán, México**

T E S I S

Que para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(Oceanografía Biológica y Pesquera)

presenta:

Roberto King Díaz

México, D. F.

COPIE COPI
FALLA DE ORIGEN

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	Página
Resumen	
Introducción	1
Objetivos	5
Estrategia de Investigación	6
Area de Estudio	7
Estaciones de Muestreo	9
Material y Métodos	14
Resultados y Discusión	17
Conclusiones	45
Literatura Citada	47
Agradecimientos	52
Indice de Figuras	

RESUMEN

Se estudió el proceso de autoporificación biológica del Río Duero en el Valle de Zamora, Michoacán, mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, de junio de 1984 a mayo de 1985 realizando cinco muestreos en doce estaciones desde el nacimiento del Río Duero en Carapan hasta su desembocadura cerca del Lago de Chapala.

Los resultados obtenidos de los diferentes análisis realizados indican lo siguiente: el pH medio de 6.77 tiende ligeramente hacia la acidez, éste aunado a la alcalinidad total con 1.90 meq/kg muestra que la especie iónica predominante es el ion HCO_3^- . Los valores de conductividad eléctrica y turbidez se relacionan en cuanto a la cantidad de materiales sólidos y disueltos en suspensión con 171.64 $\mu\text{mhos/cm}$ y 18.57 UTN, respectivamente. La concentración de oxígeno disuelto presenta un valor medio de 5.14 mg/L denotando una zonación trófica en el Río Duero. Una zona de aguas claras y limpias en la zona de montañas donde se origina el río, una zona de activa descomposición en el Valle de Zamora y una zona de recuperación en la Ciénega de Chapala, esto se confirma con los valores medios de N-NH_3 con 0.5337 mg/L, N-NO_3 con 1.2749 mg/L y fósforo total con 0.2272 mg/L.

La comparación de la concentración de los iones más abundantes del Río Duero con la concentración promedio mundial de ríos esta por encima de los datos propuestos por Livingstone (1963), con 151.59 mg/L y 119.80 mg/L, respectivamente.

El estudio de metales tóxicos como el Cinc y el Cobre provenientes de los agroquímicos empleados en las zonas de cultivo están por debajo del límite permisible en la norma mexicana para aguas superficiales y costeras con 10.0 y 0.01 mg/L, los valores de Sr, Ni, Cr y Mn no fueron detectados con los métodos empleados.

Los resultados de los diferentes análisis desarrollados aún cuando están dentro de los límites establecidos, presentan una marcada tendencia de incremento hacia niveles que pueden ser tanto tóxicos como letales para la fauna y flora acuática. Además de los procesos de autopurificación biológica del Río Duero como es la absorción de iones por las macrofitas flotantes y la descomposición heterotrófica del sustrato por la bionasa bacteriana, se encuentran los procesos de dilución o equalización y procesos físicos y fisicoquímicos.

INTRODUCCION

Los recursos acuáticos continentales que existen en el país suman en superficie 700,000 hectáreas aproximadamente, de las cuales, poco más de 500,000 hectáreas corresponden a embalses artificiales y el resto a lagos y lagunas.

El estado de Michoacán, cuenta con una enorme riqueza en recursos lénticos, tanto superficiales como subterráneos. Actualmente se han inventariado 295 lagos y embalses, 84 de estos tienen una capacidad que va de uno a $12,500 \times 10^6 \text{ m}^3$ siendo seis de ellos lagos y los restantes presas de almacenamiento, también se ha estimado que existen aproximadamente 500 manantiales.

Con respecto a sus recursos lénticos y tomando en cuenta la distribución realizada por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (1981), el estado queda comprendido en tres regiones hidrológicas: Costa Centro, Balsas y Lerma-Santiago. La región Costa Centro comprende los ríos Coshuayana, Caire, Coalcaman, Nexpa y Carrizal. La región Balsas con el Río de las Balsas que en su curso inferior se llama Río Zacatula, tiene numerosos afluentes como son el Río Grande o Tepalcaltepec que a su vez recibe las aguas del Río Cupatitzio o del Marqués, el Río Tacámbaro que se une con el Río Carácuarro. El Río Cutzamala y sus afluentes: el Río Tuzantla que se forma con el Río Zitácuaro, el Río Tuxpan y el Río Temezcaltepec. La región Lerma-Santiago, localizada al norte del esta-

do, con el Río Lerma que forma límite entre el estado de Michoacán y los estados de Querétaro, Guanajuato y Jalisco; siendo sus afluentes los Ríos Duero, Angulo y Tlalpujahua.

No obstante, la abundancia de recursos se estima que hacia el año 2000, los Municipios de Lázaro Cárdenas, Morelia, Uruapan y Zamora, principalmente, tendrán problemas de abastecimiento de aguas, en cuanto a volumen y/o calidad debido al incremento de la población, industrias y servicios.

Estos recursos naturales ya sea cuerpos de agua, ríos y corrientes son usados como fuente de abastecimiento de agua potable en poblaciones e industrias, además sustentan la vida silvestre, son utilizados para recreación, irrigación, navegación, etc., en la mayoría de los casos contienen diversos tipos de contaminantes procedentes de los diferentes medios de transporte como son las lluvias, descargas domésticas e industriales, filtración de aguas residuales, desechos agrícolas, desmineralización de yacimientos y descargas de plantas termoquímicas.

Una alternativa viable para prevenir la escasez y evitar el deterioro de los cuerpos de agua, es el reuso de las aguas residuales en los diferentes sectores que requieren agua de calidad inferior a la de primer uso, o el tratamiento de esta para su adecuada disposición.

Para eliminar las impurezas que recoge el agua durante su trayecto desde las nubes hasta el mar, se han ideado y creado diferentes sistemas de tratamiento de agua como son: estanques de oxidación, filtros percoladores, lodos activados, entre otros, sin olvidar los sistemas naturales de purificación. Sin embargo, en ninguno de los municipios antes mencionados son tratadas las aguas residuales y únicamente en el municipio de Zamora se reusa en el riego agrícola, pero sin tratamiento previo, este es el caso del Río Duero.

El término purificación significa la eliminación de materias disueltas o particulada con propiedades contaminantes en un cuerpo de agua. Secundariamente y desde un punto de vista enteramente práctico la purificación o autopurificación es comprendida como la disminución en la concentración de materia contenida en el agua a través de una distancia recorrida. El material involucrado puede ser sustancias orgánicas o inorgánicas disueltas y partículas sólidas vivas o inertes.

Los más importantes procesos de la autopurificación son:

- I) Dilución o equalización
- II) Procesos químicos y fisico-químicos
- III) Descomposición bioquímica o biológica

En el caso del Río Duero, intervienen los procesos anteriormente mencionados, siendo de vital importancia la descomposición bioquímica mejor conocida como autopurificación biológica, la cual está formada por los siguientes mecanismos:

- a) Descomposición heterotrófica del sustrato por bacterias y hongos.
- b) Oxigenación biogénica por la fotosíntesis del fitoplancton y macrofitas sumergidas.
- c) Promoción de la floculación de las sustancias húmicas o fúmicas y biomasa suspendida libremente por la acción combinada de bacterias, algas y procesos fisicoquímicos.
- d) Intercambio acelerado de materia en la interfase sedimento agua por el movimiento de los animales.
- e) Remoción de biomasa suspendida por zooplancton y pequeños animales móviles.
- f) Remoción de sustancias orgánicas del sedimento por los organismos del bentos.
- g) Incorporación de nutrientes inorgánicos en biomasa de bacterias, hongos y plantas.
- h) Pérdida de compuestos orgánicos altamente energéticos en la atmósfera por procesos de fermentación anaerobia.
- i) Microfiltración biológica por zooplancton y pequeños animales sésiles.

Los mecanismos biológicos juegan una parte decisiva en el metabolismo de las aguas contaminadas y en los sistemas de tratamiento de agua. La autopurificación biológica no es aceptable cuando sustancias extremadamente estables o tóxicas son adicionadas al agua y estas no se pueden eliminar.

El uso de un río para transporte de sustancias las cuales se acumulan dentro de la cadena alimenticia o en el fondo de los sedimentos es el problema fundamental. Esto se aplica principalmente a los metales pesados (Hg, Cd, Zn, Cu, Ni, Pb) y muchas sustancias orgánicas de origen industrial, por ejemplo DDT y PCBs, los cuales son difíciles de descomponer o digerir por los sistemas biológicos. Esto es importante, dado que, el Río Duero cruza por zonas agrícolas en donde se emplean herbicidas, insecticidas y fungicidas para el control de plagas y otros organismos que afectan los cultivos.

OBJETIVOS

1. Evaluar la calidad del agua del Río Duero y los procesos naturales que intervienen en el mejoramiento de ésta, estableciendo un marco de referencia mediante el cual se logre la identificación de los cambios futuros en el medio acuático que indiquen el grado de alteración ecológica del sistema.

2. Determinar el daño ecológico en este sistema dinámico así como sus efectos principales, observando si la purificación natural es importante en el control de la emisión de los contaminantes hacia el río que afecten la calidad del agua así como a la biota acuática.
3. Establecer la zonación trófica presente en el Río Duero y sus características principales que permitan el reconocimiento de los diferentes procesos que intervienen en la recuperación del recurso.

ESTRATEGIAS DE INVESTIGACION

Para alcanzar estos objetivos se llevó a cabo un estudio limnológico de junio de 1984 a mayo de 1985, en donde se desarrollaron los siguientes puntos:

1. Se realizó un muestreo de estandarización en la zona de estudio, con ésto, se obtuvo un conocimiento del área de trabajo a fin de establecer la localización de las estaciones de muestreo, tomando en cuenta los sitios donde desembocan los drenes agrícolas, áreas factibles de desarrollo acuícola, descargas de núcleos poblacionales e industriales. Al respecto se presenta en el mapa la localización y número de estaciones.

2. Se estudió la calidad del agua del Río Duero mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, de esta forma, se conoce el marco ambiental de la situación actual del recurso hidráulico y de los procesos naturales de purificación en la conducta y metabolismo del Río Duero.

AREA DE ESTUDIO

Características del Río Duero

El Río Duero se localiza en el Valle de Zamora, estado de Michoacán, aproximadamente entre los 19°51' y 20°50' N y 102°02' y 102°39' W. Es el afluente principal del Río Lerma, originalmente vertía sus aguas directamente en el Lago de Chapala, pero debido a las obras de aprovechamiento para el riego que se han realizado se convirtió en afluente del Río Lerma.

El Río Duero nace en Carapan por la unión de los manantiales de Otúcuaro, Ojo Chico, Cumio, Cunio Chico, Echingarío, Uren y Bejar, posteriormente se le conoce como Río Chilchota y recibe aguas del Río San Pedro y de los manantiales de Pedregal, Etúcuaro y Cupachiro. Los Ríos Tlazazalca, Conecuaró y Celio son los afluentes principales. Finalmente el Río Duero termina en Ibarra en los límites con Jalisco.

La corriente recibe confluencias subterráneas lo cual contribuye a que el régimen del río sea bastante regular. Tiene un escurrimiento medio anual de $250 \times 10^6 \text{ m}^3$ y presenta una superficie aproximada de 2156 km^2 con una dirección general de SE a NE. El Lago de Chapala recibe importantes aportaciones del Río Duero de aproximadamente $340 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Valle de Zamora

Clima

El Valle de Zamora presenta un clima del tipo Cwag, clima templado con lluvias en verano cuya temperatura del mes más cálido es mayor a 22°C , registrándose la máxima temperatura antes del solsticio de verano.

Edafología

Los suelos del Valle de Zamora presentan condiciones adecuadas para el cultivo, predominan las tierras arcillosas que presentan salitre de origen lacustre. Sus suelos son derivados de cenizas volcánicas y por lo general son juveniles debido a que la materia madre es de origen reciente, su color es negro, pardo rojizo o amarillento, son ricos en materia orgánica, su arcilla característica es el alofano y poseen un alto poder de fijación del fósforo.

Vegetación

La vegetación consiste en bosque pino-encino muy común en todas las áreas montañosas del clima templado subhúmedo principalmente hacia la zona donde nace el río, y matorral espinoso con plantas carnosas y pastizales que domina hacia los bordes menos secos de las zonas áridas predominando en la Ciénega de Chapala.

Uso Agrícola

La agricultura es de temporal y de riego, a través de su curso el Río Duero es utilizado para el riego de las zonas agrícolas tanto del Valle de Zamora como de la Ciénega de Chapala productores de trigo, sorgo y donde destaca el cultivo de la fresa y legumbres.

ESTACIONES DE MUESTREO

Establecimiento de las estaciones

Las estaciones fueron seleccionadas tomando en cuenta los sitios donde desembocan los drenes agrícolas, áreas factibles de desarrollo acuícola, descargas de núcleos poblacionales e industriales, y que fueran accesibles.

Ubicación de las diferentes estaciones de muestreo

En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica de las 12 estaciones mediante un mapa que ayuda a la localización de las mismas.

Estación 1 "Carapan"

Situada a 50 km de la Cd. de Zamora, es el punto de origen del Río Duero por la confluencia de varios manantiales en el lugar denominado por los lugareños como "Querenda" a una altitud de 1,920 m.s.n.,. éstos manantiales son utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, abrevadero de animales y sitio de lavado y aseo personal. El tramo de muestreo es de fondo rocoso y está sombreado por árboles, presenta una profundidad media de 20 cm.

Estación 2 "Santo Tomás"

Ubicada a 45 km de la Cd. de Zamora, en el pueblo del mismo nombre a una altitud de 1,800 m.s.n.m., en esta parte las aguas del río son utilizadas principalmente en las laderas actividad importante de los habitantes. El sitio de muestreo sobre el cauce del río es rocoso con una profundidad media de 30 cm, libre de sombra ya que los pocos árboles existentes están bastante retirados de la orilla.

Estación 3 "Etucuario"

Esta estación localizada a 4 km de la carretera Carapan-Zamora hacia el poblado del mismo nombre y a una altitud de 1,740 m.s.n.m. Es característico porque a escasos metros se encuentra el manantial que vierte sus aguas al río y surte de agua potable al poblado de Tangancicuaro de Arista. Las aguas del río se emplean para la irrigación de los campos de cultivo que están a sus márgenes, y es a partir de aquí donde comienzan las tierras de cultivo del Valle de Zamora. El tramo de muestreo sobre el cauce del río es lodoso con una profundidad media de un metro y 4 metros de ancho.

Estación 4 "Canal de Camécuaro"

Localizada a 12 km de la Cd. de Zamora y a una altitud de 1,700 m.s.n.m., situada antes de la confluencia que forma el curso del río y el canal proveniente del Lago de Camécuaro. El canal de aproximadamente 1.5 m de ancho y 1.10 m de profundidad está sombreado por grandes ahuchuetes que crecen en sus márgenes.

Estación 5 "Adjuntas II"

Esta estación situada a unos metros de la estación 4 a una altitud de 1,700 m.s.n.m., sobre el cauce del río antes de la estación hidrográfica de la S.A.R.H., de fondo fangoso con pequeños renansos. El tramo de muestreo está sombreado

por grandes árboles lo que permite utilizar la zona como sitio de recreo, además se caracteriza por la presencia del lirio acuático Eichhornia sp.

Estación 6 "El Platonal"

Ubicada a 7 km de la Cd. de Zamora sobre la carretera Carapan-Jacona a una altitud de 1,600 m.s.n.m., se observan bastantes árboles a la orilla del río y en las áreas adyacentes tierras de cultivo. Este sitio es propicio por los lugares para realizar días de campo. El tramo de muestreo es de fondo rocoso, presenta una profundidad media de 70 cm y un ancho promedio de 7 m.

Estación 7 "Las Limas"

Esta estación situada a dos km de la Cd. de Zamora y a una altitud de 1,500 m.s.n.m., se llega por la carretera Zamora-Jacona. El tramo de muestreo está libre de sombra, presenta una profundidad promedio de 80 cm y un ancho medio de 10 m de fondo lodos, las aguas del río se emplean en la irrigación de los cultivos y para aseo personal.

Estación 8 "Ario de Rayón"

Localizada en el poblado del mismo nombre y a una altura de 1,500 m.s.n.m., el tramo de muestro está libre de sombra siendo notoria la presencia de lirio acuático, el río recibe las descargas agrícolas y domésticas del pueblo.

Estación 9 "La Estanzuela"

Esta estación ubicada en el poblado del mismo nombre y a una altitud de 1,550 m.s.n.m., el tramo de muestreo está libre de sombra, en esta parte el río es empleado por los habitantes como vertedero de toda clase de desechos, presenta una profundidad promedio de 90 cm de fondo lodoso y un ancho medio de 10 m.

Estación 10 "Camucusto"

Situada a una altitud de 1,540 m.s.n.m., se observan grandes tapetes de lirio acuático, el tramo de muestreo está libre de sombra, con una profundidad promedio de 80 cm y un ancho medio de 10 m las aguas del río se emplean para la irrigación de las zonas de cultivo de la Ciénega de Chapala.

Estación 11 "El Capulín"

Localizada en las afueras del pueblo del mismo nombre y a un lado de la estación hidrográfica de la S.A.R.M., a una altitud de 1,530 m.s.n.m., el caudal del río es controlado por canales adyacentes que riegan las áreas de cultivo de la Ciénega de Chapala. Se observaron actividades de pesca artesanal con artes de pesca muy rústicas. El tramo de muestreo está libre de sombra y solo existen en las margenes del río matorral espinoso, la profundidad promedio es de 1.5 m de fondo lodoso con un ancho medio de 25 m, es además una zona de abrevadero.

Estación 12 "La Barca"

A esta estación se llega por la carretera Sahuayo-La Barca, a una altitud de 1,520 m.s.n.m., el tramo de muestreo está libre de sombra, presenta una profundidad promedio de 1.5 m y un ancho medio de 50 m de fondo lodoso, se observaron actividades de pesca artesanal.

MATERIAL Y METODOS

Muestreo

Se realizaron cinco muestreo comprendidos en los meses de junio, octubre y diciembre de 1984, febrero y mayo de 1985. Las muestras se colectaron en doce estaciones distribuidas a lo largo del río, desde su origen en Carapan hasta su desembocadura en el Lago de Chapala (ver Figura 1).

Las muestras obtenidas 20 cm abajo de la superficie del agua en botellas de plástico de un galón, se preservaron de acuerdo al tipo de análisis. A temperatura ambiente para el análisis de los iones más abundantes (Na, K, Ca, Sr, Mg) y para los elementos traza (Fe, Cu, Zn, Ni, Cr) a 4°C acidificados con ácido nítrico.

Mediciones en el campo

Se determinó "in situ" la temperatura del agua con un termómetro de mercurio, y el pH del agua con un potenciómetro portátil de campo Corning modelo 30.

Se fijaron las muestras de oxígeno disuelto para su posterior análisis en el laboratorio por el método de Winkler, modificado por Carrit y Carpenter (1966).

Las muestras de nutrientes ($N-NH_3$, $N-NO_2$, $N-NO_3$, $Si-SiO_2$) se filtraron con papel millipore tipo HA 0.45 μm , y se enfriaron para su posterior análisis en un autoanalizador TECHNICON MT II, excepto para el análisis de SiO_2 reactivo, se siguieron las técnicas descritas en el manual del instrumento.

Las muestras para fósforo total y ortofosfatos disueltos son filtradas y conservadas con azida de sodio al 5% sin necesidad de congelar la muestra, el método empleado es el de Greenfield y Kalber (1955), modificado por Murphy y Riley (1962).

Trabajo de laboratorio

Se determinó la conductividad específica con un conductímetro modelo 31 YSI utilizando una celda con una constante de 1.0. La turbidez se midió con un turbidímetro marca Hach modelo 2100A.

La alcalinidad total y la CO_2 fue determinada por un método potenciométrico (Edmond, 1970), usando una celda de vidrio rodeada de una camisa de agua ($25 \pm 0.1^\circ\text{C}$) con agitación magnética. El ácido se añadió mediante una microbureta de 5 ml, se hicieron mediciones de potencial a intervalos de 0.05 ml de titulante adicionado. En todas las determinaciones se utilizó un potenciómetro Corning 130 y un electrodo de vidrio combinado - Corning.

La dureza total fue determinada mediante una titulación colorimétrica (Wilkin y Cox, 1966), usando E.D.T.A. y Eriocromo Negro-T como indicador. La solución de E.D.T.A. fue adicionada con una microjeringa (± 0.002 ml) y los cambios físicos fueron medidos con un espectrofotómetro UV/VIS. La dureza por calcio fue determinada de igual forma utilizando una solución de -- E.G.T.A. y Murexida como indicador.

La determinación de sulfatos se realizó mediante análisis gravimétrico utilizando una solución de BaCl_2 al 5%. Los cloruros se analizaron mediante una titulación argentométrica usando como indicador una solución de cromato-dicromato.

La concentración de bromuros fue determinada por el método de Morris y Riley (1966). En este método al ion bromuro es oxidado a ion bromato por una solución de hipoclorito en una solución buffer de pH = 6 (de fosfato diácido de sodio). Después de reducir el exceso de hipoclorito con formiato de sodio, el yoduro de potasio y ácido se adicionan para liberar el yodo, el cual se titula con tiosulfato de sodio.

Las técnicas empleadas para la DBO_5 y la DQO en estos análisis son las especificadas en los métodos estándar (14 Ed., 1976). Los elementos traza y los iones mayores fueron determinados por absorción atómica en un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN AA-476, se siguieron las técnicas reportadas en el manual del fabricante y se concentraron en columnas de Quelex 100.

El análisis bacteriológico para heterótrofas totales se realizó mediante la técnica de dilución y cuentas en placa, y para coliformes totales por el método del número más probable (NMP).

RESULTADOS Y DISCUSION

Potencial de Hidrógeno

Los resultados obtenidos en los muestreos efectuados (Tablas 1 a 5) indican lo siguiente: el potencial de hidrógeno en el mes de junio presenta un valor medio de 7.30 con una desviación de 0.3946 oscilando entre 6.6 y 8.0, en el mes de octubre el valor osciló de 6.2 a 6.8 con un valor promedio de 6.54 y una desviación de 0.2108, el mes de diciembre registró una media de 6.62 con una desviación de 0.1389 en un intervalo de 6.4 a 6.9, el mes de febrero dió una desviación de 0.1240 para un intervalo de 6.4 a 6.8 con un valor promedio de 6.64, en el mes de mayo el valor promedio fue de 6.67 con una desviación de 0.4459 y un intervalo de 5.7 a 7.3.

Como se observa, los valores registrados tienden ligeramente hacia la acidez, probablemente ésto sea debido a factores edáficos de las zonas geológicas por donde atraviesa en su curso el río, y a procesos de descomposición de la materia orgánica. No obstante, los valores reportados se localizan dentro de los valores permitidos por la O.M.S. en el intervalo de 6.5 a 9.2 por la S.S.A. de 6.0 a 8.0, y en la legislación de la S.A.R.H. de 6.5 a 8.5, sin embargo las variaciones más notables de pH se detectaron en los meses de junio y mayo (Tablas 1 y 5).

Temperatura del Agua

La temperatura del agua registrada en los diferentes muestreos se comportó de la siguiente manera: en el mes de junio el valor promedio fue de 20.8°C con un valor mínimo de 16.6°C y un valor máximo de 22.3°C. En el mes de octubre el valor medio corresponde a 18.8°C con un valor mínimo de 17.0°C y un valor máximo de 21.0°C. En el mes de diciembre la temperatura del agua disminuyó hasta alcanzar un valor promedio de 16.8°C y un mínimo de 13.0°C. El mes de febrero mostró el mismo comportamiento que en diciembre con un valor promedio de 17.9°C y un valor mínimo de 14.0°C. En el mes de mayo se incrementó la temperatura del agua hasta alcanzar un valor promedio de 22.3°C.

Estos resultados indican la presencia de los efectos climáticos en la temperatura del agua del Río Duero, al denotarse una época fría en diciembre-febrero, y una época caliente en mayo-junio. Estos cambios climáticos que afectan la temperatura del agua también afectan a los diferentes parámetros que intervienen en el metabolismo del río como es la solubilidad de gases disueltos, oxígeno y CO_2 , además presentan efectos ecológicos adversos a la biota acuática, en el caso del calentamiento del agua, aumenta el consumo de oxígeno y de nutrientes, aumento de la toxicidad de ciertas sustancias y efectos hidrodinámicos en la motilidad.

Turbidez

Los datos de turbidez registrados en unidades UTM a lo largo del río están dentro del límite permisible de 25 unidades para la legislación relativa al agua de la O.M.S. y de 10 unidades propuestas por la S.S.A., se nota un incremento muy marcado de la turbidez en la estación 12 con 90 unidades en el mes de junio siendo éste el valor más alto registrado en los diferentes meses de muestreo. Probablemente debido a la acumulación de los sedimentos procedentes de las tierras de cultivo del Valle de Zamora y la Ciénega de Chapala.

Se observa además que el comportamiento es casi igual a excepción del mes de octubre, en donde la lluvia produjo una fuerte elevación de la turbidez con 89 unidades para la estación 5 y disminuyendo hasta alcanzar un valor de 24 unidades en la estación 12 (Fig. 2).

TABLA 1

Resultados de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos del Rfo Duero en el mes de Junio de 1984.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
pH	6.65	7.45	7.33	7.42	7.20	7.65	7.80	7.22	7.14	6.84	6.91	8.00
Temp. H ₂ O °C	16.6	21.5	19.3	21.9	18.6	20.6	21.3	21.8	22.3	22.0	22.3	21.9
Turbidez NTU	1.85	3.5	3.4	5.5	10.0	9.0	13.0	17.0	15.0	19.0	26.0	89.0
Conductividad específica µmhos/cm	101.0	111.0	110.0	141.0	110.0	119.0	220.0	129.0	200.0	192.0	170.0	340.0
Alcalinidad total meq/Kg	1.574	1.860	1.697	2.737	1.426	1.690	1.397	1.830	2.387	2.147	2.319	2.989
≡CO ₂ mmol/Kg	1.095	1.513	1.257	2.154	1.337	1.172	1.248	1.486	1.972	1.876	1.902	2.317
Dureza total mg/L CaCO ₃	65.18	68.66	89.09	58.43	65.02	67.28	65.97	60.15	62.52	92.99	84.40	60.50
Dureza por Calcio mg/L CaCO ₃	22.33	26.70	23.30	22.04	24.88	24.40	26.27	27.25	39.96	39.44	37.21	38.90
Sulfatos mg/L	5.143	11.11	5.143	9.052	13.16	3.006	37.44	41.56	14.50	32.01	36.62	46.04

TABLA 1 continua

Egtación Perímetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O.D. mg/L	6.482	6.517	5.850	6.300	6.920	6.504	6.225	3.770	3.547	2.900	3.087	4.560
DBO ₅ mg/L	5.998	3.913	5.236	4.674	5.998	4.674	7.289	5.436	6.048	3.762	5.726	5.286
DQO mg/L	15.936	15.936	23.906	31.876	31.875	39.844	31.875	15.936	15.936	31.872	15.936	15.936
N-NH ₃ mg/L	0.2281	0.1142	0.0737	0.4182	0.4790	0.2931	0.2233	0.2465	0.8754	0.2000	0.2931	0.2465
N-NO ₂ mg/L X 10 ⁻³	1.223	7.414	3.699	8.652	142.61	7.414	7.414	7.414	N.D*	100.27	28.463	N.D*
N-NO ₃ mg/L	2.3379	1.4758	1.7134	1.1792	3.0545	3.4088	1.3554	0.5527	0.5943	0.9715	3.8442	1.3810
P-PO ₄ mg/L	0.1835	0.2431	0.1623	0.0987	0.1838	0.0616	0.1699	0.2151	N.D*	N.D*	0.3094	0.2685
P-total mg/L	0.2124	0.2766	0.1898	0.3646	0.2766	0.2369	0.2126	0.2766	0.2751	0.2885	0.3534	0.3410
Si-SiO ₂ mg/L	20.5213	20.209	21.802	23.511	22.229	22.514	22.229	21.802	22.372	22.372	23.084	22.832

* No detectado

TABLA I continua

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
Cl ⁻												
mg/L	3.510	3.192	4.876	5.660	12.439	7.450	7.526	9.960	14.750	13.481	12.067	24.020
Br ⁻												
mg/L	1.179	1.089	0.822	0.399	0.822	0.433	0.730	0.384	0.529	0.470	0.450	0.965
Na ⁺												
mg/L	10.256	17.734	2.820	42.606	15.747	13.195	23.229	39.602	39.282	26.130	38.077	74.697
K ⁺												
mg/L	1.80	2.00	1.90	2.70	3.00	2.00	2.70	2.20	6.00	8.00	3.30	7.00
Ca ⁺												
mg/L	8.942	10.69	9.33	8.826	9.963	9.771	10.52	10.912	16.002	15.793	14.90	23.586
Mg ⁺												
mg/L	10.40	10.19	15.98	8.839	9.75	10.41	9.643	7.992	5.48	13.007	11.463	10.398
Fe ⁺												
mg/L	0.302	0.699	0.756	0.886	0.385	0.699	0.877	0.138	0.216	0.133	0.200	0.300
Zn ⁺												
mg/L x 10 ⁻²	3.285	3.244	2.346	1.489	2.591	2.591	2.918	1.734	2.387	4.020	2.428	3.440

TABLE 2

Resultados de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos del Río Duero en el mes de Octubre de 1984.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
pH	6.7	6.8	6.3	6.6	6.3	6.4	6.7	6.2	6.4	6.7	6.6	6.8
Temp. H ₂ O °C	17.0	18.0	19.0	19.0	17.0	18.0	19.0	19.0	21.0	20.0	18.0	21.0
Turbidez												
NTU	1.6	5.0	5.5	4.1	98.0	77.0	67.0	56.0	40.0	38.0	17.0	24.0
Conductividad específica µmhos/cm	122.0	132.0	133.0	158.0	142.0	144.0	154.0	176.0	205.0	220.0	232.0	250.0
Alcalinidad total meq/L	1.386	1.455	1.524	1.652	1.742	1.456	1.456	1.756	1.841	1.848	2.035	2.338
HCO ₃ ⁻ mmol/Kg	1.243	1.397	1.370	1.597	1.667	1.264	1.327	1.614	1.754	1.771	1.955	2.291
Dureza total mg/L CaCO ₃	62.270	63.393	61.537	50.258	60.290	59.538	60.199	75.123	80.520	81.761	87.455	94.001
Dureza por Calcio mg/L CaCO ₃	25.437	27.492	26.123	21.184	26.883	25.435	25.711	30.663	33.834	36.831	39.078	51.575
Sulfatos mg/L	7.612	5.966	10.904	11.213	7.304	9.876	19.354	18.106	36.417	26.644	19.855	25.444

TABLA 2 continua

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
O.D. mg/L	6.39	7.34	5.28	4.56	4.70	5.98	5.62	3.26	2.83	5.83	6.75	3.76
DBO ₅ mg/L	11.11	17.77	16.66	27.50	15.55	22.50	22.22	24.44	26.66	20.00	32.50	37.50
DQO mg/L	15.56	25.64	26.66	29.64	25.56	27.82	25.56	35.56	33.34	27.82	54.47	51.12
N-NH ₃ mg/L	0.500	0.448	0.330	0.448	0.161	N.D*	N.D*	0.251	0.700	0.765	0.408	0.465
N-NO ₂ mg/L	0.100	0.801	0.093	N.D*	N.D*	0.102	0.090	0.011	0.011	0.175	0.159	0.167
N-NO ₃ mg/L	1.406	1.117	0.305	0.783	0.916	0.782	1.215	1.273	0.282	0.834	0.862	0.317
P-PO ₄ mg/L	0.022	0.018	0.015	0.015	0.018	0.008	0.008	0.022	0.039	0.053	0.050	0.043
P-total mg/L	0.025	0.032	0.018	0.039	0.036	0.032	0.043	0.047	0.058	0.081	0.062	0.058
Si-SiO ₂ mg/L	20.71	20.00	22.98	19.85	20.23	21.70	20.56	20.00	20.71	19.28	21.99	19.28

* No detectado

TABLA 4 continua

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
Cl ⁻												
mg/L	4.878	4.937	5.637	13.409	6.220	9.363	10.298	11.487	17.154	22.623	22.132	32.283
Br ⁻												
mg/L	1.451	1.901	1.323	0.831	1.130	1.111	1.596	1.422	1.679	1.205	2.242	2.290
Na ⁺												
mg/L	21.05	13.48	17.25	22.94	10.11	15.73	26.20	33.87	20.44	19.80	36.68	42.80
K ⁺												
mg/L	1.585	1.962	1.631	2.614	2.104	2.440	2.370	2.857	5.248	4.434	4.536	6.177
Ca ⁺												
mg/L	13.875	13.77	13.15	12.28	14.49	14.04	14.71	15.43	27.81	25.85	27.20	48.37
Hg ⁺												
mg/L	3.449	8.164	5.010	4.676	7.721	5.741	4.37	5.672	6.646	11.46	8.727	18.908
Fe ⁺												
mg/L	0.158	0.413	0.256	0.129	0.197	0.165	0.135	0.151	0.233	0.182	0.131	0.179
Zn ⁺												
mg/L X 10 ⁻²	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
Cu ⁺												
mg/L	N.D*	N.D*	0.42	0.111	N.D*	0.282	N.D*	N.D*	0.235	0.124	0.400	0.188
* No detectado												

TABLA 3

Resultados de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos del Rfo Duero en el mes de Diciembre de 1984.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
pH	6.70	6.75	6.60	6.65	6.70	6.85	6.80	6.40	6.70	6.90	6.85	6.85
Temp. H ₂ O °C	17.0	13.0	18.0	20.0	15.8	17.0	18.0	17.0	16.0	17.0	17.0	16.0
Turbidez NTU	0.07	3.6	2.4	1.4	13.0	13.0	13.0	20.0	17.0	12.0	18.0	45.0
Conductividad específica µmhos/cm	134.0	144.0	140.0	137.0	155.0	155.0	162.0	174.0	232.0	248.0	252.0	258.0
Alcalinidad total meq/L	1.522	1.583	1.572	1.527	1.515	1.562	1.571	1.641	2.091	2.122	2.196	2.413
≡CO ₂ mmol/kg	1.410	1.523	1.348	1.422	1.483	1.402	1.364	1.590	1.928	2.055	2.100	2.212
Dureza total mg/L CaCO ₃	59.040	65.372	61.747	58.113	63.481	63.210	66.512	68.398	90.818	90.588	90.315	97.418
Dureza por Calcio mg/L CaCO ₃	33.181	27.327	20.476	33.030	30.471	49.524	58.318	52.176	57.608	69.075	77.627	81.561
Sulfatos mg/L	13.168	18.629	13.373	14.402	5.246	7.407	11.110	15.637	13.373	13.385	14.511	15.074

TABLA 3 continua

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
O.D.												
mg/L	5.386	5.853	4.643	3.429	3.738	4.814	5.229	3.550	1.617	5.927	4.121	4.005
DBO ₅												
mg/L	5.825	10.56	7.603	12.04	3.750	3.720	2.088	3.022	6.580	5.780	6.380	15.74
DQO												
mg	15.56	15.56	7.782	15.56	7.782	15.56	7.782	7.782	11.81	7.874	7.874	21.88
N-NH ₃												
mg/L	0.425	0.410	0.351	0.469	0.645	0.410	0.719	0.498	1.629	1.115	2.290	0.410
N-NO ₂												
mg/L X 10 ⁻³	5.920	20.86	10.92	37.41	29.13	30.79	34.10	44.03	90.39	189.7	110.2	5.960
N-NO ₃												
mg/L	0.873	0.884	0.905	0.652	0.880	1.103	1.888	1.086	0.830	1.054	0.627	0.627
P-PO ₄												
mg/L	0.010	0.112	0.104	0.132	0.107	0.083	0.015	0.248	0.452	0.011	0.013	0.168
P-total												
mg/L	0.015	0.182	0.155	0.308	0.136	0.090	0.244	0.465	0.612	0.563	0.418	0.197
SI-SiO ₂												
mg/L	24.13	22.53	22.26	25.12	24.01	25.49	25.06	24.63	24.38	25.00	21.64	22.28

TABLA 3 continua

Estación Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ⁻ mg/L	1.015	5.582	5.598	22.561	9.073	9.717	9.382	16.243	15.211	17.292	24.494	15.616
Br ⁻ mg/L	1.211	1.143	0.824	1.369	1.131	1.572	1.406	1.899	1.829	1.491	1.542	1.922
Na ⁺ mg/L	13.70	17.57	16.50	28.83	12.58	15.28	15.19	22.86	19.43	21.21	28.21	25.14
K ⁺ mg/L	2.50	2.80	2.60	4.10	2.90	3.20	3.70	3.40	6.30	6.80	6.90	5.90
Ca ⁺ mg/L	13.28	10.94	11.40	13.54	15.48	19.83	23.35	20.89	23.06	27.66	31.08	32.66
Hg ⁺ mg/L	6.281	9.241	8.082	5.413	6.075	3.324	1.990	3.94	8.067	5.226	3.082	3.852
Fe ⁺ mg/L	0.127	0.805	0.524	0.115	1.055	1.024	0.743	0.858	0.733	0.595	0.747	1.638
Zn ⁺ mg/L X 10 ⁻²	3.00	2.99	1.28	1.64	7.00	7.40	2.07	6.00	1.22	4.00	4.00	4.00
Cu ⁺ mg/L	0.109	0.108	N.D*	0.342	2.67	0.079	0.071	0.029	0.090	N.D*	N.D*	N.D*

* No detectado

TABLA 4

Resultados de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos del Río Duero en el mes de Febrero de 1985.

Estación Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	6.5	6.4	6.8	6.6	6.7	6.7	6.7	6.5	6.7	6.6	6.7	6.8
Temp. H ₂ O °C	15.0	14.0	16.0	18.0	15.0	18.0	19.0	17.0	17.0	19.0	19.0	18.0
Turbidez NTU	3.4	8.5	5.0	4.4	15.0	12.0	8.0	30.0	33.0	25.0	56.0	48.0
Conductividad específica umhos/cm	112.0	121.0	112.0	142.0	142.0	140.0	148.0	150.0	238.0	250.0	230.0	525.0
Alcalinidad total meq/Kg	1.597	1.585	1.481	1.433	1.484	1.502	1.509	1.919	2.134	2.055	2.646	3.967
HCO ₃ ⁻ mmol/Kg	1.524	1.530	1.361	1.401	1.429	1.495	1.494	1.807	2.066	1.971	2.427	3.756
Dureza total mg/L CaCO ₃	48.840	67.990	53.464	49.915	67.970	50.697	54.725	61.844	96.809	111.74	104.05	198.30
Dureza por Calcio mg/L CaCO ₃	34.649	34.387	32.038	30.666	36.185	35.061	36.734	38.532	69.448	64.553	68.124	120.46
Sulfatos mg/L	8.641	11.899	9.807	11.555	0.570	6.726	22.803	25.103	15.328	24.014	23.663	52.188

TABLA 4 continua

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
D.D.												
mg/L	8.13	8.90	7.90	5.43	7.19	8.75	9.75	7.91	6.64	6.39	6.78	6.64
DBO₅												
mg/L	1.89	2.10	2.10	2.94	3.36	6.52	29.47	37.89	6.73	7.15	7.15	37.89
DQO												
mg/L	3.802	3.802	19.011	4.149	8.298	20.40	33.195	40.81	28.571	8.163	28.57	44.89
N-NH₃												
mg/L	0.476	0.512	0.423	0.476	0.476	0.458	2.8975	1.419	1.580	0.707	0.476	0.458
N-NO₂												
mg/L X 10 ⁻³	1.706	3.078	1.706	3.078	3.875	3.078	7.1954	40.12	8.567	101.87	57.96	4.451
N-NO₃												
mg/L	1.267	1.098	1.272	0.685	1.959	1.510	1.150	1.594	3.322	3.692	3.535	0.654
P-PO₄												
mg/L	0.105	0.087	0.100	0.081	0.094	0.089	0.104	0.134	0.104	0.066	0.024	0.182
P-total												
mg/L	0.187	0.279	0.130	0.087	0.102	0.102	0.129	0.156	0.783	0.480	0.543	0.249
Si-SiO₂												
mg/L	22.71	26.03	21.67	23.76	22.53	22.65	22.53	22.53	23.64	23.29	23.02	20.80

TABLA 5

Resultados de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos del Río Duero en el mes de Mayo de 1985.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
pH	7.3	6.75	6.9	7.1	7.0	6.9	6.7	5.7	6.1	6.4	6.5	6.8
Temp. H ₂ O °C	10.0	19.2	20.5	21.0	18.5	20.0	22.0	23.5	24.0	26.0	24.5	21.0
Turbidez												
ITU	0.7	7.5	2.7	2.3	4.8	5.3	9.6	20.0	7.0	11.0	18.0	77.0
Conductividad específica µmhos/cm	112.0	121.0	102.0	118.0	107.0	128.0	129.0	140.0	141.0	190.0	189.0	290.0
Alcalinidad total meq/Kg	1.521	1.801	1.629	1.737	1.606	1.814	1.809	1.935	2.547	2.601	2.579	3.494
HCO ₃ ⁻ mmol/Kg	1.435	1.785	1.454	1.677	1.598	1.717	1.766	1.903	2.322	2.363	2.578	3.468
Dureza total mg/L CaCO ₃	56.755	73.061	67.750	61.479	65.047	63.473	68.568	72.589	108.79	100.25	98.250	132.76
Dureza por Calcio mg/L CaCO ₃	21.185	26.880	27.492	21.123	26.883	25.435	25.312	27.492	43.700	35.492	30.663	51.575
Sulfatos mg/L	9.801	12.159	11.361	12.390	7.046	7.906	14.703	19.578	24.57	21.343	19.34	30.81

TABLA 5 continúa

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parámetro												
O.D.												
mg/L	3.77	4.39	3.99	3.15	2.91	3.74	3.56	3.00	2.53	2.25	3.13	2.59
DBO ₅												
mg/L	2.52	3.57	2.52	2.73	2.52	2.94	1.47	2.60	5.26	1.05	2.94	4.63
DQO												
mg/L	6.324	7.903	8.695	5.533	0.795	3.162	3.952	5.207	6.245	7.114	18.18	16.60
N-NH ₃												
mg/L	0.151	0.131	0.098	0.194	0.180	0.121	0.857	0.251	1.536	0.257	0.115	0.231
N-NO ₂												
mg/L X 10 ⁻³	0.020	1.573	0.763	0.020	14.38	2.184	3.404	15.60	3.404	69.31	30.25	2.794
N-NO ₃												
mg/L	1.548	0.770	0.765	0.528	1.134	0.453	0.998	1.569	1.605	1.158	0.569	0.106
P-PO ₄												
mg/L	0.112	0.064	0.079	0.066	0.065	0.112	0.129	0.082	0.220	0.156	0.161	0.162
P-total												
mg/L	0.125	0.132	0.137	0.153	0.146	0.122	0.148	0.217	0.810	0.591	0.350	0.259
Si-SiO ₂												
mg/L	15.20	14.20	14.53	17.21	13.64	15.65	15.42	14.86	15.09	14.08	15.31	10.29

Conductividad Específica

La cantidad de materiales sólidos y disueltos en suspensión está relacionado con la conductividad. Los valores reportados en los muestreos realizados fluctúan entre 100 $\mu\text{mhos/cm}$ y 370 $\mu\text{mhos/cm}$ además de mostrar el mismo comportamiento (Fig. 3). El efecto de las ladrilleras en la estación 2 mediante la descarga de materiales sólidos y disueltos en la corriente del río no afecta visiblemente la conductividad, no obstante encontrar un valor de turbidez promedio de 18.57 UTN para esta misma estación (Fig. 2) siendo alto con respecto a la estación 1 y 3.

En la estación 3 se observa un descenso de la turbidez como de la conductividad debido a los efectos de dilución que se da por la presencia del manantial de Etucuaró que surte de agua potable al poblado de Tangancicuaro de Arista, y minimizando el efecto de la descarga de sólidos al río por efecto de las ladrilleras presentes en la estación 2.

Los valores de conductividad específica presentan un mismo patrón de comportamiento, aumentando rápidamente a partir de la estación 8 y alcanzando un máximo en la estación 12. (Fig. 3).

Los valores más altos de conductividad encontrados en la estación 12 con respecto a las primeras estaciones se debe al incremento de las actividades humanas en la agricultura, que al

utilizar el agua del río en las tierras de cultivo efectúan un lavado de estas acarreado sólidos y iones que permiten el incremento en estos dos parámetros.

Alcalinidad Total

Con respecto a la alcalinidad se observa una correlación positiva con la conductividad, principalmente dada por los iones HCO_3^- del sistema CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-} hecho reforzado por los valores obtenidos de pH.

Los resultados de alcalinidad total (Fig. 4) se comportan de la siguiente manera: en el mes de junio el valor promedio fue de 2.004 meq/kg. En el mes de octubre el valor promedio registrado es de 1.7074 meq/kg. En el mes de diciembre el valor medio es de 1.7832 meq/kg. En el mes de febrero el valor promedio es de 1.942 meq/kg, y en el mes de mayo el valor medio corresponde a 2.096 meq/kg.

En forma general, los datos de la alcalinidad total muestran aproximadamente el mismo patrón de comportamiento, observando los valores más altos hacia el final del curso del río en la estación 12. Estos resultados indican que los valores de alcalinidad total son bajos (120 mg/L CaCO_3), y la especie iónica presente es el ion HCO_3^- .

Los valores de alcalinidad total se localizan por debajo de la concentración que puede afectar el desarrollo biológico (50 mg/L CO_2 ; 32.2 mmol/L CO_3^{2-} , Lloyd y Swift, 1976).

Se presenta una fuerte correlación entre la alcalinidad total y la ICO_2 (Figs. 4 y 5), y el incremento notorio a partir de la estación 6 de ICO_2 indicando que es probable que se encuentre asociado con los procesos de descomposición (Metzel, 1981).

Dureza Total

Los valores de dureza total expresados como mg CaCO_3 /L en el mes de junio presenta tres máximos, de 89.09 mg/L en la estación 3, 92.99 mg/L en la estación 10 y 84.40 mg/L en la estación 11, presentando un mínimo con 60.50 mg/L en la estación 12, dando un valor promedio de 70.265 mg/L. Para el mes de octubre los valores obtenidos están por debajo de 80 mg/L observando un incremento ligero de la estación 7 hasta alcanzar su máximo en la estación 12 con 94.08 mg/L, el valor promedio para este muestreo es de 75.675 mg/L. En el mes de diciembre los valores se presentan por debajo de 70 mg/L y en la estación 9 se incrementa hasta 90.81 mg/L alcanzando el máximo de 97.41 mg/L en la estación 12, con un valor promedio de 71.9176 mg/L. El mes de febrero si presenta diferencias notables mostrando dos mínimos de 48.84 mg/L y 49.91 mg/L en la estación 1 y 3 respectivamente, en la estación 9 se eleva

de 96.80 mg/L alcanzando el valor más alto en la estación 12 con 198.30 mg/L siendo el valor más alto reportado en los diferentes muestreos, sin embargo el valor promedio es de 81.1966 mg/L. En el mes de mayo el comportamiento es peculiar al de febrero solo que el valor más alto es de 132.76 mg/L en la estación 12 y teniendo una media de 80.7316 mg/L.

Como se observa los valores de dureza total expresados como CaCO_3 están muy por debajo del límite permisible de 500 mg/L para la O.M.S. y 300 mg/L para la S.S.A., de acuerdo a estos resultados se consideran las aguas del Río Duero como moderadamente duras en el intervalo de 75 a 150 mg/L. Esto se debe a que la dureza es el resultado del desgaste de las formaciones geológicas. En el caso del Río Duero, éste atraviesa por formaciones geológicas de basalto, el cual es una roca ígnea con bajo contenido de tierras alcalinas. No obstante se nota una tendencia de aumento (Fig. 6).

Oxígeno Disuelto

Los resultados en la determinación de oxígeno disuelto (O.D.) se registraron de la siguiente manera: en el mes de junio la mayoría de los valores de O.D. están por arriba del límite mínimo permisible de 4 mg/L correspondiente a la Legislación Relativa del Agua y su Contaminación de la S.A.R.H., presentando un valor máximo de 6.92 mg/L para la estación 5 y valores mínimos de 3.77 mg/L en la estación 8, 3.59 mg/L en la

estación 9, y el valor más bajo registrado de 2.90 mg/L en la estación 10, y la estación 11 con 3.08 mg/L, el valor promedio para este mes de muestreo es de 5.221 mg/L. En el mes de octubre se registra la misma tendencia que junio con un máximo de 7.34 mg/L en la estación 2 y un mínimo de 2.83 mg/L en la estación 9 seguido de la estación 10 con 3.26 mg/L y la estación 12 con 3.76 mg/L, el valor promedio es de 5.191 mg/L. El mes de diciembre sigue el mismo comportamiento, solo que este mes se detectó el valor más bajo de 0.0 con 1.61 mg/L para la estación 9, la estación 8 con 3.55 mg/L y la estación 4 con 3.42 mg/L, el valor más alto es en la estación 10 con 5.92 mg/L, el valor promedio es menor al de los anteriores muestreos con 4.359 mg/L. El mes de febrero se caracterizó por tener los valores más altos de 0.0 como lo demuestra el valor promedio registrado que es el más alto obtenido con 7.534 mg/L, el valor máximo corresponde a la estación 7 con 9.75 mg/L y el valor mínimo de 5.43 mg/L para la estación 4 siendo mucho mayor que los valores promedios de junio, octubre y diciembre. El mes de mayo presentó los valores más bajos de 0.0 a lo largo del curso del río, con un valor máximo de 5.99 mg/L en la estación 3 y las restantes estaciones con valores cercanos o menores al límite de 4 mg/L, el valor promedio fue el más bajo registrado con 3.417 mg/L (Fig. 7).

Estos resultados indican la existencia de diferentes zonas tróficas en el Río Duero. Una zona de aguas claras y limpias en la zona de montaña donde se origina el río que comprende de la estación 1 a la estación 6, en donde el incremento de O.D. por turbulencia es importante y la mezcla de las aguas de los manantiales con la corriente del río mediante procesos de dilución. Una zona de activa descomposición de materia orgánica procedente de las descargas municipales y agrícolas de los pueblos de Ario de Rayón, Estanzuela y la Ciudad de Zamora que incluye las estaciones 7, 8 y 9, finalmente una zona de recuperación en las últimas estaciones correspondientes a la Ciénega de Chapala, esto es confirmado más ampliamente con los resultados de los análisis de DBO, DQO y nutrientes.

Los valores de O.D. más bajos detectados fueron en el mes de mayo con un promedio de 3.417 mg/L, esto es comprensible debido a las altas temperaturas registradas (Tabla 5) y además de ser la temporada de estiaje donde el caudal del río disminuye y los procesos de evaporación son más acentuados. El caso inverso se registró en febrero donde se presentan los valores más altos de oxígeno con un promedio de 7.534 mg/L y la temperatura del agua es menor (Tabla 4).

DBO₅

La cantidad de materia orgánica evaluada como DBO₅ a 20°C presente en el Río Duero fluctuó entre 3.91 y 6.04 mg/L con un valor promedio de 5.335 mg/L para el mes de junio (Tabla 1). En el mes de octubre los valores se registraron entre 11.11 y 37.50 mg/L con un valor promedio de 22.86 mg/L siendo los valores más altos registrados a lo largo de los diferentes muestreos realizados, además el valor más alto con 37.50 mg/L corresponde a la estación 12 (Tabla 2). En el mes de diciembre disminuyeron los valores de DBO₅ en el intervalo de 2.08 a 15.74 mg/L con el valor promedio de 6.922 mg/l. (Tabla 3). En el mes de febrero se incrementan los valores desde 1.89 a 37.89 mg/L con un promedio de 12.099 mg/l obteniéndose los valores más altos en la estación 8 y 12 con 37.89 mg/l respectivamente, (Tabla 4). En el mes de mayo los valores disminuyeron considerablemente al registrarse de 2.25 a 5.99 mg/L con un valor promedio de 2.895 mg/L (Tabla 5).

Dado que, este parámetro no está considerado dentro de la legislación de la S.A.R.H., es sin embargo un importante indicador de contaminación específicamente de tipo orgánico, en términos generales los valores de DBO₅ son muy bajos y de entre estos los valores más altos se localizan en la estación 8 y 9 que concuerdan con los valores bajos de D.O. y confirma ser una zona de activa descomposición de los desechos municipales y agrícolas del Valle de Zanora. No obstante, se reporta un valor permisible de 4 mg/L.

DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) al igual que la DBO no está contemplada en la Legislación de la S.A.R.H., y los valores detectados para los diferentes muestreos realizados son los siguientes: en el mes de junio se tienen valores de 15.39 mg/L como mínimo y 39.84 mg/L máximo con una media de 23.89 mg/L. En el mes de octubre el valor mínimo fue de 15.56 mg/L y 54.47 mg/L como máximo con un promedio de 31.56 mg/L. El mes de diciembre presentó un valor mínimo de 7.78 mg/L y un máximo de 21.88 mg/L con un valor promedio de 11.90 mg/L. El mes de febrero presentó valores de 3.89 mg/L y 44.89 mg/L como máximo con una media de 20.30 mg/L. El mes de mayo con los valores más bajos de 0.79 mg/L a 18.18 mg/L con una media de 7.47 mg/L.

Estos resultados al igual que los de DBO₅ son bajos e indican que el material de desecho al mezclarse con el agua receptora del río son principalmente biodegradables y de descomposición lenta como la celulosa, lignina, ceratina y otros más provenientes de los residuos agrícolas, no obstante, estar presente los factores físicos de turbulencia y velocidad de flujo que influyen en la aeración del agua y descomposición de la materia orgánica.

Nutrientes

En lo relativo al fósforo y nitrógeno considerado en la Legislación de la S.A.R.H. como "nutrientes" existe solo la limitación de que no deben estar presentes en cantidades que provoquen una hiperfertilización, se menciona un límite de 1.5 mg/L de $N-NH_3$.

Para el mes de junio se registraron valores de 0.073 mg/L como mínimo en la estación 3 y tan altos como 9.875 mg/L en la estación 9, con una media de 0.307 mg/L. En el mes de octubre no se detectaron en la estación 6 y 7 $N-NH_3$, el valor más alto con 0.767 mg/L fue en la estación 10 con una media de 0.403 mg/L. En el mes de diciembre se presentaron valores más arriba del límite permisible en la estación 9 y 11 con 1.629 y 2.290 mg/L respectivamente, el valor promedio de 0.781 mg/L corresponde al valor más alto del mes de octubre. En el mes de febrero el valor más bajo fue de 0.423 mg/L para la estación 3 y valores arriba del límite permisible en la estación 7 con 2.897 mg/L, la estación 8 con 1.419 mg/L, la estación 9 con 1.580 mg/L, siendo éste el mes que presentó los valores más altos de $N-NH_3$. El mes de mayo registró el valor más alto en la estación 9 con 1.536 mg/L y el más bajo en la estación 3 con 0.098 mg/L (Fig. 8).

El $N-NH_3$ está presente en el agua como un producto de la degradación biológica de proteínas, no obstante la concentración puede ser pequeña y la transformación a $N-NO_3^-$ se sucede.

En el mes de diciembre se incrementó la concentración media de 0.967 mg/L, el valor más alto corresponde a la estación 7 con 1.888 mg/L. En el mes de febrero la concentración media fue de 1.810 mg/L aproximada a la de junio y valores de 3.322 mg/L, 3.692 mg/L y 3.535 mg/L para la estación 9, 10 y 11 respectivamente, el valor más bajo de 0.685 mg/L para la estación 4. En el mes de mayo la concentración media disminuyó a 0.928 mg/L y el valor más alto corresponde a 1.605 mg/L en la estación 9 y el más bajo de 0.453 mg/L en la estación 6 (Fig. 9).

Estos resultados confirman una vez más que la estación 8 y 9 es una zona de activa descomposición, dado que, los valores más bajos de NO_3^- se localizan en estas estaciones, en parte debido a la disminución del oxígeno disuelto (Fig. 7) que no permite la oxidación de NH_3 a NO_3^- como se observa con los valores de N- NH_3 presentes en estas estaciones (Fig. 8). Los valores más altos registrados de N- NO_3^- en febrero concuerdan muy bien con los valores altos de oxígeno disuelto (Fig. 7) registrados para este mes en donde el NH_3 es oxidado a NO_3^- , de ahí que se detecten valores arriba de 3 mg/L.

No obstante, los valores reportados de N- NO_2^- y N- NO_3^- en las estaciones del Río Duero se encuentran dentro de los valores normales. Manahan indica un criterio permisible de 10 mg/L para la suma de N- NO_2^- y N- NO_3^- y como deseable la virtual ausencia de ambos. Siendo así, las aguas del Río Duero son consideradas como bastante aceptables.

El manejo y aplicación de fertilizantes tales como: fosfatos amónicos, super fosfatos triple, super fosfatos simples, y los fosfatos complejos en la zona agrícola del Valle de Zamora y la Ciénega de Chapala contribuyen a un aumento sustancial del fósforo tanto inorgánico como orgánico.

El comportamiento del fósforo total y del fósforo como ortofosfatos se visualiza mejor al analizar la figura 11 de fósforo total.

En el mes de junio el valor más bajo fue localizado en la estación 3 con 0.189 mg/L y el valor más alto en la estación 4 con 0.304 mg/L, tal vez esto es debido por los efectos de dilución del manantial de Etucuaró presente en la estación 3, además se nota un incremento de la concentración a partir de la estación 7 hasta alcanzar en la estación 12 un valor de 0.341 mg/L. El comportamiento del fósforo total en el mes de octubre es igual al del fósforo como ortofosfatos (Fig. 10), siendo reportados en este mes los valores más bajos. El mes de diciembre presenta una conducta parecida a la del mes de junio para la zona montañosa de aguas claras, denotándose que la estación 4 proveniente del lago de Camécuaro contribuye con fósforo hacia el sistema, a partir de la estación 6 se da una elevación bastante pronunciada de fósforo hasta alcanzar su máximo valor en la estación 9 con 0.612 mg/L, lo cual se corrobora con la figura 10 de ortofosfatos al alcanzar en esta misma estación el valor de 0.428 mg/L, finalmente

la concentración de fósforo total disminuye hasta 0.197 mg/L en la estación 12. Los meses de febrero y mayo presentan un comportamiento parecido elevándose los valores de fósforo total a partir de la estación 8 y alcanzando su máximo valor en la estación 19 con 0.783 mg/L y 0.810 mg/L para febrero y mayo respectivamente, finalmente los valores disminuyen hasta casi 0.250 mg/L en la estación 12.

La eliminación de la cubierta vegetal al desnudar el suelo por la rotación de cultivos constituye un factor importante en la intensificación del transporte de materiales de superficie por la acción erosiva de las aguas de escurrimiento superficial facilitado por la gran cantidad de canales que riegan la zona agrícola y regresan al cuerpo receptor, el Río Duero, esto es confirmado por los datos de turbidez (Fig. 2).

El nitrógeno y el fósforo se comportan de manera distinta en el suelo. El anión NO_3^- es bastante móvil a causa de la carga predominantemente negativa de las partículas de la tierra, de forma que se lixivia con facilidad si no es absorbido por las plantas. Por el contrario, el fósforo se precipita como fosfatos insolubles de hierro, calcio o aluminio y se elimina muy despacio.

La pérdida de fosfato por lixiviación de la tierra cultivada es insignificante de modo que el aporte de fosfato al agua se debe principalmente a la erosión, porque el suelo queda despojado de vegetación.

La mayor fuente de $N-NH_3$ para el Río Duero proviene de la utilización de fertilizantes en la agricultura, y el elevado incremento en el mes de diciembre, probablemente sea debido al empleo de estos en la preparación de las tierras de cultivo que se localizan en los márgenes del río principalmente en el Valle de Zamora y la Ciénega de Chapala.

Los valores detectados de $N-NH_3$ una vez más confirman la presencia de las diferentes zonas tróficas mencionadas anteriormente, resaltando la estación 8 y 9 como las de los valores más altos registrados de esta forma de nitrógeno.

En relación al $N-NO_2^-$ los valores detectados están en el orden de 10^{-3} mg/L para los diferentes meses de muestreo, sin embargo, es notorio el incremento en la estación 8, 9 y 10, no obstante, los valores son aceptables puesto que el límite es de 0.0 - 0.1 mg/L con tendencia hacia el límite inferior.

Los valores de $N-NO_3^-$ para el mes de junio tienen una media de 1.822 mg/L detectándose los valores más bajos en la estación 8 con 0.552 mg/L, la estación 9 con 0.594 mg/L, y el valor más alto de 3.844 mg/L para la estación 11 y 3.408 para la estación 6. En el mes de octubre disminuye la concentración media a 0.841 mg/L y el valor más bajo registrado fue de 0.282 mg/L en la estación 9 y en la estación 12 con 0.317 mg/L, el valor más alto de 1.406 mg/L se presentó en la estación 1.

En las proximidades de los núcleos poblacionales (Zamora, Ario de Rayón, La Estanzuela, El Capulín), el incremento de los nutrientes tanto nitrógeno como fósforo se debe al vertimiento de los residuos municipales y agrícolas hacia el cuerpo receptor, de esta forma se confirma la presencia de una zona de activa descomposición estación 8 y 9, y una zona de recuperación estación 10, 11 y 12.

La principal causa de la alta concentración de nutrientes desde el punto de vista ecológico o desde uno sanitario está en la acumulación masiva de macrofitas acuáticas, siendo esto así, se relaciona muy bien con los extensos tapetes de lirio acuático Eichhornia sp localizados desde la estación 8 hasta la estación 12, donde los valores de fósforo y nitrógeno son bastante altos para considerar las aguas del río como eutrofizadas. Sin embargo, los valores de oxígeno disuelto solo disminuyen en la estación 8 y 9 abajo del límite permisible de 4 mg/l (Fig. 7) y se recuperan en la estación 10.

No obstante, la gran cantidad acumulada de Eichhornia sp con efectos adversos al sistema como reducción de la penetración de la luz, reducción del intercambio gaseoso, entre otros, presenta efectos positivos como la disminución de sólidos en suspensión por efectos de sus rizomas y raicillas, creación de microhabitats, absorción de iones de sales de metales pesados como Pb, Hg, Zn, Cu, etc.

El sílice es el segundo elemento más abundante en la litósfera, en los ríos el intervalo de sílice como SiO_2 es de 2 a 25 mg/L. El contenido de sílice en las aguas de los ríos tiende a ser uniforme y mostrar poca variación de las descargas (Edwards y Liss, 1973). Esto es claramente demostrado en los muestreos realizados en el Río Duero, a excepción del mes de mayo donde se mostró una variación tanto espacial como en la concentración al disminuir hasta 10.21 mg/L probablemente debido a su utilización por los organismos fitoplanctónicos (Fig. 12).

La salinidad total es dominada completamente en las aguas naturales continentales por los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y por los aniones CO_3^{2-} , SO_4^{2-} y Cl^- . La salinidad de las aguas superficiales tiene una concentración promedio mundial de 120 mg/L pero varía entre continentes y con la litología de los continentes (Netzel, 1975).

Una comparación de la concentración de los iones más abundantes del Río Duero con la concentración promedio mundial del río, se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6

Iones	Río Duero** (mg/L)	Livingstone (1963) (mg/L)
Ca ²⁺	16.95	15.00
Na ⁺	24.52	6.30
Mg ²⁺	9.01	4.10
K ⁺	3.32	2.30
CO ₃ ^m	44.98	58.40
Cl ⁻	13.48	7.80
SO ₄ ^m	17.01	11.20
SiO ₂	20.62	13.00
NO ₃ ⁻	1.27	1.00
Fe ²⁺	0.43	0.70
Total	151.59	119.8

** Obtenido a partir de los promedios por muestreo

* Obtenido a partir de los datos de dureza total expresados en mg CaCO₃/L.

Estos resultados están por arriba de lo reportado por Livingstone que da como promedio mundial de ríos de 120 mg/L de salinidad. Las principales diferencias se ubican en los valores promedio de CO₃^m, SO₄^m, SiO₂, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, esto probablemente sea debido a:

1. El interperismo del suelo y rocas mediante procesos de solu
ción, óxido-reducción, pH y formación de complejos.
2. Contaminación antropogénica como lo demuestra el incremen-
to de iones cloro y sodio debido a las actividades humanas.
3. Actividad biológica como la absorción de iones por parte de
las macrofitas y/o incorporación de nutrientes inorgánicos
en biomasa de bacterias, hongos y plantas.
4. Procesos de evaporación-precipitación, dado que el área de
muestreo presenta una época de lluvias y una de secas que
afectan la distribución de iones en cuanto a bundancia y
distribución.

En base a la cantidad de sales presentes, el agua del Río Duero corresponde de acuerdo al sistema de Venice desarro-
llado en 1958 (en Reid y Wood, 1976) a aguas limnéticas con
<0.5‰ de salinidad.

De acuerdo al contenido de calcio en el esquema de W.
Ohle de 1934 (Ibid):

<10 mg Ca/L "pobres"

10 - 25 mg Ca/L "medias"

>25 mg Ca/L "ricas"

en caso del Río Duero corresponde a aguas "medias" por contener
16.95 mg Ca/L.

La relación de iones es la siguiente en orden de abundancia:

Cationes: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$

Aniones: $\text{CO}_3^{=} > \text{SO}_4^{=} > \text{Cl}^-$

Las fuentes de sustancias tóxicas sin olvidar la agricultura, ganadería y explotación de bosques actividades responsables de la adición de tóxicos al agua dulce a veces indirectamente como es el caso de la fuga de insecticidas y herbicidas aplicados a los terrenos de cultivo, que junto con los pesticidas sobrantes y sus recipientes vacíos se arrojan a los ríos con efectos desastrosos. El ejemplo más común es la utilización de herbicidas para acabar con las plantas acuáticas que dificultan la utilización del agua por parte del hombre.

Ciertos compuestos tóxicos en potencia, tales como los metales pesados, se vierten continuamente al agua debido a procesos naturales como actividad volcánica y erosión de roca, y algunos de ellos son esenciales para el mantenimiento de la vida en pequeñas cantidades.

El cinc y el cobre son metales de gran toxicidad para los peces, varios compuestos de estos elementos están presentes en aguas de ríos y lagos, generalmente provenientes de actividades agrícolas en las cuales se emplean como fungicidas.

El cobre por la gran solubilidad de sus sales generalmente empleado en forma de sulfatos es transportado a los ríos por las aguas de lluvia que bañan a las zonas de cultivo. En el caso del Río Duero los valores reportados de cobre a través de los diferentes muestreos realizados presenta una distribución bastante irregular desde no haber sido detectado hasta alcanzar valores por arriba de 0.4 mg/L. De acuerdo a la legislación de la S.A.R.H., este se encuentra dentro de los valores establecidos de 1 mg/L. Sin embargo, el cobre en forma de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ es letal en concentraciones que varían entre 0.1 y 0.8 mg/L según la especie de pez y diversas condiciones ambientales (Branco, 1984). Esto es de tomar en cuenta porque los valores aún cuando son bajos se incrementan dentro de este límite hacia el final del río, donde la presencia de organismos acuáticos de explotación local pueden ser afectados además, de alterar las condiciones ecológicas del ambiente lacustre de la Cuenca de Chapala debido a su gran cercanía y a que las aguas del Río Duero se unen al Río Lerma que drena dentro de la cuenca.

De acuerdo a Livingstone (1963), la concentración promedio mundial de las aguas del río para el cobre es de 0.01 mg/l, en el caso del Río Duero este se encuentra por arriba del valor promedio.

El cinc es un elemento traza esencial en los organismos, aparece ampliamente en la naturaleza como sulfuros, carbonatos y otras especies iónicas, su concentración promedio para las aguas de río es de 0,01 mg/L (Livingstone, 1963).

Algunos compuestos orgánicos de cinc, empleados como fungicidas en plantas fructíferas causan la muerte de peces cuando su concentración alcanza 0,01 mg/L (Branco, 1960) en la forma de sulfatos, las concentraciones de cinc mencionadas como letales para distintos autores varían entre 0,3 y 100 mg/L.

En el caso del río Duero podemos observar que se presenta en todo el río y que los valores mayores (0.2 mg/L) se encuentran en la estación 7. En todo caso las concentraciones son menores al límite establecido por la norma americana de 5.0 mg/L y aunque la norma mexicana no contempla este elemento para cuerpos receptores de aguas superficiales, si lo incluye para aguas superficiales y costeras siendo sus límites de 10.0 y 0.01 mg/L respectivamente (Fig. 13).

La presencia de hierro en las aguas del río Duero se localiza por debajo de los valores normales reportados por Livingstone (1963) de 0.7 mg/L, con un valor promedio de 0.43 mg/L (Fig. 14).

Se han omitido los resultados correspondientes al estroncio, níquel, cromo y manganeso, debido a que sus valores fueron en la mayoría de los casos menores al límite detectable con los métodos empleados.

En relación al análisis bacteriológico los resultados indican lo siguiente (Tabla 7).

Con respecto a las bacterias heterótrofas estas son importantes en la purificación biológica porque descomponen el sustrato, incorporan nutrientes inorgánicos para beneficio de otros organismos, intervienen en la cadena alimenticia de la trama ecológica, entre otros aspectos importantes.

Para coliformes totales en base a la Legislación de la S.A.R.H. (1973), se determinan cuatro usos que se le pueden dar al agua del río Duero (Tabla 8).

Tabla 8

	Coliformes Totales N.M.P. (Organismos/100 ml)	Estación
Abastecimiento para sistemas de agua potable e industrial alimenticia con desinfección únicamente	200	1
Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional	1,000	4
Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora y fauna, y usos industriales	10,000	Estaciones restantes
Agua para uso agrícola e industrial	1,000 y libre para los demás cultivos	1 y 3

Tabla 7

Heterotrofas Totales/ml

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Junio/84	458	1150	37668	6000	I.D.C.*	I.D.C.*	I.D.C.*	25000	151000	127000	40000	155000
Octubre/84	1000	1500	33000	30000	130000	40000	13000	180000	210000	180000	51000	168000
Diciembre/84	3000	2000	15200	10000	88000	71000	40000	163000	140000	108000	60000	130000
Febrero/85	240	3000	8000	40000	80000	60000	80000	113000	110000	90000	40000	100000
Mayo/85	225	790	2000	10000	15000	25000	70000	110000	80000	45000	60000	120000

I.D.C.* = Imposible de Contar

Coliformes Totales NMP/100 ml

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Junio/84	28	210	2400	210	2400	2400	2400	2400	2400	2400	240	240
Octubre/84	43	460	28	2400	2400	2400	1100	150	1100	2400	2400	1100
Diciembre/84	150	210	130	240	2400	210	460	2400	2400	2400	1100	460
Febrero/85	10	2400	28	120	210	2400	2400	2400	2400	1100	2400	1100
Mayo/85	15	2400	2400	210	1100	1100	2400	2400	2400	2400	1100	2400

Tabla 9

Valores Promedio de los Parámetros Físicos y Químicos

Estación	pH	Turbidez**	Conduct.*** específica	Alcalinidad+ total	Dureza** total	O.D*	D.B.O ₅	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₂
01	6.770	1.520	116.200	1.520	58.419	6.030	5.460	1.470	0.080	20.650
02	6.830	5.620	125.800	1.650	67.690	6.600	7.580	1.060	0.100	20.590
03	6.780	3.800	119.400	1.590	66.710	5.930	6.820	0.990	0.090	20.640
04	6.870	3.540	143.200	1.810	56.830	4.570	9.970	0.760	0.070	21.890
05	6.780	25.560	131.200	1.570	64.360	5.090	6.230	1.580	0.090	20.530
06	6.900	23.260	138.200	1.600	62.430	5.950	8.070	1.490	0.070	21.600
07	6.940	20.720	162.500	1.540	63.190	6.070	12.500	1.320	0.080	21.150
08	6.400	28.600	153.800	1.810	67.620	4.290	14.670	1.210	0.140	20.760
09	6.600	22.400	203.200	2.200	89.730	3.430	10.250	1.320	0.160	21.230
10	6.680	21.000	220.000	2.150	95.640	4.650	7.540	1.540	0.050	20.800
11	6.710	27.000	214.600	2.350	92.890	4.770	19.930	1.880	0.110	21.000
12	7.050	56.600	332.600	2.040	116.610	4.311	20.200	0.610	0.160	19.090

** UTN

*** $\mu\text{mhos/cm}$

+ meq/kg

++ mg CaCO₃/L

* mg/L

Como se observa, las aguas del río Duero en su trayecto quedan descartadas para emplearse en la irrigación de las zonas de cultivo, sin embargo, ese es su primer uso.

Los resultados indican que la autopurificación biológica que se realiza en el río Duero es a través de diferentes mecanismos y que no es afectada por los compuestos tóxicos de los metales pesados.

Análisis "Cluster"

Con la información obtenida, se aplicó un análisis "cluster" para conocer el grado de similitud entre las diferentes estaciones en función de los valores medios de los parámetros físicos y químicos estudiados; el análisis "cluster" se desarrolló como se indica a continuación: se usó un coeficiente de similitud, la métrica de Minkowski y un método de clasificación conexión simple (Single link) para el análisis de los parámetros físicos y químicos (Tabla 9), se observa en el dendograma de la figura 15 la tendencia de las estaciones 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 de asociarse dentro del mismo nivel, con un coeficiente promedio de 95% de similitud. A excepción de la estación 12 que es la más alejada con un coeficiente del 48% y finalmente la estación 4 con un coeficiente del 91% que forma un subgrupo con las estaciones 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 8.

Las estaciones 9, 10 y 11 forman un segundo subgrupo y la estación 12 que forma el último subgrupo pero que se asocia a los dos anteriores subgrupos. El subgrupo de la estación 12 probablemente se forma debido a la influencia de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del Lago de Chapala dada su gran cercanía y principalmente a la concentración de los elementos provenientes del recorrido del río desde su nacimiento en Carapan y su curso por el Valle de Zamora y la Ciénega de Chapala.

El análisis por separado de los valores promedio de los parámetros físicos (Tabla 10) mediante la aplicación de Promedios Intergrupales sin la Diagonal (mean within off Diagonal) se muestra en el dendograma de la figura 16, que concuerda en forma muy semejante al dendograma de los valores físicos y químicos promedio, notando la unión de la estación 4 al subgrupo de la zona de montaña.

El análisis de los valores medios de los parámetros químicos (Tabla 11) mediante la aplicación de Promedios Intergrupales (Mean link) desarrolla el dendograma de la figura 17 con la formación de tres subgrupos dentro de un mismo grupo con aproximadamente el mismo coeficiente de asociación de 85% y el subgrupo de la estación 12 con un coeficiente del 29%. Los subgrupos están formados de la siguiente manera: estaciones 3, 4, 6, 9 y 10 forman el primer subgrupo, las estaciones 7, 8 y 11 el siguiente subgrupo y las estaciones 1, 2 y 5 el último subgrupo. Estos resultados no concuerdan claramente con la descripción

Tabla 10

Valores Promedio de Parámetros Físicos

Estación	pH	Temperatura*	Turbidez**	Conductividad*** específica
01	6.770	16.720	1.520	116.200
02	6.830	17.140	5.620	125.800
03	6.780	20.560	3.800	119.400
04	6.870	19.980	3.540	143.200
04	6.780	16.980	25.560	131.200
06	6.900	18.720	23.260	137.200
07	6.940	19.860	20.720	162.500
08	6.400	19.660	28.600	153.800
09	6.600	20.060	22.400	203.200
10	6.680	20.800	21.000	220.000
11	6.710	20.160	27.000	214.600
12	7.050	19.580	56.600	332.600

* °C

** UTN

*** $\mu\text{mhos/cm}$

Tabla 11

Valores Promedio de Parámetros Químicos
(mg/L)

Estación	O.D.	D.B.O	D.Q.O	N-NH ₃	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	P-total	Si-SiO ₂
01	6.030	5.460	11.438	0.356	0.022	1.470	0.080	0.113	20.650
02	6.600	7.580	13.769	0.323	0.023	1.060	0.100	0.180	20.590
03	5.930	6.820	17.212	0.255	0.022	0.990	0.090	0.126	20.640
04	4.570	9.970	17.352	0.401	0.010	0.760	0.070	0.190	21.890
05	5.090	6.230	14.862	0.390	0.045	1.580	0.090	0.139	20.530
06	5.950	8.070	21.360	0.256	0.029	1.490	0.070	0.116	21.600
07	6.070	12.500	20.474	0.939	0.029	1.320	0.080	0.155	21.150
08	4.290	14.670	21.061	0.533	0.024	1.210	0.140	0.232	20.760
09	3.431	10.250	19.182	1.264	0.066	1.320	0.160	0.508	21.230
10	4.650	7.540	18.857	0.609	0.127	1.540	0.050	0.401	20.800
11	4.770	10.930	20.614	0.716	0.077	1.880	0.110	0.345	21.000
12	4.510	20.200	30.089	0.362	0.036	0.610	0.160	0.221	19.090

objetiva de los resultados, dado que, las estaciones más alteradas 8 y 9 se unen en subgrupos con propiedades químicas completamente diferentes enmarcadas dentro de la zona de montañas de aguas claras y limpias y de la zona de recuperación de la Ciénega de Chapala.

El análisis de los valores promedio de los iones más abundantes (Tabla 12) aplicando la conexión completa (Longest link) forma un dendograma (Fig. 18) de distribución de 4 subgrupos de la siguiente manera: el subgrupo de las estaciones 5, 6 y 7 unidas al subgrupo de las estaciones, 1, 2 y 3 con un coeficiente del 79%, que a la vez se une al subgrupo de las estaciones 4 y 8 con un coeficiente del 63% y finalmente estos unidos al subgrupo de las estaciones 9, 10, 11 y 12 con un coeficiente del 59%.

Como se observa conjuntamente con los anteriores dendogramas se da una zonación claramente marcada con un incremento hacia la porción final del río (Estación 12).

En términos generales, la zonación es como se marca al hacer la descripción de los resultados, una zona de aguas claras y limpias en la zona de montañas comprendiendo de la estación 1 hasta la estación 7, una zona de activa descomposición estaciones 8 y 9, y una zona de recuperación estaciones 10, 11 y 12.

Tabla 12

Valores Promedio de Iones más Abundantes
(mg/L)

Estación	Alcalinidad* total	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
01	1.520	10.368	6.190	2.017	4.763	0.009
02	1.650	11.884	6.681	1.412	6.267	0.012
03	1.590	10.350	6.304	2.146	7.504	0.010
04	1.810	10.326	10.280	3.083	16.043	0.012
05	1.570	11.498	9.042	2.681	9.364	0.008
06	1.600	11.908	7.827	2.328	10.156	0.007
07	1.540	11.872	8.139	2.774	10.103	0.021
08	1.810	13.448	12.916	2.152	13.531	0.024
09	2.200	19.562	19.890	5.110	16.939	0.021
10	21.50	17.770	20.064	6.307	19.609	0.023
11	2.350	18.996	20.371	4.267	22.406	0.023
12	3.040	26.243	21.151	5.316	25.156	0.034

* meq/kg

Los resultados obtenidos al realizar el estudio del Río Duero, indican que la autopurificación biológica es importante en la recuperación de la calidad del agua mediante la actividad biológica de las macrofitas que incorpora iones y nutrientes a biomasa. La actividad bacteriológica también juega un papel preponderante en la asimilación o descomposición de la materia orgánica en el medio acuático.

Los procesos fisicoquímicos y químicos en la remoción de iones o intercambio de estos es decisivo en el control de los agroquímicos que entran al recurso con las aguas de riego agrícola.

Los procesos de dilución son vitales hasta la mitad del curso del río por efecto de los manantiales, disminuyendo la concentración de los componentes de manera que la autopurificación biológica no es afectada por niveles arriba del límite permisible que pongan en peligro la biota acuática.

Finalmente aun cuando los niveles de los diferentes parámetros muestreados están por debajo del límite permisible debido a los procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan entre sí en el proceso de autopurificación, es deseable que, el uso potencial del río sea de acuerdo a su conducta y metabolismo.

En la zona de montañas, de aguas claras y limpias, el río se puede utilizar para abastecer de agua a los poblados cercanos tal como se hace con el manantial de Etucaro que surte de agua potable al poblado de Tangancicuaro de Arista, mediante la aplicación de un tratamiento de desinfección. Además por sus características físicas, químicas y bacteriológicas es una área aceptable para la acuicultura, uso industrial, recreativo y conservación de flora y fauna.

La zona de activa descomposición requiere de una mayor oxigenación que se logra mediante resaltes y caídas de esta forma incrementando la rapidez de la autopurificación y disminuyendo los límites de esta zona.

Conclusiones

1. El Río Duero presenta una zonación de acuerdo a las características físicas, químicas y bacteriológicas: una zona de aguas claras y limpias en la zona de montaña, una zona de activa descomposición en la zona del Valle de Zamora, y una zona de recuperación en la zona de la Ciénega de Chapala.
2. Los procesos que intervienen en la autopurificación del río son de origen físico, químico y biológico.
3. La calidad del agua del Río Duero en relación a los parámetros físicos y químicos está dentro de los niveles permitidos en la Legislación Relativa al Agua y su Contaminación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

4. La rotación de cultivos de una área a otra es vital en el proceso de autopurificación por la absorción y liberación de iones.
5. Mediante el pretratamiento y tratamiento primario la calidad del agua del Río Duero puede recuperar sus condiciones originales.
6. Las aguas de retorno agrícola en cuanto a su composición química no ponen en peligro la biota acuática.
7. La concentración de Fe, Zn y Cu está por debajo de los límites permisibles, sin embargo es necesario continuar el monitoreo de estos elementos debido a su presencia en los diferentes agroquímicos que se utilizan en la agricultura.
8. La salinidad de las aguas del Río Duero presenta 151.6 mg/L correspondiente a aguas liméticas con $< 0.5\%$ de salinidad.
9. El material orgánico presente en el Río Duero es principalmente biodegradable de descomposición lenta que proviene de los residuos agrícolas.
10. La aplicación de fertilizantes en las zonas agrícolas del Valle de Zamora y de la Ciénega de Chapala contribuyen al aumento de fósforo tanto inorgánico como orgánico en las aguas del Río Duero.

11. La cuantificación de Sr, Ni, Cr y Mn está muy por debajo del límite detectado por el método de absorción atómica y de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
12. El análisis "cluster" indica la influencia de la cuenca del Lago de Chapala en la estación 12 del Río Duero.
13. En la estación 12 del Río Duero, se concentran y acumulan los elementos obtenidos por el río a través de su curso.
14. La contaminación de origen antropogénico puede desencadenar en impactos adversos al sistema acuático al incrementar el nivel de los compuestos.

Literatura Citada

ALABASTER, J.S., R. LLOYD, 1980. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths & Co. Publishers Ltd. London, 297 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (A.P.H.A.), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, 1986. Standar Methods for the Examination of Water and Wasterwater. (16, Ed.). Washington, D.C., 1134 p.

BERNER, M.L., 1951. Linnology of the lower Missouri river. Ecology. 32 (1): 1-12.

- BRANCO, M.S., 1984. Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C., 120 p.
- COLE, A.G., 1979. Limnology. The C.V. Mosby Co. Estados Unidos de América, 426 p.
- EDMOND, H.J., 1970. High precision determination of titration alkalinity and total carbon dioxide content of sea water by potenciométric titration. Deep-Sea Res. 17, 737-750.
- ESPINOZA, G., A. LOPEZ, 1977. Introducción a los Métodos Jerárquicos de Análisis de Cúmulos. Comunicaciones técnicas, Serie Verde: Notas, Vol. 1, No. 9, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM, 77 p.
- GAINNEY, L.P., T.H. LORD, 1952. Microbiology of Water and Sewage. Prentice-Hall, Inc. New York, 430 p.
- GAUDY, Jr. F.A., 1972. Biochemical oxygen demand. In: Mitchel, R. (Ed.), Water Pollution Control. 305-332.
- GIBBS, J.R., 1973. Mechanisms of trace metal transport in rivers. Science. 180: 71-73.
- HYNES, N.B.H., 1974. The Biology of Polluted Waters. Liverpool University Press. Liverpool, 202 p.
- HUTCHINSON, M.J., J.W. RIDWAY, 1977. Microbial aspects of drinking waters supplies. In: Skinner, F.A., J.M. Shewan (Eds.). Aquatic Microbiology. The Society for Applied Bacteriology Symposium Series No. 6: 179-218.

- KEENEY, R.D., 1971. Microbial aspects of the pollution of fresh waters with inorganic nutrients. In: Sykes, G., F.A. Skinner (Eds.). Microbial Aspects of Pollution. The Society for Applied Bacteriology Symposium Series No. 1: 181-197.
- LIVINGSTONE, D.A., 1963. Chemical composition of rivers and lakes. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 440-9. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 64 pp.
- LLOYD, R., D.J. SWIFT, 1967. Some physiological responses by freshwater fish to low dissolved oxygen, high carbon, dioxide ammonia and fenol with particular reference to water balance. In: Effects of Pollutants in Aquatic Organism. (Ed. Loxwood, A.P.M.) Cambridge University Press. Londres.
- LUNA, B.L., 1962. Rivers. American Scientist. 50: 511-557.
- MARGALEF, R., 1983. Limnología. Ed. Omega, Barcelona, 1010 p.
- MASON, C.F., 1984. Biología de la Contaminación del Agua Dulce. Ed. Alhambra, S.A., España, 298 p.
- MURPHY, J., J.P. RILEY, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analyt. Chim. Acta, 27, 31.
- REID, R.G., R.D. WOODS, 1976. Ecology of Inland Waters and Estuaries. D. Van Nostrand Co. London, 485 p.
- REYES, L., A. LOPEZ, G. ESPINOZA, 1978. Análisis/Cálculos, Un Programa para el Análisis de Cálculos. Comunicaciones Técnicas, Serie Amarilla: Desarrollo, Vol. 1, No. 6, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM, 27 p.

- S.A.R.H., CPNH, 1981. "Plan Nacional Hidráulico, 1981". Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México.
- S.A.R.H., 1973. Legislación Relativa al Agua y su Contaminación. Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Diario Oficial, 1-43 p.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS, M I II WATER VOL. 2, METHODS, 1974. Technical Publications No. 990-0228.
- UHLMAN, D., 1979. Hydrobiology. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- VAZQUEZ-GUTIERREZ, F., R. KING-DIAZ, AGUILAR, J., R.D. ARENAL, 1984. Evaluación del Proceso de Autopurificación Química y Biológica del Río Duero. In: Mem. IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Morelia, Michoacán. Octubre 18-20, 1984: 15-20.
- VAZQUEZ-GUTIERREZ, F., R. KING-DIAZ, N. GUZMAN, A.P. VAZQUEZ, 1985. Evaluación del Impacto Ambiental en el Río Duero, Zamora, Michoacán, México. In: Mem. III Curso y Simposio Internacional Sobre Biología de la Contaminación. México D.F. Agosto 5-9, 1985.
- VAZQUEZ-GUTIERREZ, F., R. KING-DIAZ, 1986. Evaluación del Impacto Ambiental en el Río Duero, Michoacán, Mediante la Salinidad. Análisis de Iones Mayores. In: Mem. IV Curso y Simposio Internacional Sobre Biología de la Contaminación, México D.F. Agosto 4-8, 1986.
- WETZEL, G.R., 1975. Limnology. Saunders College Publishing. Filadelfia, 734 p.

WHIPPLE, CH.G., 1927. The Microscopy of Drinking Water, John Wiley & Sons, Inc. New York, 539 p.

WILDMANN, K., 1972. Stream Purification. In: Mitchell, R. (Ed.) Water Pollution Control. 119-151.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dirección del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, por el apoyo recibido durante la elaboración del presente trabajo

También quiero hacer patente mi agradecimiento a las siguientes personas por haber aceptado formar parte del Jurado, así como sus valiosas observaciones:

Dr. Felipe Vázquez-Gutiérrez

Dr. Gerardo Green Macías

M. en I. Georgina Fernández V.

Dr. Alejandro Yañez-Arancibia

M. en C. Jose Luis Rojas Galaviz

Agradezco las facilidades recibidas por el Laboratorio de Farmacología Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, y del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

Al Q.F.B. Héctor Alexander por sus atinadas sugerencias en la realización de los análisis químicos, a los pasantes de Biología Magdalena Ordoñez R. y Alberto Vázquez P. por su apoyo en la complementación de los análisis químicos.

Al Laboratorio de Limnología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por su apoyo en las salidas de campo.

Indice de Figuras

- Fig. 1. Mapa de la localización del Río Duero y estaciones de muestreo.
- Fig. 2. Variación estacional de la turbidez (en unidades UTN).
- Fig. 3. Comportamiento estacional de la Conductividad específica ($\mu\text{mhos/cm}$).
- Fig. 4. Comportamiento de la Alcalinidad total (meq/kg) en diferentes estaciones.
- Fig. 5. Variación de el ΣCO_2 (mmol/l) en los muestreos realizados.
- Fig. 6. Dureza Total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$), variación estacional.
- Fig. 7. Distribución del oxígeno disuelto (mg/L), respecto al tiempo.
- Fig. 8. Distribución estacional del N-NH_3 (mg/L).
- Fig. 9. Variación estacional del N-NO_3^- (mg/L).
- Fig. 10. Distribución estacional de P-PO_4^{3-} (mg/L).
- Fig. 11. Cambios estacionales del P-Total (mg/L).
- Fig. 12. Variación de el Si-SiO_2 (mg/L), en forma estacional.

- Fig. 13. Concentración de Zn (mg/L), en diversas épocas clínicas.
- Fig. 14. Variación de el Fe (ng/L), en diferentes estaciones.
- Fig. 15. Dendograma de los valores promedio de parámetros físicos y químicos mediante la aplicación de Conexión Simple.
- Fig. 16. Dendograma de los valores promedio de parámetros físicos mediante la aplicación de Promedios Intergrupales.
- Fig. 17. Dendograma de los valores medios de los parámetros químicos mediante la aplicación de Promedios Intergrupales.
- Fig. 18. Dendograma de los valores medios de los iones más abundantes mediante aplicación de la Conexión Completa.

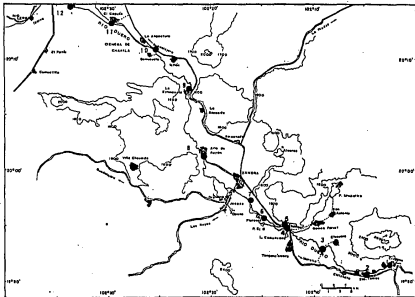


FIGURA 1

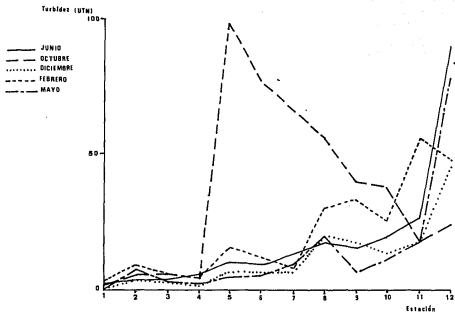


FIGURA 2

Conductividad específica
($\mu\text{mhos/cm}$)

— JUNIO
— OCTUBRE
..... DICIEMBRE
- - - FEBRERO
- - - MAYO

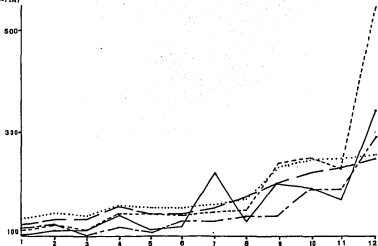


FIGURA 3

Estación

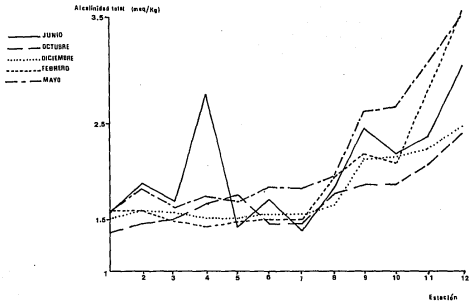


FIGURA 4

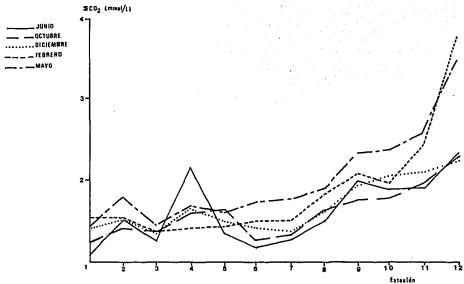


FIGURA 5

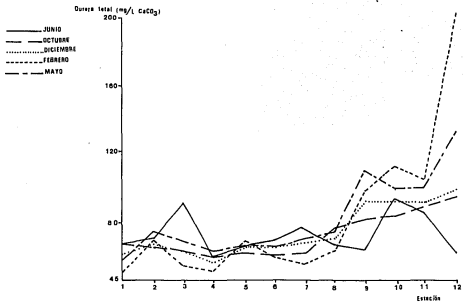


FIGURA 6

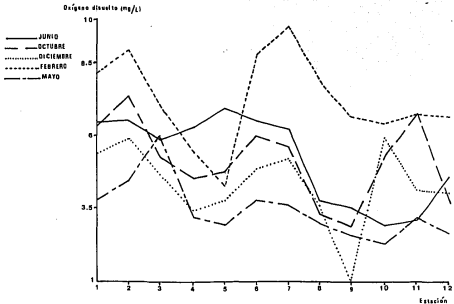


FIGURA 7

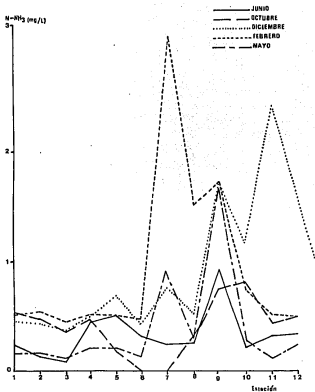


FIGURA 8

H-NO_3 (mg/L)

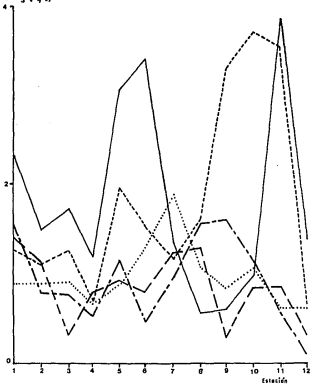


FIGURA 9

ESTA TESIS SABER DE LA ESCUELA

— JUNIO
— OCTUBRE
..... DICIEMBRE
- - - FEBRERO
- - - MAYO

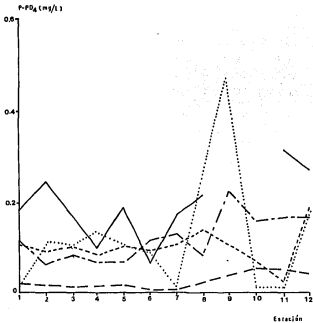


FIGURA 10

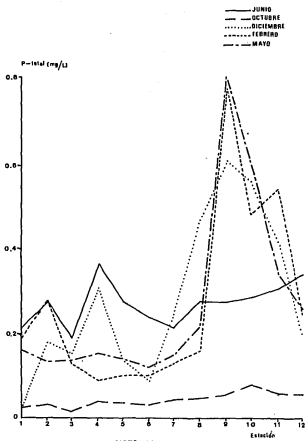


FIGURA 11

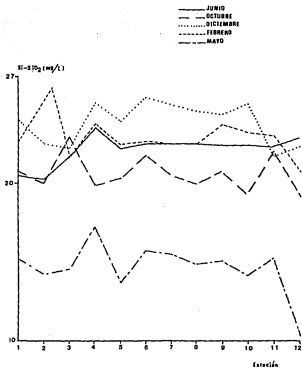


FIGURA 12

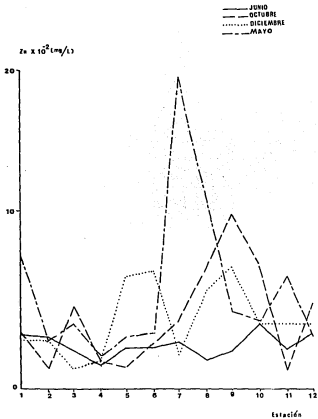


FIGURA 13

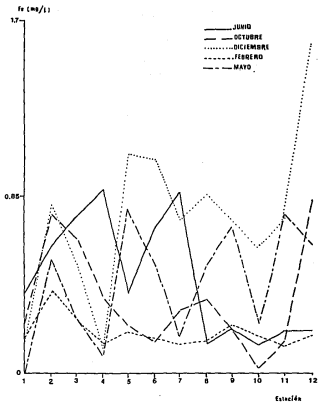


FIGURA 14

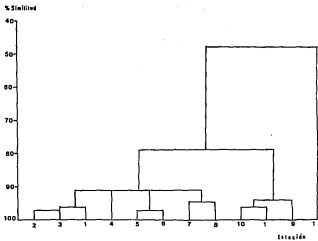


FIGURA 19

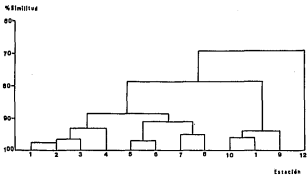


FIGURA 16

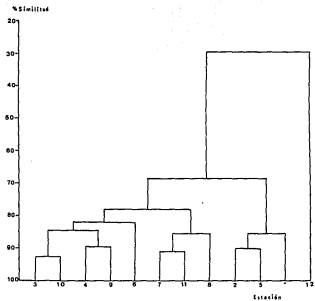


FIGURA 17

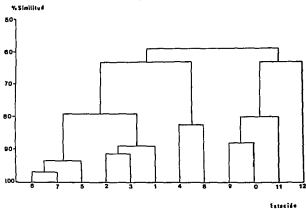


FIGURA 18