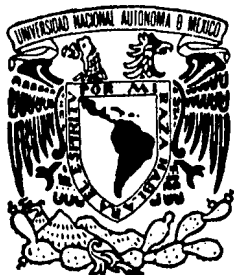


2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ASPECTOS GENERALES DE CONTAMINACION Y
DETERIORO AMBIENTAL PROVOCADOS POR LA
PLANTA CENTRAL DE EXPLOSIVOS EN EL AREA
SANTA FE, MEXICO D. F.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGIA

P R E S E N T A :

LORENA ELIZABETH CAMPOS VILLEGAS

Mexico, D. F.

Julio de 1988



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.

INDICE

Resumen	1
I. - Introducción	3
II.- Objetivos	9
III.-Área de estudio	10
IV.- Material y método	14
V .- Resultados	19
VI.- Discusión	25
VII.- Análisis estadístico de regresión y factorial	47
VIII.-Deterioro ambiental	56
I X.- Conclusiones	61
X .- Tablas y figuras	64
XI.- Bibliografía	86

RESUMEN:

Para determinar el efecto de los residuos generados por la Planta Central de Explosivos en Santa Fé (México) sobre el Rio Tacubaya y el sistema de agua potable (localidad 1 y 2) se llevo a cabo un estudio de la calidad del agua, entre febrero y septiembre de 1984. Con el propósito de estimar las alteraciones físicas, químicas y biológicas del rio antes y después de la descarga de la fábrica, así como en el agua potable, se determinaron las siguientes variables físicas; gasto, temperatura, pH, conductividad, profundidad del cauce, color, sólidos disueltos y totales. Químicas; oxígeno disuelto, acidez, alcalinidad, sulfatos nitratos, sílice, cloruros, dureza, calcio, magnesio, las demandas química y bioquímica de oxígeno; éstas determinaciones fueron sometidas a la estadística de modelaje y predicción.

Las condiciones hidrológicas, anteriores a la fábrica, (localidad 3) prevalencias, durante la época de sequía, con frecuencia presentaron niveles críticos de calidad de agua; de acuerdo con la reglamentación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1977) el agua se clasificó como "D II" calidad adecuada únicamente para conservación de flora y fauna.

Particularmente en esta temporada antes de la fábrica el pH osciló entre 7.6 y 9.2, el oxígeno disuelto mostró valores mínimos del orden de 1 mg O₂/l, los máximos para los nitratos fueron de 25 a 100 mg/l; esto denotó contaminación por desechos orgánicos. La variación que se observó en la dureza, calcio, magnesio, contenido de sílice y cloruros, posiblemente provenga del propio río y del efecto de la temporada de lluvias.

La calidad de agua después de la fábrica, durante la sequía, mostró condiciones aun más críticas para ciertas variables, como el pH que tuvo en cortos lapsos de tiempo (h.), una fuerte oscilación (de 0.3 a 4.5 máximo a los 2250 m. de distancia) que a la vez, se relaciona con las diferencias temporales registradas las cuales, para la alcalinidad, van desde 0 hasta 72 mg CaCO₃/l; en acidez de los 140 a 4,524 mg CaCO₃/l; en la conductividad de 18 a 3195 μ hos/cm a 25 °C; para el color la variación fue de 125 u.Pt/Co y en sulfatos de los 104 a 636 mg/l. Asimismo se detectaron los máximos promedios de concentración mensual para nitratos de 130 mg/l; sólidos disueltos de 740 mg/l, sólidos totales de 5318 mg/l y en las demandas química de 633 mgO₂/l y bioquímica de 42 mgO₂/l valores que en conjunto, expresan los fuertes efectos de la actividad industrial a la que está sujeto el ambiente dentro del complejo Santa Fé. En general estos componentes y características del agua de desecho se diluyen con las lluvias pero no lo suficiente como para depurarla. Sin embargo, su calidad posterior a la fábrica fue considerada desde el punto de vista ecológico, como de niveles críticos de contaminación.

Dentro de los modelos de predicción de la calidad del agua, se expresa que, las técnicas de regresión lineal múltiple, para el pH, acidez, sulfatos, color y contenido de sólidos fueron altamente significativas, dado el valor de $r > 0.75$. Específicamente, el modelo predijo, con un 72.687 % de confianza, la distancia a la cual la depuración del agua alcanza niveles para ser empleada en otros fines que no sean del consumo humano. Sin embargo se estima, que el deterioro ambiental en el área de estudio aún no presenta condiciones que provoquen extinción de la flora y fauna terrestres, pero dados los resultados, habrá que tomar medidas urgentes para la conservación del agua y medio terrestre, las cuales redituen en la salud del hombre.

I. - INTRODUCCION

Desde tiempos remotos los asentamientos humanos se fijan junto a las riberas de los ríos y lagos con el objeto de disponer de agua dulce de buena calidad para uso doméstico, industrial y para la producción de energía. Es así como las diversas actividades humanas requieren del consumo de grandes volúmenes de agua.

La ciudad de México una de las urbes más pobladas del mundo, en la actualidad, cuenta con una amplia y compleja red industrial. Con diversas actividades que producen numerosos problemas de abastecimiento y evacuación de agua. Por lo cual se llevan a cabo, programas para el empleo racional del preciado líquido, así como para su tratamiento y reuso en distintos campos. Bajo estas consideraciones hacia 1981, en el Plan Nacional Hidráulico de la SARH se calculó que de 155, 814 millones de m³ de agua extraída del subsuelo, el 64 % se destina al uso hidroeléctrico, un 29 % al riego agrícola, un 3 % es agua potable, y el 4 % para el sector industrial. De esta forma un porcentaje considerable del agua se destina a la industria en general, donde cubre diferentes necesidades. La mayor demanda es para enfriamiento, siguiendo en orden de importancia el enjuague de productos, material y equipo (Fair, et al. 1981)

En la Ciudad de México, el agua a servicio de la fábrica de explosivos en Santa Fé, se usa para el enjuague, en consecuencia los contaminantes que recibe el sistema hidrológico son diversos

y los daños, en algunos casos, son extremos. Por esta razón, la caracterización de sus aguas residuales y del efluente del Río Tacubaya antes y después de la fábrica es de suma importancia, dado que los residuos son expulsados de la planta (sin tratamiento previo) a través del río, cuyo cauce está rodeado por un gran número de espacios habitacionales, (Fig.1) lo que representa un peligro para su población dada la composición de los vertidos, propios de la industria de los explosivos. Centrada en tres procesos para dar servicio al interés público y privado de la sociedad: 1) fabricación de TNT 2) fabricación de pólvora y 3) producción de balas de pequeño calibre, mismos que definen el tipo de desecho.

De acuerdo con Nemerov(1977) en la caracterización de las aguas residuales de explosivos, se señala para:

1) la fabricación del TNT (trinitrotolueno), el tolueno se mezcla con ácidos nítrico y sulfúrico, en condiciones adecuadas de temperatura. Los grupos de nitrato se unen gradualmente, hasta que el producto es básicamente TNT. En seguida, se lava para eliminar el ácido residual. Posteriormente se cristaliza y purifica con sulfito de sodio, el producto puro finalmente se funde para formar escamas y empacarlo.

Los vertidos principales son las aguas ácidas de lavado, posteriores a la nitración, y las de la purificación del sulfito de sodio (aguas rojas). El agua de lavado de la nitración es ácida y amarilla, mientras que la alcalina es roja y tan intensamente coloreada que se aproxima al negro .

2) En la manufactura de la pólvora sin humo, la materia prima es algodón purificado, conocido como "linters de algodón", el cual pulverizado, se trata con una mezcla de ácido sulfúrico y nítrico, para obtener la Nitrocelulosa (NC) o algodón pólvora. Esta se purifica en diferentes etapas (hervir, macerar y lavar hasta neutralizar los ácidos) se mezcla con alcohol y un estabilizador para obtener la forma coloidal. Este polvo se granula por prensado, el solvente se recupera y las partículas entran al proceso de acabado de la pólvora.

3) La fabricación de cartuchos genera aguas residuales en la producción de balas. Este proceso consiste en extruir y recocer metales, tratados con ácidos y lavados con detergente. Los residuos incluyen plomo, procedente de los lingotes que se transforman, hasta darles la forma de proyectiles.

En el caso particular del complejo Santa Fé, en este último proceso señalado, se vierten las aguas residuales directamente al drenaje y no entran en contacto con el Río Tacubaya (objeto de estudio).

Como antecedente, cabe señalar que el monitoreo de la calidad de las aguas residuales en estos procesos es de baja frecuencia dado el carácter militar. Al respecto, Babbitt, H. y E. Baumann (1983) señalan que en la manufactura del TNT los contaminantes se generan en el local de lavado posterior a la nitración y en la cristalización. El volumen de agua que consume el proceso es de 269 l, por carga de 100 kg de TNT. Bajo éstas

condiciones, las características fisicoquímicas de ambas etapas son; en la primera altamente ácidas, con olor a reactivo químico y color amarillo brillante. Posteriormente al cristalizar, con la adición del sulfito de sodio al 5 %, cambian a alcalinas y de color rojo alteraciones de carácter persistente, aun después de aplicar tratamientos diferentes, como los que se contemplan en las investigaciones de Ruchhoft y Meckler (1945), de dilución y mezcla con carbón activado y cloración.

A partir de la década de los cuarentas, los estudios sobre aguas residuales de explosivos se enfocan más, a la detección de métodos eficientes de depuración que a las investigaciones propias de la calidad del agua y a la evolución natural de éste tipo de desechos.

Entre los métodos aplicados por Smith y Walker (1959) para la remoción de contaminantes en este tipo de descargas se tiene la flotación de grasas y precipitación química, con los que eliminan el 84 % de la DBO₅, el 94 % de los sólidos en suspensión el pH se eleva de 3.5 a 6.9 y se reduce el olor hasta en un 90 %. Le Bosquet y Meckler (1945) señalan que la filtración de estas aguas, a través de una columna de tierra negra de jardín, es el mejor medio para eliminar una cantidad de TNT igual al 1 % de su peso. De acuerdo con Babbitt, H. y E. Baumann (1923) los métodos de filtración y floculación ofrecen posibilidades de reutilización de subproductos además de la depuración propia de éstas aguas.

En cuanto a las aguas residuales de nitrocelulosa (N.C),

Dickerson (1951) estima que la coagulación y la sedimentación son métodos efectivos para tratar estos residuos. Al mismo tiempo, menciona que es posible depurar estas aguas por aereación y oxidación biológica, obteniendo buenos resultados; aun cuando los residuos de nitrocelulosa (N.C) contienen una acidez superior a la descargada por TNT.

Éasicamente los tratamientos reseñados para esta clase de residuos se apoyan en procedimientos físicos, ésto implica una desventaja ya que las fracciones disueltas de los contaminantes no son separadas del agua.

Gail e Ingram (1954) advierten que cualquier tratamiento usado en los líquidos residuales de la manufactura de TNT, presenta problemas, porque el color rojo también produce sabor, sobre todo si el agua es clorada para beber. Finalmente, concluyen que, en altas concentraciones, el TNT puede ser tóxico y como el color es resistente al ataque químico - biológico, la reutilización del agua se hace costosa e inútil. Por esto, el agua empleada para la manufactura de explosivos tiene mínimas posibilidades de ser efectivamente depurada.

En México hay gran diversidad de estudios respecto a la de calidad del agua de desecho. Sin embargo, los esfuerzos se centran especialmente en el análisis de la contaminación por desechos domésticos.

Según Fair, et al. (1981) la formulación y predicción matemática a través de modelos puede ser empleada con éxito para

estimar el grado de alteración y, el posible tratamiento del agua; tomando en cuenta que, una vez descargados los contaminantes, el efecto inicial se presenta sobre la calidad física del agua y en seguida, se produce una sucesión de cambios biológicos que terminan en el deterioro químico, si el agua se desplaza como en un río, las alteraciones progresivas se propagan a diferentes distancias y establecen un perfil de contaminación y purificación natural.

Al respecto, Draper y Smith (1965) estiman que la contaminación del Río Mississippi puede ser interpretada por una correlación lineal alta (0.961), entre la demanda bioquímica (DBD,) y la distancia sobre el cauce.

En consecuencia para el Río Tacubaya, particularmente, los métodos estadísticos de regresión establecen el modelo predictivo de depuración para los vertidos de la fábrica de explosivos.

II.- OBJETIVOS

Debido a los riesgos que representan los desechos de esta industria, la presente contribución tiene por objeto la estimación de las alteraciones físicas, químicas y biológicas de las aguas del Río Tacubaya, tanto en su calidad original (a los cero m) como después de los vertidos de la Planta Central de Explosivos, a una distancia máxima de 2250 m, durante los períodos de estío y lluvias, comprendidos entre febrero y septiembre (1984), para verificar si dentro del caudal se presenta la autodepuración, apoyándose en los métodos estadísticos de predicción probabilística con el propósito de establecer el modelo predictivo del río.

III. - AREA DE ESTUDIO

La Planta Central de Explosivos Santa Fé está localizada al SW del D.F., en la delegación Alvaro Obregón, entre las coordenadas 19° 25' 00" y 19° 22' 30" de latitud N y entre los 99° 15' 00" y los 99° 12' 30" de longitud W ; con una superficie de 149.97 ha que incluye la sección estudiada del Río Tacubaya . El área comprende desde el Km 13 de la carretera México-Toluca hasta las instalaciones del Estado Mayor sobre Av. Constituyentes.

Un sistema fluvial sin nombre, aparece por el W de la Ciudad de México; y con dirección E, atraviesa el pueblo de Santa Fé, y se introduce a la fábrica a los 400 m río abajo del Km 13. Próximo al Metro Observatorio, toma el nombre de Río Tacubaya (Fig. 1 y 2).

Este río, limita al N con la zona residencial de Lomas de Reforma y Av. Constituyentes; al S con Av. Vasco de Quiroga y el pueblo de Santa Fé, el cual separa al Río Tacubaya de los tiraderos de basura. Al W, río arriba, limita con Cuajimalpa y Contadero, regiones poco perturbadas (respecto al interior de la fábrica) donde la actividad humana se centra en la agricultura y la explotación de minas de arena y de grava-arena. En el E, río abajo, limita con la estación del Metro Observatorio y la Presa Tacubaya (Fig.1).

Ambas laderas N y S muestran un perfil sedimentario; el superficial de 10 cm, con suelo acumulado sobre partículas de arcilla y el subyacente un depósito masivo de grava

De acuerdo a la Carta Geológica del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI 1977), el terreno posee las siguientes características, roca del tipo Toba (ceniza) del terciario, escaso fracturamiento, intemperismo somero, altitud mínima de 2325 m y máxima de 2450 m, s.n.m.

Con base en los datos del Sistema Meteorológico Nacional (tarjetas de resumen mensual 1970-1985) de las siguientes estaciones : Presa Anzaldo, Presa Mixcoac, Desierto de los Leones, La Venta, Tacubaya y El Molinito, y según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen, modificado por García (1981), en el área de estudio el clima es (Cb'w₂W i'g), templado subhúmedo, semifrío con verano fresco y largo, régimen de lluvias en verano, con lluvia invernal menor al 5 % y oscilación isotermal anual inferior a 5°C.

La temperatura media anual es de 16°C. La precipitación promedio es de 88.56 mm. Los vientos dominantes en invierno son de dirección S y W; en primavera del N; en verano del N y NW y en otoño N y NNW. En la escala de Beaufort estos vientos son débiles con velocidad media no mayor a 1.15 m/s.

La vegetación en la ladera N está compuesta por árboles

jóvenes de pirul (Schinus molle), eucaliptos (Eucalyptus camaldulensis), tepozan (Eudleia sp.), pino (Pinus sp.), frutales como Prunus capuli, P. persica, y con menor densidad el nopal (Opuntia spp.), el maguey (Agave sp.) y algunas herbáceas de las familias de compuestas y labiadas. La ladera S la ocupa un matorral de Opuntia spp. con maguey cenizo (Agave asperima) y en menor proporción Agave lecheguilla, Yucca sp. y Mimosa sp.

La vegetación propia del área de estudio se puede comparar con la descrita por Rzedowski (1978) para un Matorral Crasicale con Opuntia ya que observa las siguientes especies dominantes: Opuntia streptacantha y leucotricha, a veces se presenta Yucca decipiens. A niveles inferiores conviven arbustos micrófilos, como Mimosa, Acacia, Prosopis y pueden estar presentes numerosas especies de herbáceas. La altura de este matorral alcanza de 2 a 4 m, se desarrolla sobre suelos someros en laderas de cerros de naturaleza volcánica. La precipitación media anual es inferior a los 600 mm y la temperatura entre los 16° y 22°C.

La fauna está representada por algunos órdenes; de reptiles (ofideos), de aves (paseriformes) y de mamíferos: conejos (lagomorfos), ratones (rodentia), zarigüellas (marsupiales) y zorrillos (mustelidos).

A pesar de que la fábrica se encuentra dentro de la zona ocupada por el D.F., todavía se encuentra bien representada la flora y fauna. Por tal razón y por la naturaleza de los

contaminantes vertidos al interior de una de las metrópolis más pobladas del mundo, es importante definir la toxicidad de los mismos y su impacto en el ya deteriorado habitat ciudadano.

IV.- MATERIAL Y METODO

Debido al carácter y variedad de los contaminantes de la fábrica de cartuchos (en particular metales pesados), no se caracterizaron esas descargas dada la carencia del material y equipo que requiere la metodología, esto determinó la evaluación exclusivamente de la calidad química del agua en los lavados de las fábricas de Trinitrotolueno(TNT) y Nitrocelulosa (NC), incluyendo pólvora sin humo(PSH) y Planta de eter(PE).

Se consideraron dos sitios de muestreo sobre el sistema potable y siete más sobre el Río Tacubaya para hacer un total de nueve localidades (Fig. 2) donde se realizaron 26 muestreos espaciados por lapsos semanales, que evalúan dos periodos climáticos, estío y temporada de lluvias de febrero a septiembre de 1984.

Los muestreos se efectuaron entre las 10 y las 14 h, en las localidades siguientes:

Sistema potable (localidades 1 y 2)

Río Tacubaya, cuerpo receptor:

cero m, (localidad 3) antes de la fábrica, km 13 de la carretera México-Toluca

400 m, río abajo (NC, localidad 4)

462 m, río abajo (PSH, localidad 6P)

500 m, río abajo (TNT, localidad 5)

562 m, río abajo (PE, localidad 6E)

1100 m, río abajo (localidad 7)

2250 m, río abajo (localidad B) después de la fábrica, en el Estado Mayor Presidencial.

En las tablas de resultados las evaluaciones de las descargas crudas, no mezcladas con el río, corresponden al número de la localidad más la primera letra del producto manufacturado, Nitrocelulosa (4N), Pólvora Sin Humo (6P), TNT (5T), y Planta de Eter (6E).

En cada localidad se estimaron aquellas variables físicas determinadas en el campo: la temperatura superficial con termómetro de carátula certificado DGN x46 con escala de 0 a 100°C; el pH con potenciómetro 3D para campo; el gasto con boya de 5.77 cm, de diámetro y peso de 55 gr para cronometrar una longitud de 3 m, a una profundidad media de 0.15 m; la conductividad con conductímetro de campo EXTECH expresada en μ mhos/cm a 25°C, y por último el color medido por comparación con la escala Platino Cobalto (u Pt/Co) del Aqua Tester Hellige N 611-A.

Las muestras para análisis químico se colectaron en botellas de PVC de 2.5 l de capacidad, para las siguientes variables: sólidos disueltos y totales, por el método gravimétrico; oxígeno disuelto, por el método Winkler, con la modificación de Alsterberg (azida de sodio), acidez y alcalinidad (como CaCO_3), valorados por acidimetría y alcalimetría; los nitratos y contenido de sílice se estimaron por espectrometría y los sulfatos por el método turbidimétrico del cloruro de bario. La demanda bioquímica (DBO_5) se cuantificó con base en la cantidad de oxígeno requerida por los degradadores de la materia orgánica del

agua, durante cinco días de incubación a 20°C, para evaluar la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y al final de la muestra diluida al 2 % y 10 % en agua saturada de oxígeno.

La demanda química (DQO) se determinó por el método de óxido-reducción a reflujo con dicromato de potasio.

Las técnicas están descritas en el "American Society Testing and Materials" (ASTM 1965, vol.23) así como en el American Public Health Association (APHA 1955) "Standards Methods for the Examination of Water, Sewage, and Industrial Wastes".

La metodología de evaluación (espectrofotometría y volumetría) marcó interferencias en los cambios de coloración siempre que el TNT se presentó en las aguas residuales, dada la coloración propia del residuo; sin embargo, se aplicaron vías experimentales (blancos sin reactivo) para evaluar las condiciones reales de descarga minimizando el error.

Las emisiones nitrosas se cuantificaron teóricamente por el método de balance de materiales, cuyo planteamiento se basa en la estequiometría entre la materia prima de entrada y el producto obtenido. Dicho método lo describen Valiente y Stivalet (1981).

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Central de Pruebas de la Industria Militar, Secretaría de la Defensa Nacional.

Los resultados se presentan en las figuras y tablas de promedios mensuales, para definir la calidad del agua y el efecto

de contaminación.

El análisis estadístico se realizó con el paquete BASIS, programa B 7800 (1984) ALGOL 34.750 "Sistem Master Control Program (M.C.P 341/UNAM)"

La matriz de correlación, coeficientes de regresión, correlación parcial, medidas de tendencia central y análisis de varianza (ANOVA), fueron requeridos en la prueba de hipótesis nula, con nivel de significancia para $\alpha = 0.05$ en las tablas de distribución F (de Fisher). Se emplearon, tanto para verificar la regresión, el modelo predictivo de autodepuración del río, así como para definir si la distancia es o no, determinante en la magnitud de la variable.

Para establecer la dimensión de las variables es indispensable contar con un patrón de comparación, que en este caso lo integran los valores nominales del Reglamento de Prevención y Control de la Contaminación del Agua y el de Obras de Provisión de Agua Potable (SARH y SSA 1971), complementados con normas internacionales, de los cuales se presentan las cifras máximas tomadas como norma de calidad, (Pag. 18):

Variables	Abreviatura	Norma	Unidades
* Temperatura	(T H ₂ O)	30	°C
* pH	(pH)	4.5 - 10	pH
* Oxígeno disuelto	(O.D)	4.0	mgO ₂ /l
Conductividad	(25)	2000	μmhos/cm a 25°
		ningún color	
* Color	(C)	artificial	uPt/Co
* Sólidos disueltos	(sd)	2000	mg/l
Sólidos totales	(st)	750	mg/l
Alcalinidad	(Al)	400	mgCaCO ₃ /l
Acidez	(Ac)	5	mgCaCO ₃ /l
Dureza	(D)	343	mgCaCO ₃ /l
Calcio	(Ca++)	250	mgCaCO ₃ /l
Magnesio	(Mg++)	125	mgCaCO ₃ /l
Sulfatos	(SO ₄ =)	5	mgSO ₄ /l
Nitratos	(NO ₃ -)	5	mgNO ₃ /l
Silice	(SiO ₂)	100	mgSiO ₂ /l
Cloruros	(Cl-)	5	mg/l
* Demanda química	(DQO)	160 - 500	mgO ₂ /l
* Demanda bioquímica	(DBO ₅)	40 - 200	mgO ₂ /l

*** NORMA DE CALIDAD PARA AGUAS RESIDUALES**

V.- RESULTADOS

Los parámetros hidrológicos del Río Tacubaya mostraron un amplio rango de variación espacio - temporal, por ésto el análisis se centra en las diferencias marcadas entre el estio y el periodo de lluvias, así como en los valores críticos (máximos y mínimos) registrados en los ocho meses de muestreo.

El **gasto (Q)** mínimo, en mayo es de 25 l/s, anterior a la fábrica (a cero m); y durante la época de lluvias en la misma localidad alcanzó el máximo de 190 l/s (julio y agosto). Particularmente en julio el aporte de las descargas es más evidente, ya que los gastos iniciales (cero m) fueron de 108 l/s, los de salida en la localidad 5 de 145 l/s y, después de las descargas a 1100 m se registraron 111 l/s (tablas 1 a 3).

Las **temperaturas** del río en abril alcanzaron valores máximos de 20 °C, las cuales descienden en la época de lluvias hasta los 12°C (en agosto). En la planta de TNT, las descargas frecuentemente exceden las normas de calidad, con valores de hasta 54°C (tablas 1 y 3).

La **profundidad** media del caudal es de 20 cm, la mínima de 10 cm, corresponde al mes de abril y la máxima de 35 cm se registró en julio, durante la temporada de lluvias, (tablas 1 y 4)

El **color** medido en unidades Platino-Cobalto (uPt/Co), en la localidad 3 (cero m), durante el estío fue de 100 uPt/Co (marzo), valor que descendió a 65 uPt/Co (agosto). En general después de la fábrica (a 2250 m) el color excedió con más de 400 u Pt/Co (en mayo) a los valores anteriormente señalados. Durante las lluvias se marcaron registros de 50 uPt/Co (en agosto) similares a los de río arriba, cero m (tablas 1 y 4).

La **conductividad**, antes de la fábrica (cero m) presentó una variación mínima, al registrar 32^4 mhos/cm a 25°C (de mayo) y posteriormente 45^4 mhos/cm a 25°C (de septiembre) en los meses de lluvia, en el estío se registró el máximo de 4000^4 mhos/cm a 25°C . En contraste, después de las descargas, los resultados fueron variables, de $10,330^4$ mhos/cm a 25°C en febrero a 18^4 mhos/cm a 25°C en septiembre, este último registrados a 2250 m.

En cuanto a las descargas la mayor alteración corresponde a la fabricación del TNT (localidad 5) donde se obtuvieron máximos de $7,600^4$ mhos/cm a 25°C en junio, (tablas 1 a 4).

El **pH**, antes de la fábrica varía de los 7.6 (en febrero) a los 9.2 (en marzo) dentro del período de sequía, tal oscilación se atenúa con las precipitaciones, cuando el mínimo es de 7.6 (en septiembre) y el máximo de 8.4 (en junio).

Río abajo a 2250 m el pH de 0.3 (en febrero), es ácido, próximo a cero, el máximo de 7.2 (en junio) se registró en la temporada de lluvias. Las descargas de las fábricas de NC y TNT durante el período de muestreo evidenciaron constantemente un

carácter ácido, con valores de pH inferiores a uno, (tablas 1,4).

De **oxígeno disuelto (OD)** los valores críticos anteriores a la fábrica, se presentaron en abril de 0.4 mgO₂/l y en marzo de 0.9 mgO₂ /l, este último es el máximo durante la sequía. Sin embargo estos niveles se incrementaron hasta 4.4 mgO₂/l en julio.

Después de la fábrica (a 2250 m) se registró en marzo un mínimo de 4.4 mgO₂/l y un máximo de 7.6 en septiembre, ascenso que coincide con el período de lluvias (tablas 1 y 4).

La **alcalinidad total** expresó, antes de la fábrica, los máximos valores de 438 mgCaCO₃/l (en mayo) frecuentemente, estas cifras después de las descargas se reducen a cero mgCaCO₃/l (tablas 1 a 4)

En relación a la **acidez** los registros en la localidad 3 no son mayores a los 88 mgCaCO₃/l en mayo, los cuales contrastan con la acidez evaluada a los 2250 m, superior a la anterior, con un máximo de 4,524 mgCaCO₃/l (febrero).

Tanto la alcalinidad como la acidez bajo la influencia del período de lluvias, ascentúan el descenso de sus registros.

Dentro del complejo se tienen dos vertidos de carácter ácido, en TNT y en NC, particularmente este último marcó en febrero la acidez más alta del muestreo con 91,917 mgCaCO₃/l, (tabla 1 a 4).

Los **sulfatos**, a los cero m van de un mínimo de 26 mgSO₄/l en mayo a un máximo de 79 mgSO₄/l registrado en septiembre, ambos valores después de la fábrica, durante el estio ascienden hasta 636 mg SO₄/l en mayo y dentro del periodo de lluvias el máximo fue de 279 mg SO₄/l en agosto, este último registrado a 1100 m.

La mayor concentración de sulfatos es de 26,261 mgSO₄/l en el mes de junio, vertida por la fábrica de TNT (localidad 5) asimismo en NC los registros de 3,215 mgSO₄/l en agosto, fueron considerables (tablas 1 a 4).

El rango de variación de los **nitratos**, antes de la fábrica es mayor que el de los sulfatos, van de 24 mgNO₃/l (en febrero) a 103 mg NO₃/l (en junio). Rio abajo a 2250 m el registro se modifica, va de los 41 mgNO₃/l (en febrero) a los 130 mgNO₃/l (en julio).

El máximo para las descargas se obtuvo en agosto, fue de 25,620 mgNO₃/l en la localidad 4, NC (tablas 1 a 4).

El contenido de **silice**, marcó a los cero m cifras que van desde los 62 mgSiO₂/l (en mayo) hasta los 185 mgSiO₂/l (en julio), después de la fábrica las oscilaciones entre las dos temporadas fueron minimas, los resultados están próximos a los 200 mgSiO₂/l, (tablas 1 y 4).

En **Cloruros**, el valor máximo antes de la fábrica fue de 507 mg/l (en febrero) el cual se reduce hasta 78 mg/l (en julio)

Después de la fábrica (2250 m) las evaluaciones son

inferiores a 138 mg/l (en febrero), generalmente se atenúan los valores iniciales, y en el período de lluvia se presenta una marcada dilución (70 mg /l), tablas 1 y 4.

Respecto a la **dureza total**, en mayo se obtuvo el mínimo de 215 mg CaCO_3 /l y el máximo de 485 mg CaCO_3 /l en julio, anteriores a la fábrica (cero m). El valor mínimo de dureza posterior a la fábrica (2250 m) fue de 220 mg CaCO_3 /l (en mayo) valor que ascendió hasta un máximo de 602 mg CaCO_3 /l en septiembre, (tablas 1 y 4).

El **calcio** antes de la fábrica registró, en mayo un mínimo de 130 mg/l que asciende a 248 mg/l en julio. Constantemente después de la fábrica, para los mismos muestreos, las cifras son superiores de 158 mg/l y de 318 mg/l (tablas 1 y 4).

El **magnesio**, presentó una variación mínima antes de la fábrica, los registros son próximos a los 155 mg CaCO_3 /l y posteriormente río abajo, pueden alcanzar más de 200 mg CaCO_3 /l desde febrero hasta septiembre, esto indica que no hay cambios sustanciales, en relación a la distancia (tablas 1 y 4).

Los **sólidos disueltos** en el río antes de la fábrica, marcaron un mínimo de 25 mg/l en mayo. Este valor después de la fábrica puede oscilar entre un máximo de 2,300 mg/l y un mínimo de 16 mg/l en septiembre. Aun cuando a 400 m (localidad 4, NC) recibió una descarga de 3,900 mg/l (en septiembre), cabe señalar,

que, ocasionalmente, el contenido de sólidos disueltos presente en las descargas, es mayor que el de los sólidos totales.

Los **sólidos totales** antes de la fábrica presentaron un máximo de 2210 mg/l y posteriormente a 2250m las evaluaciones son mayores, de 5,312 mg/l en mayo.

Específicamente la descarga cruda de NC arrojó en el mismo mes 15,118 mg/l y durante septiembre 2,000 mg/l este último valor fue inferior al contenido de sólidos disueltos, (tablas 1 a 4).

La **demanda química de oxígeno (DQO)** antes de la fábrica presentó un máximo de 549 mg O₂/l, valor que desciende a menos de 100 mg O₂/l con las precipitaciones. Sobre el caudal a los 2250 m, en abril se registró el máximo de 1,022 mg O₂/l y entre los meses de agosto 160 mg O₂/l y septiembre con 82 mg O₂/l, se obtuvo el mínimo, ésto expresó una tendencia descendente.

En relación a las descargas crudas, el agua residual de la Planta de Eter (PE) reportó las DQO más altas del muestreo (en julio) de 137,162 mg/l y (en agosto) de 703,565 mg/l, (tablas 1 a 4).

La **demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)** regularmente fue menor a los 81 mg/l con un máximo de 101 mg O₂/l en abril y otro de 149 mg O₂/l en julio, ambos valores se registraron antes de la fábrica. Río abajo a 2250m, la DBO₅ va de los 37 mg/l en abril hasta un máximo de 178 mg/l en julio, sin embargo es posible evaluar cifras menores hasta de 0.9 mg O₂/l en septiembre.

VI.- DISCUSION

En el sistema de agua potable en Santa Fé (localidades 1 y 2) en general se encontró que de febrero a septiembre, el contenido químico y propiedades físicas de ésta agua no exceden (tabla 4) los límites de calidad marcados en el Reglamento sobre Obras de Provisión de agua Potable (SARH, op cit.). Esto la clasifica como "DA" : agua para abasto de sistemas potables, con caracteres químicos normales para uso doméstico e industria alimenticia con desinfección únicamente.

Para las localidades 1 y 2, como excepción, el contenido de sólidos totales (st) de abril a junio, excedió el valor marcado como norma de calidad (750 mg/l). Particularmente en mayo fueron de 10,845 mg/l st. Dicha cifra es mayor al promedio de st 1,052 mg/l registrado en el Río Tacubaya antes de la fábrica (cero m), cuya agua manifiesta un aspecto turbio durante la sequía. Con el objeto de justificar los niveles de sólidos evaluados en el agua potable de Santa Fé, se citan los datos procedentes de manantiales norteamericanos, cuyos registros de 6,787 mg/l de st, (Nordell 1981); son similares a los de la fábrica de explosivos.

No obstante es posible considerar en las determinaciones del sistema potable, la presencia de un error sistemático y de metodología para esta variable. Dado que la red de abastecimiento a la salida de la fábrica de pólvora (PSH), en los mismos muestreos registró 292 mg/l de st, niveles inferiores a los 10,845

mg/l de las localidades 1 y 2, lo cual evidencia aun más el error. Sin embargo las partículas en suspensión propias del agua potable, pueden precipitar por efecto de los materiales de desecho de la fábrica de pólvora (PSH), y ser esta la razón por la cual el contenido de sólidos en la descarga se reduce (tablas 2 y 4).

Las siguientes observaciones corresponden exclusivamente al efecto de las aguas residuales (NC, TNT, PSH, PE), sobre el cuerpo receptor considerando la distancia de muestreo en el Río Tacubaya

En el gasto, la etapa crítica para el volumen del río 25 l/s se considera en el período de sequía, antes de la fábrica, a partir de mayo, describió una tendencia ascendente que alcanzó el máximo de 190 l/s con las precipitaciones. Durante el régimen de lluvias el aforo registró cambios horarios, repentinos, con variantes hasta de 50 l/s aproximadamente. Dentro de la fábrica la primera descarga a 400 m río abajo (NC) define el momento crítico de la contaminación en el río, ahí se capta el mayor volumen de agua residual de 75 l/s equivalentes a $10,800 \text{ m}^3$ /semanales (40 h). En la planta de TNT, 500 m río abajo el flujo es de 10.4 l/s iguales a $1,497.6 \text{ m}^3$ /semanales. La última descarga, donde se ubica PE a 562 m, con 0.72 l/s ésta representa el mínimo de 102.7 m^3 /semanales (40 h).

Debido a que la fábrica de explosivos mantiene mayor

producción entre las 10 y 13 h, es de esperarse mayor aporte de aguas residuales en este intervalo; situación que contrasta con los gastos de 108 l/s anteriores a la fábrica (cero m) y los de salida de 145 l/s medidos a 500 m TNT. En consecuencia, las modificaciones en la calidad y gasto son mayores (Fig. 3).

El 45 % del volumen total del Río Tacubaya, lo descarga la fábrica, procede del sistema potable y va cargado de contaminantes inorgánicos y orgánicos. Con base en el párrafo anterior, la planta vierte al río un volumen total de 86.12 l/s que sólo se diluye bajo el régimen de lluvias cuando el gasto del río, a 1100 m supera con 111 l/s, el volumen descargado (tablas 1 a 4).

Las temperaturas del caudal, anteriores a la fábrica (cero m), entre sequía y la época de lluvias difieren en 5°C. Esto se atribuye a las diferencias estacionales que, con las precipitaciones intensifican la turbulencia y aceleran la pérdida de calor en la corriente (Fig 3).

Las temperaturas críticas en el río de 20°C generalmente se presentan en sequía sin embargo son inferiores a la temperatura ambiente (22 °C).

La SARH establece como temperatura máxima de descarga 30°C, valor que frecuentemente supera la planta de TNT con más de 54°C en la etapa final del proceso (cristalizado). Estas son observables en la localidad 5 (500 m) y posteriormente equilibradas, con la temperatura normal, hasta los 2250 m

(localidad 8). Durante el estío, los cambios de temperatura a dicha distancia guardan relación con la hora de muestreo y el volumen de descarga. En cambio, en la época de lluvias, cuando se registra el mínimo (12°C), están influenciadas por la dinámica de la corriente. En consecuencia, antes y después de la fábrica el río conserva la temperatura inicial lo que le resta importancia como parámetro de calidad. Por lo tanto en el Río Tacubaya la contaminación térmica es mínima.

La profundidad mínima de 10 cm en el cauce, corresponde a la sequía, y la máxima de 35 cm, al régimen de lluvias, lo cual expresa cambios estacionales, en el nivel del río, debidos a la topografía y al volumen diario vertido por las factorías.

Un color gris es el aspecto físico del río en estío, sustituido por un color arcilloso en la época de lluvias. Ambas coloraciones son características de las aguas negras recientes, de acuerdo con Babbitt, H. y E. Baumann (1983).

En el río antes de la fábrica (cero m) se registraron 100 u Pt/Co en sequía y 65 u Pt/Co en la época de lluvias. Esto la define como un agua superficial contaminada. La corriente, al introducirse a la fábrica, en NC a 400m es de aspecto turbio y de color blanco aparente como producto de la descarga de partículas de algodón suspendidas, en el agua residual, este cambio se considera dentro de los lineamientos de la SARH, dado que es

posible remover este color por decantación.

En la descarga de TNT (500 m) las coloraciones anteriores se sustituyen permanentemente por el amarillo de las aguas ácidas o, bien, por el rojo de las alcalinas, causantes de la máxima alteración de 500 uPt/Co cuantificada en las descargas crudas. Como se citó en la introducción éste es un color artificial difícil de remover, que no coagula. Consecuentemente, dadas las evaluaciones, no cumple con la norma de calidad (tabla 1 a 4). El color a los 2250 m después de las descargas para la sequía, es mayor a 400 u Pt/Co; coloración que se reduce bajo el régimen de lluvias a más del 50 % hasta las 50 u Pt/Co (Fig. 3).

Por lo anterior, el color es un índice de calidad altamente modificado, que no se recupera en ninguno de los periodos climáticos evaluados (tablas 1 a 4).

La norma de **conductividad** anualmente no se excedió en el río antes de la fábrica, puesto que se registró entre la sequía y el periodo de lluvia un incremento de 157 mhos/cm este último dado por el arrastre de las aguas pluviales ricas en sales, arcilla y suelo. En esta localidad (cero m) los carbonatos, ácido carbónico y cloruros definieron la conductividad y su variación. Río abajo (2250 m) la determinó la concentración de las mezclas de ácidos fumantes (H_2SO_4 , HNO_3) o el amoníaco vertido de los desechos.

Para tal variable, la norma de calidad estima 2000 mhos/cm a 25°C, cifra que frecuentemente el río superó, después de la

fábrica, en estio con 10,330 ~~l~~ mhos/cm a 25°C. El mínimo de 18 ~~l~~ mhos/cm a 25°C fue captado en la época de lluvias ésto expresa sobre las descargas, el efecto de dilución, resultado de las condiciones climáticas (Fig. 3).

En cuanto a la variable pH, la norma de calidad en aguas residuales va de 4.5 a 10. Según ésto los resultados se dividen en dos grupos; los de pH menor a 1 y los de pH mayor a 8, sin que se presente el punto neutro (Fig. 4).

Antes de la fábrica (cero m) el pH del río es variable de 7.6 a 9.2 en la sequía, en la época de lluvias se estabiliza entre los 7.8 y 8.4.

En la descarga cruda de TNT (500 m) los mínimos de pH van de 1.2 a 0.7 provienen de los ácidos sulfúrico y nítrico, ya que se asocian a máximas concentraciones de sulfatos de 26,261 mg/l y de nitratos 260 mg/l (tabla 2). En la misma localidad existe una fuerte variación diurna de pH, debido a las actividades de lavado en la fábrica. En las primeras horas de la mañana se alcanza inclusive un pH de cero, para cambiar a mayor de 3.0 conforme llega el medio día, sobre todo a 500 m (TNT, localidad 5). En cambio el pH de 0.5 el menor del muestreo, observado en la descarga de NC (400 m), no varía notablemente ni por el efecto de la distancia, la dinámica, o bien por el volumen del río.

En la localidad 8 ó 2250 m, después de la fábrica, en la época de lluvias, se recuperó parcialmente el pH hasta 7.2. Además de corresponder a un período máximo de precipitación

pluvial, la producción de explosivos en este periodo se interrumpe. Sin embargo, a 3 km corriente abajo de la localidad 8, el pH es de 1.2, esto señaló que la recuperación no es permanente una vez que el río se mezcla con el agua residual, ya que la concentración de las descargas ácidas es mayor que la capacidad de dilución del río.

El oxígeno disuelto (O.D) de acuerdo con la reglamentación de la SARH, en una descarga no debe ser menor a 4.0 mg O₂/l. En el Río Tacubaya, antes de la fábrica, el O.D se mantuvo en un mínimo de 1 mg O₂/l en la sequía y se incrementó hasta los 4.4 mg O₂/l durante el régimen de lluvias.

En consecuencia los niveles críticos, típicos del periodo de sequía, son cercanos a la anaerobiosis, éstos ascienden durante la época de lluvias, temporada que incluye un receso en la producción de la fábrica, lo cual hace menos riesgosa la calidad del ambiente acuático y terrestre adyacente.

La presencia de residuos orgánicos y el carácter anaeróbico son propios de las aguas negras, donde el consumo de oxígeno hace el contenido del elemento escaso o nulo en comparación con el de un agua limpia (Babbitt, H. y E. Baumann 1983). El aspecto turbio con sólidos en suspensión o flotantes, el color grisáceo, el olor a moho y el contenido de OD (escasamente superior a cero mg O₂/l) corresponde a un agua negra reciente (Hilleboe, 1980). Particularmente, las condiciones anteriores se registraron, durante el periodo de muestreo, en el Río Tacubaya lo que denota

una carga permanente y una mínima depuración.

En cuanto a las descargas crudas según las estimaciones de la reglamentación de la SARH, están dentro de lo aceptable, ya que no se modifica considerablemente el contenido de oxígeno a la salida de los vertidos. Sin embargo las aguas residuales sumadas al caudal, modifican los niveles críticos del río de 0.4 mg O₂/l tanto a cero m, como a 2250 m, donde se registraron concentraciones de 4.4 mg O₂/l en el periodo de sequía. En contraste, durante el régimen de lluvias los valores iniciales (a cero m) de 4.2 mg O₂/l, se incrementaron hasta 7.6 mg O₂/l después de la fábrica, esto marcó en los dos periodos climáticos una reoxigenación entre los cero m y los 2250 m (Fig.4).

Esta situación señaló una diferencia entre el agua del Río Tacubaya en estado anaeróbico y el contenido, relativamente alto de oxígeno en los desechos de la fábrica debido posiblemente, a reacciones químicas (no estudiadas en el presente caso) entre la fase inorgánica y la orgánica de los vertidos que interfieren con la determinación de OD por el método de Winkler. Además, debe considerarse que, después de la fábrica, se presentan algunos desniveles sobre el cauce que actúan como zonas de alta turbulencia y de aireación de la corriente.

El promedio de **alcalinidad total** para el Río Tacubaya antes de la fábrica de 300 mg CaCO₃/l, lo coloca en la clasificación de las aguas negras de concentración fuerte, por exceder los 200 mg CaCO₃/l según criterio químico sanitario de aguas negras

(Babbitt, H. y E. Baumann 1983). En estío, antes de la fábrica, la máxima alcalinidad de 438 mg CaCO_3/l , al contacto con las descargas disminuye hasta concentraciones de cero, en consecuencia después de los vertidos, la alcalinidad inicial desaparece en el estío así como en el periodo de lluvias. Dicho cambio también puede ser debido a las reacciones químicas de los vertidos, (Fig. 5)

Bajo la terminología química de las normas y reglamentos, la **acidez total como CaCO_3/l** , anterior a la fábrica (88 mg CaCO_3/l) expresó que los niveles alcalinos del río, en sequía, tienden a ser mayores (438 mg CaCO_3/l) con respecto a los desechos de la fábrica que resultan sin alcalinidad (más ácidos de 6223 mg CaCO_3/l). Esto se justifica en toda forma por las fuertes descargas de los ácidos que se emplean en esta industria. Para esta variable se observó una reducción a los 2250 m (localidad B) debido a que se estimó una tendencia a la alcalinidad específicamente favorecida en la época de lluvias. El resto del año se mantuvo bajo condiciones ácidas, lo cual concuerda con el comportamiento temporal del pH (Fig.1 y 5). Cabe señalar que los residuos de NC son más ácidos y frecuentes que los de TNT, debido a las etapas de producción de este último el cual es lavado con solución alcalina (Tablas 1 y 2).

La ausencia de la norma de calidad para las descargas ácidas impide precisar la magnitud y los efectos de los desechos de la fabricación de explosivos; pero se pueden comparar con lo

registrado en una mina Jacksonville, en Florida, cuya agua residual ácida fue de 1,040 mg CaCO_3/l y pH cero. En este caso Nordell (1981), señala que las aguas del efluente izquierdo del Mississippi llevan un buen número de toneladas de ácido residual ya sea de origen industrial o de minas, cuyo efecto en ningún caso es pequeño. Dado que la acidez de 1,040 mg CaCO_3/l , de la mina, cambia la alcalinidad de dicho caudal. Análogamente las descargas crudas (ácidas) del complejo Santa Fé por ser mil veces superiores (en NC 91,917 mg CaCO_3/l acidez total) y vertidas a un volumen más pequeño, también neutralizan la alcalinidad y acidulan el Río Tacubaya permanentemente, ésto determina condiciones críticas para el ambiente.

El ión **sulfato (SO_4^{2-})** en la fábrica de explosivos procede de las mezclas sulfonítricas, en donde el ácido sulfúrico actúa como catalizador en las nitraciones (de celulosa y tolueno). Por esta razón debe eliminarse del producto lo cual consume grandes volúmenes de agua.

Los sulfatos antes de la fábrica (cero m) registraron un mínimo de 26 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ en el estio y posteriormente (a 1100 m) el mínimo de 62 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ se presentó en la época de lluvias, sin embargo se puede presentar un ascenso hasta los 279 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ hacia el final de la temporada, (Fig. 5).

Para sulfatos el reglamento de la SARH expresa que la norma debe marcarse de acuerdo a las condiciones de descarga. Teniendo como referencia la mina Jacksonville en Florida cuya acidez se

asocia a 2,995 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ (Nordell, 1981); los resultados aquí estimados para las descargas crudas de NC a 400 m, son relativamente semejantes (3,215 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$), y los de TNT frecuentemente son mayores (26,261 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$), tablas 1 y 2.

En la sequía sobre el caudal a 2250 m (localidad 8), los niveles críticos fueron intermedios a las cifras antes indicadas con 636 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$. A partir de las primeras precipitaciones se diluyeron, de la siguiente forma: los desechos de nitrocelulosa, en donde se vierten 3,215 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ (agosto), se registró, en el mismo período, una disminución que alcanza los 279 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ a los 1100m (localidad 7), lo que establece en la época de lluvias el efecto de dilución. Como el mejor y más efectivo método de depuración, a partir de las reacciones químicas de floculación, precipitación y distancia recorrida (De la Lanza, 1981).

La evaluación de los **nitratos (NO_3^-)** en la fábrica de explosivos es fundamental porque son parte de la materia prima, residuos del ácido nítrico.

En el Río Tacubaya, antes de la fábrica, el nitrógeno lo representa el ión nitrato y las máximas variaciones corresponden al estío, van de 24 a 103 mg NO_3^-/l . La diferencia en este período se atribuyó al gasto (25 l/s). En época de lluvias cuando el caudal es máximo (111 l/s), las diferencias se atenúan y mantienen un nivel próximo a los 40 mg NO_3^-/l (Fig. 5), excepto el valor de junio (103 mg NO_3^-/l) asociado a los primeros escurrimientos de agua pluvial y a los arrastres de desechos

orgánicos.

Al respecto el Reglamento de Prevención y Control de la Contaminación de la SARH señala que la descarga no debe exceder los 5 mg NO_3^- /l. Consecuentemente, tanto el río como las descargas se encuentran fuera de lo establecido. Particularmente la descarga cruda de NC (400 m) registró 25,620 mg NO_3^- /l y el mismo muestreo sobre el caudal a 2250 m decreció hasta una concentración de 71 mg NO_3^- /l durante la época de lluvias, lo cual expresó que en este periodo la dilución fue máxima.

El contenido de **silice (SiO_2)** en el río a cero m fue de 62 mg SiO_2 /l durante la sequía con un aumento al final de la temporada de lluvias a 185 mg SiO_2 /l.

Los valores de este ión después de la fábrica, (2250 m) marcaron una constancia. Debido a ello, se estimó escasa reactividad química de los residuos, con el río para este compuesto (Fig. 6).

El contenido de **cloruros** con un promedio de 325 mg/l en sequía, excedió los 175 mg/l del criterio químico sanitario de aguas negras (Dabbutt, H. y E. Baumann 1943), esto coloca al cuerpo receptor en la categoría de las aguas negras de concentración fuerte.

Los cloruros, antes de la fábrica superaron a lo reglamentado, con un máximo de 507 mg/l para el periodo de estío;

valor que marcó un descenso hasta 78 mg/l, que corresponde al efecto de dilución producido por las precipitaciones.

Es importante señalar que las descargas de la fábrica no representan un aporte considerable de cloruros al efluente, sino que el propio Río Tacubaya en sequía transporta niveles tres veces mayores a lo permisible para una agua potable. De acuerdo con el criterio de Babbitt, H. y E. Baumann (1983) el cual designa como norma de calidad e indicador del grado de contaminación, en las aguas negras de la zona, a cualquier valor que exceda la condición media registrada en las aguas dulces no contaminadas, próximas al área de trabajo. En cuanto a la SARH establece que el límite para cloruros debe fijarse según sean las condiciones de descarga en cada industria.

Para esta variable los vertidos residuales de la fábrica de explosivos actuaron como agua de dilución sobre el río, ya que después de las descargas frecuentemente, se redujo su concentración. Por ejemplo en sequía, antes de la fábrica, el máximo de 507 mg/l posteriormente a 2250 m se diluyó hasta 138 mg/l, la dilución en la época de lluvias puede considerarse mayor (Fig. 6). Es posible que además de la dilución, se efectúen en el río una serie de reacciones entre los cloruros y el material descargado por la fábrica, con la consecuente reducción de los primeros.

Con respecto a la dureza total como CaCO_3 , se registró en en estío el mínimo de 215 mg CaCO_3 /l con un ascenso hasta los 485 mg CaCO_3 /l en la época de lluvias, lo cual definió al caudal del

Río Tacubaya como de aguas duras, dado que las especificaciones de dureza total estiman un valor de 343 mg CaCO_3/l para agua de condición dura (Nordell, 1981). La diferencia entre las dos temporadas puede deberse a la cantidad de suelo arrastrada, así como a las filtraciones y escurrimientos de las minas abandonadas en el área. En cuanto a los efluentes de la fábrica, el ión sulfato proporciona al agua una dureza temporal como CaSO_4 y MgSO_4 de solubilidad inferior a los 1500 mg/l, expresados como CaCO_3 (Nordell op cit). Estos compuestos marcan la diferencia de dureza entre los cerros (antes de la fábrica) de 485 mg CaCO_3/l y los de río abajo a 2250 m (localidad 8) de 602 mg CaCO_3/l , registrados bajo el régimen de lluvias. La dureza total en la localidad 8 con las precipitaciones alcanzó el máximo de 602 mg CaCO_3/l correspondiente a la disminución de actividades en esta industria. En consecuencia, es posible que la mayor dureza provenga del propio río, considerando también que simultáneamente se presenta el lavado del lecho del río durante esta temporada.

El calcio, antes de la fábrica, expresó un mínimo en la sequía de 130 mg CaCO_3/l y un máximo de 284 mg CaCO_3/l en la época de lluvias. Después de la fábrica, hasta los 2250m el mínimo fue de 158 mg CaCO_3/l y el máximo de 318 mg CaCO_3/l . Entre los dos períodos climáticos se observó una diferencia de 100 mg CaCO_3/l de calcio; el máximo es inferior a los valores críticos de dureza (Fig. 7).

La descarga cruda de TNT alcanzó el valor más alto de 270 mg

CaCO₃/l . Sin embargo el efecto de dilución y de depuración por distancia disminuyó notablemente estos niveles(Fig 7). Según Nordell (1981), las aguas no contaminadas tienen como norma de calidad para calcio, no exceder al contenido máximo de dureza de 250 a 343 ng CaCO₃/l .

El **magnesio**, al igual que el calcio, es responsable de la dureza en el agua; sumados no deben excederla.

Los valores fueron inversamente proporcionales al contenido de calcio antes y después de la fábrica, especialmente en la localidad 7 (1100 m). Tal comportamiento se observa tanto en la distancia sobre el caudal, como en los dos períodos climáticos (Fig. 7).

En la localidad 3, el promedio en sequía fue de 155 mg CaCO₃/l, inferior al promedio de dureza de 398 mg CaCO₃/l. Esta misma relación se observó hasta los 2250 m río abajo (localidad 8), dado que se registraron hasta 62 mg CaCO₃/l en el mismo período (sequía).

En cuanto a los **sólidos disueltos (sd)** en el río, antes de la fábrica (cero m), el promedio 90 mg/l en sequía descendió hasta 20 mg/l sd, en la temporada de lluvias.

La descarga cruda a 400 m río abajo (NC) marcó 3,900 mg/l de sd, particularmente este valor fue superior a los sólidos totales (tabla 1). Este resultado no refleja la concentración real ya

que además en los sólidos disueltos, se debe tomar en cuenta el ácido contenido en el agua residual, el cual se pierde en la gravimetría (metodología de evaluación) dado que se evapora sin dejar residuos. Considerada esa pérdida, los resultados son superiores a lo permisible en el reglamento de la SARH de 2,000 mg/l sd. Respecto a los sólidos totales generalmente, los disueltos son menores en el muestreo.

Con las precipitaciones, asociadas al periodo de inactividad del complejo Santa Fé, a 2250m río abajo, se registran cifras inferiores a los 48 mg/l sd, lo cual señala la posible recuperación del efluente, dada especialmente por el régimen de lluvia, (Fig. 8).

El contenido de **sólidos totales(st)** en estio, antes de la fábrica (cero m), presentó el máximo 2,210 mg/l st; condición que aumentó hasta 5,312 mg/l st, después de la fábrica (2250 m). Particularmente, los desechos crudos arrojados por NC fueron de 15,118 mg/l st, contenido que puede disminuir en el río. A pesar de esta dilución no se igualaron los niveles iniciales. Siendo estos los valores críticos (máximos) registrados durante el muestreo.

La condición promedio para el periodo de sequía, después de la fábrica (1100 y 2250 m) fue de 2,358 mg/l st y, con el aporte de las lluvias, descendió hasta 959 mg/l st en promedio, lo cual dadas las condiciones climáticas, denotó una marcada dilución de los aportes provenientes de las descargas crudas, (Fig. 8).

Los sólidos totales del Río Tacubaya en relación a la distancia señalaron un incremento, dado que a cero m en promedio marcaron 1,450 mg/l st y después de la fábrica (2250 m) en promedio alcanzaron 2350 mg/1st para la sequía. Sin embargo el suministro es mayor que la dilución de los sólidos, ya que las descargas de NC y TNT vierten cantidades diez veces superiores a la última cifra (15,118 mg/l st de NC).

En la caracterización de las aguas residuales no sólo los sólidos totales reflejan la magnitud de la contaminación generada por una descarga, estas evaluaciones se complementan con la **demanda química de oxígeno (DQO)** variable que representa la carga de contaminantes y la factibilidad de éstos a la oxidación. Sin embargo, esta no es representativa en todos los casos por escapar de ella los compuestos nitrogenados orgánicos, algunos núcleos aromáticos y cadenas alifáticas de alto peso molecular (Rodier, 1981), todos ellos integrantes de los residuos de la fábrica de explosivos como; nitrocelulosa, tolueno nitrado, y ácidos grasos de alto peso molecular.

Durante la sequía, la DQO del Río Tacubaya presentó un máximo de 549 mg O₂/l y un mínimo de 100 mg O₂/l DQO en época de lluvias. Los niveles de DQO antes de la fábrica (a cero m) regiones que se pueden considerar como poco alteradas, se atribuyen a detritos vegetales y animales.

Las normas internacionales de calidad para aguas residuales

establecen un rango de 160 a 500 mg/l de DQO. Con esta base, específicamente en las descargas de PSH, y PE la DQO manifiesta una alteración máxima, ya que excedió considerablemente a la demanda química observada en el agua que abastece el sistema potable así como la DQO de las descargas de TNT y NC (tablas 2,4)

En particular la descarga cruda de la localidad 6E (562 m, PE) mostró las máximas DQO del muestreo, con 137,162 mg O₂/ l y de 730,565 mg O₂/l (tabla 3), atribuibles a los residuos de eter, cloroformo, y etanol (determinados a través de sus puntos de ebullición: 36 °C, 61°C, y 84°C Blas, 1954). Esto refleja la complejidad del agua residual y permite evaluar el impacto de los contaminantes adicionados al Río Tacubaya.

Respecto a la descarga cruda de TNT, la DQO expresó una fuerte variación (semanal) en el mes de agosto de 129 mg O₂/l a 2,149 mg O₂/l, dependiente de la hora de muestreo, en la que se descarga específicamente, algún tipo de desecho según la etapa de fabricación. En estas descargas, la materia prima (tolueno) originó en algunos de los muestreos DQO máximas y en otros mínimas debido a que este compuesto químico no se consume y a que algunas veces el producto terminado (TNT) es el residuo; demostrando que, efectivamente, este último no es susceptible a la oxidación. Sin embargo, los mínimos a largo plazo son fuertemente impactantes en el medio.

Sobre el caudal a 2250 m, la DQO máxima de 1,022 mg/l se presentó en sequía, durante el período de lluvias los registros van de 160 mg O₂/l hasta un mínimo de 82 mg O₂/l, (Fig. 8).

Esto expresó una dilución en la época de lluvias, más evidente al final de la temporada (con 82 mg O₂/l DQO), asociada al período de inactividad del complejo (julio-agosto) aun cuando a 400 m (NC) y a 500 m (TNT) se vierte una fuerte cantidad de residuos (tablas 1 y 2).

Con las determinaciones de la **demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**, la DQO se complementa. Especialmente, la DBO₅ establece la naturaleza de los desechos, estima la velocidad y el grado de biodegradación a la vez que expresa la capacidad de autodepuración del medio acuático (Jenkins et al. 1983).

En sequía antes de la fábrica, se registraron 101 mgO₂/l DBO₅, bajo estas condiciones, el río transporta materiales oxidables que lo colocan como una agua de concentración débil, con un máximo de 149 mg O₂/l en la época de lluvias correspondiente a una agua de concentración fuerte conforme al criterio de análisis químico sanitario de aguas negras (Babbitt, H. y E. Faumann 1983).

Específicamente en julio, antes de la fábrica (cero m), la DBO₅ fue menor que la DQO, lo cual manifiesta que los contaminantes son igualmente susceptibles al ataque químico y biológico. Las variaciones pueden ser explicadas con base en el intercambio regional de agua en el Río Tacubaya con aportes diversos de materiales autóctonos .

Río abajo, a 2250 m la DBO₅, frecuentemente fue pequeña, tanto que algunos registros están comprendidos en la norma de calidad para agua potable (4 mg O₂/l Rodier, 1981) en el período

de lluvias.

El promedio total del periodo de muestreo de 70 mg/l de DBO_5 (localidad 8) fue bajo respecto al de la localidad 3 (125mg O_2 /l)

De esta forma, al aumentar la distancia la DBO_5 disminuye debido a que los residuos son básicamente solventes orgánicos, como el tolueno y explosivos de estructuras moleculares no biodegradables que, además inhiben a los degradadores.

En el periodo de lluvia la DBO_5 , aumentó con la distancia aproximadamente 30 mg O_2 /l. Esta temporada correspondió a una inactividad en la fábrica de explosivos. En consecuencia es posible que la corriente del río reciba arrastres y escurrimientos de materia orgánica de procedencia diferente a la de la fábrica, favorables para los degradadores biológicos y que, en general mejoran la calidad del río.

A los 2250 m (localidad 8) en especial para abril la DBO_5 , fue de 37 mg O_2 /l esta al compararla con su respectiva DQO de 1,022 mg O_2 /l estableció; que la fracción vertida susceptible a la degradación biológica es mínima. Esto significa que en el río dominan los residuos de la fábrica.

La DBO_5 , con las precipitaciones descendió hasta cero mg O_2 /l (Fig. 8), ésto puede depender del carácter bactericida y fisicoquímico de los desechos que flotan (TNT) y de la NC de mayor densidad que se precipita, quedando fuera del alcance de los degradadores. Además, la baja demanda no es indicio de que se ha reducido la carga de contaminantes orgánicos industriales, por el contrario el río conserva un alto nivel de estos residuos. La norma de calidad para aguas de descarga va de los 40 a 200 mg

O₂/l de DBO₅.

Con objeto de comparar los niveles de contaminación derivados de la fabricación de Pólvora y TNT en Santa Fé, México, D.F, los resultados, de febrero a mayo (f/m) y de junio a septiembre (j/s) se comparan con las evaluaciones hechas en dos fábricas de Madrid por Nemerov (1977) para los mismos desechos (tabla 5 incisos A,B) considerando en ambos casos sólo las descargas crudas, sin efecto del río, ni de las diluciones propias de la temporada de lluvias. Esto muestra que, en general, la planta central de explosivos en México, D.F (tabla: 5 f/m, j/s) tiende a registrar cifras mayores a las reportadas en Madrid.

En general, las cuatro descargas (8 h/día) marcaron en las localidades, diferencias en cada una de las 21 variables y regularmente las evaluaciones son superiores a las normas de calidad. Esto definió parámetros altamente significativos, como la acidez, pH, DQO, NO₃⁻, SO₄²⁻, mismos que durante el régimen de lluvias se diluyen, atenúan los daños en el río y hacen que la dureza, calcio y magnesio adquieran mayor importancia.

Sin embargo, cualquier variable modificada por los residuos, a la distancia total de muestreo (2250 m) está fuera de las normas de calidad aceptadas.

TABLA 5: incisos A y B resultados promedio de la fábrica de TNT y HC en Madrid (Nemerov, 1977), y de las descargas de los mismos procesos en el complejo Santa Fé, México D.F., (promedios de febrero a mayo y de junio a septiembre).

Plantas	pH	Color	Acidez	DQO	SD ₅	NO ₃	Sólidos
TNT		uPt/Co	mgCaCO ₃ /l	mgO ₂ /l	mg/l	mg/l	totales
(A)	2.4	7100	776	795	672	101	1004
(B)	2.7	6300	308	551	604	301	666
México (Santa Fé)							
(f/m)	4.2	500	2824	1256	762	45	9134
(j/s)	1.4	500	6934	815	7092	100	1650
NITROCELULOSA							
(A)	<1.6	-	3850	76	1280	530	354
(B)	<1.6	53	3150	99	1100	470	687
México (Santa Fé)							
(f/m)	0.4	200	66224	142	266	28	8119
(j/s)	2.6	20	7778	162	1556	6650	2344

VII.-ANALISIS ESTADISTICO DE REGRESION Y FACTORIAL

En esta sección se intenta diseñar un modelo que prediga la variable dependiente (distancia) con el objeto, de alcanzar la mejor calidad o la máxima depuración del agua.

En estas observaciones, los sólidos totales alcanzaron un valor promedio de 1,677 mg/l, los sulfatos con 221.75 mgSO₄/l y el pH con 4.47 de promedio muestran en general para algunos parámetros condiciones que, están fuera de lo aceptado como norma de calidad (Pag. 18). Con base en la tabla 6 el estado medio anual de la corriente es inadecuado, ya que en su mayoría las variables marcan un promedio total anual que excede la reglamentación de la SARH.

La desviación estandar, es mayor que la media para seis variables, entre ellas la conductividad, sólidos disueltos y totales, la alcalinidad, acidez y DQO. De esta forma, los datos tienen una fuerte dispersión explicada porque el promedio se obtiene a partir de tres distancias de muestreo cada una con diferentes propiedades fisicoquímicas. Por ejemplo la conductividad tiene un promedio de 905 y una dispersión de 2,257, lo cual hace que esta no sea determinante en las predicciones del modelo para la condición del río y efecto de las descargas. Sin embargo es una de las variables que presentan correlación significativa con el SiO₂ (r= 0.8700) y con los s.d (r= 0.9370).

Esto se debe a que, como se muestra en el análisis de resultados estas dos variables, correlacionadas con la conductividad dependen directamente de la condición ambiental y física del río más no de los residuos de la fábrica.

Si para una variable la desviación, con respecto a la media es 50 % inferior, en este caso, la dispersión de los datos es mínima y aumenta la confiabilidad del modelo. Dichas variables aparecen marcadas con un asterisco en la tabla 6 y son consideradas como las más estables del muestreo y propias para la predicción.

La tabla 7 resume de la matriz global de regresión (tabla 8), aquellas variables que se cree presentan un mayor peso para ser aplicadas en la formulación de un modelo con significancia de alta linealidad. De estas, nueve son positivas (directas) y seis son negativas (inversas), de acuerdo a Leland (1980). Las variables más correlacionadas y propias para la predicción son : el pH (que se correlaciona con la alcalinidad, sulfatos, acidez, y OD) en seguida la acidez (en correlación con el color, DQO, y pH).

Bajo el criterio de Leland (1980), el valor significativo del coeficiente de correlación $r > 0.75$ indica que la recta ajustada es perfectamente lineal. Dicha cifra deja fuera algunos coeficientes y, por tal razón, se adiciona el concepto de aceptación con un nivel de confianza del 95 % y de significancia $n-2$, para considerar a otras variables como las señaladas en la

tabla 9.

En virtud de esto las correlaciones de la tabla 9 presentaron una relación adecuada, justificable desde el punto de vista químico. Como, por ejemplo, la acidez que se incrementó de acuerdo con el contenido de sulfatos, dependiente a la vez, del ácido sulfúrico contenido en las aguas residuales, y el color sujeto a los materiales en suspensión químicamente oxidables. Inclusive, el contenido de oxígeno, pH y alcalinidad están relacionados con la distancia (con $r = 0.6638$, 0.6840 , $- 0.7076$), respectivamente.

El coeficiente de determinación para el modelo $r^2 = 0.97008$ representa una reducción del error total o variación no controlada que se presenta entre los valores del muestreo (Daniel, 1985). Esto significa que el 97 % de la variación se elimina a través de la línea de regresión, como medida del grado de dispersión de los puntos, según lo muestra la tabla 10; en donde se observa mediante el coeficiente de correlación múltiple ($R = 0.98492$), que las Y y X varían en la misma dirección, lo cual según Daniel (1985) expresa una correspondencia perfecta (lineal) entre los valores observados y los calculados de 'Y' dado que el estadístico se aproxima a uno. En este caso, el coeficiente es significativo y, por lo tanto, los cambios de las veintidos variables están dadas por las condiciones físicas verdaderas del río; más no por el error experimental.

A pesar de ello, el nivel de confianza de 72.687 % (tabla

10) sugiere que la ecuación del modelo predictivo tiene baja significancia bajo el criterio de Leland (1980), haciendose indispensable practicar un análisis de varianza multifactorial para definir si la distancia tiene o no efecto sobre la medición. Más aún si se considera, lo impredecible que resultan los factores biológicos, químicos o ambos, así como un nivel de confianza del 95 %, la cifra calculada para el modelo es aceptable (De la Lanza, 1981).

Con apoyo en todo lo anterior, se efectuó el desarrollo de la fórmula o modelo de predicción a partir de los coeficientes de regresión de las 21 variables y la distancia (Y) como la dependiente, designada como la característica a predecir (Bowker, H. y J. Lieberman 1984).

Dadas las observaciones de la tabla 11, la calidad del agua en el mes de mayo (caso 4a), al incrementar la DQO, la distancia también aumenta hasta 3,864.78 m, y al predecir con los valores del sistema potable (caso 2) el cálculo sugiere que la depuración probablemente se obtiene a 8,134.92 m, río abajo.

Cuando las características a predecir son las del mes de abril (caso 5), si se alcanzan los niveles aceptables de los reglamentos. Pero en el mismo caso cuando la DQO es máxima (caso 5 c), los niveles aceptables posiblemente se obtienen después de los 18,322 m. Esto significa que al estar bajo circunstancias de

aporte máximo de algunos compuestos, evaluados a través de la DQO, el modelo no es real en cuanto a variaciones puntuales y condiciones ambientales críticas (sequía).

Asimismo se concluye que el modelo anterior es válido ya que las predicciones de Y son lógicas, y coinciden con los análisis de resultados.

La correlación parcial (tabla 12) relaciona para el Río Tacubaya la distancia con cada una de las variables independientes como, por ejemplo X_1 (gasto), mientras el resto de las mismas es constante y así sucesivamente hasta X_2 (DED₅) para representar el efecto de distancia sobre cada variable, individualmente.

No todas las variables mostraron ser significativamente adecuadas para este tipo estadístico de comprobación, solamente el gasto, pH, O.D, conductividad, profundidad, sólidos disueltos y totales, acidez, cloruros, DQO, y DED₅; todas ellas correlacionadas con la distancia. En la práctica, este tipo parcial de correlación expresa, específicamente, si una variable puede alcanzar la autodepuración en el río, sin la presencia de las otras, bajo las condiciones detectadas durante el muestreo.

Sin embargo, aun cuando la mayoría de las correlaciones son adecuadas, según los programas estadísticos, sólo algunas pueden justificarse desde el punto de vista fisicoquímico, y otras son el resultado del efecto aleatorio.

Dada la interpretación de los resultados contenidos en la

tabla 6 (condición media anual) y tabla 11, (aplicación del modelo predictivo), donde se extrapolan diferentes características de la calidad del agua, es posible deducir que, después de la fábrica, la contaminación del río es fuertemente impactante en en los medios acuático y terrestre.

La tabla 13 muestra los residuales y la distancia predicha, parámetros estadísticos que se aplican con el objeto de calcular el espacio adecuado para depuración en cada mes, empleando la fórmula descrita posteriormente (Tab. 11). A partir de esto se obtiene en la observación *5 (junio) una fuerte incongruencia entre la distancia predicha $Y_c = 547$ m para la localidad 3 (cero m), y lo que el modelo señala a 1100 m, localidad 7, como la distancia de predicción (547 m) requerida para depurarse. A pesar de que en este punto (localidad 7) el río lleva las descargas de TNT y NC, el modelo indica que no hay impacto del agua residual sobre el río dado que la distancia predicha es igual en las dos localidades.

Esta condición puede ser aceptada sólo en la temporada de lluvias (suspensión de labores en la fábrica), lo cual quiere decir que, para junio, el río se encuentra con bajos niveles de solutos y la depuración se presenta desde los 547 m (hablando estadísticamente) dada la dilución propiciada por el agua de lluvia. En cambio, en el mismo mes, en la localidad 8 (2250 m), se predicen 2255 m como punto óptimo del caudal, lo cual señala que se requieren sólo 5 m más para alcanzar una mejor calidad del agua.

Analisis Factorial:

El análisis factorial se emplea para comprobar la confiabilidad de la ecuación de regresión, y verificar si la distancia es determinante en las variables.

El modelo asumido es el descrito por Leland (1980):

$$X_{ijk} = A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk} \text{ en donde}$$

Localidad de muestreo (A).

Variables (B).

k = 8 observaciones mensuales (meses)

por celda = 14 variables

incluido el efecto aleatorio (ij)

Nivel = 8 observaciones para cada una de las catorce variables.

Las localidades son los niveles del factor A representados por tres distancias (0, 1100, 2250 m), y el efecto aleatorio de cada una (i).

Por variables se tienen a los niveles del factor B, representados por las catorce mediciones, más el efecto aleatorio de cada una (j).

La F (de Fisher) se consultó en las tablas de distribución F con un nivel de significancia para α igual a 0.05 de Leland (1980).

La tabla 14 señala dadas las hipótesis nulas y alternativas propuestas que :

Para el Factor A:

cuando el F calculado es 3.87672 y el valor crítico de F es 3.00 se RECHAZA $H_{0,1}$

$H_{0,1}$ el efecto aleatorio debido a la localidad es nulo porque $A_1 = 0$

$H_{1,1}$ el efecto aleatorio debido a la localidad se presenta como alternativa propuesta $A_1 \neq 0$

En consecuencia, en las catorce mediciones de la localidad 3 la varianza de todo el conjunto de datos, con respecto a la varianza de las otras dos localidades, es MAYOR que cero, hay dispersión en los datos.

Para el Factor B:

cuando el F calculado es 5.54957E +06 y el valor crítico de F es 1.74 se RECHAZA $H_{0,2}$

$H_{0,2}$ los efectos aleatorios que modifican las variables son nulos porque $B_j = 0$

$H_{1,2}$ los efectos aleatorios que modifican las variables se presentan como alternativa $B_j \neq 0$

Esto implica que al tomar sólo las mediciones de una variable, en las tres localidades de muestreo, la varianza de estas; con respecto a la varianza de cada una de las variables, es MAYOR que cero y se presenta dispersión en los datos.

Para Interaccion-AB:

cuando el F calculado es de 1.19142 y el valor critico de F es 1.51 se **ACEPTA** $H_{0,3}$ (de interacción)

$H_{0,3}$ el efecto aleatorio entre localidad A_1 y variables B_j es nulo porque $AB_{1j} = 0$

$H_{1,3}$ el efecto aleatorio entre localidades y variables se presenta como alternativa es $AB_{1j} \neq 0$

Lo anterior expresa que al tomar las mediciones de una variable como por ejemplo cloruros, exclusivamente en la localidad 3, la varianza es nula, igual a cero, no se presenta dispersión en los datos.

Pero si esta misma varianza de la localidad 3, se compara con la de los cloruros de la localidad 7 y además con los de la 8, la diferencia entre las varianzas es **MAYOR** que cero.

Consecuentemente el análisis factorial define, que **NO** existe el efecto aleatorio de interacción (AB_{1j}) localidad-variables que sea determinante del valor de una variable, dado que el cambio de una variable (varianza es 0) es despreciable para las mediciones mensuales hechas para una localidad de muestreo.

Dado que la hipótesis de interacción es apoyada por los datos experimentales, entonces el registro de cada variable es totalmente independiente de la localidad. Esto es, la distancia de muestreo no determina la medición; pero la magnitud de la distancia si puede calcularse con precisión a partir de una medición. Concluyendo que el modelo de predicción obtenido de la regresión múltiple es absolutamente confiable ya que el efecto aleatorio no existe.

VIII .- DETERIORO AMBIENTAL

Si bien es cierto que en el complejo Santa Fé la máxima contaminación se genera por la producción de explosivos, y es vertida al caudal del Río Tacubaya, esta actividad, también, altera otros factores ambientales. Uno de éstos es la vegetación donde, fácilmente se perciben los daños, especialmente en los pinos cuyo follaje presenta una decoloración generalizada.

En relación con las aguas residuales, éstas llevan un porcentaje considerable de fragmentos de nitrocelulosa y TNT, partículas de explosivos que representan un peligro, específicamente en el estío, ya que los sedimentos en la margen del río pueden provocar incendios. Además, todas estas fracciones (durante la temporada de lluvias) se transportan a mayores distancias donde el efecto final de los residuos es impredecible y se complica, aun más dentro de los ecosistemas receptores.

Otro problema derivado de las descargas, es la producción de malos olores y espumas. Estas últimas, sobre la superficie del río, alcanzaron espesores hasta de un metro, las cuales al ser arrastradas por el viento como aerosoles transportan contaminantes y se convierten en un problema de salud pública. Esto se observa especialmente, río abajo donde hay una "ciudad

perdida" aledaña a la presa Tacubaya, lugar en el cual las espumas y el caudal entran en contacto con la población.

En cuanto a la atmósfera, la producción de explosivos dentro del complejo modifica el pH del agua de lluvia, las fracciones colectadas fueron ácidas de 4.0, en julio 1984.

Asimismo la fábrica emite vapores nitrosos, ya que las nitraciones consumen mezclas sulfonítricas que al someterlas a condiciones constantes de temperatura (120 °C), superiores al punto de ebullición del ácido nítrico (86 °C) se descomponen en vapores de óxido nítrico altamente volátil (Index Merck, 1962).

El ácido sulfúrico, componente de las mezclas ácidas no se considera para las emisiones, porque una parte se recupera para su reutilización y, en la mayoría de los casos, el residuo se vierte al Río Tacubaya.

Según estimaciones de las ecuaciones de Valiente y Stivalet (1981), se hace un cálculo aproximado de lo emitido a la atmósfera con base en lo siguiente :

1) DINITROTOLUENO

TRINITROTOLUENO



16 kg + 270.3 kg ----> 25 kg + f NO₂

En ambas nitraciones se presenta la emisión de vapores nitrosos, una carga de producto genera :

PLANTA	CARGA en kg	EMISION (NO ₂)
T N T	320 "	124 kg
NC	25 "	30.75 kg

La emisión para TNT representa el 45 % del total del ácido nítrico adicionada al reactor en la producción.

La emisión para NC representa un 16 % del total del ácido nítrico adicionado al reactor.

Los gases de la planta de TNT no se captan. Con frecuencia la actividad anual se reduce sólo a seis o siete meses (febrero - agosto) ya que por la corrosión del óxido nítrico es necesario suspender la producción para dar mantenimiento a las instalaciones.

Actualmente la fábrica no cuenta con métodos de tratamiento para el gas de desperdicio, y las instalaciones están desprovistas de conductos que manejen el volumen hasta descargarlo en la atmósfera. De esta forma, la mayor concentración de vapores, desperdiciada durante la tercera nitración, permanece dentro y fuera del local de trabajo, al ras

del suelo, donde no es suficiente la corriente de aire para disiparla.

La planta de NC si cuenta con sistemas adecuados de ventilación, pero son insuficientes en invierno (febrero) y en la época de lluvias (julio), cuando los gases no se dispersan, por el contrario descienden hasta la cañada (al nivel del suelo), percibiendo los efectos irritantes del óxido nitroso sobre la piel.

El gas óxido nitroso, de color pardo, en su papel como contaminante atmosférico tiene un fuerte impacto, ya que es una de las sustancias clave en la cadena de las reacciones químicas, puesto que genera el ozono en presencia de luz ultravioleta como lo muestra la reacción :



Desde el punto de vista biológico ambos compuestos llegan a ser altamente tóxicos (Turk y Wittes, 1973).

Debido a las reacciones químicas, especialmente las que ocurren entre los óxidos de nitrógeno, ozono, formaldehído y radicales de peroxiacilo (Colinvaux, 1980). Estos productos convierten a las emisiones del complejo Santa Fé en una fuente extremadamente peligrosa de contaminación al dar origen a nuevos ingredientes en la mezcla atmosférica.

Si al mismo tiempo se considera que el gas desprendido por

ambas factorías (NC, TNT) es transportado por los vientos.

La producción genera efectos contaminantes no sólo a nivel local sino en áreas adyacentes, puesto que según las doce estaciones meteorológicas colocadas alrededor de la zona de estudio, el ángulo de dispersión por vientos es de 360° durante el año .

Dichas estaciones se localizan de la siguiente manera: al W de la fábrica, Presa Mixcoac, Tarango, La venta, y Desierto de los Leones; al E Tacubaya y C.F.E; al N El Molinito y Totolica y en el S Presa Anzaldo, Presa Tarango, Xoco y Escandón.

En primavera, verano y otoño los vientos dominantes soplan con dirección N, en el invierno cambian hacia el S y, con menor frecuencia, al W.

Bajo estas condiciones en primavera y otoño frecuentemente el viento traslada las emisiones de la fábrica de explosivos hacia el N, sobre las Lomas de Chapultepec, Huizachal, Loma Colorada y el parque de los Remedios, en la zona industrial de Naucalpan.

En invierno, por el contrario, se dirigen al S de la fábrica sobre, las Lomas de Plateros, Pedregal de San Angel y, con menor incidencia en el mismo periodo al soplar los vientos del W llevan las emisiones al Desierto de los Leones, Contadero y Cuajimalpa. Por el registro de los vientos tenemos que las emanaciones de óxido nitroso no se dirigen al centro de la ciudad; pero en cambio, las reciben las tres áreas, boscosas periféricas, de más importancia para la zona urbana del D.F, éstas son el Parque de los Remedios, Pedregal de San Angel y Desierto de los Leones.

IX .- CONCLUSIONES

Antes de la fábrica, durante la época de lluvias las aguas del Río Tacubaya presentan una calidad en sus características físico-químicas que lo definen en la categoría D II : de la SARH; adecuadas para uso recreativo, de conservación de flora y fauna. Esta calidad es de interés ecológico porque es la única fuente de agua disponible en la cuenca del río para la vida silvestre.

Los contaminantes de este sistema fluvial, en los dos periodos climáticos, son exclusivamente de origen orgánico, biodegradables, con un promedio anual de 55 mg/l de DBQ_5 y condiciones no adecuadas de oxigenación ($0.7 \text{ mg } O_2/l$) para el estio; valor que se modifica con las lluvias hasta alcanzar los $4 \text{ mg } O_2/l$. Esto es suficiente para mantener el ecosistema aerobio y la posibilidad de desarrollo para cierto tipo de vida en las aguas negras durante dicha temporada.

En el río la contaminación se debe a un sistema de desechos domésticos procedentes de descargas clandestinas y escurrimientos ya que se confirmó la existencia de alcantarillado en las colonias aledañas.

Después de la fábrica, la contaminación por residuos domésticos se substituye por inorgánica mineral (H_2SO_4 y HNO_3) y orgánica de baja biodegradación (NC, TNT y solventes).

Contaminantes responsables de los valores críticos de pH, DQO, DEO, color, conductividad, sólidos disueltos y totales, acidez, alcalinidad, sulfatos y nitratos, cuyas evaluaciones no cumplen con las normas de calidad nacionales e internacionales. Esto prueba que no hay control sobre las condiciones de descarga de la fábrica de explosivos. Asimismo de las dos descargas principales, la de TNT tiene más diversidad de compuestos y mayor concentración de residuos. Esto origina un fuerte impacto al ambiente dado el carácter físico-químico de los desechos.

El efecto de la distancia en la depuración del agua procedente de los desechos de la fábrica de explosivos sólo es posible en forma relativa bajo el régimen de lluvias; sin embargo, no se llega a los niveles permisibles de calidad de las aguas, ni para ser empleadas en actividades agrícolas (bajo previo tratamiento).

Para los sistemas ecológicos, que hasta el presente sobreviven a las condiciones ambientales adyacentes al río durante el período de sequía, la calidad de vida alcanza niveles críticos.

Dada la frecuencia con que se modifica la calidad del río por las descargas de la fábrica de explosivos, es posible emplear el modelo predictivo para la distancia de depuración con una aproximación significativa, básicamente, a partir de las siguientes variables: pH, acidez, gasto, OD, temperatura (H_2O), color, nitratos, sulfatos, y DQO. Como resultado de esto se

observa que en estío se requieren de 18 km para que río abajo, el agua recupere las condiciones de aceptación y cualidades ecológicas deseables.

Aunados a la problemática ya existente en el D.F., los contaminantes de la fábrica de explosivos aumentan los desequilibrios atmosféricos; generan problemas locales de salud pública y a la vida silvestre del entorno; manifestando que es de vital importancia mejorar la administración y conservación tanto del agua como de los recursos naturales ya que si éstos se agotan simultáneamente, los ecosistemas perecen.

TABLAS:

Tabla 1. Registro mensual de las variables del Río Tacubaya de febrero a septiembre de las localidades 3, 4 y 4N (Nitrocelulosa).

Tabla 2. Registro mensual de las variables del Río Tacubaya de febrero a septiembre de las localidades 5, 5T (TNT), y 6P (Pólvoa sin humo).

Tabla 3. Registro mensual de las variables del Río Tacubaya de febrero a septiembre de las localidades 6E (Planta de eter) y 7 (a 1100 m).

Tabla 4. Registro mensual de las variables del Río Tacubaya de febrero a septiembre de la localidades 8 (a 2250 m) y del sistema potable localidad 1 y 2.

Tabla 5. De la fabricación de TNT y NC en Madrid (Nemerov, 1977) y de las descargas de los mismos procesos en el complejo Santa Fé, México D.F.

Tabla 6. De promedios totales de 21 variables más la distancia, obtenidos para ocho meses de muestreo en las localidades 3,7 y 8.

Tabla 7. Coeficientes de correlación seleccionados con base en el criterio de significancia $r > |0.75|$ de Leland (1980).

Tabla 8. Coeficientes de correlación múltiple de la matriz global de regresión.

Tabla 9. Coeficientes de correlación múltiple seleccionados con base a un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia $n-2$.

Tabla 10. Estadísticos generales para evaluar la ecuación global de regresión.

Tabla 11. Modelo de predicción y aplicación del modelo predictivo de la distancia de depuración.

Tabla 12. Correlaciones parciales.

Tabla 13. Predicciones de distancia (Y_c) a partir de los valores observados mensualmente.

Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la dependencia entre localidades y variables, a través del valor calculado de F.

Tabla 1

Registro Mensual de las variables del Rio Tacubaya de febrero a septiembre (1984).

Loc n	Gasto l/s	PARAMETROS						FISICOS			QUIMICO					Inorgánicos				Orgánicos			
		Temperatura °C	Conduc. µmhos/cm	Prof. cm	Color Pt/Co	S.d mg/l	S.t mg/l	NO	Metálicos	Cl	Dureza	Ca	Mg	Fe	SiO ₂	NO ₃	SiO ₂	Metálicos	Metálicos	DBO ₅	DBD ₅		
e #	Hora	AMB.	H ₂ O	pH	CO ₂	Ca	Ca	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
F 3	13.35	42	19	17	7.6	0.7	4000	20	100	300	2210	210	77	40	59	312	507	519	344	175	368	0.9	
M 3	12.30	55	22	19	9.2	0.9	38	15	100	25	1966	193	77	6	24	115	296	611	354	257	244	81	
A 3	13.13	30	25	21.5	8.0	0.4	41	11	100	21	786	240	40	28	60	153	274	246	135	111	549	101	
M 3	12.20	25	22	20	8.0	0.6	32	11	100	21	833	438	88	26	34	62	227	215	137	78	298	18	
J 3	11.25	50	19.5	19	8.4	3.3	36.6	18.5	95	24	689	128	62	43	103	156	82	298	224	74	264	90	
J 3	12.04	108	18	15.5	7.7	4.4	34.6	30	65	24	663	128	24	75	70	185	78	485	284	202	93	149	
A 3	12.32	96	14	12	8.1	2.9	29	22	65	23	659	184	23	40	30	176	144	363	218	145	135	31	
S 3	11.32	190	12	12	7.8	4.2	45	35.5	65	60	612	198	34	79	34	164	41	398	264	130	44	1.0	
F 4M	12.33		18.5	24	0.6		4145.5		200	2792	6823	0.0	91917	580	0.03	180	2544	93	63	30			
M 4M	11.15		20	19	1.0		4022		200	2287	2417	0.0	102783	199	0.3	106	1232	125	72	53	59		
A 4	13.06	26	25	21	5.6	2.4	108.4	8.6	125	71	8494	157	538	154	62	164	212	208	117	91	290	81	
M 4	11.07	26	22	20	0.6	3.1	264	5.8	200	202	3208	1.0	2946	294	103	80	236	160	88	72	201	30	
4M	10.10		24	20	0.5		300		200	200	15118	0.0	3970	80	84	122	167	72	49	24	224		
J 4	11.03	38	20	19	1.3	2.3	111	11.3	70	116	662	138	50	53	56	218	98	475	256	218	139	94	
4M	12.30		20	20	5.2		300		40	200	790	6.0	36	30	23	210	145	118	66	52	238		
J 4	11.45	145	16	18.5	3.8	4.6	150	14.2	50	104	1680	40	530	220	137	191	89	381	98	160	107	88	
4M	11.32		14	16	2.6		2238		20	1318	2355	28	5531	903	663	245	125	276	46	231	248		
A 4	11.14	87	14	12	2.4	2.8	463.5	14.3	50	626	1023	34	3146	1000	160	120	146	437	188	373	114	28	
4M	11.32		14	16	2.6		2238		20	1476	2333	25	8677	3215	25620	112	167	408	54	354	100		
S 4	11.35	244	12	12.5	1.2	3.8	224	24	65	40	815	0.0	500	1130	32	188	122	394	192	201	92	0.9	
4M	11.27		12	15	0.5		2750		5	3900	2000	0.0	16850	2078	292	212	164	164	105	94	60		

OBSERVACIONES: * mg CaCO₃/l

TABLA 5

Registro Mensual de las Variables del Rio Tacubaya de febrero a septiembre (1984).

e. si Hora	PARAMETROS				FISICOS				QUIMICO				Inorgánicos				Orgánicos				
	Gasto l/s	Temperatura °C	pH	Conduc. µmhos/cm	Prof. cm	Color Pt-Co	S.D. mg/l	S.C. mg/l	NC	Metales	Metales	Metales	Metales	Dureza	Ca++	Mg++	DQO	DBO			
F 6E 13.30	19	30	8.0	30	0	20	2325	38	0	0	0	519	213	64	249	-					
M 6E 10.45	17	63	7.9	2	0	2	1			0						55					
A 6E 14.00	25	22	11.5	10	20	6	4638	26	37	17	8	217	104	182	108	74					
M 6E 12.25	24	23	11.3	250	500	170	1556	88772	0	80	9	0	526	67	24	43	75900				
J 6E 12.00	18	16	7.4	4.5	5	3	414	48	14	4	0	124	58	137	38	99	186				
J 6E 12.04	18	18	9.3	10	20	7	306	194	8	0.5	60	249	44	128	59	70	137162				
A 6E 11.18	14	15	10.7	45.5	40	39	380	28643	8	20	8	82	34	104	34	71	730565				
S 6E 12.12	12	15	8.7	4	45	3	183	185	16	0	2	223	36	118	59	59	862				
F 7 15.00	33	19	17	0.4	5.4	10330	9	80	11242	806	0	2499	701	57	508	106	506	386	191	369	209
M 7 14.00	33	22.5	19	0.5	8.6	968.7	9	500	924	1216	0	6290	417	57	129	169	411	140	287	1613	113
A 7 13.40	32	25	22	3.8	4.9	274	10.4	125	183	3309	0	2194	404	64	180	203	266	130	154	430	48
M 7 12.53	30	23	20	1.4	4.7	251.5	10	125	180	6870	0	1417	178	38	68	162	220	164	56	310	26
J 7 13.17	46	13.5	16	4.0	3.8	169.4	12.5	90	24	2280	105	621	62	68	240	161	381	188	193	374	217
J 7 12.32	111	18	17	2.8	5.4	66.5	20	50	40	1086	19	355	166	103	200	94	525	318	206	168	176
A 7 11.00	78	14	12	2.2	3.2	475	95	60	410	905	0	2237	279	94	132	101	529	232	297	538	104
S 7 12.32	144	12	12.5	4.8	4.0	29	33	70	27	682	90	142	218	33	196	170	420	232	232	150	0.9

OBSERVACIONES: *mg Ca CO₃/l.

Tabla 4

Registro Mensual de las Variables del Rio Tacubaya de febrero a septiembre (1984)

Estación	PARAMETROS						FISICOS				QUIMICOS				Inorgánicos				Orgánicos			
	Gasto	Temperatura °C	Conduc.	Prof.	Color	S.d	S.t	NO	Matalicos	Metalicos	Cl	Dureza	Ca++	Mg++	DDO	DBO						
Hora	l/s	AMS	H. O.	pH	100 mg/l	ohm/cm	cm	UPl/Col. mg/l	mg/l	Alc* tot/6c. tot/100 mg/l	logSO ₄ /1	logNO ₃ /1	logSiO ₂ /1	Cl	Dureza	Ca++	Mg++	DDO	DBO			
F 8	14.20	32	19	17	6.3	5.8	3500	12.5	70	2300	564	0	2605	618	41.4	326	138	537	349	188	632	1.0
M 8	15.45	32	22	19	0.4	4.4	450	12.5	500	290	964	0	4524	398	41	115	240	401	96	304	399	114
A 8	14.02	28	25	20	1.7	6.2	559	14	125	365	2494	0	2317	636	46	146	201	291	157	168	1022	37
M 8	13.17	29	22	22	1.6	5.0	270	15	400	180	5312	0	2737	317	61	76	506	220	158	62	399	16
J 8	12.26	42	19	19	7.2	5.1	44.7	14.2	100	48	785	76	104	88	23	142	104	404	187	217	201	119
J 8	12.58	60	16	17	4.5	5.5	70	23	400	33	1032	59	497	175	130	226	87	542	292	249	398	178
A 8	11.52	64	14	13	2.2	4.4	131	17	50	89	1314	0	661	248	71	186	104	602	272	330	160	63
S 8	15.17	137	12	11.5	4.7	7.6	18	29	40	16	706	73	156	104	85	183	70	391	227	164	62	0.9

Registro Mensual de las Variables del Sistema Potable de febrero a septiembre (1984)

F1,2	11.00	19	21	7.1		8	150	0	5	936	93	5.04	5		270	128	263	70	194		
M1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A1,2	13.29	25	19	6.8	5.3	3.3	199	30	2	2778	26	36	0.5	0	81	94	104	52	52	0	2
M1,2	11.00	22.5	18	7.7	4.6	6	195	10	4	10445	158	47	2	1	24	108	80	42	38	0	16
J1,2	11.13	19.5	18	7.8	5.2	5	135	5	4	4724	61	26	3	1	176	21	91	82	34	62	18
J1,2	12.11	18	16	7.6	5.3	4	121	10	3	267	55	25	2	3	232	40	112	58	54	0	3
A1,2	12.09	14	12	7.6	3.7	4	110	5	4	189	106	41	0	6	182	32	124	53	72	52	5
S1,2	13.00	12	13.5	7.6		6.8	105	5	4.6	136	97	30	0.5	0	210	30	104	54	50	32	

OBSERVACIONES: * mg CaCO₃/l

TABLA 6: de promedios totales de 21 variables más la distancia, obtenidos para ocho meses de muestreo en las localidades 3, 7 y 8.

Variables	Media	Desviación (σ)	
1 gasto	64.83	44.73	
2 temperatura amb.	18.98	4.16	*
3 temperatura H ₂ O	17.17	3.40	*
4 pH	4.47	3.19	*
5 oxígeno disuelto	4.21	2.06	*
6 conductividad	905.42	2257.50	
7 profundidad	20.92	17.55	
8 color	120.00	99.65	
9 sólidos disueltos	702.45	2296.32	
10 sólidos totales	1677.42	1956.93	
11 alcalinidad tot.	90.17	110.52	
12 acidez	1169.33	1597.72	
13 sulfatos	221.75	209.39	
14 nitratos	58.70	29.19	*
15 óxido de silicio	189.25	94.34	*
16 cloruros	170.25	124.40	
17 dureza tot.	404.08	125.82	*
18 calcio	230.17	82.08	*
19 magnesio	181.29	80.98	*
20 demanda química	381.12	338.42	
21 demanda bioquímica	65.85	57.09	
22 distancia	1116.67	938.39	

* VARIABLES CON DESVIACION ESTANDAR 50 %
MENOR QUE LA MEDIA

TABLA 7: Coeficientes de correlación seleccionados con base en el criterio de significancia $\alpha > 0.75$ de Leland (1980), presentados en orden decreciente dado su valor.

C O R R E L A C I O N Coeficientes Vs.

temperatura amb.	temperatura H ₂ O.	+ 0.9555
conductividad	s. disueltos	+ 0.9370
acidez	color	+ 0.8101
pH	alcalinidad	+ 0.8050
acidez	O.D	+ 0.7909
s. disueltos	óxido de silicio	+ 0.7896
dureza tot.	calcio	+ 0.7750
dureza tot.	magnesio	+ 0.7749
pH	sulfatos	- 0.8445
gasto	temperatura amb.	- 0.8251
gasto	temperatura H ₂ O	- 0.7882
pH	acidez	- 0.7666
pH	O.D	- 0.7501
O.D	alcalinidad	- 0.7867

TABLA 9: coeficientes de correlación aceptados dado el nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

C O R R E L A C I O N		Coefficientes
Vs.		
color	DQO	+ 0.7479
acidez	sulfatos	+ 0.7102
O.D	acidez	+ 0.7152
óxido de silicio	calcio	+ 0.7085
alcalinidad	distancia	- 0.7076
pH	distancia	- 0.6840
alcalinidad	sulfatos	- 0.6805
sulfatos	O.D	+ 0.6679
O.D	distancia	+ 0.6638

TABLA 10: estadísticos generales para evaluar la ecuación global de regresión.

E S T A D I T I C O S	Resultados
Error estandar	550.48633
Coef. de determinación	0.97008
Coef. de determinación (ADJ)	0.65587
Coef. de correlación múltiple	0.98492
Coef. de correlación múltiple (ADJ)	0.80986
Grados de libertad para:	
regresión	21
residual	2
total	23
Suma de cuadrados para:	
regresión	1.9647E+07
residual	606070.4033
total	2.0253E+07
Media de cuadrados para:	
regresión	935583.9490
residual	303035.2017
NIVEL DE CONFIANZA	72.687 %

MODELO DE PREDICCIÓN

$$\begin{aligned}
 Y = & - 8220.34604 - 19.39369(X_1) + 148.53593(X_2) \\
 & + 181.70875(X_3) - 350.96143(X_4) + 1372.75882(X_5) \\
 & - 1.65824(X_6) + 63.32411(X_7) + 0.34296(X_8) \\
 & + 1.44861(X_9) - 0.39884(X_{10}) - 0.51982(X_{11}) \\
 & - 1.55272(X_{12}) - 8.88023(X_{13}) + 6.81786(X_{14}) \\
 & + 9.73878(X_{15}) + 9.83472(X_{16}) + 14.14751(X_{17}) \\
 & - 13.23252(X_{18}) - 5.51047(X_{19}) + 1.73444(X_{20}) - \\
 & 30.71336(X_{21}).
 \end{aligned}$$

TABLA 11. Aplicación del modelo, según los criterios de formulación descritos por Farish (1979) para predicción de distancia, cuando X_1 a X_{21} representan las condiciones de calidad marcadas en el agua de desecho en Santa Fé, México, D.F.

Casos #	actual X 2-21	X mín. o máx.	Predicción Y
1	norma de calidad en agua residual	---	3578.67 m
1 a		Q= 25 l/s	4359.17 m
2	promedio tot. sist.potable	---	8134.92 m
3	promedio mensual de mayo loc. 3	---	- 598.00 m
4	promedio mensual de mayo loc. 7	---	499.96 m
4 a		DQD= 2250 mg/l	3864.78 m
5	promedio mensual de abril loc. 8	---	1650.68 m
5 a		Ac.= 8814 mg/l	-669.77 m
5 b		pH = 0.5	2071.00 m
5 c		DQD= 10634mg/l	18322.00m

TABLA 12: correlaciones parciales, estadístico que evalúa la intensidad de la regresión exclusivamente entre la variable dependiente (Y = distancia) y cada una de las variables independientes (X_{i-n}).

Variabes	Corr. parcial	R ₂
1 gasto	- 0.77070	0.92630
2 temperatura amb	0.34731	0.96597
3 temperatura H ₂ O	0.47451	0.96124
4 pH	- 0.80155	0.91630
5 O.D	0.83335	0.90206
6 conductividad	- 0.78900	0.92073
7 profundidad	0.81312	0.91163
8 color	0.03234	0.97004
9 s. disueltos	0.84994	0.89220
10 s. totales	- 0.72965	0.93600
11 alcalinidad	- 0.07095	0.96992
12 acidez	- 0.91045	0.82509
13 sulfatos	- 0.66920	0.94581
14 nitratos	0.38572	0.96485
15 óxido de silicio	0.56170	0.95628
16 cloruros	0.84654	0.89440
17 dureza tot.	0.48013	0.96111
18 calcio	- 0.39004	0.96471
19 magnesio	- 0.21579	0.96861
20 DQD	0.70196	0.94101
21 DBD ₅	- 0.81326	0.91162

TABLA 13: predicciones de distancia (Yc) por localidad a partir de los valores observados mensualmente, distancias actuales (Y= 0,1100 y 2250 m) y la diferencia entre ambas (residual)

mes. #	Y actual (m)	Predicción Yc (m)	Residual (m)
1	0.00	1.30	- 1.30
2	0.00	2.99	- 2.99
3	0.00	- 6.49	6.49
4	0.00	1.64	- 1.64
5	0.00	547.98	-547.98 *
6	0.00	- 21.72	21.71
7	0.00	11.79	- 11.79
8	0.00	4.30	- 4.30
1	1100.00	1164.64	- 0.64
2	1100.00	1099.10	0.91
3	1100.00	1108.57	- 8.57
4	1100.00	1099.97	0.03
5	1100.00	547.98	552.02 *
6	1100.00	1111.57	- 11.57
7	1100.00	1102.66	- 2.65
8	1100.00	1096.49	3.51
1	2250.00	2246.24	3.77
2	2250.00	2248.65	1.35
3	2250.00	2250.68	- 0.68
4	2250.00	2245.82	4.18
5	2250.00	2255.70	- 5.70 *
6	2250.00	2254.93	- 4.93
7	2250.00	2244.24	5.76
8	2250.00	2244.97	5.03

TABLA 14: análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la dependencia entre localidades y variables, a través del valor calculado de F.

Alteración | grados | cuadrado | F calculada
 por : | libertad | suma | media |

localidad	2	0.3690E+6	3.1845E+6	3.78672
variables	13	7.2147E+7	6.7556	5.54947E+26
interacción	24	2.5448E+7	878696	1.19142
error	294	2.4150E+8	821452	--
total	335	3.4546E+8	--	--

FIGURAS:

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio (Planta Central de Explosivos Santa Fé).

Figura 2. Ubicación de las localidades de muestreo en el sistema potable y de aforo en el Río Tacubaya, México D.F.

Figura 3. Registro de la variación mensual del Río Tacubaya en dos períodos climáticos estío y lluvias para el gasto, la profundidad, la temperatura del agua, el color y la conductividad

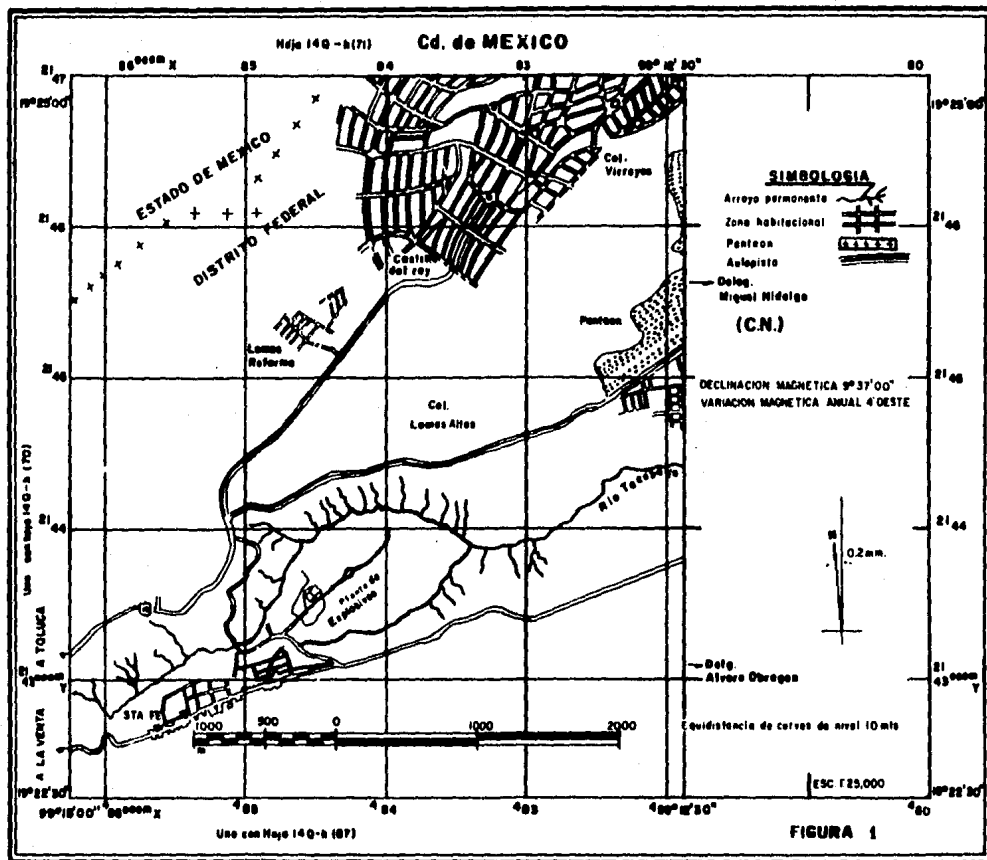
Figura 4. Registro de la variación mensual del Río Tacubaya en dos períodos climáticos estío y lluvias para el pH y oxígeno disuelto.

Figura 5. Registro de la variación mensual del Río Tacubaya en dos períodos climáticos estío y lluvias para la alcalinidad, la acidez, el contenido de sulfatos y nitratos.

Figura 6. Registro de la variación mensual del Río Tacubaya en dos períodos climáticos para el contenido de cloruros y óxido de silicio.

Figura 7. Registro de la variación mensual del Río Tacubaya en dos períodos climáticos estío y lluvias, para dureza, contenido de calcio y magnesio.

Figura 8. Registro de la variación mensual del Río Tacubaya en dos períodos climáticos estío y lluvias, para el contenido de sólidos totales, sólidos disueltos, las demandas química y bioquímica de oxígeno.



**FIG.1: UBICACION GEOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO
(PLANTA CENTRAL DE EXPLOSIVOS SANTA FE).**

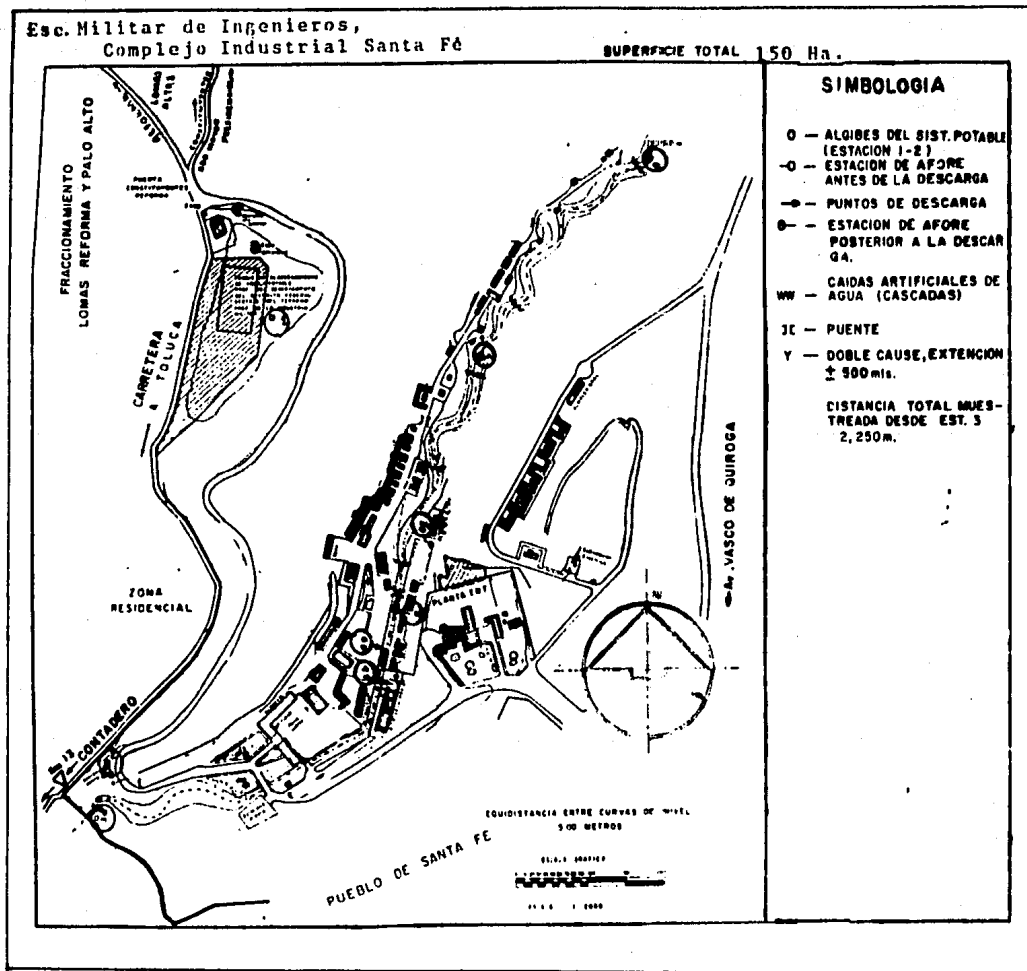


FIG. 2 UBICACION DE LAS LOCALIDADES DE MUESTREO EN EL SISTEMA POTABLE Y DE AFORE EN EL RIO TACUBAYA, MEXICO, D.F.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

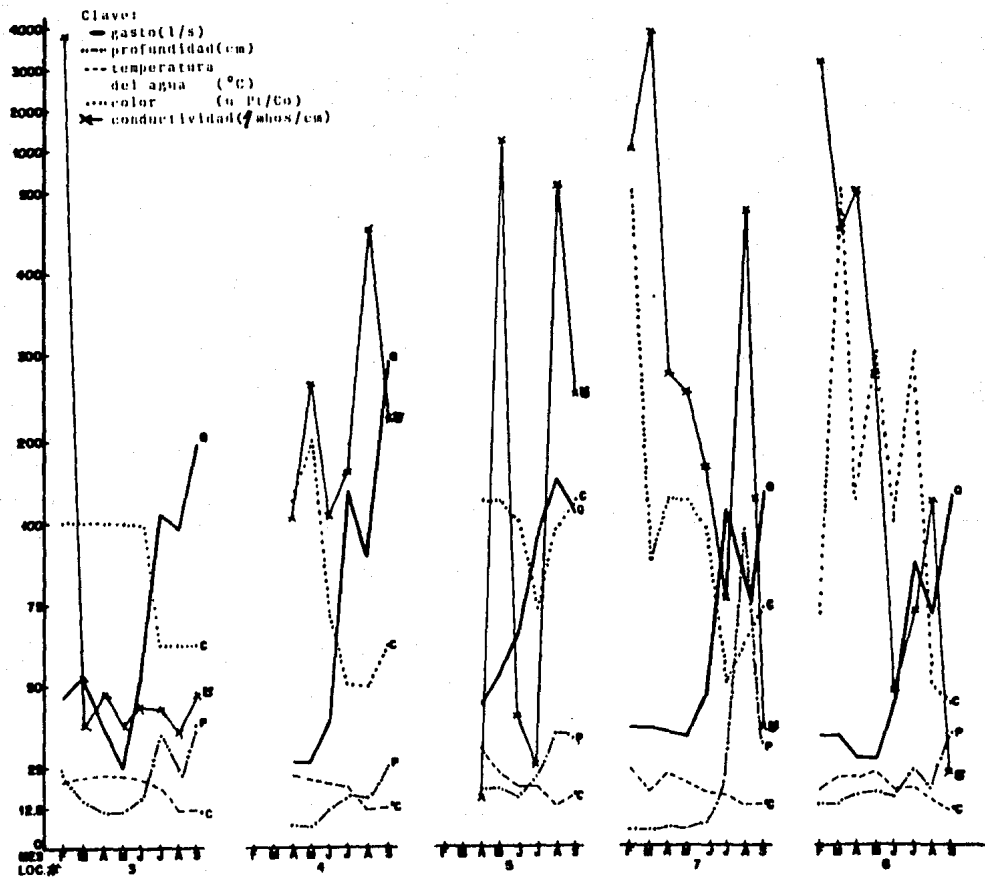


FIG. 3: REGISTRO DE LA VARIACION MENSUAL DEL RIO TACHIBAYA
EN DOS PERIODOS CLIMATICOS ESTIO Y LLUVIAS (1984)

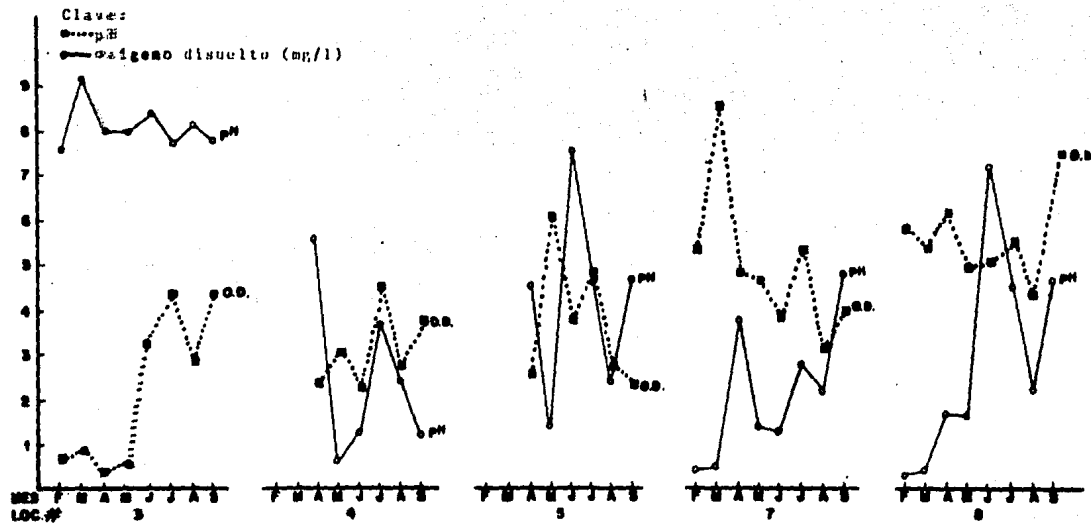


Fig. 6: REGISTRO DE LA VARIACION MENSUAL DEL RIO TACUBAYA EN DOS PERIODOS CLIMATICOS ESTIO Y LLUVIAS (1984)

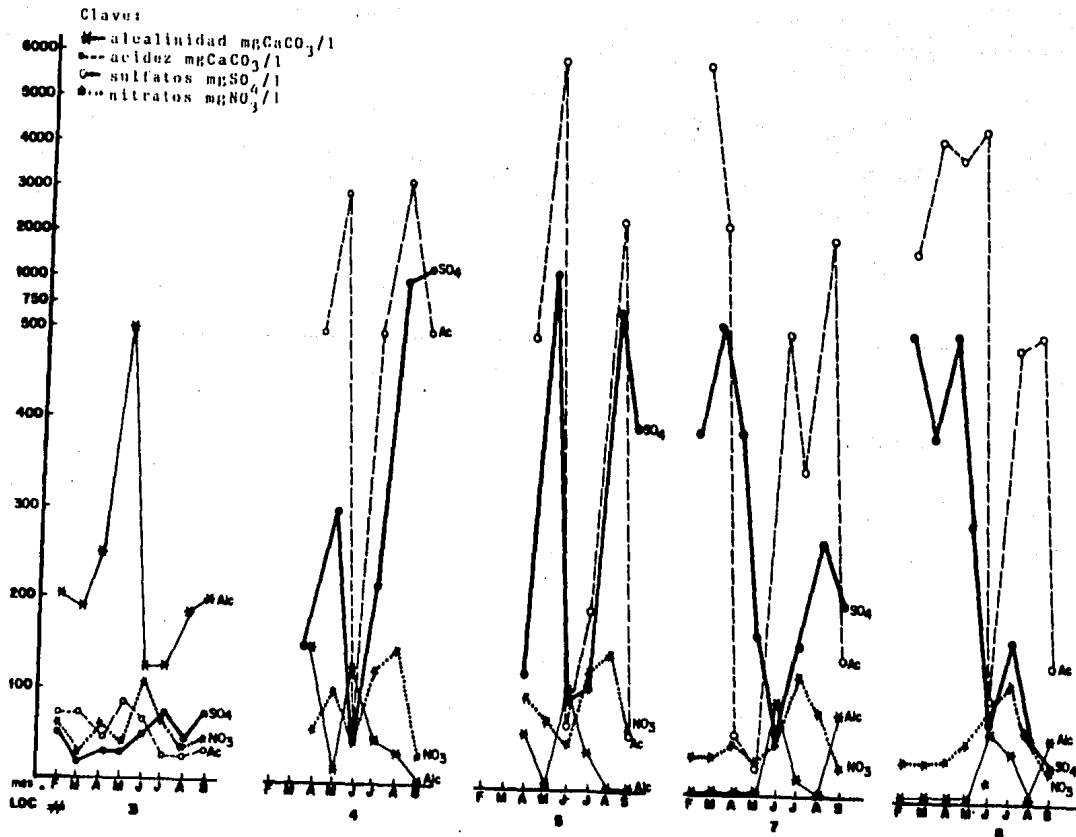


FIG. 5: REGISTRO DE LA VARIACION MENSUAL DEL RIO TACUBAYA EN DOS PERIODOS CLIMATICOS ESTIO Y LLUVIAS (1984).

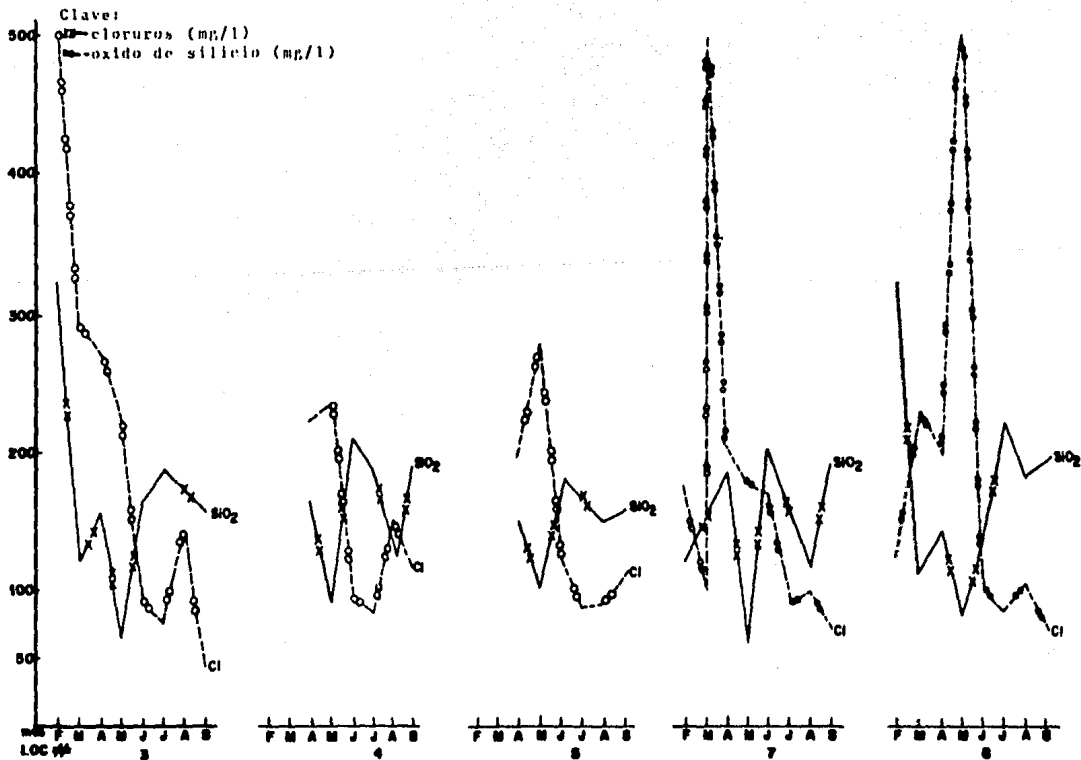


FIG. 6: REGISTRO DE LA VARIACION MENSUAL DEL RIO TACUBAYA EN DOS PERIODOS CLIMATICOS ESTIO Y LLUVIAS (1984)

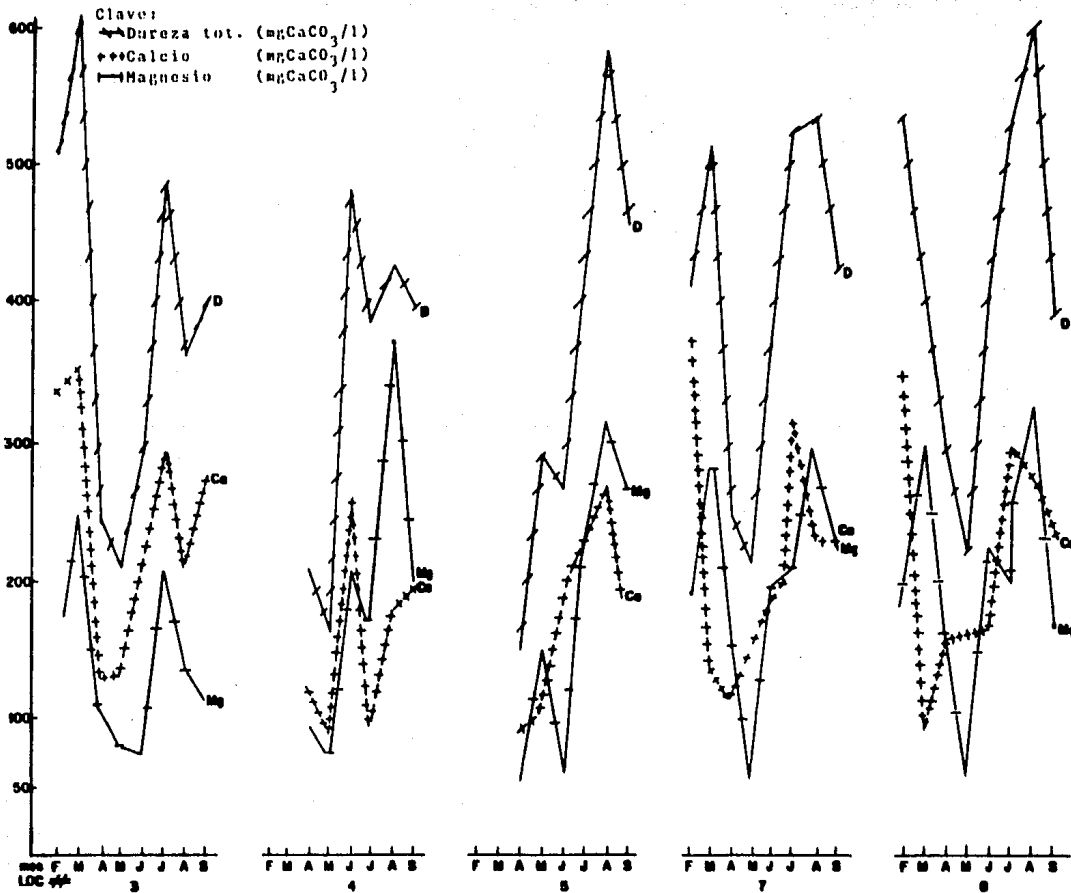


Fig. 7: REGISTRO DE LA VARIACION MENSUAL DEL RIO TACUBAYA EN DOS PERIODOS CLIMATICOS ESTIO Y LLUVIAS (1984)

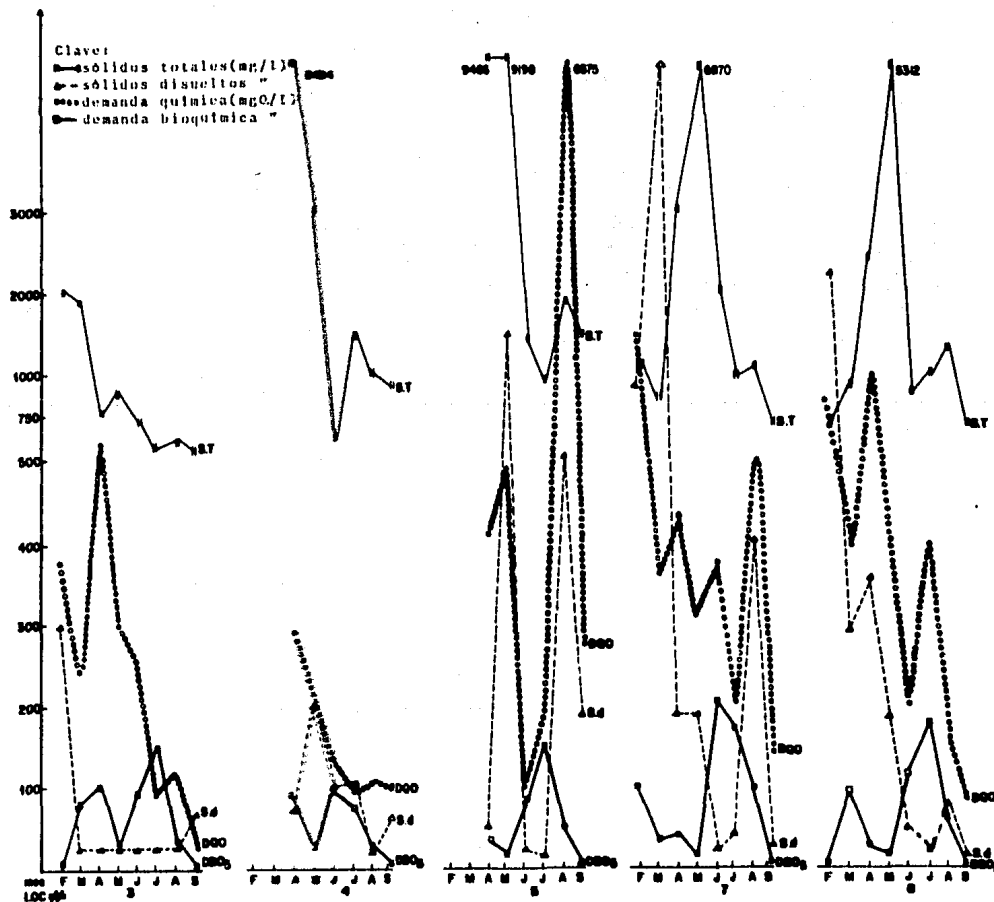


FIG. 8: REGISTRO DE LA VARIACION MENSUAL DEL RIO TACUBAYA EN DOS PERIÓDOS CLIMATICOS ESTI O LLUVIAS (1984)

X.- BIBLIOGRAFIA

APHA - AWWA - WPCF, 1955 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 10 th Ed. American Public Health Association. Washington.

ASTM, 1965 Standard for Industrial Water; Atmospheric Analysis vol.23, American Society for Testing and Materials. Philadelphia.

Babbitt, H.E, E.R Baumann. 1983 Alcantarillado y tratamiento de aguas negras. C.E.C.S.A., México.

B A S I S, 1984 Program D 7800 by ALGOL 34.750. Sistem Master Control Program 341 Univ. Autón. de México. México.

Bias, L. 1954 Agenda del Químico. 2a. Aguilar, S.A de editores. Madrid.

Bowker, H.A, J.G Lieberman. 1984 Estadística para Ingenieros. Prentice-Hall hispanoamericana. México.

Colinvaux, P. 1980 Introducción a la ecología. Limusa, México.

Daniel, W.W. 1985 Biogestadística. Limusa. México.

De la Lanza, E.G. 1981 Importancia de la materia orgánica en los sedimentos de la Laguna de Huizache - Caimanero, Sinaloa, México. Tesis Doctoral (Doc. en Ciencias del Mar), Univ. Atón. de México. México.

Dickerson, E.W. 1951 Treatment of powder plant wastes, in proceedings of 6th industrial waste conference. Sewage Industrial Wastes. 23 : 30-32

Draper and Smith. 1965 Reports of river water analyses. Chemical Engineering. 47 : p.519

Fair, G.M, J.C Geyer, D.A Okun. 1981 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. vol.2, Limusa. México.

Farish, R.F, Ch.D O'Grady, R.A Oliva. 1979 Personal Programming a Complete Owners Manual for TI Programable SAC/52. Texas Instruments Incorporated. USA.

Gail, P.E, Ingram. 1954 T.N.T wastes, description of treatment methods. Sewage Industrial Wastes. 26 : 1484-1487.

Gail, P.E, W.T Ingram. 1954 Summary of annual convention of the american society of civil engineers. Sewage Industrial Wastes. University New York. 26 : 18-22.

García, E 1981 Modificación al Sistema de clasificación climática de Köppen, 3a. ed. Instituto de Geografía Univ. Nal. Atón de Méx. México.

Hilleboe, H.E. 1980 Manual de tratamiento de aguas negras. Limusa. México.

Index Merck 1962 Encyclopedia for the chemist, pharmacist, physician and allied professions. 6th. Merck and C.O, Inc., USA.

INEGI, 1977 Carta Topográfica y Geológica. Ciudad de México. E- 14 -A- 39. Inst.Nal. de Estadística Geografía e Informática. México.

Jenkins, D, V.L Shoeyink, J.F Ferguson, J.O Lekie. 1983 Química del Agua. Limusa. México.

Le Bosquet, Jr.,W.G Meckler. 1945 T.N.T wastes from shell-loading plants. Industrial Engineering Chemical. 37 : 937 - 939.

Leland, T.B. 1980 Statistical procedures for engineering management and science. Mc.Graw Hill. New York.

Nemerov, N.L. 1977 Aguas Residuales Industriales. Hermann Blume. Madrid.

Nordell, E. 1981 Tratamiento de aguas para la industria y otros usos. C.E.C.S.A. México.

Rodier, J. 1981 Análisis de Aguas. Omega. Barcelona.

Ruchhoft, C.C , W.G Meckler. 1945 Colored TNT derivative and alfa TNT, incolored aqueous alfa TNT solutions. Industrial Engineering Chemical. 17 : 430 - 434.

Rzedowski, J. 1978 La vegetación de México. Limusa. México.

S.A.R.H 1977 Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México.

S.A.R.H 1977 Reglamento sobre obras de Provisión de Agua Potable. Secretaría de Salubridad y Asistencia, México.

S.A.R.H 1981 Comisión del Plan Nacional Hidráulico Informe General. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.

S.A.R.H 1985 Tarjetas de resumen mensual de datos climáticos, estaciones : La Venta, Tacubaya, El Molinito, Presa Mixcoac, Desierto de los Leones, C.F.E, Totollica, Presa Anzaldo, Tarango, Xoco, Presa Tarango, y Escandón (1970 - 1985) Serv. Meteor. Nal. de México.

Smith, R.S, Walker. 1959 The biochemical reductuion of TNT the course and intermediary substances of reduction of 2,4,6-TNT. Industrial Engineering Chemical. 33 : 129 - 133.

Turk, A., J.Turk, J.T Wittes. 1973 Ecología, Contaminación, Medio ambiente. Interamericana. México.

Valiente, A., R.P Stivalet. 1981 Problemas de Balance de Materia. Alambra. España.