

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Por
Sergio Adolfo Sanudo Wilhelmy
Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California
México

y
Carlos Eugenio Suárez Vidal
Dirección de Pesca del Estado
Av. Ruiz No. 4-8 altos
Ensenada, Baja California
México

SANUDO WILHELMY, S. A. y C. E. Suárez Vidal. 1984. Variación temporal de la carga orgánica en las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 10 (2): 107-118

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la variación temporal de la carga orgánica de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana B.C. se efectuaron 11 variaciones semidiurnas (6:00 - 18.00 horas) de febrero de 1979 a enero de 1980 en el colector principal de las aguas negras de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (C.E.S.P.T.). Se analizó la demanda bioquímica de oxígeno grasas y aceites, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, potencial hidrógeno y temperatura. Los valores encontrados en los meses de julio (373.85 mg l^{-1}) y septiembre (462.33 mg l^{-1}) para la DBO fueron significativamente mayores a los detectados en otros meses (prueba t de Student; $p < 0.05$).

Para la prueba de la DQO las medias de los meses de febrero y agosto (524.03 y 538.83 mg l^{-1} respectivamente) fueron significativamente menores. Las concentraciones de los sólidos sedimentables y de las grasas y aceites no presentaron diferencias significativas durante el año de muestreos.

ABSTRACT

From February 1979 to January 1980 we sampled the wastewater from the main sewage collector of wastewater of the city of Tijuana, B.C., operated by the Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (C.E.S.P.T.). The main objective was to evaluate the temporal variation of the organic load as to its biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, oil and grease, total solids, suspended solids, pH and temperature. Significantly higher concentrations (t-test; $p < 0.05$) of BOD were found in July (373.85 mg l^{-1}) than those measured on other dates. The concentrations of COD found in February (524.03 mg l^{-1}) and in August (538.83 mg l^{-1}) were significantly less than those measured on other dates. Statistical analysis of the mean concentrations show no significant temporal variations from settleable solids and oil and grease.

INTRODUCCION

Es ampliamente conocido que las descargas municipales de aguas negras son una importante fuente de contaminación de las zonas costeras. Los efectos ocasionados en el ecosistema marino por la introducción de estas aguas son muy variados. Los orga-

nismos bentónicos son los que se ven más afectados por las modificaciones del medio (Pearson 1972), produciendo cambios en la abundancia relativa y en la diversidad de especies asociados a un decremento en la estabilidad de las poblaciones (Pearce, 1970; Steimle y Stone, 1973).

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN TIJUANA

Las aguas negras de la ciudad de Tijuana, B.C., son descargadas al Océano Pacífico sin tratamiento alguno. Estas aguas, por una corriente costera, son llevadas hacia el Norte alterando la calidad de las playas del sur de California, E.U.A. (Imperial Beach) ocasionando un problema entre los Gobiernos de México y Estados Unidos. Tal situación plantea la necesidad de contar con mayor información respecto a las características de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana.

Tomando en cuenta lo anterior ya que no se conoce de un trabajo similar en este lugar, el presente estudio tiene como objetivo el estimar la variación temporal (mensual) de la carga orgánica en las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C. generada por el

43 % de la población (269,585 habitantes) que en 1979 contaba con servicio de alcantarillado (Negrete Hurtado *et al.*, 1980).

METODOLOGIA

Los muestreos fueron realizados en el colector principal de las aguas residuales de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, B.C., (Fig. 1), del mes de febrero de 1979 a enero de 1980; efectuándose un total de 11 variaciones semidiurnas (6:00 - 18:00 horas) durante este periodo de tiempo. Las muestras obtenidas para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites (GyA), sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), sólidos suspen-

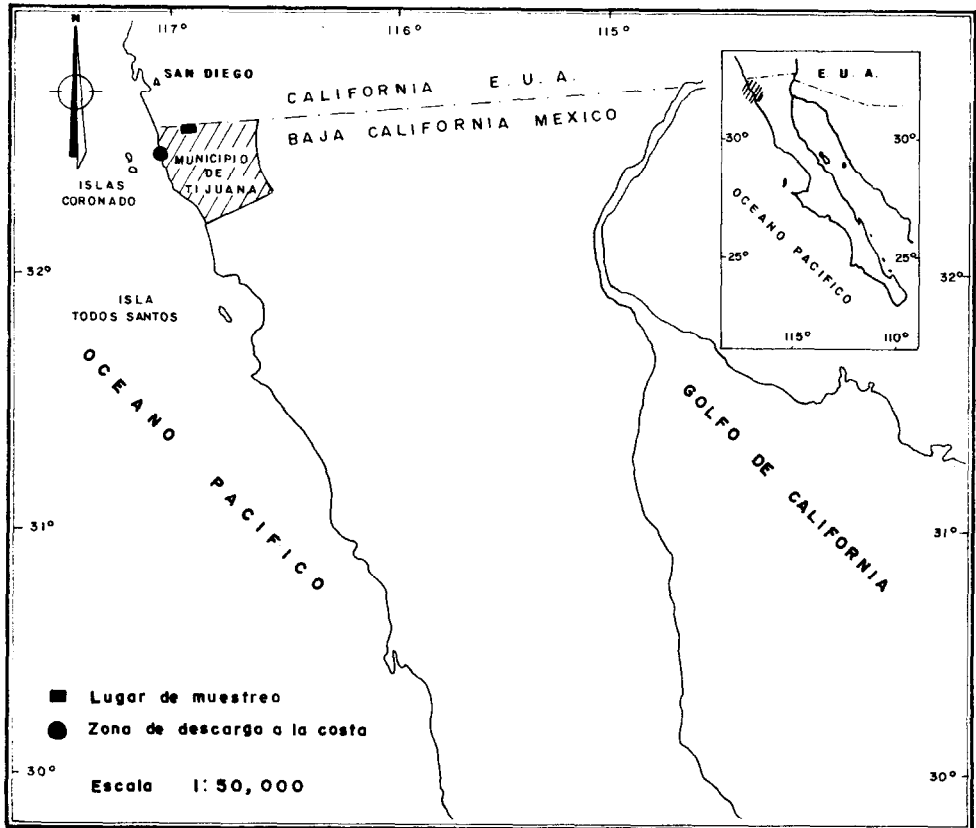


FIGURA 1. Localización del municipio de Tijuana, B.C. y del lugar de muestreo para la estimación de la variación temporal de la carga orgánica de la ciudad.

idos totales (SST), sólidos suspendidos fijos (SSF) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) fueron almacenadas a baja temperatura (0°C) para su análisis posterior en el laboratorio. La temperatura (T°C), el potencial hidrógeno (pH) y los sólidos sedimentables (SS) se determinaron *in situ*. Las técnicas de muestreo y de análisis fueron de acuerdo al Manual de la American Public Health Association (1976).

Debido a que con los datos obtenidos para cada parámetro se realizaron estimaciones de promedios que de acuerdo a Snedecor y Cochran (1977) tienden a distribuirse normalmente, y a que la prueba de homogeneidad de la varianza entre los distintos meses de muestreo arrojó resultados no significativos ($P < 0.05$) se realizó un análisis estadístico paramétrico para el análisis de medias por la prueba t de Student a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ de acuerdo a Sokal y Rohlf (1969).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores promedio para cada parámetro en cada mes se presentan en las Tablas I, II y III. Estos valores fueron utilizados para efectuar la prueba t de Student. En el análisis de la DBO (Fig. 2) los valores encontrados en los meses de julio (373.85 mg l⁻¹) y septiembre (462.33 mg l⁻¹) fueron significativamente mayores a los detectados

en otros meses. Estos máximos se deben a que siendo la DBO una prueba de bioensayo que estima la cantidad de materia orgánica oxidable biológicamente (Mancy, 1972; Food and Agriculture Organization, 1976; Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, 1976) hubo mayor aporte de material orgánico, pudiéndose deber principalmente a la actividad turística que se presenta en esos meses.

Para DQO (Fig. 3) las medias de los meses de febrero y agosto (524.03 y 538.83 mg l⁻¹ respectivamente) fueron significativamente menores que en los otros meses. Es difícil determinar las causas reales de estos mínimos; Ford (1976) menciona que la prueba de la DQO es independiente de muchos de los factores que influyen en la DBO (tipo de sustrato, tiempo de incubación, agentes tóxicos), y la define como una medida de oxígeno equivalente a una oxidación química que no necesariamente mide los mismos constituyentes que la DBO. Ya que no toda la materia orgánica es oxidable biológicamente (Constable y Mc Bean, 1979), la DQO estima una cantidad de material orgánico y también cierta cantidad de material inorgánico como sulfuros, sulfitos, cloruros, nitritos, óxidos ferrosos sujetos a una oxidación química (Mancy, 1972; Ford, 1976). Tomando en conside-

TABLA I.- Valores promedio para la DBO, DQO y SS de febrero de 1979 a enero de 1980, en mg l⁻¹ con excepción de los SS en ml l⁻¹.

MES	n*	DBO			DQO			SS			G y A		
		media	d.s.**	rango	media	d.s.	rango	media	d.s.	rango	media	d.s.	rango
FEBRERO	9	335.80	57.27	257.23-397.60	524.03	157.80	245.52-753.54	11.92	8.36	6.0-31.0	116.24	55.53	60.80-208.80
MARZO	12	290.72	47.22	164.80-348.60	768.68	111.88	546.75-908.00	7.33	1.85	3.5-10.0	124.49	76.61	65.20-325.00
MAYO	13	294.21	40.86	172.59-336.14	598.32	261.18	113.13-1078.14	12.46	14.75	4.5-60.0	114.19	38.74	28.00-184.20
JUNIO	7	285.11	52.79	184.70-350.00	793.89	320.27	294.23-1228.78	8.00	3.82	2.0-12.0	-----	-----	-----
JULIO	7	373.86	131.50	147.47-483.00	552.90	208.69	221.46-789.58	8.19	4.57	1.8-15.0	97.02	20.96	58.60-293.40
AGOSTO	7	348.14	68.16	277.71-476.00	538.87	154.81	290.50-799.92	6.60	1.77	3.0- 8.2	92.02	129.68	16.00-381.00
SEPTIEMBRE	6	462.33	57.48	402.00-539.00	743.25	100.35	634.34-855.55	9.08	1.28	7.0-11.0	130.80	49.65	82.80-224.20
OCTUBRE	7	297.60	125.41	140.43-509.00	732.78	282.60	240.48-1078.55	8.14	3.65	2.0-13.0	125.31	53.08	38.00-190.00
NOVIEMBRE	7	326.69	99.56	153.93-422.50	918.74	265.74	561.60-1196.00	8.64	4.59	2.0-15.5	123.37	50.59	26.00-179.80
DICIEMBRE	7	284.39	83.45	159.86-384.44	657.14	308.89	196.00-998.00	10.86	6.39	2.0-20.0	120.67	56.25	33.00-183.40
ENERO	7	284.60	47.38	180.00-312.72	749.60	130.06	548.75-910.50	10.04	4.52	3.0-16.8	110.53	38.20	78.00-190.00

n* número de observaciones
 d.s.** desviación estandar
 +n = ll

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN TIJUANA

TABLA II.- Valores promedio para los ST, STV y STF de febrero de 1979 a enero de 1980. Todos en mg l⁻¹.

Mes	n*	ST			STV			STF		
		media	d.s.**	rango	media	d.s.	rango	media	d.s.	rango
FEBRERO	9	1938.89	603.00	1250.0-3300.0	705.56	318.63	250.0-1200.0	1233.33	600.00	400.0-2500.0
MARZO	12	1859.25	142.96	1562.0-1995.0	742.20	95.67	515.0- 851.0	1116.95	97.51	968.0-1260.0
MAYO	13	1888.46	220.15	1499.0-2225.0	701.07	150.99	489.0- 997.0	1187.38	193.85	897.0-1524.0
JUNIO	7	1823.36	230.31	1591.0-2289.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
JULIO	7	1907.86	510.37	1113.0-3037.0	776.93	215.94	456.0-1244.0	1130.93	299.19	650.0-1793.0
AGOSTO	7	1810.52	184.24	1512.0-2096.0	716.52	215.94	502.0-1088.0	1093.00	119.59	857.0-1184.0
SEPTIEMBRE	6	1978.50	158.84	1760.0-2171.0	785.00	128.02	618.0- 922.0	1193.50	38.30	1142.0-1250.0
OCTUBRE	7	1876.57	320.05	1312.0-2265.0	700.57	241.69	325.0-1078.0	1176.00	125.24	987.0-1350.0
NOVIEMBRE	7	1881.86	212.50	1555.0-2205.0	682.57	158.07	474.0- 871.0	1104.28	86.44	1053.0-1337.0
DICIEMBRE	7	2276.14	236.28	2052.0-2753.0	959.71	160.87	759.0-1255.0	1316.43	158.24	1080.0-1498.0
ENERO	7	1870.06	147.91	1650.0-2050.0	804.93	179.69	530.0-1033.0	1065.13	152.88	828.0-1283.0

n*, d.s.** = detallados en Tabla I.

TABLA III.- Valores promedio para los SST, SSV y SSF de febrero de 1979 a enero de 1980. Todos en mg l⁻¹.

Mes	n*	SST			SSV			SSF		
		media	ds**	rango	media	d.s.	rango	media	d.s.	rango
FEBRERO	9s	455.99	87.59	313.34-571.43	195.50	79.78	113.34-344.00	260.59	57.05	200.00-371.43
MARZO	12s	460.92	112.39	283.33-668.75	307.61	78.73	196.67-437.50	153.51	38.62	86.66-231.25
MAYO	13	418.75	120.47	321.00-737.19	267.11	81.79	161.11-460.86	151.64	62.57	43.33-276.33
JUNIO	7	277.21	138.99	140.00-471.79	148.19	87.78	59.46-278.52	129.02	79.77	62.50-297.44
JULIO	7	367.01	142.95	80.00-610.00	290.09	134.34	46.00-545.00	76.92	30.92	14.62-110.00
AGOSTO	7	423.27	85.97	283.00-555.00	362.30	90.62	215.00-490.00	60.97	24.14	16.80- 92.00
SEPTIEMBRE	—	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
OCTUBRE	7	359.75	137.81	113.42-542.86	277.90	102.04	85.12-410.71	81.85	44.19s	28.30-151.08
NOVIEMBRE	—	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
DICIEMBRE	3	644.03	190.31	425.50-773.30	546.67	157.99	367.50-666.00	97.37	35.46	58.00-126.80
ENERO	7	310.60s	110.77	150.10-478.50	201.11	77.86	99.80-315.00	106.49	41.49	50.30-163.50

n*, d.s.** detallados en la Tabla I

ración que el contenido de materia orgánica (DBO) en los meses de febrero y agosto fue casi el mismo que en los otros meses (con excepción de las concentraciones de julio y septiembre), los mínimos posiblemente se debieron a una disminución en el contenido de material inorgánico en el desecho.

Aunque los valores encontrados por los SS estuvieron en un rango de 6.60 a 12.46 ml l⁻¹ y para las G y A entre 92.02 y 130.08 mg l⁻¹, el análisis estadístico realizado no mostró diferencias significativas entre los meses de muestreo (Figs. 4 y 5). Esto pudo deberse a que realmente en el desecho no existan variaciones significativas

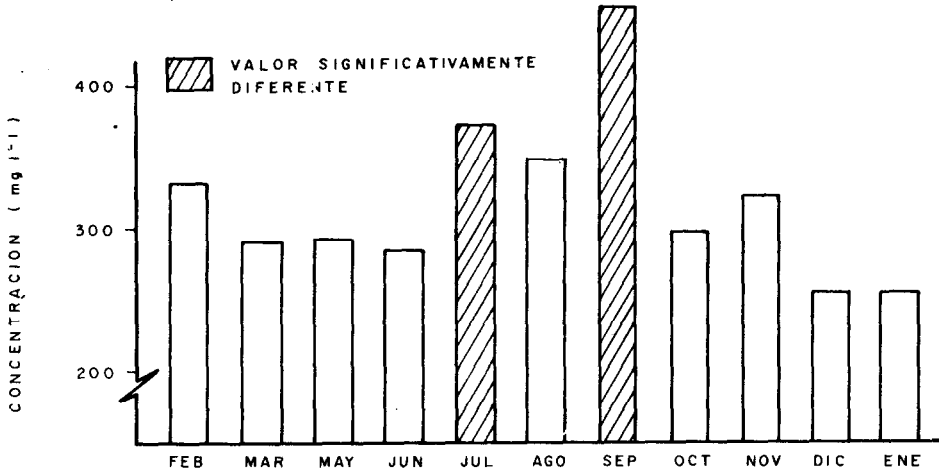


FIGURA 2. Variación anual promedio de la DBO en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

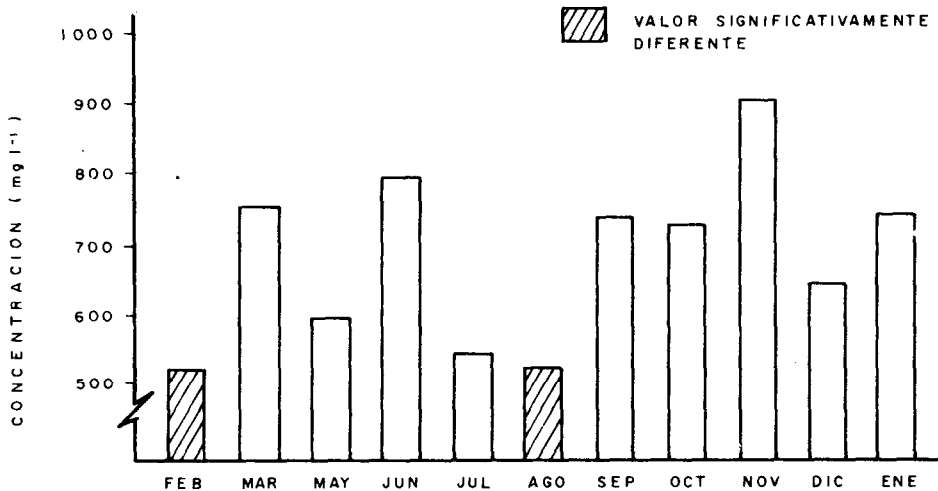


FIGURA 3. Variación anual promedio de la DQO en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

para los SS y las G y A durante el año, o que la prueba estadística realizada no fue lo suficientemente fuerte para detectar diferencias significativas, cometiendo un error estadístico de II clase (Downie y Heath, 1973), lo que es factible por los altos valores de las desviaciones estándares como se puede observar en la Tabla I, aunque valores

altos de la desviación estandar pueden ser naturales para estos parámetros.

Los valores de ST, STV y STF (Figs. 6, 7 y 8) presentaron un comportamiento similar entre ellos. Las medias obtenidas en el mes de diciembre (2276.14, 959.71 y 1316.43 mg l⁻¹ respectivamente) fueron ma-

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN TIJUANA

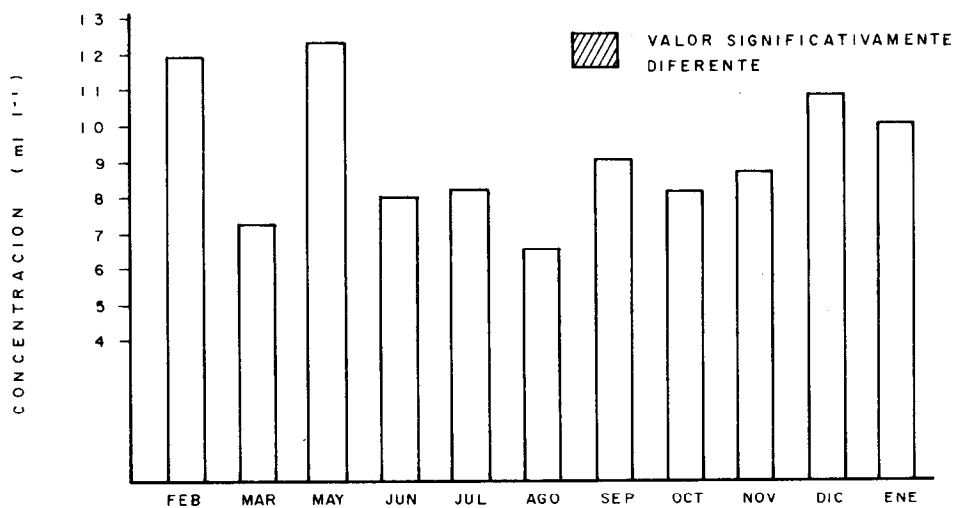


FIGURA 4. Variación anual promedio de los sólidos sedimentables (SS) en mililitros por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

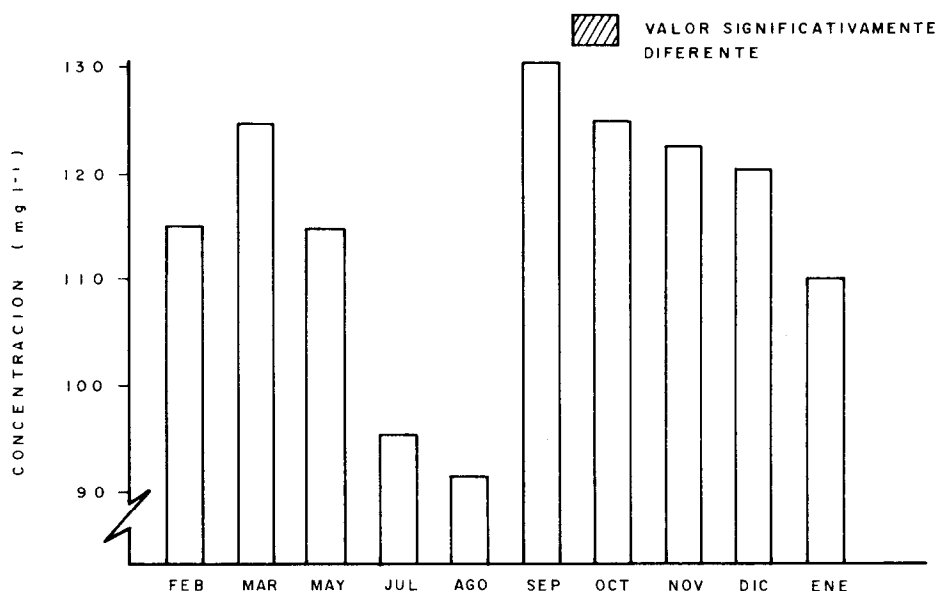


FIGURA 5. Variación anual promedio de las grasas y aceites (GyA) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

yores a un nivel de significancia $\alpha=0.05$ con respecto a los demás meses de muestreo. Debido a la amplia variedad de materiales inorgánicos y orgánicos encontrados en los

análisis para sólidos, los resultados son difíciles de interpretar con exactitud (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976).

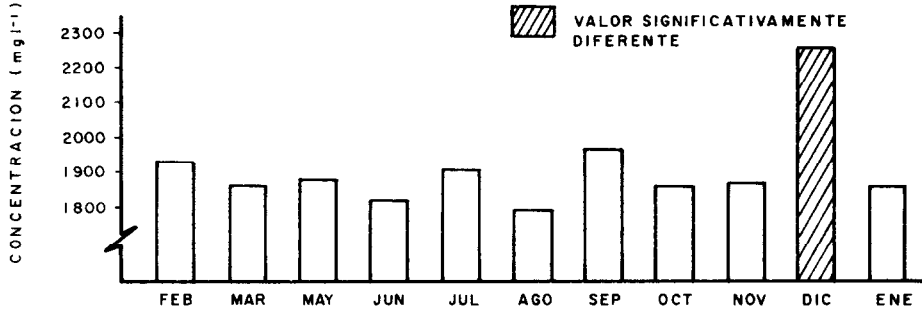


FIGURA 6. Variación anual promedio de los sólidos totales (ST) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

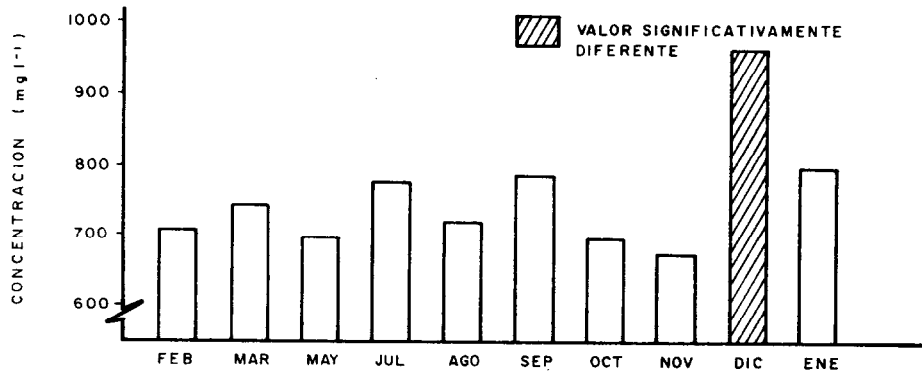


FIGURA 7. Variación anual promedio de los sólidos totales volátiles (STV) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

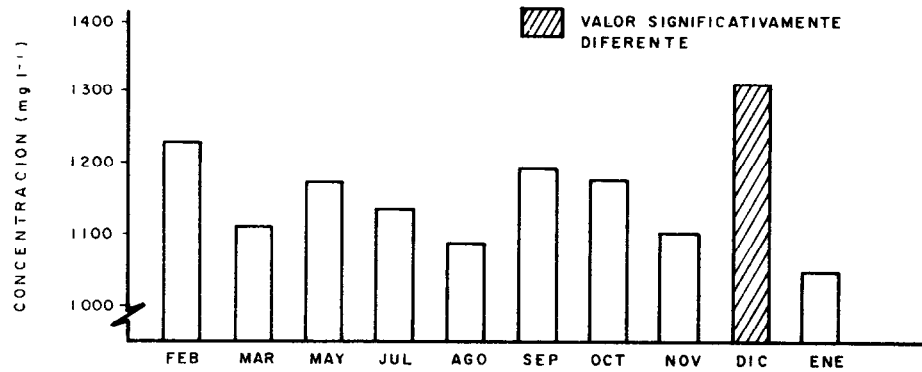


FIGURA 8. Variación anual promedio de los sólidos totales fijos (STF) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN TIJUANA

En todos los meses los valores de los STF fueron mayores que los STV, siendo la proporción de 60 y 40 o/o. Ya que los primeros son considerados como la porción inorgánica y los segundos como orgánica por el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1976), el material inorgánico es mayor, corroborando esto los más altos valores de la DQO sobre la DBO encontrados en este tipo de agua.

En el análisis de los SST y SSV (Figs. 9 y 10) los valores mínimos se presentaron en el mes de junio (277.21 mg l⁻¹ para los SST y 148.19 mg l⁻¹ para los SSV) y los máximos en diciembre (644.02 mg l⁻¹ para

los SST y 546.67 mg l⁻¹ para los SSV). La prueba de Student mostró que los valores del mes de junio eran significativamente menores, y mayores los de diciembre a una $p < 0.05$, aunque el máximo de diciembre para SST no se considera muy representativo debido a que el número de datos utilizados fue muy pequeño ($n = 3$).

Para los SSF (Fig. 11) el valor detectado en febrero (260.59 mg l⁻¹) fue significativamente mayor y el de agosto (60.97 mg l⁻¹) significativamente menor. Entre los otros meses no presentaron diferencias significativas. Únicamente en el mes de febrero los SSF fueron mayores que los SSV. Esto

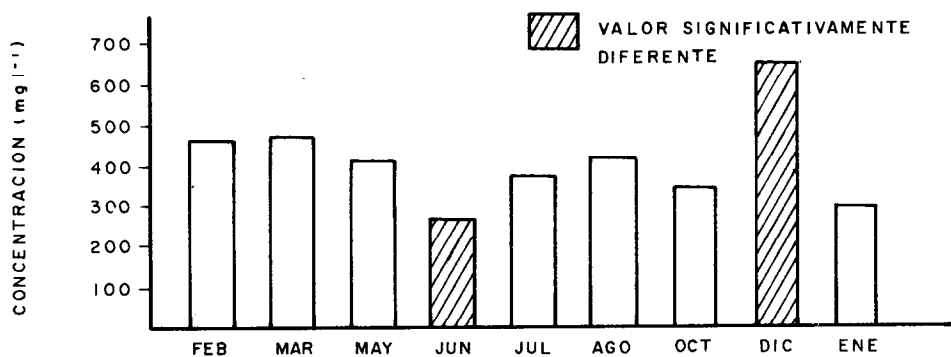


FIGURA 9. Variación anual promedio de los sólidos suspendidos totales (SST) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

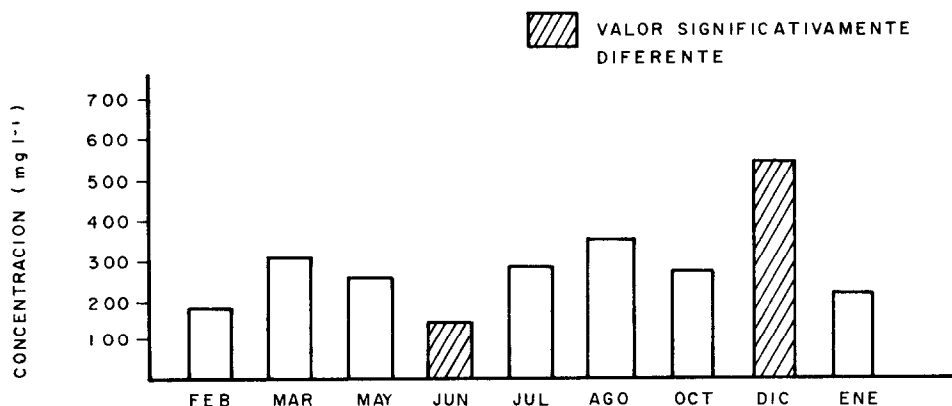


FIGURA 10. Variación anual promedio de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

se debió a que el día del muestreo llovía y el material acarreado pudo influir en la proporción entre estos sólidos.

El pH (Fig. 12) presentó valores desde neutro en julio (7.0) a ligeramente alcalinos en noviembre (7.5) con excepción del mes de febrero (7.9). Este máximo en

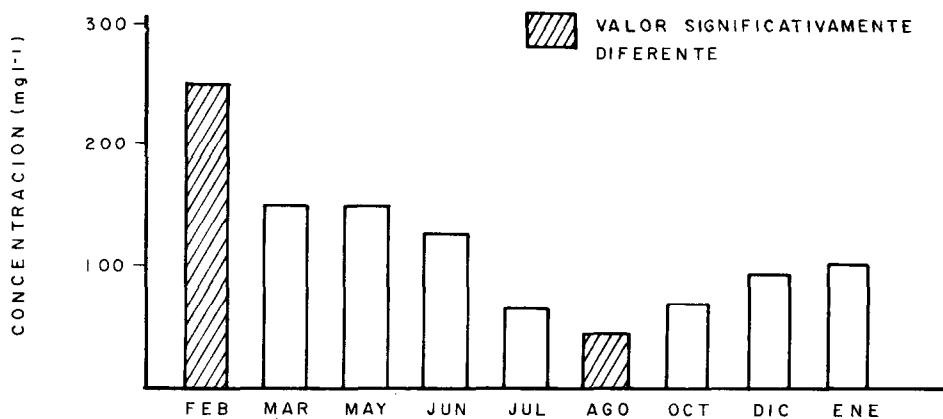


FIGURA 11. Variación anual promedio de los sólidos suspendidos fijos (SSF) en miligramos por litro de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, B.C., de febrero de 1979 a enero de 1980.

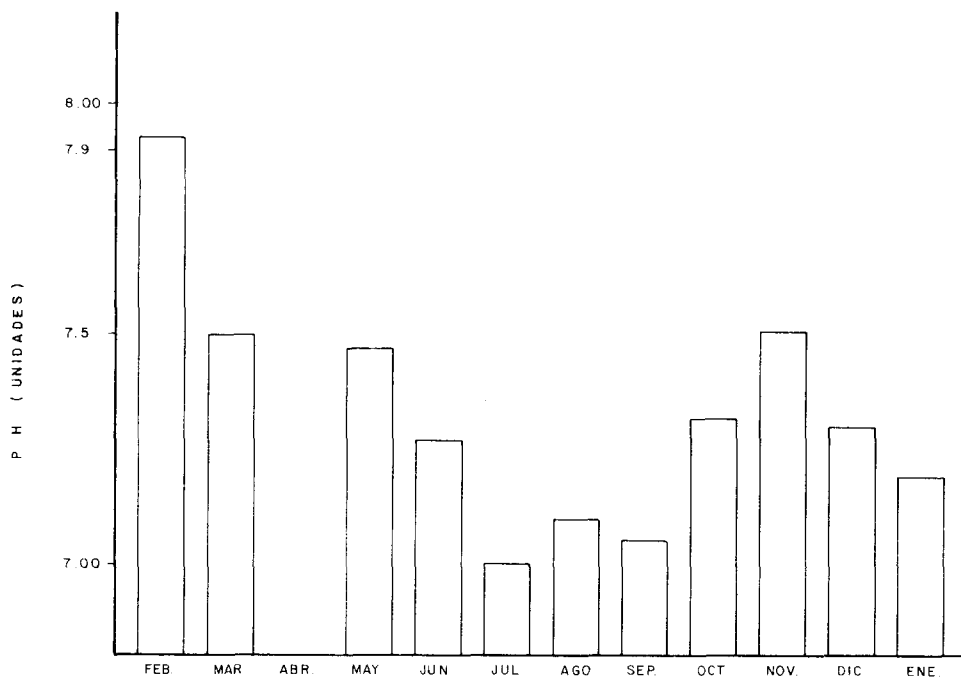


FIGURA 12. Variación anual de potencial hidrógeno promedio (pH) de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana, en el colector principal de la C.E.S.P.T. durante febrero de 1979 a enero de 1980.

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN TIJUANA

febrero pudiera deberse a una dilución de la materia orgánica o al arrastre de material terrígeno, debido a que el día del análisis llovía.

El pH también mostró un comportamiento inverso con respecto a la temperatura (Fig. 13) y a la DBO. En los meses de julio, agosto y septiembre se presentaron los valores máximos de DBO y temperatura y los mínimos de pH. Este mínimo de potencial hidrógeno se debe a que al aumentar la temperatura aumenta el metabolismo y desarrollo de las bacterias, tal como lo asienta Manahan (1972): aumentando la tasa de oxidación se observa una disminución en el pH.

La Tabla IV muestra una comparación del aporte "per cápita día" calculado con la

información obtenida para la ciudad de Tijuana, B.C. con los datos de otras ciudades dados por la bibliografía. Este aporte no es por individuo, sino a causa de todas las actividades de la comunidad. Los valores encontrados en la ciudad de Tijuana son muy bajos en comparación a los Estados Unidos; ello se debe a la diferencia en la cantidad de población servida por drenaje así como al distinto desarrollo industrial.

CONCLUSIONES

1. La cantidad de material orgánico (DBO) no es homogénea durante el año; en julio y septiembre el aporte es mayor.
2. Para los demás parámetros estudiados, generalmente la carga orgánica fue

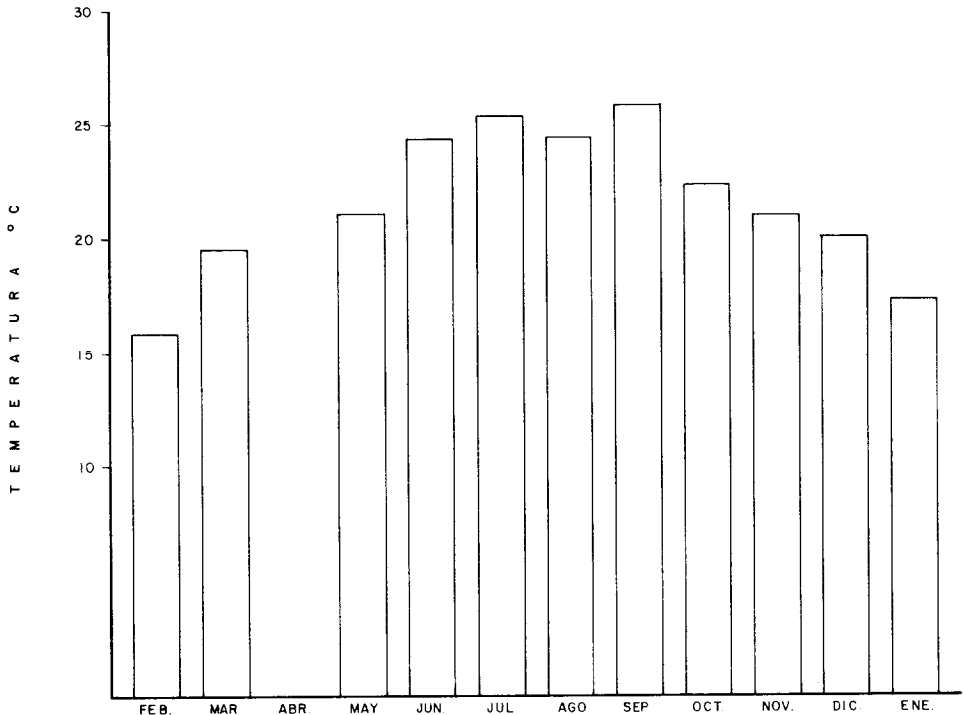


FIGURA 13. Variación anual de la temperatura promedio (T°C) de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana de el colector principal de la C.E.S.P.T., de febrero de 1979 a enero de 1980.

- homogénea durante el año y cuando existieron diferencias, fueron significativamente menores.
3. La proporción general de material orgánico e inorgánico encontrada para esta agua de desecho fue de 40 y 60% respectivamente (relación STV y STF).
 4. En este tipo de agua los valores de la DQO son mayores que los de la DBO.
 5. No se notó una influencia de la lluvia en la mayoría de los parámetros analizados, con excepción en la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos fijos (SSF) y en potencial hidrógeno (pH).

TABLA IV. Gramos/capita-día que aporta la población al afluente en la ciudad de Tijuana, B.C. y en otros lugares.

Parámetros	Condado y ciudad de Los Angeles, California a)	San Francisco California a)	Valor promedio en los Estados Unidos en 1961 b)	Tijuana, B.C.*
DBO	72.62	59.48	75.75	26.00
DQO	---	154.36	---	55.16
SST	73.55	45.40	91.72	30.79
GyA	11.80	14.98	---	9.27

a) Pearson, E.A. *et al.*, (1969)

b) Barnes, E.B. (1967).

LITERATURA CITADA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1976. Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater. 14th ed., pp 91, 94, 95, 125, 461, 518, 543 y 550.
- BARNES, G.E. 1967. Tratamiento de Aguas Negras y Desechos Industriales. 1ra. Edición. Ed.UTEHA: México, D.F., p. 7.
- CONSTABLE, W.T. and E.R. McBean 1979. BOD/TOC Correlation and their Application to Water Quality Evaluation. Water, Air and Soil Pollution, 3(1): 363-375.
- DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. 1976. Manual de tratamiento de aguas negras. 5ed. Ed. Limusa. México, D.F., pp. 15-39.
- DOWNIE, N.M. y R.W. Heath. 1973. Métodos Estadísticos Aplicados. 1ra. Edición Ed. Harla: México, D.F., pp. 197-201.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1976. Manual of Methods in Acuatic Environment and Monitoring of Water Pollution. Fisheries Technical Paper No. 137. Rome, Italy., p.238.
- FORD, D.L. 1976. Water pollution control in the petroleum industry. En: Hardm Singh Azad (ed), Industrial Wastewater Management Handbook. Mc-Graw-Hill; New York, N.Y., pp. 8.1-8.75.
- MANAHAN, S.E. 1972. Environmental Chemistry. 2da. ed. Willard Grant Press Boston. pp. 108.
- MANCY, H.K. 1972. Analytical problems in water pollution control. En: W.W. Meinke y J.K. Taylor (eds.). Analytical chemistry; Key to Progress on National Problems. Proceeding of the 24th. Annual Summer Symposium on Anal. Chemistry National Bureau of Standards. Special Publ. 351. Washington, D.C., pp. 356-357.
- NEGRETE Hurtado E., M. Pérez Delgado y E.P. Wilhelmy. 1980. Ordenamiento del Territorio Municipal de Tijuana, B.C. Tesis Profesional, Esc. de Arquitectura de la UABC; Mexicali, B.C., p. 131.
- ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD y Organización Mundial de la Salud. 1976. Riesgos del Ambiente Humano para la Salud. OPS y OMS (eds.).
- PEARCE, J.B. 1970. The effects of solid waste disposal on benthic communities in the New York Bight. Proc. FAO Tech. Cont. on Marine Poll., Rome, Italy.
- PEARSON, E.A. 1972. Marine Waste Disposal Systems. En: Billy L. Edge (ed). Coastal Zone Pollution Management; Proceeding of the Symposium. Southeast Region Environmental Protection Agency and College of Engineering, Clemson University, pp. 131-154.

VARIACION TEMPORAL DE LA CARGA ORGANICA EN TIJUANA

PEARSON, E.A., P.N. Storrs and R.E. Selleck. 1969. S.F. Bay Waste Discharges and Loading. En: Sanitary Engineering Research Laboratory; Berkeley, California (ed.). Vol. III, V.C. Comprehensive Study of San Francisco Bay, Final Reports Series, p. 23.

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1976. Análisis de Aguas y Aguas de Desecho, (Vol. I.) Subsecretaría de Planeación. 1era. Edición. pp. 41-116.

SNEDECOR, G.W. and W.G. Cochran 1977. Métodos Estadísticos. 4ta. Edición. Ed. CECSA: México, D.F., pp. 57.

SOKAL, R.R. and F.J. Rohlf. 1969. Biometry, W.H. Freeman and Co. (ed.), p. 61, 74, 156.

STEIMLE, F.W. Jr. and R.B. Stone. 1973. Abundance and Distribution of Inshore benthic fauna off Southern Western Long Island, NOAA-NMFS Tech. Rep. SSRF., p. 673

TEMPORAL VARIATION OF THE ORGANIC LOAD IN THE WASTEWATER OF THE CITY OF TIJUANA, BAJA CALIFORNIA MEXICO

By

Sergio Adolfo Sañudo Wilhelmy
Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California
México

y

Carlos Eugenio Suárez Vidal
Dirección de Pesca del Estado
Av. Ruiz No. 4-8 altos
Ensenada, Baja California
México

SAÑUDO-WILHELMY, S. A. and C. E. Suarez-Vidal. 1984. Temporal variation of the organic load in the wastewater of the city of Tijuana, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 10 (2): 119-128

INTRODUCCION

It is widely known that municipal sewages are an important source of pollution of the coastal zones. The marine ecosystem is affected in several ways by the introduction of these waters. The most affected by the modifications in their environment are benthic organisms (Pearson, 1972); there are changes in the relative abundance and the species diversity associated with a decrease in the stability of the population (Pearce, 1970; Steinle and Stone, 1973).

The sewage of the city of Tijuana, B.C., is unloaded into the Pacific Ocean without treatment of any kind. By means of a coastal current these waters are carried to the North, altering the quality of the beaches of Imperial Beach, Southern California, U.S.A. This creates a problem between the Governments of the United States and Mexico. Therefore, more information is needed about the characteristics of the wastewater of Tijuana.

The present study tries to estimate the temporal variation (monthly) of the organic load of the wastewaters of Tijuana, B.C., generated by the 43 % of its population (269,585 inhabitants) that in 1979 had sewer services (Negrete Hurtado *et al.*, 1980).

METHODOLOGY

The samples were taken in the principal sewage collectors of the Comision Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, B. C. (Fig. 1), from February, 1979 to January, 1980; during this time we examined a total of 11 semidiurnal variations (6:00-18:00 hours). The samples obtained to determine biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), grease and oils (G and O), total solids (TS), total volatile solids (TVS), total fixed solids (TFS), total suspended solids (TSS), fixed suspended solids (FSS) and volatile suspended solids (VSS) were stored at low temperature (0°C) and were later analyzed in the laboratory. Temperature (T°C), pH and settleable solids (SS) were determined *in situ*. We used the sampling techniques and the analysis recommended in the Manual of the American Public Health Association (1976).

Because the data obtained for each parameter were average estimations that according to Snedecor and Cochran (1977) tend to distribute normally, and because the homogeneity test of the "variance" between the different sampling months showed no significant results ($P < 0.05$), we made a parametric statistical analysis to analyze the medians by Student's *t* test, to a significance level of $\alpha = 0.05$ (according to Sokal and Rohlf, 1969).

TEMPORAL VARIATION OF THE ORGANIC LOAD IN TIJUANA

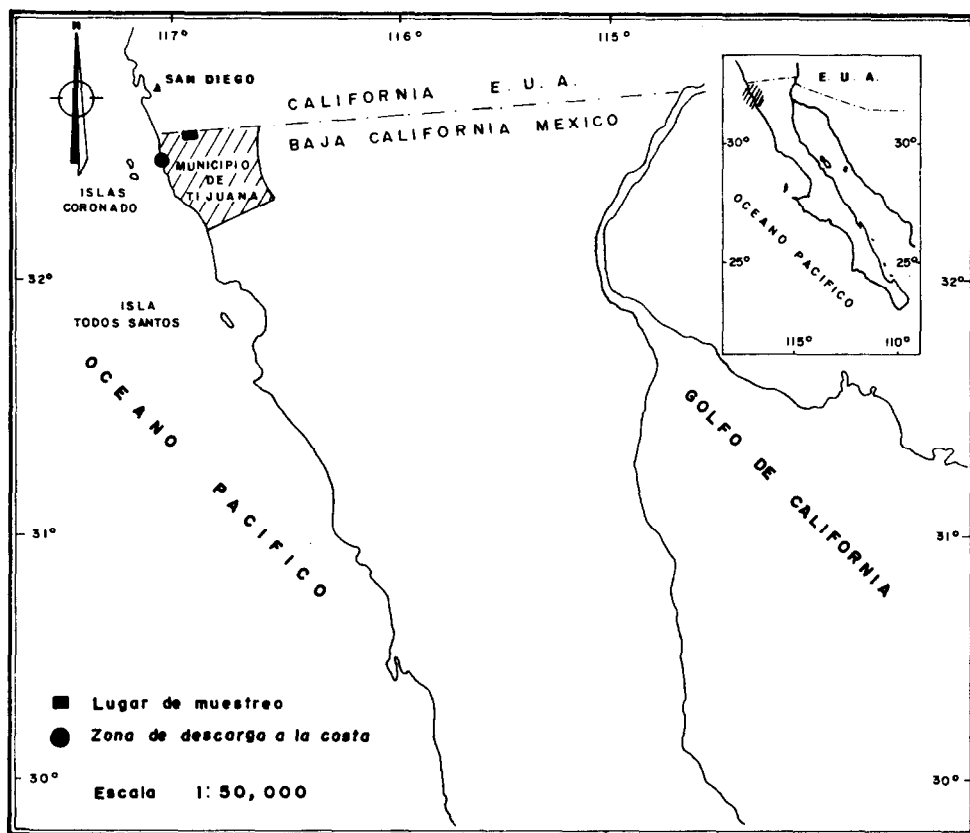


FIGURE 1. Location of Tijuana County, B. C. and of the sampling site for the estimation of the temporal variation of the city's organic load.

RESULTS AND DISCUSSION

The average values of each parameter for every month are shown in Tables I, II and III. These values were used for the Student's test. In the BOD analysis (Fig. 2) the values we found in July (378.85 mg l^{-1}) and September (462.33 mg l^{-1}) were significantly higher than those detected in other months. These maxima are due to the fact that the BOD bioassay test estimates the amount of biologically oxidable organic matter (Mancy, 1972; Food and Agriculture Organization, 1976; Panamerican Health Organization and World Health Organization, 1976) there was a greater contribution of organic material. This could be due mainly to the touristic activity that is higher in those months.

For COD (Fig. 3) the medians of February and August (524.03 and 538.83 mg l^{-1} respectively) were significantly lower than the other months. It is difficult to determine the real cause of these minima; Ford (1976) mentions that the test for the COD is independent of many of the factors that influence the BOD (type of substrate, incubation time, toxic agents), and defines it as an oxygen measurement equivalent to a chemical oxidation that not necessarily measures the same constituents as the BOD. Because not all organic matter is biologically oxidable (Constable and McBean, 1979), the COD estimates an amount of organic material as well as a certain amount of inorganic material such as sulfus, sulfites,

Sañudo-Suárez

TABLE I. BOD, COD and SS average values from February 1979 to January 1980, in mg l⁻¹, except for the SS in ml l⁻¹

Month	n*	BOD			COD			SS			G and O		
		mean	s.d.**	range	mean	s.d.	range	mean	s.d.	range	mean	s.d.	range
FEBRUARY	9	335.80	57.27	257.23-397.60	524.03	157.80	245.52-753.54	11.92	8.36	6.0-31.0	116.24	55.53	60.80-208.80
MARCH	12	290.72	47.22	164.80-348.60	768.68	111.88	546.75-908.00	7.33	1.85	3.5-10.0	124.49	76.61	65.20-325.00
MAY	13	294.21	40.86	172.59-336.14	598.32	261.18	113.13-1078.14	12.46	14.75	4.5-60.0	114.19	38.74	28.00-184.20
JUNE	7	285.11	52.79	184.70-350.00	793.89	320.27	294.23-1228.78	8.00	3.82	2.0-12.0	-----	-----	-----
JULY	7	373.86	131.50	147.47-483.00	552.90	208.69	221.46-789.58	8.19	4.57	1.8-15.0	97.02	20.96	58.60-293.40
AUGUST	7	348.14	68.16	277.71-476.00	538.87	154.81	290.50-799.92	6.60	1.77	3.0- 8.2	92.02	129.68	16.00-381.00
SEPTEMBER	6	462.33	57.48	402.00-539.00	743.25	100.35	634.34-855.55	9.08	1.28	7.0-11.0	130.80	49.65	82.80-224.20
OCTOBER	7	297.60	125.41	140.43-509.00	732.78	282.60	240.48-1078.55	8.14	3.65	2.0-13.0	125.31	53.08	38.00-190.00
NOVEMBER	7	326.69	99.56	153.93-422.50	918.74	265.74	561.60-1196.00	8.64	4.59	2.0-15.5	123.37	50.59	26.00-179.80
DECEMBER	7	284.39	83.45	159.86-384.44	657.14	308.89	196.00-998.00	10.86	6.39	2.0-20.0	120.67	56.25	33.00-183.40
JANUARY	7	284.60	47.38	180.00-312.72	749.60	130.06	548.75-910.50	10.04	4.52	3.0-16.8	110.53	38.20	78.00-190.00

n* number of observations
s.d.** standard deviation
+ n = ll

TABLE II. TS, TVS and TFS average values from February 1979 to January 1980 in mg l⁻¹.

Month	n*	TS			TVS			TFS		
		mean	s.d.**	range	mean	s.d.	range	mean	s.d.	range
FEBRUARY	9	1938.89	603.00	1250.0-3300.0	705.56	318.63	250.0-1200.0	1233.33	600.00	400.0-2500.0
MARCH	12	1859.25	142.96	1562.0-1995.0	742.20	95.67	515.0- 851.0	1116.95	97.51	968.0-1260.0
MAY	13	1888.46	220.15	1499.0-2225.0	701.07	150.99	489.0- 997.0	1187.38	193.85	897.0-1524.0
JUNE	7	1823.36	230.31	1591.0-2289.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
JULY	7	1907.86	510.37	1113.0-3037.0	776.93	215.94	456.0-1244.0	1130.93	299.19	650.0-1793.0
AUGUST	7	1810.52	184.24	1512.0-2096.0	716.52	215.94	502.0-1088.0	1093.00	119.59	857.0-1184.0
SEPTEMBER	6	1978.50	158.84	1760.0-2171.0	785.00	128.02	618.0- 922.0	1193.50	38.30	1142.0-1250.0
OCTOBER	7	1876.57	320.05	1312.0-2265.0	700.57	241.69	325.0-1078.0	1176.00	125.24	987.0-1350.0
NOVEMBER	7	1881.86	212.50	1555.0-2205.0	682.57	158.07	474.0- 871.0	1104.28	86.44	1053.0-1337.0
DECEMBER	7	2276.14	236.28	2052.0-2753.0	959.71	160.87	759.0-1255.0	1316.43	158.24	1080.0-1498.0
JANUARY	7	1870.06	147.91	1650.0-2050.0	804.93	179.69	530.0-1033.0	1065.13	152.88	828.0-1283.0

n*, s.d.** = detailed in Table I

chlorites, nitrates, and iron oxides subject to a chemical oxidation (Mancy, 1972; Ford, 1976). Considering that the content of organic matter (BOD) in February and August was almost the same as in other months (except for the concentrations of July and September), the minima were probably due to a decrease in the content of inorganic material in the wastes.

Although the values found for the SS were between 6.60 to 12.46 ml l⁻¹ and for

G and O between 92.02 and 130.08 mg l⁻¹ the statistical analysis did not show significant differences in the months as sampled (Fig. 4 and 5). This could be due to the fact that there were really no significant variations in the waste for the SS and G and O during the year, or that the statistical test we made was not enough to detect significant differences, making a statistical error of class II (Downie and Heath, 1973). This could be true because of the high values of the standard deviations shown on Table I;

TEMPORAL VARIATION OF THE ORGANIC LOAD IN TIJUANA

TABLE III. TSS, VSS and FSS average values from February 1979 to January 1980 in mg l^{-1}

Month	n*	TSS			VSS			FSS		
		mean	ds**	range	mean	s.d.	range	mean	s.d.	range
FEBRUARY	9	455.99	87.59	313.34-571.43	195.50	79.78	113.34-344.00	260.59s	57.05	200.00-371.43
MARCH	12	460.92	112.39	283.33-668.75	307.61	78.73	196.67-437.50	153.51	38.62	86.66-231.25
MAY	13	418.75	120.47	321.00-737.19	267.11	81.79	161.11-460.86	151.64	62.57	43.33-276.33
JUNE	7	277.21	138.99	140.00-471.79	148.19	87.78	59.46-278.52	129.02	79.77	62.50-297.44
JULY	7	367.01	142.95	80.00-610.00	290.09	134.34	46.00-545.00	76.92	30.92	14.62-110.00
AUGUST	7	423.27	85.97	283.00-555.00	362.30	90.62	215.00-490.00	60.97	24.14	16.80- 92.00
SEPTEMBER	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
OCTOBER	7	359.75	137.81	113.42-542.86	277.90	102.04	85.12-410.71	81.85	44.19	28.30-151.08
NOVEMBER	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
DECEMBER	3	644.03	190.31	425.50-773.30	546.67	157.99	367.50-666.00	97.37	35.46	58.00-126.80
JANUARY	7	310.60	110.77	150.10-478.50	201.11	77.86	99.80-315.00	106.49	41.49	50.30-163.50

n*, s.d.** detailed in Table I

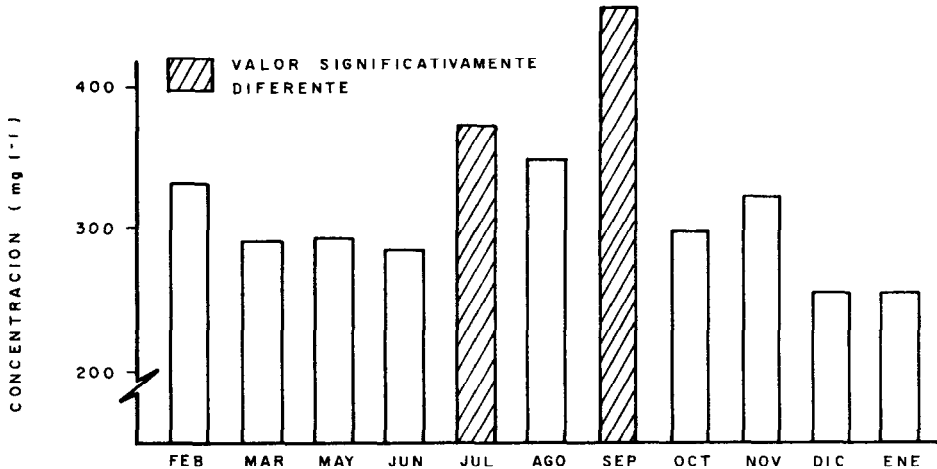


FIGURE 2. DBO average annual variation in milligrams per liter of the wastewaters of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

however, high values of the standard deviation can be natural for these parameters.

The values of TS, TVS, and TFS (Figs. 6, 7 and 8) presented a similar behavior. The medians for December (2276.14, 959.71 and 1316.43 mg l^{-1} respectively) were higher, to a significance level of $\alpha = 0.05$, with respect to the rest of the months sam-

pled. Due to the wide variety of inorganic and organic material found in the analysis for solids, the results are difficult to interpret with accuracy (Secretaria de Recursos Hidráulicos, 1976).

In every month the values of the TFS were higher than the TVS, with a 60 and 40 % proportion. The Department of

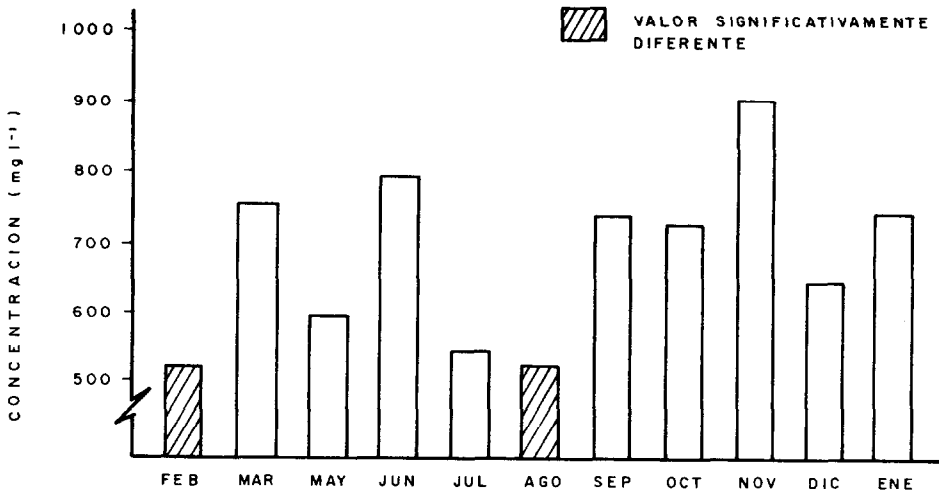


FIGURE 3. DQO average annual variation in milligrams per liter of the wastewaters of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

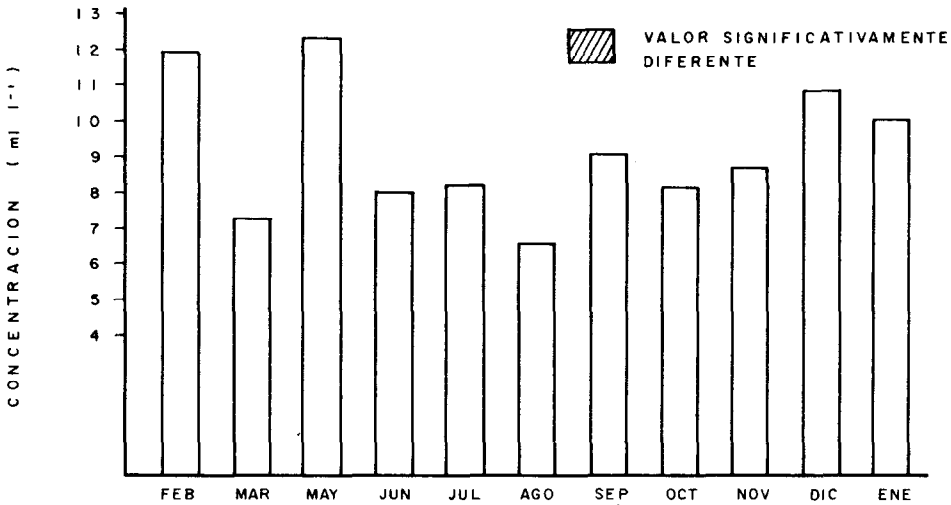


FIGURE 4. Settleable solids average annual variation in milliliters per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

Health of the State of New York (1976), considers the first as the inorganic portion and the second as the organic portion. Therefore, the inorganic material is higher, corroborating these as the highest values of

the COD over the BOD found in this type of water.

In the analysis of TSS and VSS (Figs. 9 and 10) the minimum values were in June

TEMPORAL VARIATION OF THE ORGANIC LOAD IN TIJUANA

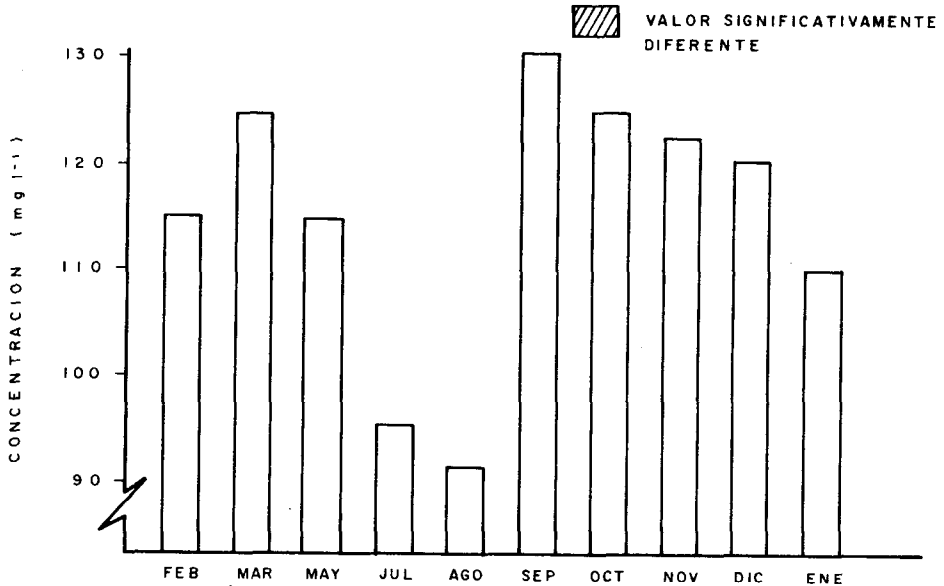


FIGURE 5. Grease and oils average annual variation in miligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

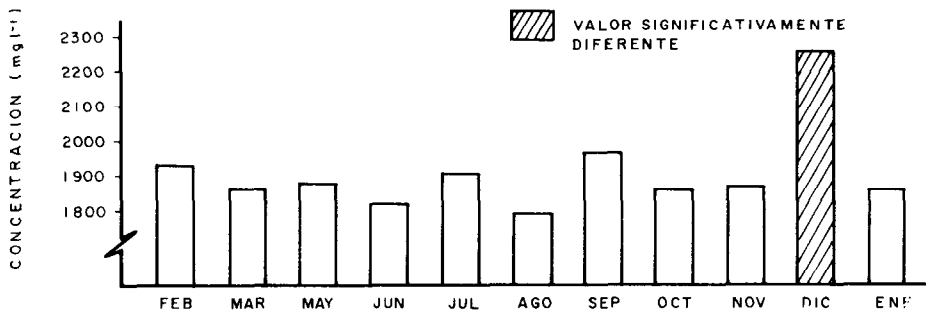


FIGURE 6. Total solids average annual variation in miligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

(277.21 mg l⁻¹ for TSS and 148.19 mg l⁻¹ for VSS). Student's t test showed that the values of June were significantly lower and the values of December were higher ($P < 0.05$), although the maximum in December for TSS is not considered very representative because the number of data used was very small ($n = 3$).

For the FSS (Fig. 11) the value detected in February (260.59 mg l⁻¹) was significantly higher while in August (60.97 mg l⁻¹) was significantly lower.

On the other months there were no significant differences. Only in February the values of the FSS were higher than the

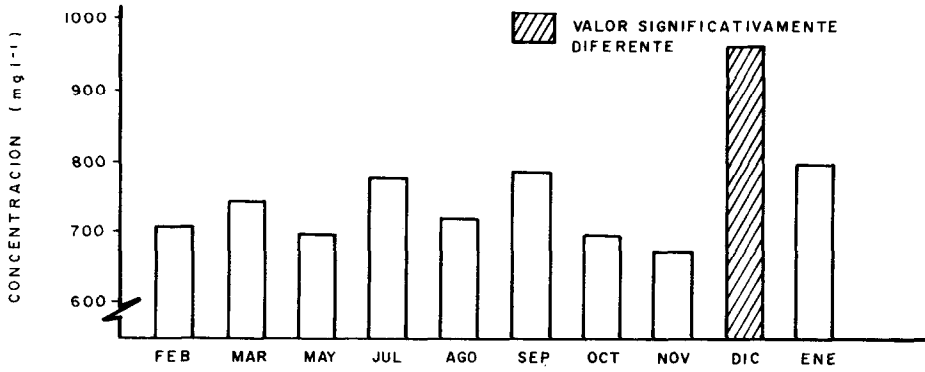


FIGURE 7. Total volatile solids average annual variation in milligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

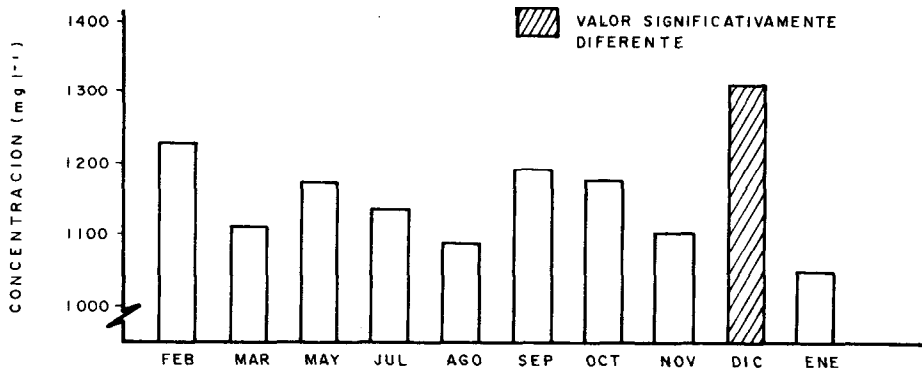


FIGURE 8. Total fixed solids average annual variation in milligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

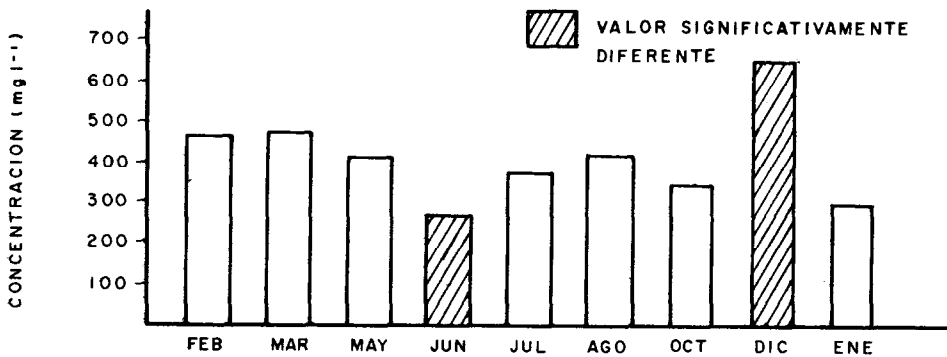


FIGURE 9. Total suspended solids average annual variation in milligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

TEMPORAL VARIATION OF THE ORGANIC LOAD IN TIJUANA

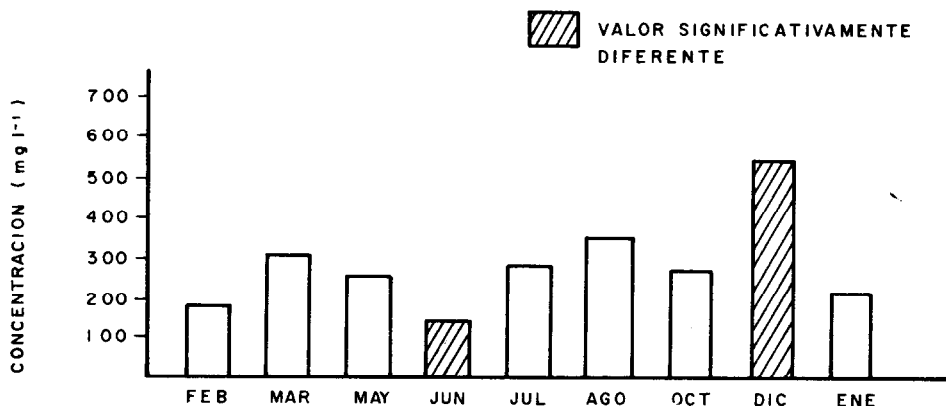


FIGURE 10. Volatile suspended solids average annual variation in milligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

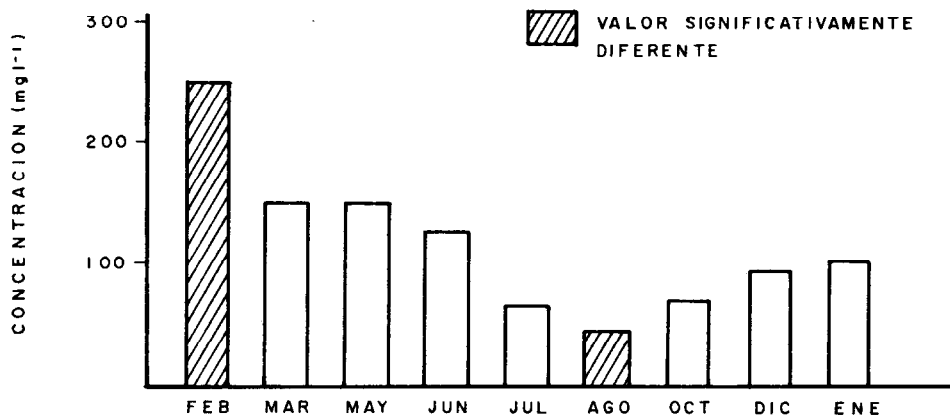


FIGURE 11. Fixed suspended solids average annual variation in milligrams per liter of the city of Tijuana, B. C., from February 1979 to January 1980.

values of the VSS. This is probably because it was raining on the day of sampling and the carried material could have had an influence in the proportions of these solids.

The pH (Fig. 12) presented values from neutral (7.0) in June, to a slightly alkaline (7.5) in November, except in February (7.9). This maximum in February could be due to a dilution of the organic matter or to the transport of earth material because of rain.

The pH also showed a behavior inverse to temperature (Fig. 13) and to the BOD. In July, August and September we found the maximum values for BOD and temperature and the minimum for pH. This pH minimum is present because when the temperature increases, metabolism and bacterial development increase too; as Manchan (1972) states: increasing the oxidation rate decreases the pH.

Table IV shows a comparison of the transport "per capita day" calculated with the information for the city of Tijuana.

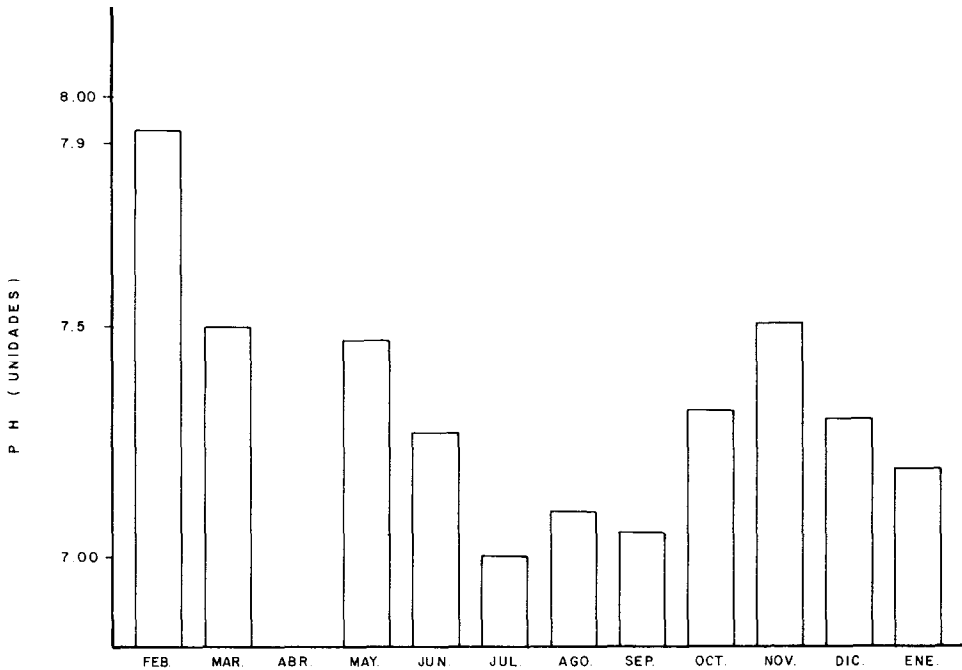


FIGURE 12. pH annual variation of the wastewaters of the city of Tijuana in the main sewage collector from February 1979 to January 1980.

B.C., with those for cities in the U.S. This transport is not calculated per individual but is due to all the activities of the community. The values found in Tijuana are very low compared to the values in the United States; this is due to the difference in the amount of population served per sewer and by the different industrial development.

CONCLUSIONS

1. The amount of organic material (BOD) is not homogeneous throughout the year; in July and September the transport is higher.
2. For the parameters, the organic load was generally homogeneous throughout the year; when there were differences, these were significantly minor.
3. The general proportion of organic and inorganic material found for this wastewater was 40 and 60 % respectively (TVS and TFS).
4. In this type of water the values for the COD are higher than the values for the BOD.
5. We didn't notice an influence of rain in most of the analyzed parameters, except in the COD, FSS and pH.

TEMPORAL VARIATION OF THE ORGANIC LOAD IN TIJUANA

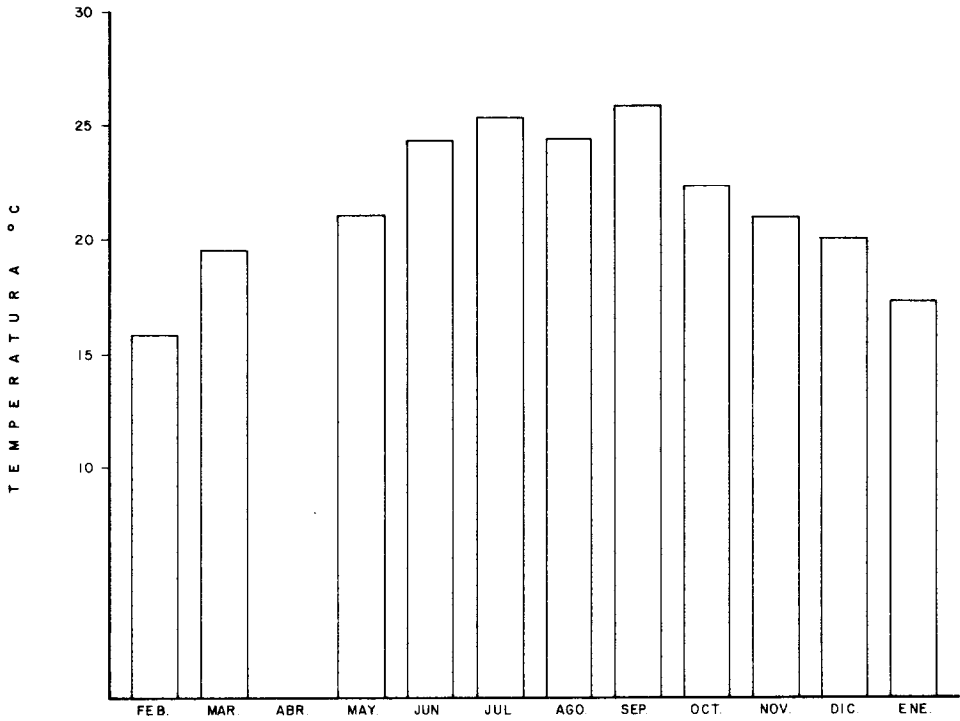


FIGURE 13. Annual variation of the average temperature of the wastewaters of the city of Tijuana in the main sewage collector from February 1979 to January 1980.

TABLE IV. Grams/capita-day that the population of the city of Tijuana contribute to the affluent and other places.

Parameters	County and city of Los Angeles, California	San Francisco California	Mean value in the U.S.A. in 1961	Tijuana, B.C.
BOD	72.62	59.48	75.75	26.00
COD	---	154.36	---	55.16
TSS	73.55	45.40	91.72	30.79
G & O	11.80	14.98	---	9.27