

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

TESIS

QUE EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA

ING. MARIA MAGDALENA DEL ANGEL SANCHEZ

MONTERREY, N. L.

JUNIO DE 1994

TM

Z6834

.C5

FIC

1994

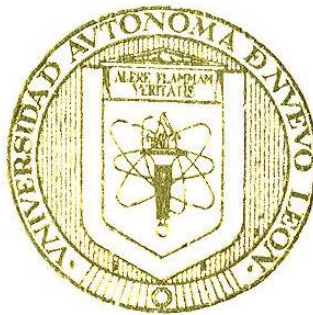
A5



1020091184

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

TESIS

QUE EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

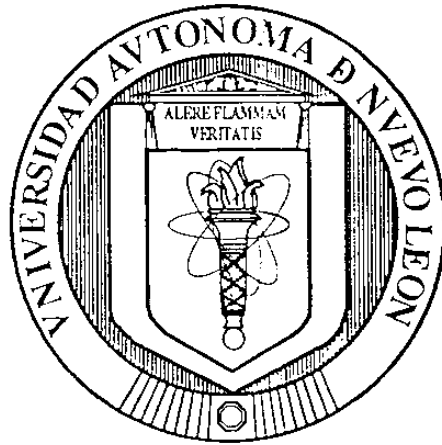
PRESENTA

ING. MARIA MAGDALENA DEL ANGEL SANCHEZ

MONTERREY, N. L.

JUNIO DE 1994

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

T E S I S

QUE EN OPCION AL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

P R E S E N T A

ING. MARIA MAGDALENA DEL ANGEL SANCHEZ

MONTERREY, NUEVO LEON.

JUNIO DE 1994

TM
Z6834
.C5
TIC
1994
A5



FONDO .TECIS

62791

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo económico que hizo posible la realización de mis estudios de maestría.

Al Dr. Febronio E. Chavarría Fernández, catedrático de la división de estudios de postgrado **FIC-UANL** por el asesoramiento durante el desarrollo de este estudio.

Al Ingeniero Oziel Chapa Martínez, secretario de estudios de postgrado **FIC-UANL** por su disponibilidad y apoyo en todo momento para la realización de este trabajo.

Al Ingeniero José Ignacio Rincón López, jefe del departamento de Geotecnia del Instituto de Ingeniería Civil, **FIC-UANL**, por las facilidades brindadas para el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Benjamín Limón Rodríguez, jefe del departamento de Ingeniería Ambiental **FIC-UANL** por autorizar la realización de pruebas experimentales en el departamento que representa.

Al Ingeniero Edelmiro García Garza por las facilidades proporcionadas para el muestreo en la planta de tratamiento de aguas residuales **COPROPIEDAD** del grupo **CYDSA**.

A la L.Q.I. Martha Herrejón Figueroa, catedrático de la división de estudios de postgrado, **FIC-UANL**, por las facilidades proporcionadas para la elaboración de pruebas de laboratorio.

A mis maestros :

Dr. Febronio E. Chavarría Fernández
Dr. Alejandro Ramírez Alcázar
M.C. Horacio González Santos
Ing. Oziel Chapa Martínez
Ing. Benito Muñoz Hernández
Ing. Ricardo Salgado Gutiérrez
Lic. Ricardo Pedraza García
L.Q.I. Martha Herrejón Figueroa
Q.B.P. Nelly Santos García

por los conocimientos transmitidos.

Al Ing. Elías Vázquez Godina por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros y amigos: Q.I. Osvaldo Vázquez González, Arq. Griselda Guerra García, Biol. Diana I. González L., Ing. Edna E. García G., Ing. Rafael Elizondo, Ing. Fidel Sánchez, Q.F.B. José de Jesús Escobar G., Ing. Amanda Navarro, Q.C.B. Leticia I. Lozano, y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA.

Con amor, gratitud y respeto a quienes siempre me han brindado su apoyo, cariño incondicional, por su comprensión, ejemplo e inculcar en mí la perseverancia.

A mis padres:

Sr. Ageo del Angel Burgos
Sra. Octavia Sánchez de Del Angel

Porque juntos hemos recorrido parte del camino hacia la formación académica, a quien siempre me ha alentado a la superación, por su comprensión y apoyo ilimitado.

Con amor a mi esposo:

Q.I. Ariel Santacruz Aguilar

A quien espero con mucho amor, deseando que en la vida logre grandes metas.

A mi bebé :

Con amor filial , por su comprensión y apoyo.

A mis hermanos:

*Elí, Rosalba, Sandra, Jesús, Ageo,
Karina , Zoila Flor, Ariel y su esposa
Blanca Flor.*

Por sus consejos y apoyo incondicional, con cariño

A mis tíos:

*Ing. pedro Carro Aguila
Sra. Zeferina Sánchez de Carro
y a mi prima Shirley.*

Por sus valiosos consejos

A mis abuelitos:

*Sr. Martín del Angel Valentín (+)
Sra. Aurelia Burgos Martínez*

*Sr. Ventura Sánchez Mar
Sra. Florinda Hernández Nava*

Con cariño y respeto

A mi suegra:

Sra. Reynalda Aguilar Gracia.

Por los momentos que hemos compartido.

A mi gran amiga:

Q.F.B. Sara de la Cruz Nava

Por su gran apoyo a mi llegada al estado de Nuevo León.

A la familia:

López Berlanga

Por la amistad que nos une .

A la familia :

Montoya Lázaro

CONTENIDO.

	Página.
RESUMEN	1
ANTECEDENTES	2
CAPITULO I INTRODUCCION	4
CAPITULO II OBJETTVO	6
CAPITULO III CONSIDERACIONES TEORICAS	7
3.1 Importancia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	7
3.2 Factores que Influyen en la Demanda Bioquímica de Oxígeno	7
3.2.1 Temperatura.	8
3.2.2 pH.	9
3.2.3 Aclimatación de la Semilla.	10
3.2.4 Toxicidad.	11
3.3 Variaciones de Therizult.	11
3.3.1 Cinética de la Descomposición Aeróbica.	11
3.3.2 Progreso de la Demanda Biológica de Oxígeno.	12
CAPITULO IV PARTE EXPERIMENTAL	16
4.1 Procedimiento General.	16
4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno	18
4.2.1 Ventajas y Desventajas de la DBO	18
4.3 Demanda Química de Oxígeno	19
4.3.1 Ventajas y Desventajas de la DQO.	20
4.4 Importancia de la Determinación de Sólidos.	21
CAPITULO V RESULTADOS, DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	22
5.1 Observaciones, Resultados y Discusiones.	22
5.2 Conclusiones y Recomendaciones	47
CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA	50
APENDICE	53

RESUMEN

El parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se usa para determinar la contaminación biológica del agua, midiendo los requerimientos de oxígeno demandados por una población de microorganismos, tanto en agua tratada como contaminada. También, se utiliza para determinar la eficiencia de un proceso de tratamiento de aguas y para dimensionar las instalaciones para el tratamiento de las mismas. Sin embargo, las limitantes encontradas a este parámetro, han originado estudios dirigidos a la investigación de un método más práctico, más preciso, y sobre todo más rápido, para utilizarse como parámetro indicador de contaminación en el agua.

La generación de datos para este trabajo, se llevó al cabo realizando análisis de laboratorio de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales Volátiles, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles y Sólidos Totales a 20 y 30 °C por un espacio de 30 días, a una muestra de agua residual doméstica; siguiendo la metodología de los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Con los datos generados, se siguió el progreso de la DBO con respecto a la DQO y los STV, con el propósito de dar una aportación al estudio del comportamiento de la DBO y a las posibles soluciones de sus limitantes.

ANTECEDENTES

La prueba de la DBO, se desarrolló originalmente como indicador de los efectos de las descargas tratadas de aguas residuales con respecto al oxígeno disuelto en los cuerpos receptores⁴, y su uso se generalizó como indicador de la concentración de sustrato biodegradable en el tratamiento de las aguas residuales. Para esta prueba, se ha aceptado como un estándar un periodo de incubación de 5 días y una temperatura de 20 ± 1 °C. La temperatura de 20 °C a la que se determina la DBO₅, es un valor medio para cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, siendo además relativamente fácil de obtener.

La British Commission of Sewage Disposal, popularizó el uso de la DBO₅ a 20 °C. La DBO₅ a 20 °C, se eligió porque ninguno de los ríos de Inglaterra tiene un tiempo de flujo hasta el mar mayor de 5 días, y la temperatura media del verano inglés es de 18.3 °C.¹⁷

Actualmente en diferentes países este parámetro se determina en las mismas condiciones de temperatura y tiempo de incubación, sin tomar en cuenta las condiciones ambientales propias del lugar. Lo más adecuado sería que la prueba se realice de acuerdo a las características de cada país o región, de esta manera los resultados serían más reales.

La literatura muestra el gran interés de diversos investigadores por determinar la DBO de manera rápida, eliminando muchas de sus limitantes.

Albert y Thomas³, determinaron un nuevo método rápido de caracterización de la materia orgánica, cuyo estudio se basó en la absorciometría de la luz ultravioleta y en la Ley de Beer-Lambert que dice: "La absorbancia es proporcional a la concentración del constituyente presente en la solución"; se midió la atenuación de la luz ultravioleta en un rango de 200 a 400 nm, y un espectrofotómetro se conectó a una microcomputadora IBM PC que graficó los resultados obtenidos en cuestión de segundos. El programa se denominó "Diagnóstico UV" y calcula el contenido orgánico, la fracción biodegradable y la concentración de nitratos.

Letessant y Haritchabalet⁶, determinaron la DBO instantánea, la cual estima el consumo total de oxígeno en lodos activados, con el fin de oxidar los compuestos fácilmente biodegradables. Para el estudio, utilizaron un respirómetro Manotherm RA-100, que permite tomar medidas instantáneas de la concentración de oxígeno disuelto en el líquido, y la aplicación de una fórmula que calcula el consumo de oxígeno en cualquier etapa de respiración de los lodos activados y la DBO instantánea de la prueba. Con este método se detectaron las diferentes etapas de respiración de los lodos activados.

Hickey and Nagels⁵ del Centro de Calidad del Agua de Nueva Zelanda, realizaron modificaciones y optimizaron las condiciones de operación de un sistema respirométrico para observar el progreso de la curva de la DBO y analizar la cinética de reacción. Efectuaron los cambios, debido a la necesidad de un sistema independiente de la presión atmosférica y a las fluctuaciones de temperatura, así como una alta sensibilidad a la producción de oxígeno y rápida transferencia de masa para disminuir déficits. Las modificaciones se efectuaron en un aparato YSI (Yellow Springs Instrument) modelo 57.

que se usó en un laboratorio durante dos años, para establecer la precisión comparada con la DBO_5 que fué de ± 0.5 .

Bird y Tech², determinaron los efectos de la nitrificación en la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, cuya aplicación se ha efectuado en la mayor parte de este siglo; sin embargo, se presentan diferentes reacciones bioquímicas en la purificación del agua, debido a que no todas las condiciones y variables de la prueba se pueden controlar, como la concentración de bacterias adicionada; por lo tanto, la concentración de sustrato causa la mayor variación en la mencionada prueba. El estudio consistió en comparar el progreso de la demanda carbonosa y la demanda carbonosa + nitrogenosa, cuya determinación de oxígeno disuelto se realizó mediante un electrodo; de esta manera, se estimó la demanda nitrogenosa de la muestra. Se hicieron pruebas de un tipo de agua durante 14 días consecutivos, y se concluyó que la prueba de la DBO es afectada por la nitrificación principalmente en muestras de agua residual cruda; en pruebas de DBO para agua tratada, la nitrificación no fué significativa.

Azziz y Tebbutt¹, realizaron un estudio a escala piloto, de un tratamiento de agua mediante un proceso de lodos activados; el agua en sus diferentes etapas de tratamiento, se analizó para efectuar correlaciones entre DBO, DQO y COT (Carbón Orgánico Total). Los resultados reportan una correlación significativa entre DQO y DBO, la cual puede variar con el tipo de tratamiento.

La DBO y el COT tuvieron una correlación significativa, sin embargo el equipo para la determinación del COT es de costo elevado. El COT y la DQO no presentaron una buena correlación.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La formación de los conglomerados urbanos, complicaron en forma notable el suministro de agua potable, debido a que los ríos se utilizaron simultáneamente como fuente de abastecimiento y como vehículo de transporte de desperdicios domésticos¹¹.

Al descargar cualquier tipo de agua residual doméstica, industrial y de agricultura en un cuerpo receptor, se producen cambios en él, ocasionando diversos efectos tales como mal sabor, olor desagradable, incremento o descenso de temperatura; estas condiciones del agua, traen como consecuencia la alteración de especies que habitan en el cuerpo receptor, la fauna acuática se asfixia por falta de oxígeno y además pueden causar diversas enfermedades en los humanos como cólera, tifoidea, disentería y fiebre amarilla. El déficit máximo de oxígeno depende de la interrelación de la utilización biológica de oxígeno y la reaeración.

Los sólidos orgánicos pueden crear depósitos de lodos que al descomponerse, ocasionan regiones de alta demanda de oxígeno e intensos olores.

A fin de evitar los efectos antes mencionados, antes de descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores, éstas deben ser tratadas adecuadamente para modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, al límite establecido por las normas nacionales e internacionales, para que así el cuerpo receptor no sufra un impacto ecológico superior; además, para que se produzca una autopurificación rápida.

Entre los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas, y en algunos efluentes industriales, se encuentran normalmente compuestos orgánicos biodegradables, que al ser desdoblados y consumidos por las bacterias, reducen el oxígeno disuelto en el agua.

Los parámetros principales que determinan la magnitud contaminante y las características de tratamiento de las aguas residuales son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el Oxígeno Disuelto (OD).

La prueba de DBO, se usa para determinar los requerimientos relativos de Oxígeno en agua contaminada. Sin embargo existe la limitante, que desde el laboratorio no pueden reproducirse las condiciones físicas, químicas y de flujo biológico de la DBO.

La DBO₅ tiene un amplio rango de aplicaciones, sin embargo posee una serie de limitantes tales como las siguientes:

- a) La necesidad de disponer de una alta concentración de bacterias activas y aclimatadas que se utilicen como inóculo.
- b) La necesidad de un pretratamiento de la muestra cuando haya residuos tóxicos en ella.
- c) La necesidad de reducir los efectos de los organismos nitrificantes.

- d) La necesidad de un periodo prolongado para obtener los resultados de la prueba.
- e) El ensayo no tiene validez estequiométrica una vez que la materia orgánica soluble presente en la solución haya sido utilizada.
- f) El periodo de cinco días puede o no corresponder al punto en el que la materia orgánica soluble presente haya sido utilizada.
- g) Una desventaja adicional de la determinación de la DBO_5 , es que los resultados no dan una indicación de la tasa más alta de oxígeno, a menos que ésta se determine en intervalos diarios durante un periodo de tiempo en lugar del estándar de cinco días.¹⁴

Las limitantes que presenta la DBO han originado diferentes estudios dirigidos hacia la investigación de un método que las elimine o disminuya, o su sustitución por un nuevo parámetro. Algunos de los investigadores que han discutido este tema son Dart (1977) y Eckenfelder & Ford (1970) . De manera similar, este trabajo pretende contribuir a que en un futuro, se determine un nuevo parámetro equiparable a la DBO y a reducir las limitantes mencionadas.

CAPITULO II ***OBJETIVO***

Objetivo.

Correlacionar los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno con otros parámetros como la DQO, STV, SSV, etc., para obtener una relación que sirva como inicio a investigaciones posteriores, que nos ayuden a determinar con mayor precisión los parámetros que influyen en la variabilidad de los resultados obtenidos de la DBO en el laboratorio.

CAPITULO III CONSIDERACIONES TEORICAS

3.1 Importancia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para controlar las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, y optimizar la eficiencia de las plantas de tratamiento, se debe determinar la cantidad de materia orgánica. Los parámetros que se usan para tales determinaciones son la DBO₅, DQO y COT.³ La capacidad de las bacterias para digerir la materia orgánica, se mide mediante la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.¹⁵

La determinación de la DBO, es una de las pruebas más importantes para conocer la capacidad de contaminación de los cuerpos receptores, y la fuerza contaminante de las aguas negras y los desechos industriales. La DBO, da una indicación de la cantidad de agua clara de dilución necesaria, para una evacuación satisfactoria de aguas negras por dilución.

3.2 Factores que Influyen en la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, se produce normalmente en el agua, por la materia orgánica disuelta y coloidal.

La determinación de la DBO, es una prueba empírica en la que se utilizan métodos estandarizados de laboratorio, para determinar requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes tratados y aguas contaminadas. La prueba mide el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de la materia orgánica, y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica como los sulfuros y el ion ferroso. Existen muchas variaciones de la determinación de la DBO. Entre ellos la medición de periodos de incubación más cortos y más largos.²³

Cabe mencionar, que la prueba de la DBO puede medir el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas de nitrógeno, a menos que se evite con el uso de un inhibidor químico. Esta oxidación, se considera una interferencia de la DBO porque la determinación del requerimiento de nitrógeno no es de utilidad para evaluar las necesidades de oxígeno asociado con la materia orgánica; aunque en la actualidad, con las nuevas regulaciones sobre descargas con nutrientes, se podría reconsiderar su utilidad.

Los factores más importantes que afectan el crecimiento biológico son la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, el suministro de oxígeno, el pH y la presencia de tóxicos. Los principales factores que influyen en la medición de la DBO son : la temperatura, el pH, la aclimatación de la semilla y la toxicidad.

3.2.1 Temperatura.

El incremento de temperatura acelera los procesos bacteriológicos y la tasa de utilización del oxígeno²⁰. Es decir, la tasa de velocidad de la reacción biológica, está en función de la temperatura.

Generalmente se determina la DBO de una muestra de agua residual a 20 °C; sin embargo, se puede determinar la constante de velocidad de reacción (K) a una temperatura distinta de 20°C, y para ello se utiliza un ecuación aproximada, derivada de la relación de Van't Hoff- Arrhenius.¹⁷

La función es la siguiente:

$$K_T = K_{20} \Theta^{(T - 20)}$$

Donde K_T y K_{20} son constantes de velocidad de reacción a la temperatura T (°C) y T_2 respectivamente, K_T y T son la corrección por temperatura. El valor de Θ (Coeficiente de temperatura) varía de la siguiente manera:

$$\Theta = 1.056 \text{ para temperaturas entre } 20 \text{ y } 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta = 1.135 \text{ para temperaturas entre } 4 \text{ y } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con frecuencia se utiliza un valor de 1.047 para Θ , sin embargo este valor no se aplica a temperaturas menores de 20°C. El valor de K varía con el tipo de residuo, y varía de 0.05 día⁻¹ a 0.3 día⁻¹ ó más. El valor típico para aguas contaminadas y aguas residuales es de 0.10 día⁻¹ para 20°C.¹⁷

Un valor de DBO₅ a 20 °C frecuentemente presentado para aguas residuales domésticas en países situados en la zona templada, es el de 200 mg/l con un valor de K de 0.10 día⁻¹²⁰. Sin embargo estos valores, no deben utilizarse indiscriminadamente, ya que pudieron haber sido válidos hasta hace unos 20 ó 25 años cuando las descargas domésticas no estaban influenciadas por descargas industriales. En la actualidad aún en descargas

consideradas como 100% domésticas, las estadísticas demuestran un incremento en DBO_5 , que en algunos casos ha llegado a ser hasta de 500 mg/l (AIPSA, Monterrey N.L.).

A pesar de que la prueba estándar especifica una temperatura de incubación que es de 20⁰ C, dadas las condiciones reales o de campo, a menudo se necesita la incubación a otras temperaturas. La ecuación anterior puede emplearse para estimar el efecto de la temperatura sobre la constante para la demanda carbónica.

3.2.2 pH.

Antes de inocular el agua de dilución, se debe tener especial cuidado en ajustar el pH del agua residual al rango de 6.5 a 7.5 para obtener valores confiables de la DBO. Ya que los microorganismos se desarrollan o sobreviven mejor en condiciones de pH neutro. En la figura 3.1 se muestran los efectos del pH sobre los resultados de DBO.

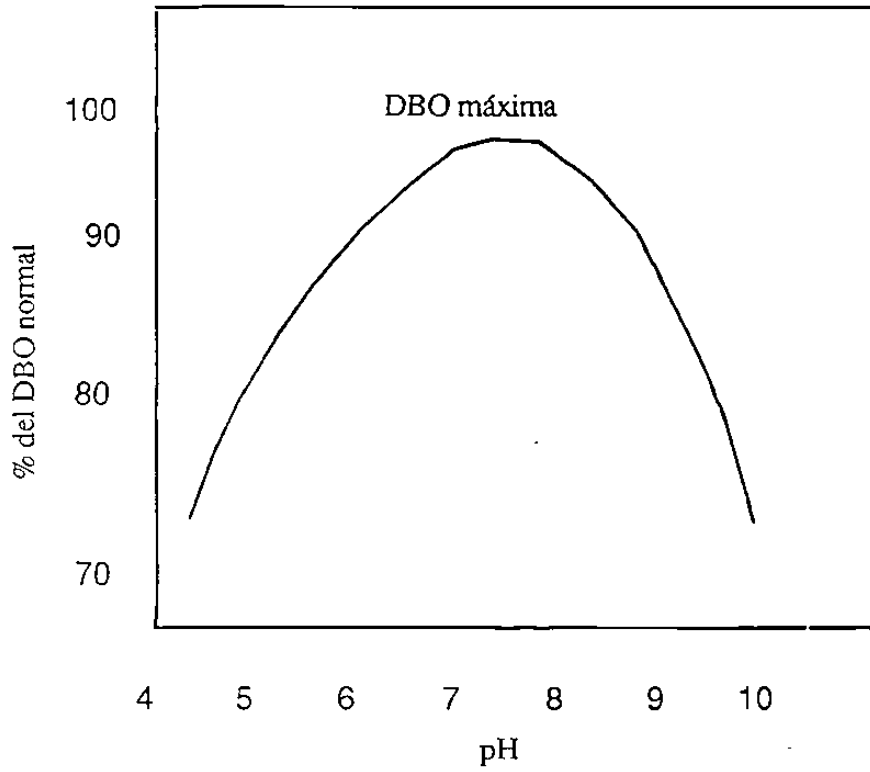


Figura 4.1 Efecto del pH en los resultados de la DBO.

3.2.3 Aclimatación de la Semilla.

La semilla de microorganismos. se utiliza para oxidar los desechos orgánicos, si los microbios no están presentes en la muestra de agua residual.¹⁶ En muestras que inicialmente carecen de flora y fauna adecuadas para activar las reacciones de la DBO, se experimentan periodos de retardo antes de que la reacción proceda normalmente¹⁴. Si es necesario, se verifica la inoculación con organismos de aguas negras⁸.

La utilización de semilla no aclimatada, o aclimatada a un tipo de desecho (principalmente en aguas industriales que contienen compuestos complejos), influye en la medición de la DBO siendo generalmente el factor responsable del error.

3.2.4 Toxicidad.

La presencia de materia tóxica altera el curso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, por lo que los resultados de la prueba no son reales y por lo tanto no aceptables.

Algunos compuestos metálicos causan una deflexión en el periodo inicial del progreso de la DBO. Esta varía con los diferentes metales, en el que probablemente los microorganismos se aclimatan a las condiciones particulares.⁹

El contenido de sustancias tóxicas en las muestras de agua residual, puede tener un efecto biotóxico en los organismos de la semilla, cuyo efecto se manifiesta incrementándose los valores de la DBO al aumentar la dilución de la muestra⁷. El efecto en la DBO, depende de la cantidad de materia tóxica contenida en la dilución apropiada. Para evitar interferencias en los resultados, se debe eliminar de la muestra de agua residual, el cloro residual y otras sustancias bactericidas⁸.

3.3 Variaciones de Theriault.

3.3.1 Cinética de la descomposición aeróbica.

Los organismos terrestres extraen el oxígeno de la atmósfera: en cambio los organismos

acuáticos, lo obtienen del oxígeno disuelto del agua. El agua contiene cerca de 0.8% de oxígeno en volumen a temperatura normal de 10 ° C, mientras que la atmósfera contiene alrededor de 21 % en volumen, por lo que el medio acuático es más sensible a las demandas de oxígeno¹³. Por lo tanto, la determinación del oxígeno disuelto en el agua, en relación con su valor de saturación y de la cantidad y velocidad de la **utilización del oxígeno (DBO)**; proporciona un medio rápido y útil para identificar el grado de contaminación del agua, e indirectamente la cantidad de **materia orgánica** sujeta a descomposición en un periodo de tiempo.

El agua solo puede absorber oxígeno, hasta llegar al grado de saturación correspondiente a la temperatura y presión atmosférica a la que se encuentre; la capacidad de saturación **desciende** a medida que aumenta la temperatura²².

La demanda de oxígeno puede ser tan alta que se consuma todo el oxígeno disuelto del agua; ésto causaría la muerte de todos los organismos aerobios de respiración subacuática y se desarrollaría fauna que utiliza el oxígeno combinado, tales como larvas e insectos que respiran aire atmosférico de la superficie mediante tubos.

Las masas de agua muy contaminadas, no contienen suficiente oxígeno en solución para mantener condiciones aeróbicas durante la descomposición y autpurificación¹². La presencia de la DBO en una masa de agua natural se debe a la descomposición de toda materia orgánica susceptible de pudrición.

3.3.2 Progreso de la demanda biológica de oxígeno.

En un agua residual que contenga oxígeno en la primera etapa de la degradación biológica, se produce la descomposición de los compuestos de carbono, que para una temperatura de 20 °C concluye al cabo de unos 20 días; a los 10 días, comienza la descomposición de los compuestos nitrogenados que dura 60 días más.

En la figura 3.2 se observa la cantidad de oxígeno requerido en diversos periodos y el efecto de la temperatura en el progreso de la DBO (De acuerdo a Theriault).

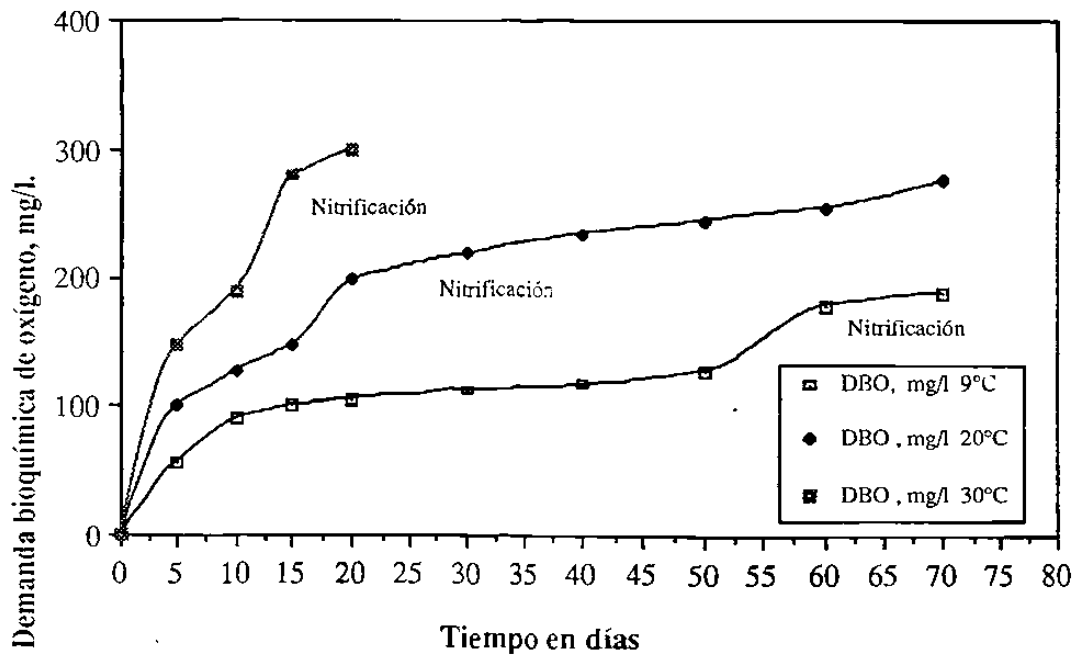


Figura 3.2 Progreso de la Demanda biológica de oxígeno (DBO) a 9, 20 y 30 °C. (De Theriault).

En la degradación de la materia orgánica a 20 °C, durante el primer día se gasta un 20.6% del total de la DBO, durante el segundo día un 20.6 % de la cantidad restante y así sucesivamente. El porcentaje de descomposición depende de la temperatura del agua residual, como se muestra en la tabla siguiente²²:

TABLA 3.1

TEMPERATURA °C	5	10	15	20	25	30
% DE DESCOMPOSICION ORGANICA	10.9	13.5	16.7	20.6	25.2	30.5

A mayor temperatura, la descomposición biológica se verifica más rápidamente.

El progreso de la DBO del agua recientemente contaminada, generalmente se verifica en dos etapas. Durante los primeros días, se lleva al cabo la primera etapa en la cual se oxida la materia carbonada (principalmente carbohidratos), y en la segunda etapa se oxidan las sustancias nitrogenadas; es decir, se produce la nitrificación. En la misma figura 3.2 se muestran las etapas de la DBO, que durante los primeros días las curvas son suaves mostrando la etapa carbonosa; posteriormente, la DBO se incrementa bruscamente como consecuencia de la nitrificación. En esta fase, el oxígeno se utiliza a una velocidad uniforme que se mantiene durante varios días.

En la figura 3.3 se muestran las etapas carbonosa y de nitrificación.

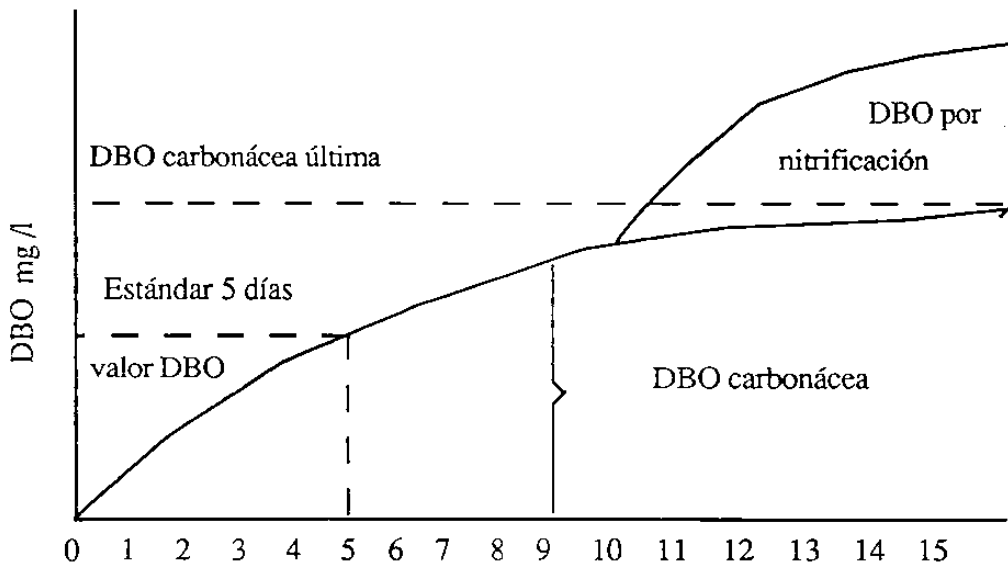


Figura 3.3 Reacción hipotética de la DBO, mostrando las curvas de demanda carbonácea y de nitrificación, se observa el progreso de la reacción biológica con el tiempo.

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

En el proyecto de tesis. se propuso correlacionar los valores de la DBO con otros parámetros entre los cuales se incluyen la Demanda Química de Oxígeno, los Sólidos Totales Volátiles (STV), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Totales (ST), medidos durante 30 días consecutivos. Para ello. se estableció el uso de dos temperaturas de incubación de los frascos de DBO y de la muestra de agua residual doméstica para las pruebas; las temperaturas elegidas, son la establecida oficialmente para la DBO de 20°C y la de 30°C para fines comparativos.

4.1 Procedimiento general.

A continuación se muestran los pasos que se siguieron para la realización de este trabajo.

1.- Muestreo.

La muestra se tomó el día 7 de mayo de 1993, a las 9:30 horas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Copropiedad del grupo CYDSA, la cual básicamente recibe aguas residuales domésticas de los colectores de la colonia Del Valle y de la calle Fidel Velazquez. La muestra fué de agua cruda, cuyo muestreo se realizó en el desarenador del sistema. La temperatura de la muestra fué de 24°C y el pH de 6.5.

2.- Distribución de la muestra.

Se muestreó un volumen total de 15 litros, que para fines prácticos se distribuyó en tres porciones.

a) 1 litro para evaluar la DBO a 20 y 30 °C.

b) 7 litros para evaluar la DQO y los sólidos a 20 °C.

c) 7 litros para evaluar la DQO y los sólidos a 30 °C.

- 3.- Determinación de la DQO, STV, SSV, SST y ST ; antes de incubar la muestra.
- 4.- Inoculación del agua de dilución para la DBO de ambas temperaturas (antes de la incubación).

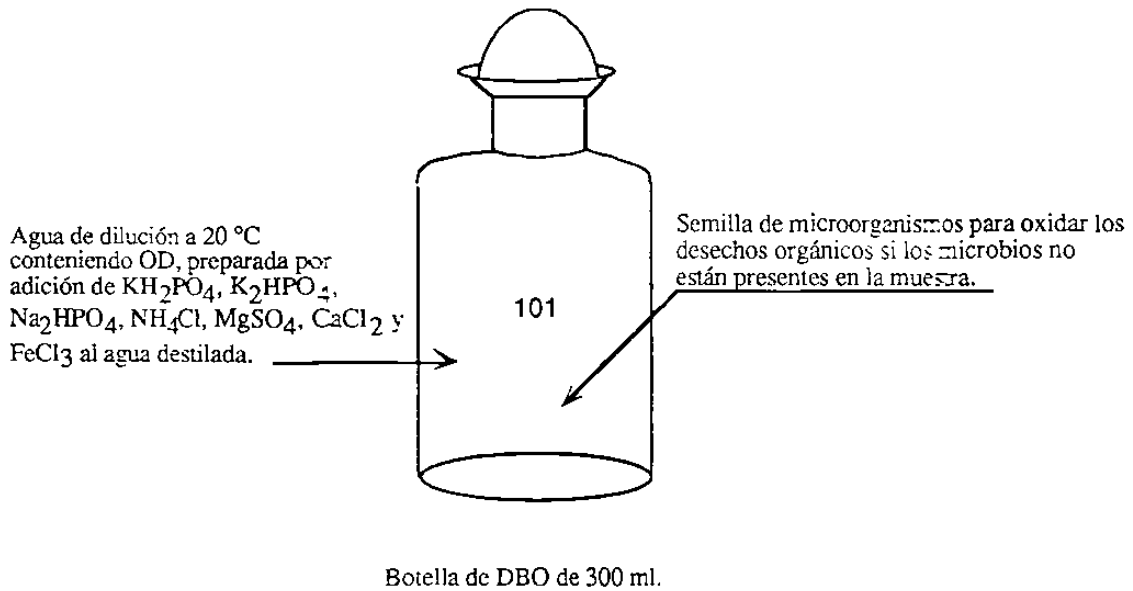


Figura 4.1 Nutrientes esenciales en la prueba de la DBO, son una medida de la cantidad de muestra de agua residual analizada.

- 5.- Incubación de las porciones de muestra de agua residual doméstica y de las botellas Winkler después de la inoculación a 20 y 30 °C respectivamente.

Después de llevar al cabo estas pruebas preliminares, se procedió a la incubación de las botellas Winkler a las temperaturas de 20 °C y 30 °C. Así mismo, cada una de las porciones de muestra de agua residual doméstica para determinar la DQO y los sólidos se incubaron a las temperaturas de 20 y 30 °C respectivamente.

A partir del día 9 de Mayo de 1993, se comenzó a determinar diariamente la DBO hasta el término del periodo de 30 días. De manera similar, diariamente se tomó una fracción de cada una de las muestras de agua residual doméstica incubadas a 20 °C y 30 °C, a las cuales se les determinó la DQO, STV, SSV, SST y ST durante 30 días.

4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La prueba de DBO mide la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización u oxidación de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio.²⁰

Existen tres métodos para la determinación de la DBO que dependen de la muestra y son:

- 1) Método directo.
- 2) Método de dilución.
- 3) Método de inoculación.

El método usado comunmente es el de dilución que se basa en que la velocidad de degradación bioquímica orgánica es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidada. Se selecciona una dilución en porcentaje de volumen de la muestra para siembra, se usa agua de dilución, y se incuba a 20 ° C.

4.2.1 Ventajas y desventajas de la DBO

Ventaja de la DBO.

- 1.- Este parámetro solo mide el contenido de productos orgánicos biodegradables.

Desventaja.

La prueba de la DBO_5 y la DBO última no estiman la verdadera concentración de sustrato en un agua residual.⁴ Las demás desventajas o limitantes de este parámetro se mencionan en la introducción (Cap. I).

4.3 Demanda Química de Oxígeno.

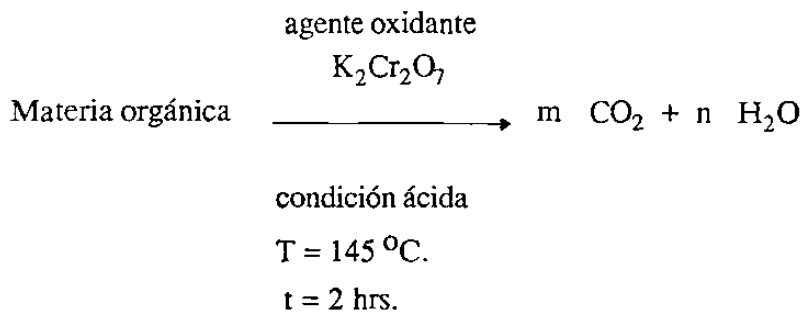
La Demanda Química de Oxígeno es una expresión del poder contaminante del agua, principalmente en aguas residuales que contienen compuestos tóxicos a los microorganismos respecto de la descomposición de la materia orgánica.²⁰

El método de reflujo con dicromato de potasio como agente oxidante se considera como Norma Oficial Mexicana.²⁴ La materia orgánica se destruye por ebullición en una mezcla de ácido crómico y ácido sulfúrico.

Este método se basa en que todos los compuestos orgánicos pueden oxidarse a CO_2 y agua, por acción en medio ácido de agentes oxidantes.²¹ Por esta razón, los valores de la DQO son mayores a la DBO, y están en proporción a la mayor o menor cantidad de materia orgánica resistente a la oxidación biológica. Este parámetro no diferencia entre materia orgánica putrefascible o no.

La muestra se refluja con cantidades conocidas de $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 , y el exceso o remanente de dicromato se titula con solución valorada de sulfato ferroso amoniacal. La porción de materia orgánica oxidable se mide como equivalente a oxígeno, que es proporcional al dicromato de potasio consumido.

La ecuación de la DQO es la siguiente:



4.3.1 Ventajas y desventajas de la DQO.

Ventajas.

El costo del equipo y el tiempo son menores en la prueba de la DQO y sus condiciones de oxidación son más efectivas al abarcar un mayor espectro de compuestos químicos principalmente en ciertos desechos con sustancias tóxicas, en donde la DQO puede ser el único método para determinar la carga orgánica del desecho.

Los resultados de la DQO, sumados al oxígeno equivalente para lograr la oxidación del amoníaco (NH_3) pasando a formar nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) y del nitrógeno orgánico (aminas, amidas, imidas, y los compuestos diazónicos), se consideran como una muy buena estimación de la DBO última para muchos desechos municipales domésticos.

En muchos casos es posible correlacionar la DQO con la DBO. Lo anterior puede resultar muy útil, ya que la DQO puede determinarse en 3 horas, mientras que la DBO requiere de un estándar de 5 días. Una vez establecida la correlación, pueden utilizarse las medidas de DQO, por ejemplo para el funcionamiento de una planta de tratamiento.¹⁷

Para muchos casos la prueba más práctica y más conveniente es la DQO, ya que se realiza rápidamente y puede usarse para describir los cambios en la concentración de sustrato y calcular la tasa de remoción de sustrato y la producción de biomasa.

Desventajas.

- 1) La prueba de la DQO no proporciona la velocidad de estabilización del desecho tal como ocurriría en la naturaleza por medio de la oxigenación de los microorganismos.
- 2) Algunos compuestos no son susceptibles a la oxidación dentro de las condiciones de la prueba de la DQO, o son demasiado volátiles para poder permanecer en el matraz sin ser oxidados a la temperatura elevada del sistema.
- 3) Ciertas sustancias inorgánicas como el hierro ferroso (Fe^{++}), sulfuros (S^-), sulfitos (SO_3^-), tiosulfatos (S_2O_3^-) y nitritos (NO_2^-), se oxidan bajo condiciones de la prueba, creando una DQO inorgánica. la cual interfiere cuando se estima el contenido orgánico de un agua residual.
- 4) Ciertos iones inorgánicos reducidos pueden ser oxidados en la prueba de la DQO y ocasionar resultados erróneamente altos.

Un punto muy importante que puede considerarse ventaja o limitación, es el que la prueba de la DQO oxida la materia orgánica sin importar su degradabilidad biológica.

4.4 Importancia de la Determinación de los Sólidos.

La determinación de la materia sólida en las aguas residuales es importante, y sobre todo de los sólidos que le comunican propiedades indeseables al agua.

Aún cuando los resultados de los residuos (total, fijo y volátil), están sujetos a errores apreciables a causa de la pérdida de compuestos volátiles durante la evaporación de bióxido de carbono y minerales volátiles durante la incineración, y de óxido de calcio en las cenizas; junto con los ensayos de DQO y DBO, la determinación de sólidos presenta los parámetros más representativos para conocer y estimar la materia mineral y orgánica de los desechos líquidos.²⁰

La materia orgánica se quema durante la incineración de la muestra, quedando como residuo la materia mineral; la pérdida de peso de los sólidos secos representa la materia orgánica.

Los sólidos volátiles son muy representativos y constituyen la mayor parte de los sólidos orgánicos presentes en el agua residual, por ello surgió el interés de efectuar estas pruebas al mismo tiempo que se realizaban la DBO y la DQO.

CAPITULO V **RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

5.1 Observaciones, Resultados y Discusiones.

Observaciones.

Se incubaron las botellas de DBO inoculadas y diariamente se determinó el oxígeno disuelto restante en las botellas para cuantificar la DBO. Así mismo, se incubaron muestras de agua residual a estudiar a 20 y 30°C para la determinación de la DQO y los sólidos. De las muestras estudiadas se hicieron las siguientes observaciones:

- 1) La muestra presentaba un color turbio al inicio del tiempo de pruebas, así como un olor fresco, típico de un agua residual doméstica.
- 2) Conforme pasaban los días, debido a la descomposición de la materia orgánica, la muestra empezó a tener un olor desagradable que aunque soportable, se hizo más intenso; la intensidad del olor empezó a disminuir a partir del 16avo. día de pruebas. Cabe mencionar, que el olor desagradable apareció primero para la temperatura de 30°C y días después para la temperatura de 20°C. El olor desapareció casi por completo al término del periodo de pruebas.
- 3) El aspecto de las muestras se tornó casi transparente al final de las pruebas comparado con el aspecto turbio del principio.
- 4) Para la muestra incubada a 30°C, la intensidad de olores empezó a disminuir del 12avo. día en adelante.

Resultados y Discusiones.

La literatura informa que la degradación de la materia orgánica a una temperatura entre 20 y 30 °C es de 20.6% y 30.5% respectivamente. Sin embargo en la práctica, específicamente en este trabajo, la teoría no se cumple, ya que el porcentaje de degradación de la materia orgánica en ambas temperaturas varía considerablemente, sin establecer un margen concreto para cada una de ellas.

Los Resultados de las Pruebas de Laboratorio se muestran en las Tablas 5.1 a 5.4. En estas tablas se muestran las fluctuaciones que existen en los resultados de las diferentes parámetros que se determinaron..

En las tablas 5.5 y 5.6 se muestran los porcentajes de error aproximados en los valores de DBO obtenidos en el laboratorio a 20 y 30 °C. Se determinaron los porcentajes de error para las diferentes diluciones de la DBO, éstos varían dentro de un rango muy amplio.

En las tablas 5.7 y 5.8 se muestran los resultados de DBO media y DBO a reportar a 20 y 30 °C. Los resultados de la DBO a reportar presentan grandes fluctuaciones y varían con respecto a la DBO media siendo los últimos resultados los más consistentes.

Se determinaron los valores de las constantes de velocidad de reacción K a 20 y 30°C (Tabla 5.9). Los valores de K a 20 °C están dentro del rango que marca la literatura, para 30°C no se pudieron comparar los valores de K , ya que no se encontró información.

Sin embargo se determinaron los valores teóricos de K a 30°C, para compararlos con los valores estimados experimentalmente, la determinación fué a partir de la ecuación :

$$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$$

$$K_{30} = K_{20} \Theta^{(30-20)}$$

Si $\Theta = 1.056$ entre 20 y 30 °C.

En la tabla 5.10 se reportan los resultados de los Coeficientes de Velocidad de Reacción o Coeficientes de Desoxigenación, obtenidos a partir de los valores de DBO a 20 y 30°C. Hay gran diferencia entre los valores de las constantes de velocidad de reacción K teóricos a 30 °C comparados con los valores de K determinados experimentalmente. Esto

nos hace ver que no se debe confiar en los valores teóricos de K, además de que en las constantes de velocidad de reacción influye la temperatura y el tipo de agua residual que se estudie; así que las constantes de velocidad de reacción se deben determinar experimentalmente para obtener resultados más confiables.

También se determinaron los valores del coeficiente de temperatura para las DBO entre 20 y 30°C en sus diferentes diluciones, para compararlos con el valor reportado por la literatura. Los valores de Θ se determinaron a partir del despeje de la ecuación siguiente:

$$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$$

$$\Theta = \sqrt[T-20]{\frac{K_{30}}{K_{20}}}$$

En la tabla 5.11 se muestran los resultados del coeficiente de temperatura teórico. El valor del coeficiente de temperatura teórico es igual al experimental solo para la DBO a dilución de 0.7 ml, el valor de Θ teórico para la DBO a dilución de 1.25 ml tiene pequeña diferencia comparado con el valor de Θ experimental, pero como se aplica en una ecuación exponencial, causa grandes errores. Los demás valores de Θ teórico difieren mucho del valor de Θ experimental. Esto nos lleva una vez más a decir que es mejor confiar en valores de Θ y de K determinados experimentalmente.

Se hizo una comparación de la teoría con los resultados del estudio, respecto al progreso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 20 y 30°C. En dicha comparación para diluciones iguales (Gráficas 5.1, 5.2 y 5.3), se obtuvo que a mayor temperatura el progreso de la DBO se verifica más rápidamente; asimismo, se observan las etapas carbonosa y de nitrificación para las DBO, a las diferentes diluciones a 20 y 30 °C.

De acuerdo a las gráficas del progreso de la DBO, en las cuales se muestran las dos etapas carbonosa y de nitrificación, al término de la segunda etapa empieza a descender la DBO; esta disminución es lógica, ya que los microorganismos mueren y la materia orgánica biodegradable comienza a estabilizarse sin demandar oxígeno.

De acuerdo a las gráficas (5.4 y 5.5) de comparación de la DBO en sus tres diluciones a 20 y 30°C, se obtienen resultados más consistentes a 30°C; probablemente debido a que a esta temperatura las bacterias se activan de manera más uniforme. También se observan las dos etapas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno: la carbonosa y la nitrogenosa. La primera es una curva ascendente y suave cuyo término e inicio de la segunda etapa está marcado por un cambio brusco dando origen a una curva muy pronunciada. También se pueden observar fluctuaciones en las tablas de resultados y en las curvas del progreso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, las cuales pueden deberse a errores experimentales o al impredecible comportamiento de los microorganismos ante diferentes factores.

A 30 °C se presenta la nitrificación para las tres diluciones; en la DBO a dilución de 1.25 ml, se observa el comienzo de la etapa endógena al término del periodo de pruebas, en cambio en la DBO a 20°C a la misma dilución se aprecia gran parte de esta fase.

En las mismas gráficas, se observa que el progreso de la DBO para la dilución de 0.7 y 1.25 ml a 20°C, así como para 1.0 ml y 1.25 ml a 30°C, desciende al término de la segunda etapa; este efecto es lógico, ya que de haberse continuado con el experimento se podría haber observado la etapa de decaimiento de los microorganismos.

Para la DBO a la dilución 0.7 ml a 30°C, la etapa de nitrificación continuó en ascenso hasta el término del periodo de experimento. Esto puede deberse a que al haber menor dilución, es menor el número de microorganismos en la muestra retardando el desarrollo poblacional de los microorganismos, dando como consecuencia que la materia orgánica se degrade en mayor tiempo.

En las gráficas 5.6 y 5.7 se hizo una comparación de resultados de DBO a 20°C y 30°C con sus diluciones 0.7 ml, 1.0 y 1.25 ml. Los valores de DBO a 20°C, son el resultado de las tres diluciones; es decir, en el laboratorio se realizan tres diluciones para obtener un resultado de DBO_5 y para cada dilución, éstos se comparan tomando en cuenta los valores más cercanos entre ellos; de manera que si existe la misma proporción entre los tres valores, se promedian y si alguno de ellos está más alejado de la media, se desecha tomando únicamente dos valores para reportar el resultado de la DBO_5 .

De esta manera, se determinaron los valores de DBO a 20 °C y 30 °C. También se observa

el error que existe con las diluciones comparado con el resultado general de la DBO que se reporta, lo mismo sucedería si se tomara una sola dilución.

En la gráfica 5.8 se comparan los resultados de DBO a reportar a la temperatura de 20 °C y 30 °C; se observan fluctuaciones en ambas curvas, es decir; los valores no llevan una secuencia uniforme, por lo que es difícil confiar en estos valores.

Por otra parte, se determinó la desviación estándar y la media aritmética de las tres diluciones de DBO de cada temperatura.

Se graficaron los valores de DBO a reportar a las temperaturas de 20 y 30 °C y media de DBO a 20 y 30 °C para comparar los resultados respectivos (Gráficas 5.9 y 5.10). Para ambas temperaturas, se observa una curva del progreso de la DBO más consistente y más representativa, tomando las tres diluciones, como se aprecia más claramente en la gráfica 5.11. Así mismo, se observa que los puntos en que empieza a descender la intensidad de olores de las muestras de agua residual doméstica incubadas a 20 y 30°C, se presentan días después de haber comenzado la nitrificación, esto significa que la materia orgánica se ha estabilizado, así como la mayor parte de los compuestos nitrogenados.

Las gráficas 5.12 y 5.13 representan la Demanda Química de Oxígeno contra tiempo a las temperaturas de 20 y 30 °C respectivamente. Los resultados muestran unas curvas que tienden a disminuir conforme transcurre el tiempo, esto se atribuye a la actividad metabólica de los microorganismos ya que van degradando la materia orgánica. Mientras la DQO decrece la DBO se incrementa respecto al tiempo.

Un aspecto muy importante de señalar, es un pequeño brinco que presenta la DQO en los primeros días de pruebas, y que se presenta nuevamente en etapas posteriores; esto sucede a ambas temperaturas de 20 y 30 °C. Este pequeño salto se presenta (gráfica 5.12) primero aproximadamente a los 7 días; el siguiente, se presenta el 21avo. día encontrando su punto máximo al 23avo. día. Este hecho coincide con la interfase de las etapas carbonosa y nitrogenosa de la DBO y con el otro punto máximo de la nitrificación en la DBO (media o promedio) a 20°C (gráfica 5.16); lo mismo sucede para la DBO en sus tres diluciones (Gráfica 5.14). En la gráfica 5.13 ocurre algo similar, este hecho se presenta primero al 6avo. día aproximadamente y el siguiente en los puntos del 19avo. al 22avo. días; este último coincide a con el punto máximo de la etapa de la nitrificación para las DBO media y a 30°C en sus tres diluciones (gráficas 5.15 y 5.17). Estos puntos se deben tomar en cuenta porque pueden significar el cambio de fases en el progreso de la DBO.

En las gráficas 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21, se muestra el comportamiento de los sólidos con respecto al tiempo. La concentración de éstos para ambas temperaturas es descendente con respecto al transcurso del tiempo, siendo este efecto más marcado para los STV ya que incluyen la materia orgánica; el factor de correlación que presentan es bajo pero mayor que el de los demás sólidos.

Se efectuaron diversas correlaciones de la DQO, STV, SST, SSV y ST con la DBO en sus diferentes diluciones sin obtener resultados satisfactorios, a excepción de las realizadas entre la DBO y DQO. Las mejores correlaciones que se obtuvieron son de la Demanda Química de Oxígeno con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (media o promedio) a 20 y 30 °C, cuyos factores de correlación fueron de 0.889 y 0.956 respectivamente. En las gráficas 5.22 y 5.23 se muestran las mejores correlaciones que se obtuvieron .

**TABLA 5.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DQO
Y DBO A 20°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS**

TIEMPO (Días)	DQO A 20 °C	DBO A 20 °C	DBO A 20 °C	DBO A 20 °C
		Dil. 0.7 ml	Dil. 1.0 ml	Dil 1.25 ml
1	595.680	260.860	181.810	216.340
2	589.840	260.860	272.720	216.340
3	572.320	391.300	363.630	288.460
4	560.640	652.170	363.630	288.460
5	560.640	1043.470	399.930	384.610
6	432.980	478.260	545.450	480.760
7	687.640	652.170	424.240	504.800
8	450.520	652.170	696.960	408.650
9	403.430	782.600	666.660	456.730
10	416.880	869.560	757.570	456.730
11	407.460	1217.390	878.780	480.760
12	398.110	1340.340	1060.600	456.730
13	366.330	1347.800	1121.210	528.840
14	349.600	1521.730	1242.420	576.920
15	319.200	1565.210	1181.810	600.960
16	342.140	1608.690	1212.120	673.070
17	317.500	1695.650	1151.510	745.190
18	293.360	1695.650	1303.030	769.230
19	282.840	1521.730	1484.840	913.460
20	281.200	1608.690	1484.840	913.460
21	275.610	1478.260	1484.840	1033.650
22	280.010	1695.650	1484.840	1129.800
23	287.580	1695.650	1212.120	1274.030
24	264.880	1695.650	1393.930	1298.070

**TABLA 5.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DQO
Y DBO A 20°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

Continación

TIEMPO (Días)	DQO A 20 °C	DBO A 20 °C Dil. 0.7 ml	DBO A 20 °C Dil. 1.0 ml	DBO A 20 °C Dil 1.25 ml
25	247.800	1695.650	1242.420	1201.920
26	232.320	1739.130	1181.810	1105.7602
27	224.570	1826.080	1212.120	1129.800
28	215.260	1608.690	1151.510	1057.690
29	222.500	1608.690	1303.030	913.460
30	214.360	1652.170	1484.840	913.460

**TABLA 5.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DQO y
DBO A 30°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

TIEMPO (Días)	DQO A 30 °C	DBO A 30 °C Dil. 0.7 ml	DBO A 30 °C Dil. 1.0 ml	DBO A 30 °C Dil 1.25 ml
1	654.080	391.300	363.630	360.570
2	589.840	521.730	363.630	360.570
3	519.760	521.730	454.540	432.690
4	531.440	652.170	545.450	504.800
5	490.560	695.650	606.060	552.880
6	499.480	1043.470	939.390	649.030
7	409.030	1304.340	1000.000	745.190
8	363.580	1391.300	1030.300	985.570
9	308.250	1434.780	1181.810	769.230
10	339.680	1565.210	1242.420	937.500
11	330.580	1652.170	1303.030	1129.800
12	306.240	1652.170	1424.240	1105.780
13	290.010	1652.170	1363.630	1153.840
14	281.200	1695.620	1363.630	1153.840
15	266.000	1739.130	1424.240	1225.960
16	248.830	1869.560	1484.840	1250.000
17	240.060	2043.470	1515.150	1250.000
18	239.320	1913.040	1545.450	1250.000
19	213.690	1956.520	1545.450	1322.110
20	235.600	1869.560	1636.360	1274.030
21	244.990	1956.520	1575.850	1394.230
22	234.600	2173.910	1636.360	1346.150
23	234.600	1782.600	1666.660	1442.300
24	227.040	2260.860	1636.360	1490.380
25	216.830	2217.390	1606.060	1153.840

**TABLA 5.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DQO y
DBO A 30°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

Continuación

TIEMPO (Días)	DQO A 30 C	DBO A 30 °C Dil. 0.7 ml	DBO A 30 °C Dil. 1.0 ml	DBO A 30 °C Dil 1.25 ml
26	209.080	2217.390	1515.150	1225.960
27	201.340	2478.260	1484.840	1201.940
28	199.800	2478.260	1575.750	1346.150
29	192.200	2608.690	1575.750	1370.190
30	168.430	2695.650	1575.750	1370.190

**TABLA 5.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE SOLIDOS
A 20°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

TIEMPO (Días)	ST 20 °C	STV 20 °C	SST 20 °C	SSV 20 °C
1	946.0	452.0	25.0	218.0
2	924.0	386.0	236.0	180.0
3	878.0	366.0	230.0	184.0
4	896.0	370.0	250.0	192.0
5	890.0	336.0	326.0	202.0
6	870.0	364.0	204.0	154.0
7	850.0	344.0	188.0	164.0
8	782.0	304.0	210.0	144.0
9	808.0	286.0	230.0	150.0
10	834.0	340.0	118.0	150.0
11	790.0	378.0	284.0	182.0
12	778.0	290.0	192.0	122.0
13	796.0	386.0	200.0	124.0
14	760.0	224.0	162.0	110.0
15	788.0	338.0	184.0	134.0
16	768.0	220.0	158.0	78.0
17	790.0	296.0	204.0	15.0
18	708.0	254.0	152.0	90.0
19	772.0	242.0	162.0	116.0
20	698.0	226.0	156.0	114.0
21	788.0	268.0	186.0	108.0
22	772.0	268.0	176.0	118.0
23	772.0	268.0	166.0	128.0

**TABLA 5.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE SOLIDOS
A 20°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

Continuación

TIEMPO (Días)	ST 20 °C	STV 20 °C	SST 20 °C	SSV 20 °C
24	764.0	224.0	156.0	120.0
25	764.0	246.0	180.	120.0
26	706.0	128.0	164.0	98.0
27	750.0	246.0	156.0	110.0
28	734.0	244.0	194.0	146.0
29	730.0	240.0	170.0	124.0
30	728.0	220.0	146.0	104.0

**TABLA 5.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE SOLIDOS
A 30°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

TIEMPO (Dias)	ST 30 °C	STV 30 °C	SST 30 °C	SSV 30 °C
1	920.0	480.0	218.0	202.0
2	834.0	348.0	234.0	192
3	794.0	306.0	224.0	192.0
4	832.0	354.0	216.0	134.0
5	806.0	294.0	206.0	106.0
6	766.0	282.0	194.0	132.0
7	784.0	292.0	174.0	136.0
8	740.0	268.0	170.0	116.0
9	776.0	286.0	194.0	114.0
10	762.0	254.0	174.0	114.0
11	770.0	314.0	148.0	130.0
12	702.0	248.0	156.0	102.0
13	750.0	344.0	176.0	108.0
14	696.0	262.0	130.0	92.0
15	728.0	258.0	160.0	134.0
16	728.0	190.0	112.0	78.0
17	762.0	264.0	162.0	122.0
18	700.0	222.0	120.0	88.0
19	746.0	216.0	136.0	98.0
20	710.0	218.0	132.0	94.0
21	768.0	236.0	150.0	74.0
22	746.0	222.0	154.0	110.0

**TABLA 5.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE SOLIDOS
A 30°C EN UN PERIODO DE 30 DIAS.**

Continuación

TIEMPO (Dias)	ST 30 °C	STV 30 °C	SST 30 °C	SSV 30 °C
23	904.0	224.0	130.0	110.0
24	734.0	192.0	148.0	110.0
25	728.0	248.0	174.0	110.0
26	744.0	172.0	150.0	92.0
27	744.0	254.0	148.0	102.0
28	680.0	220.0	130.0	90.0
29	808.0	220.0	162.0	102.0
30	590.0	218.0	134.0	96.0

**TABLA 5.5 PORCENTAJES DE ERROR EN LOS VALORES DE DBO A 20 °C
OBTENIDOS EN EL LABORATORIO**

TIEMPO	20 °C								
	Y = a + bx, a= 404.95, b= 54.20, r= 0.886			Y = a + bx, a= 284.48, b= 48.14, r= 0.944			Y = a + bx, a= 172.90, b= 34.90, r= 0.81		
Días	DBO 0.7 ml	DBO Corre- gido	% Error	DBO 1.0 ml	DBO Corre- gido	% Error	DBO 1.25 ml	DBO Corre- gido	% Error
1	260.860	459.15	-43.18	181.810	333.63	45.50	216.340	207.81	4.10
2	260.860	513.35	-49.18	272.720	382.78	28.75	216.340	242.71	-10.86
3	391.300	567.55	-31.05	363.630	431.93	84.18	288.460	277.62	3.90
4	652.170	621.75	4.89	363.630	481.07	24.41	288.460	312.52	-7.69
5	1043.470	675.96	54.36	399.930	530.22	24.57	384.610	347.43	10.70
6	478.260	730.16	-34.49	545.450	579.37	5.85	480.760	382.33	25.74
7	652.170	784.36	-16.85	424.240	628.52	32.50	504.800	417.24	20.98
8	652.170	838.56	-22.22	696.960	677.66	2.84	408.650	452.14	-9.61
9	782.600	892.77	-12.34	666.660	726.81	-8.27	456.730	487.05	-6.22
10	869.560	946.97	-8.17	757.570	775.96	-2.36	456.730	521.95	-12.49
11	1217.390	1001.17	21.59	878.780	825.11	6.50	480.760	556.86	-13.66
12	1340.340	1055.37	27.00	1060.600	874.25	21.31	456.730	591.76	-22.81
13	1347.800	1109.57	21.47	1121.210	923.40	21.42	528.840	626.67	-15.61
14	1521.730	1163.78	30.75	1242.420	972.55	27.82	576.920	661.58	-12.79
15	1565.210	1217.98	28.50	1181.810	1021.70	15.67	600.960	696.48	-13.71
16	1608.690	1272.18	26.45	1212.120	1070.85	13.19	673.070	731.39	-7.97
17	1695.650	1326.38	27.84	1151.510	1119.99	2.81	745.190	766.29	-2.75
18	1695.650	1380.59	22.82	1303.030	1169.14	11.45	769.230	801.20	-3.99
19	1521.730	1434.79	6.11	1484.840	1218.29	21.87	913.460	836.10	9.25
20	1608.690	1488.99	8.03	1484.840	1267.44	17.15	913.460	871.01	4.87
21	1478.260	1543.19	-4.20	1484.840	1316.58	12.78	1033.650	905.91	14.10
22	1695.650	1597.40	6.50	1484.840	1365.73	8.72	1129.800	940.82	20.08
23	1695.650	1651.60	2.66	1212.120	1414.88	-14.33	1274.030	972.72	30.57
24	1695.650	1705.80	-0.59	1393.930	1464.03	-4.78	1298.070	1010.63	28.44
25	1695.650	1760.00	-3.65	1454.540	1513.17	-3.87	1201.920	1045.53	14.95

**TABLA 5.5 PORCENTAJES DE ERROR EN LOS VALORES DE DBO A 20 °C
OBTENIDOS EN EL LABORATORIO**

Continuación

TIEMPO	20 °C								
	Y = a + bx, a= 404.95, b= 54.20, r= 0.886			Y = a + bx, a= 284.48, b= 49.14, r=0.944			Y = a + bx, a=172.90, b= 34.90, r= 0.91		
Días	DBO 0.7 ml	DBO Corre- gido	% Error	DBO 1.0 ml	DBO Corre- gido	% Error	DBO 1.25 ml	DBO Corre- gido	% Error
26	1739.130	1814.20	-4.13	1393.93	1562.32	-10.77	1105.7602	1080.44	2.34
27	1826.080	1868.41	-2.26	1424.24	1611.47	-11.61	1129.800	1115.34	1.29
28	1608.690	1922.61	-16.32	1484.84	1660.62	-10.85	1057.690	1150.25	-8.04
29	1608.690	1976.81	-18.62	1575.75	1709.76	-7.83	913.460	1185.15	-22.92
30	1652.170	2031.01	-18.65	1636.36	1758.91	-6.96	913.460	1220.06	-25.12

TABLA 5.6 PORCENTAJES DE ERROR EN LOS VALORES DE DBO A 30 °C OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

TIEMPO	30 °C								
	Y = a + bx, a= 609.88, b= 63.17, r= 0.95			Y = a + bx, a= 636.56, b= 41.04, r= 0.87			Y = a + bx, a= 562.68, b= 32.63, r= 0.877		
Días	DBO 0.7 ml	DBO Corre-gido	% Error	DBO 1.0 ml	DBO Corre-gido	% Error	DBO 1.25 ml	DBO Corre-gido	% Error
1	391.300	678.05	-42.29	363.630	677.61	-46.33	360.570	595.31	-39.43
2	521.730	747.23	-30.17	363.630	718.65	-49.40	360.570	627.94	5.19
3	521.730	816.41	-36.09	454.540	759.69	-40.16	432.690	660.58	-34.49
4	652.170	885.59	-26.09	545.450	800.73	-30.88	504.800	693.21	-27.17
5	695.650	954.77	-27.13	606.060	841.78	-28.00	552.880	725.84	-23.82
6	1043.470	1023.95	1.90	939.390	882.82	6.40	649.030	758.47	-14.42
7	1304.340	1093.13	19.32	1000.000	923.86	8.24	745.190	791.11	-5.80
8	1391.300	1162.30	19.70	1030.300	924.90	11.39	985.570	823.74	19.64
9	1434.780	1231.48	16.50	1181.810	1005.95	17.48	769.230	856.37	-10.17
10	1565.210	1300.66	20.33	1242.420	1046.99	18.66	937.500	889.01	5.45
11	1652.170	1369.84	20.61	1303.030	1088.03	19.76	1129.800	921.64	22.58
12	1652.170	1439.02	14.81	1424.240	1129.07	26.14	1105.780	954.27	15.87
13	1652.170	1508.20	9.54	1363.630	1170.11	16.53	1153.840	986.90	16.91
14	1695.620	1577.36	7.49	1363.630	1211.16	12.58	1153.840	1019.54	13.17
15	1739.130	1646.56	5.62	1424.240	1252.20	13.73	1225.960	1052.17	16.51
16	1869.560	1715.73	8.96	1484.840	1293.24	14.81	1250.000	1084.80	15.22
17	2043.470	1784.91	14.48	1515.150	1334.28	13.55	1250.000	1117.43	11.86
18	1913.040	1854.09	3.17	1545.450	1375.33	12.36	1250.000	1150.07	8.68
19	1956.520	1931.45	1.29	1545.450	1416.37	9.11	1322.110	1182.70	11.78
20	1869.560	1992.45	-6.16	1636.360	1457.41	12.27	1274.030	1215.33	4.82
21	1956.520	2061.63	-5.09	1575.850	1498.45	5.16	1394.230	1247.97	11.71
22	2173.910	2130.51	2.02	1636.360	1539.50	6.29	1346.150	1280.60	5.11
23	1782.600	2199.59	-18.97	1666.660	1580.54	5.44	1442.300	1313.23	9.82
24	2260.860	2269.13	-0.36	1636.360	1621.58	0.91	1490.380	1345.86	10.73
25	2217.390	2338.34	-5.17	1606.060	1662.62	-3.40	1153.840	1378.50	-16.29

TABLA 5.6 PORCENTAJES DE ERROR EN LOS VALORES DE DBO A 30 °C OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

Continuación

TIEMPO	30 °C								
	Y = a + bx, a= 608.88, b= 69.17, r= 0.95			Y = a + bx, a= 636.56, b= 41.04, r= 0.87			Y = a + bx, a= 562.68, b= 32.63, r= 0.877		
Días	DBO 0.7 ml	DBO Corre- gido	% Error	DBO 1.0 ml	DBO Corre- gido	% Error	DBO 1.25 ml	DBO Corre- gido	% Error
26	2217.390	2407.52	-7.89	1515.150	1703.67	-11.06	1225.960	1411.13	-13.12
27	2478.260	2476.70	0.06	1484.840	1744.71	-14.89	1201.940	1443.76	-16.74
28	2478.260	2545.88	-2.65	1575.750	1785.75	-11.75	1346.150	1476.40	-8.22
29	2608.690	2615.06	-0.24	1575.750	1826.79	-13.74	1370.190	1509.03	-9.20
30	2695.650	2684.24	0.42	1575.750	1867.84	-15.63	1370.190	1541.66	-11.12

**TABLA 5.7 DESVIACION ESTANDAR (σ) Y MEDIA (\bar{x}) DE LA DBO
(Diluciones 0.7,1.0 y 1.25 ml a 20 y 30 ° C)**

TIEMPO (Días)	DBO 20 °C		DBO 30°C	
	Y = a + bx , a= 306.65, b= 45.05, r= 0.955		Y = a + bx , a= 603.27, b= 47.10, r= 0.923	
	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media
1	39.63	219.67	16.92	317.83
2	29.72	249.97	138.67	506.31
3	53.21	347.79	46.40	469.65
4	129.08	468.12	76.11	567.47
5	376.04	609.33	72.15	618.19
6	38.09	501.49	204.41	877.29
7	115.58	527.07	279.94	1016.51
8	155.15	585.92	222.46	1135.72
9	145.85	610.62	335.94	1126.60
10	213.49	694.62	313.89	1248.37
11	368.71	858.97	266.07	1361.66
12	372.27	905.76	274.44	1394.06
13	422.87	999.28	250.17	1389.88
14	482.38	1113.69	273.17	1404.36
15	434.18	1114.84	258.78	1463.11
16	469.61	1164.62	312.78	1534.80
17	476.89	1197.45	403.94	1602.87
18	464.99	1255.97	332.17	1569.49
19	365.76	1281.32	321.80	1608.02
20	370.84	1335.66	300.08	1593.31
21	258.61	1332.25	286.95	1642.20
22	285.97	1436.76	419.99	1716.80
23	283.12	1393.93	173.00	1630.52
24	207.48	1462.55	409.25	1795.86
25	246.88	1450.70	533.75	1659.09

**TABLA 5.7 DESVIACION ESTANDAR (σ) Y MEDIA (\bar{x}) DE LA DBO
(Diluciones 0.7,1.0 y 1.25 ml a 20 y 30 ° C)**

Continuación

TIEMPO (Días)	DBO 20 °C		DBO 30°C	
	Y = a + bx , a= 306.65, b= 45.05, r= 0.955		Y = a + bx , a= 603.27, b= 47.10, r= 0.923	
	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media
26	317.11	1412.94	509.85	1652.03
27	349.51	1460.04	670.31	1721.68
28	282.07	1383.74	503.72	1726.44
29	308.31	1374.85	522.14	1768.14
30	422.00	1400.66	713.35	1880.53

TABLA 5.8 RESULTADOS DE DBO PROMEDIANDO VALORES CERCANOS (DBO A REPORTAR) A 20 Y 30 °C.

TIEMPO	DBO a repor. 20°C	DBO a repor. 30°C
Días	$y = a + bx$ $a = 337.69$ $b = 46.57$ $r = 0.88$	$y = a + bx$ $a = 662.10$ $b = 35.16$ $r = 0.80$
1	199.07	362.10
2	266.79	362.10
3	377.46	443.61
4	507.90	525.12
5	392.27	579.47
6	479.51	991.43
7	464.52	872.59
8	674.56	1007.93
9	724.63	1308.29
10	813.56	1248.30
11	1048.08	1216.41
12	1200.47	1538.20
13	1234.50	1258.00
14	1382.07	1258.00
15	1373.51	1325.10
16	1410.40	1367.42
17	1423.58	1433.78
18	1499.34	1397.72
19	1503.28	1433.78
20	1546.76	1752.96
21	1481.55	1485.04
22	1590.24	1491.25
23	1243.06	1724.63
24	1346.00	1563.37
25	1575.09	1379.95
26	1249.84	1370.55
27	1277.02	1343.39
28	1576.76	1460.95
29	1592.22	1472.97
30	1644.26	1472.97

Tabla 5.9 : Resultados de la Constante de Velocidad de Reacción o Constante de Desoxigenación K (base 10) de la DBO, obtenidos experimentalmente a 20° y 30°C.

DBO 20° C	Dil. 0.7 ml	Dil. 1.0 ml	Dil. 1.25 ml	DBO (media)
K (día⁻¹)	0.148	0.183	0.116	0.089
DBO 30° C	Dil. 0.7 ml	Dil. 1.0 ml	Dil. 1.25 ml	DBO (media)
K (día⁻¹)	0.255	0.125	0.144	0.249

Nota: El valor típico para aguas contaminadas y aguas residuales es 0.10 día⁻¹ .
 La gama de valores de K (base 10) varía entre 0.05 día⁻¹ y 0.3 día⁻¹ o más.¹⁷

**TABLA 5.10 VALORES TEORICOS Y EXPERIMENTALES DE LAS
CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCION (K) A 30 °C.**

DBO A 30 °C	K teórico	K experimental	K teórico / K experimental
Dil 0.7 ml	0.255	0.255	1.0
Dil. 1.0 ml	0.316	0.125	2.52
Dil. 1.25 ml	0.217	0.144	1.50
Media	0.429	0.249	1.72

**TABLA 5.11 VALORES DE θ TEORICOS Y EXPERIMENTALES
ENTRE 20 Y 30 ° C**

DBO 20 Y 30 °C	θ experimental
Dil. 0.7 ml	1.056
Dil. 1.0 ml	0.960
Dil. 1.25 ml	1.020
Media	1.100

El valor del coeficiente de temperatura θ entre 20 y 30 °C es 1.056.²⁰

5.2 Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones.

De acuerdo a las observaciones y resultados se puede concluir lo siguiente:

La literatura establece de acuerdo al progreso de la Demanda Biológica de Oxígeno de Theriault (Figura 3.2); que a 20 °C la nitrificación comienza a los 10 días y dura 60 días más, sin embargo en nuestro estudio empezó a los 7 días y duró menos ya que se comenzó a presentar el decaimiento de los microorganismos dentro de los 30 días. De acuerdo a la misma figura (Figura 3.2) a 30 °C la nitrificación comienza a los 5 días y termina aproximadamente a los 20 días; en nuestro caso la nitrificación sí comienza a los 5 días en las tres diluciones y concluye en las DBO a 1.0 y 1.25 ml aproximadamente entre los 22 y 23 días, en cambio en la DBO a dilución de 0.7 ml continúa hasta los 30 días.

Se comprobó que los valores de las constantes de velocidad de reacción K para la DBO en sus diferentes diluciones a 20 °C están dentro del rango establecido por la literatura. Los valores de las constantes de velocidad de reacción (K) teóricos a 30°C, varían de 50 a 152 % con respecto a los valores de K determinados experimentalmente; únicamente en la DBO a la dilución de 0.7 ml correspondió el teórico con el experimental. Ante la gran diferencia entre estos valores, no se debe confiar en los valores teóricos, que al aplicarlos en el diseño de plantas de tratamiento de aguas, incurriríamos en errores. Los valores de las constantes de velocidad de reacción K se deben determinar experimentalmente de acuerdo a las condiciones de temperatura de cada lugar o región.

Se determinaron los valores del coeficiente de temperatura entre 20 y 30 °C para las diferentes diluciones de DBO y se compararon con el recomendado por la literatura. Para la DBO a la dilución de 0.7 ml el valor del coeficiente de temperatura corresponde al valor teórico, en cambio para la DBO a la dilución de 1.25 ml el valor de Θ tiene una pequeña variación. Para la DBO a la dilución de 1.0 ml y DBO media, el valor de Θ experimental tiene una diferencia muy grande con respecto al valor teórico, por lo que los coeficientes de temperatura Θ se deben determinar experimentalmente, ya que éstos valores aunque tengan una pequeña variación, como se aplican en una ecuación exponencial nos llevarían a grandes errores.

A mayor temperatura existe mayor actividad biológica de los microorganismos y por lo

A mayor temperatura existe mayor actividad biológica de los microorganismos y por lo tanto la descomposición de la materia orgánica es más rápida. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de las curvas del progreso de la DBO a 20 y 30°C en sus diferentes diluciones, donde se muestran las etapas carbonosa, la nitrificación y parte de la fase de decaimiento, ésta última se presentó en mayor grado en la curva de DBO a 20 °C a dilución de 1.25 ml, en vez de presentarse a 30°C; podemos concluir que aún conociendo la influencia de diversos factores sobre los microorganismos, es difícil predecir con exactitud el progreso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en condiciones específicas.

En los resultados de DBO a 20 y 30 °C en sus tres diluciones comparado con la DBO que se reporta en el laboratorio, se determinó un gran porcentaje de error, lo que significa que las diluciones afectan el resultado general que se reporta.

Además se hizo una comparación de los resultados de la DBO, tomando un promedio de los valores más cercanos (DBO a reportar) con el promedio de las tres diluciones ó DBO media que posee una desviación estándar, se determinó que este último proporciona resultados más uniformes.

De la comparación del progreso de la DBO y de la DQO con respecto al tiempo, se determinó un cambio repentino en el progreso de la DQO que coincide con el término de las etapas carbonosa y el inicio de la nitrificación en la DBO; posteriormente se presenta otro brinco que coincide con el punto máximo de la nitrificación en la DBO y continúa con tendencia normal, estas coincidencias hace suponer que estos brincos en la DQO representan los cambios de etapas en el progreso de la DBO.

Se realizaron una serie de correlaciones de DQO, STV, SSV, ST con la DBO, con la finalidad de encontrar una ecuación que nos ayude a entender las variaciones de la DBO con respecto a los mencionados parámetros. No se pudo obtener una buena correlación; a excepción de la DQO con la DBO en sus distintas diluciones. La correlación DQO con DBO (media o promedio) a 20 y 30 °C , presentó los mejores coeficientes de correlación con valores de 0.889 y 0.956 respectivamente. Aún así, no se encontró una ecuación general representativa para ambas temperaturas. El comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno con respecto al tiempo, comparado con la Demanda Bioquímica de Oxígeno; indica que en este parámetro, se incluye la estabilización de la materia orgánica biodegradable mediante el proceso biológico.

Recomendaciones.

Por los resultados obtenidos, se recomienda continuar con este estudio tomando un período de pruebas más largo, donde se podría determinar , si realmente se llega a lograr la estabilización completa de la materia orgánica; así como también para observar las diferentes etapas de crecimiento biológico. También se comprobaría, si los aspectos determinados en este trabajo, ayudan a llevar un estudio más a fondo, que permita la aplicación de la DQO en la cinética de crecimiento biológico. Un estudio de este tipo puede ser útil en un futuro no muy lejano, para determinar un parámetro que sustituya al de la DBO; es decir, que sea más fácil de determinar y que sea de la misma utilidad; ó a mejorar las características de realización de la prueba de la DBO, acercándonos más a las condiciones ambientales reales de cada lugar.

CAPITULO VI
BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Aziz, J. A. and T.H. Y. Tebbutt, Significance of COD, BOD and TOC correlations in kinetic models of biological oxidation”, *Water Research*, **14**, 319-324, (1980)
- 2.- Bird P.G., B. Tech., Ph.D., C. Chem., M.R.S.C., The effect of nitrification in the BOD test, *Water Pollution Control J., Institute Water Pollution Control*, **80** No. 3, 378-389, (1981).
- 3.- Florence Albert, Olivier Thomas, Une nouvelle méthode rapide de caractérisation de la pollution organique des effluents, *L'eau, L'industrie, Les nuisances* No. 159, 51-53, (1992).
- 4.- Green M., G. Shelef and R. Moraine, Chemical and biochemical oxygen as indicators of biodegradable substrate concentration, Instituto de Tecnología de Israel, *Water Pollution Control, Journal of the Institute of Water Pollution Control* **80**, No.5, 655-658, (1981).
- 5.- Hickey Christopher W. and Nagels John W., Modification to electrolytic respirometer systems for precise determination of BOD exertion kinetics in receiving waters, *Water Research*, **19** No.4, 463-470, (1985).
- 6.- Letessant Michel, Haritchabalet Christian, Mesure de la DBO instantanée: application au contrôle et au pilotage des stations d'épuration et à la détection des toxiques, *L'eau, L'industrie, Les nuisances*, No. 162, 51-55, (1993).
- 7.- L. Ford David, “ Apuntes del curso intensivo sobre: Tratamiento de los residuos líquidos, domésticos e industriales”, Características de las aguas desecho relaciones DBO- DQO, COT - DTO, UANL, Oficina Sanitaria Panamericana FIC, Escuela de graduados, abril 1972, Mty. N. L.

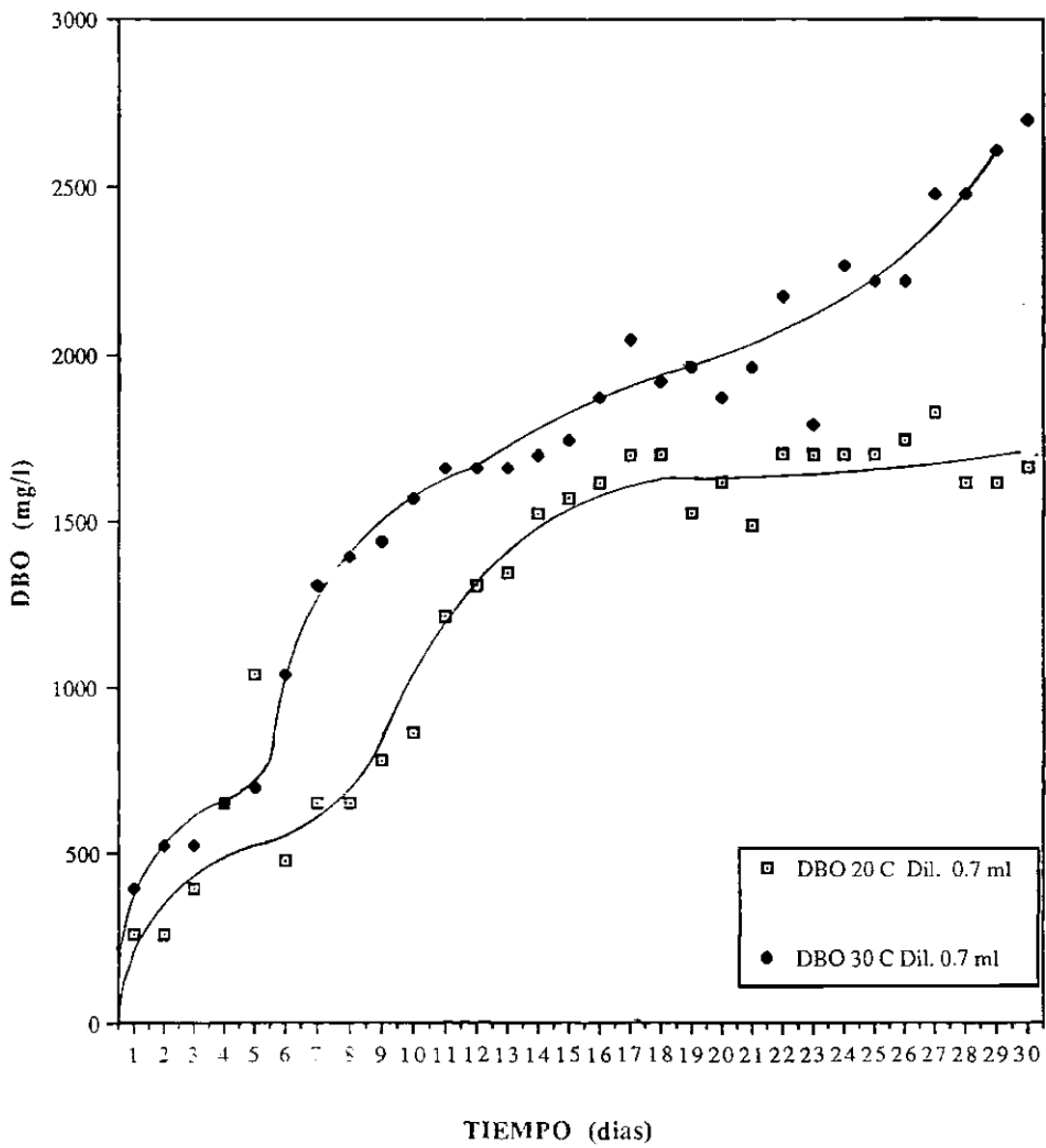
- 8.- American Public Health Association, Métodos Estándar para el examen de aguas y aguas de desecho, incluyendo sedimentos bentales y lodos”, Undécima edición, Edit. Interamericana S.A., 1960, Traducción al español Pedro J. Caballero I.Q.
- 9.- Stones T., M.Sc., Ph.D., C.Chem., F.R.S.C., A resumé of the kinetics of the BOD test , *Water Pollution Control JIWPC*; Vol. 80 No. 4 ,512-521, (1981).
- 10.- Amos Turk, Jonathan Turk, Janet T. Wittes, Robert E. Wittes, “ Tratado de Ecología”, 2a. edición, 1976, Nueva Editorial Interamericana S. A. de C.V.
- 11.- Arboleda Valencia Jorge, “Teoría Diseño y Control de los procesos de Clarificación del agua “, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1981.
- 12.- Babbitt Harold E., E. Robert Baumann, “ Alcantarillado y tratamiento de aguas negras”, Primera publicación, séptima impresión 1980, Compañía Editorial Continental S. A. de México.
- 13.- Clesceri Leonore S., E.Greenberg Arnold, Rhodes Trussell R. “Standards Methods For Examination of Water and Wastewater”, 1989 17th edition.
- 14.- Fair G. M., Geyer J.C. & Okun D.A., Ingeniería Sanitaria y de aguas residuales, volumen II, “Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales“, 5a. reimpresión, Edit. LIMUSA, México, 1984.
- 15.- Frank N. Kemmer, Mccallion John, “ Manual de agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”, 1a. edición en español 1979, Mc Graw Hill.
- 16.- Hammer Mark J., “Si Version Water and Wastewater Technology“, second edition, John Wiley & Sons, New York 1986.
- 17.- Metcalf & Eddy , “Tratamiento y depuración de las aguas residuales”, 2a. Edición, Edit. Labor, España; 1985.

1020091184

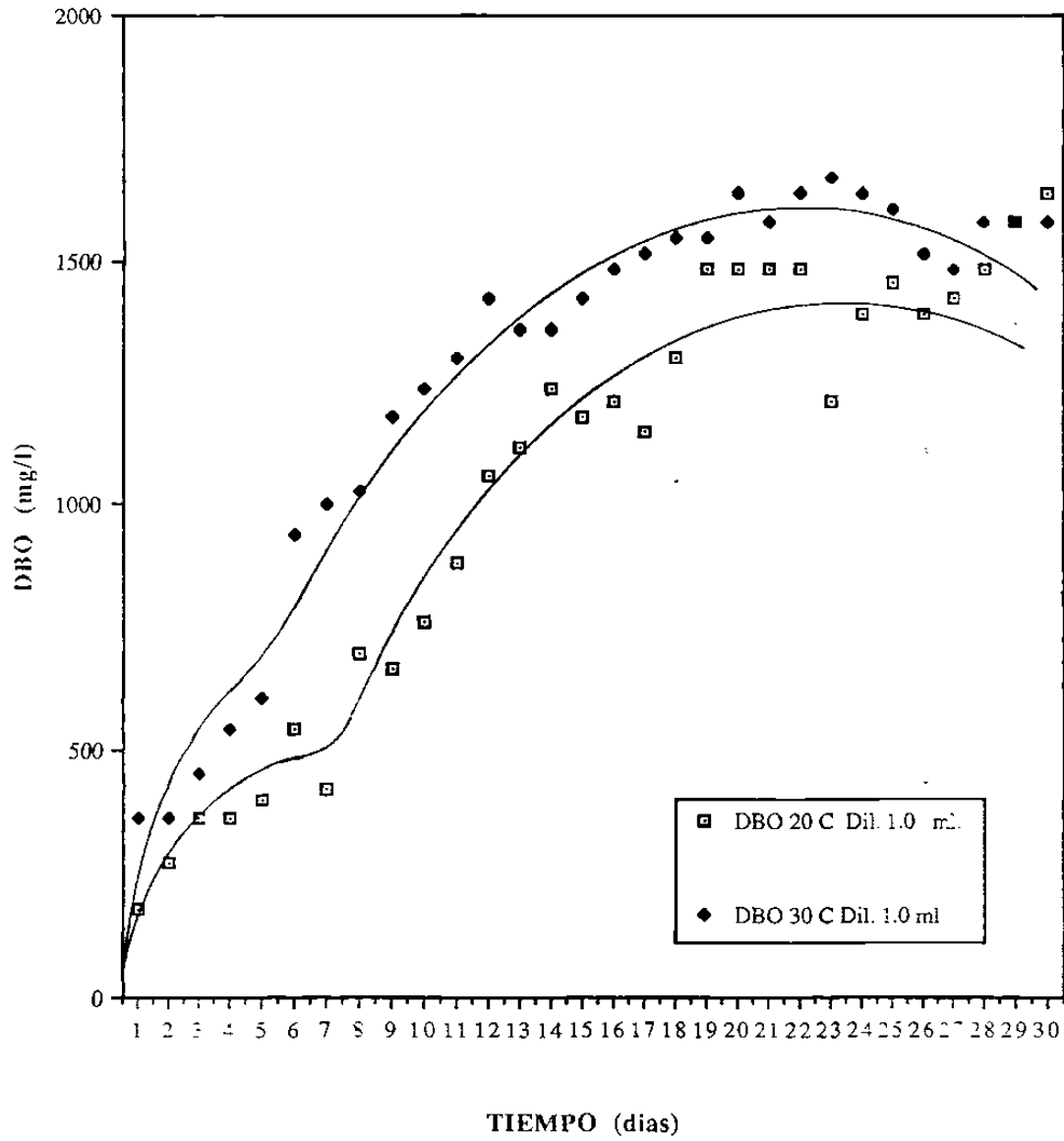
- 18.- Nemerow Nelson Leonard , “Scientific stream pollution analysis”,Mc Graw -Hill Book Company, Washington 1974.
- 19.- Nemerouw Nelson L., “Aguas residuales industriales teorías y aplicaciones, Tratamiento”, Versión española, Gamaliel Martínez de Bascarán, Edit. H. Blume ediciones, España 1977.
- 20.- Rivas Mijares Gustavo, “Tratamiento del agua residual”, Tipografía Vargas S.A.,1967.
- 21.- V. Dean Adams, “Water & Wastewater examination Manual, 1990, USA, Edit. Lewis Publishers.
- 22.- Wolfgang Pürschel, Tratado general del agua y su distribución, Tomo No. 6 , “El tratado de las aguas residuales domésticas, Técnicas de depuración.
- 23.- Díaz de Santos, “Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales”,Teitulo original Standard Methods 17 th, APHA,AWWA,WPCF, 1992.
- 24.- NOM: AA-30-81 Norma Oficial Mexicana (análisis de Aguas -Demanda química de Oxígeno- Método de reflujo del dicromato).
- 25.- “Evaluación del comportamiento diario de la DBO y la DQO de una muestra de agua residual doméstica incubada a 20 y 30 °C durante 30 días”, Trabajo final de los alumnos del curso de Contaminación de cuerpos de agua, de la maestría en Ingeniería Ambiental, FIC - UANL, Diciembre 1992.

APENDICE

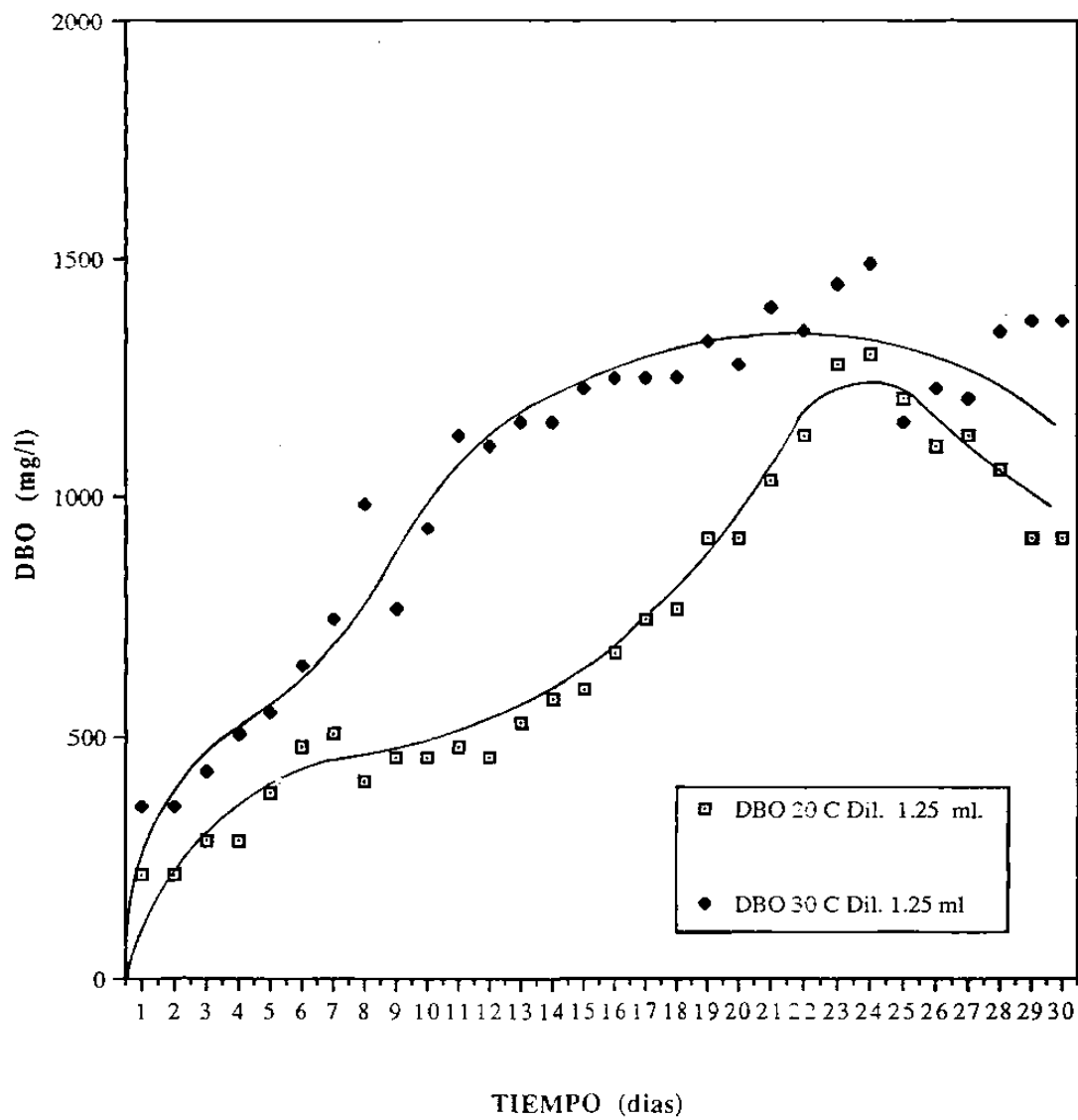
Gráfica 5.1 Comparación de Demanda Bioquímica de Oxígeno a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo



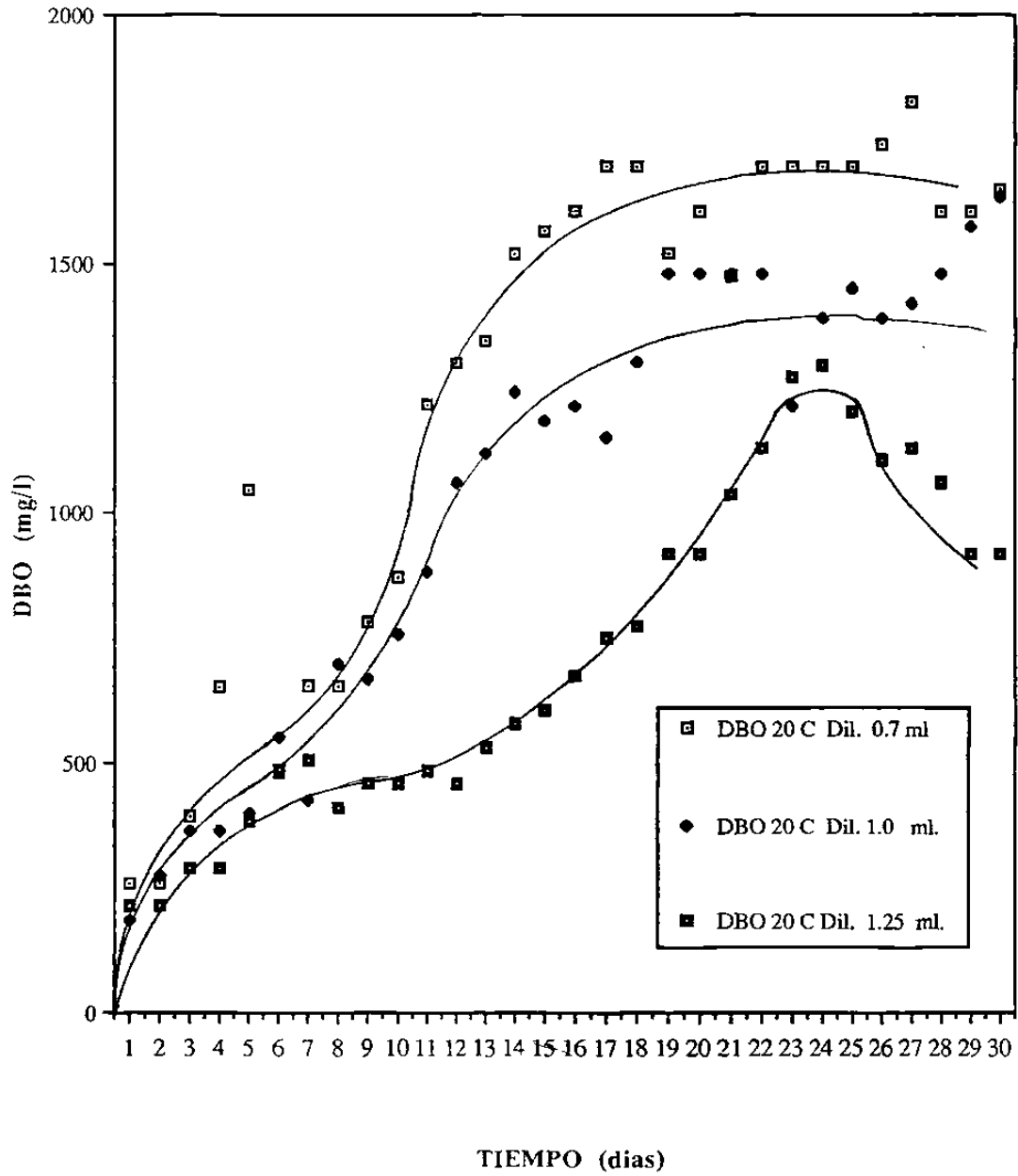
Gráfica 5.2 Comparación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo.



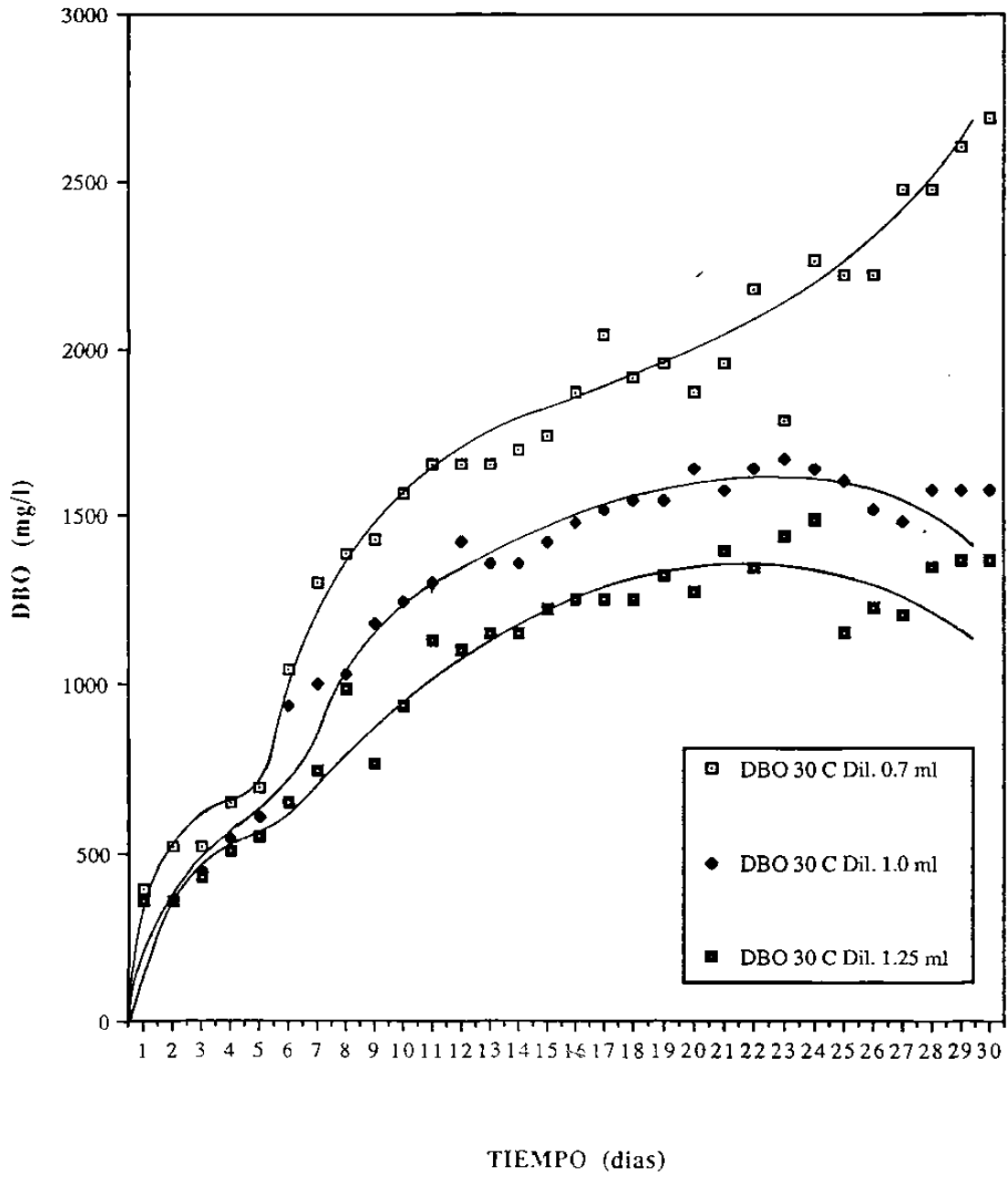
Gráfica 5.3 Comparación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo.



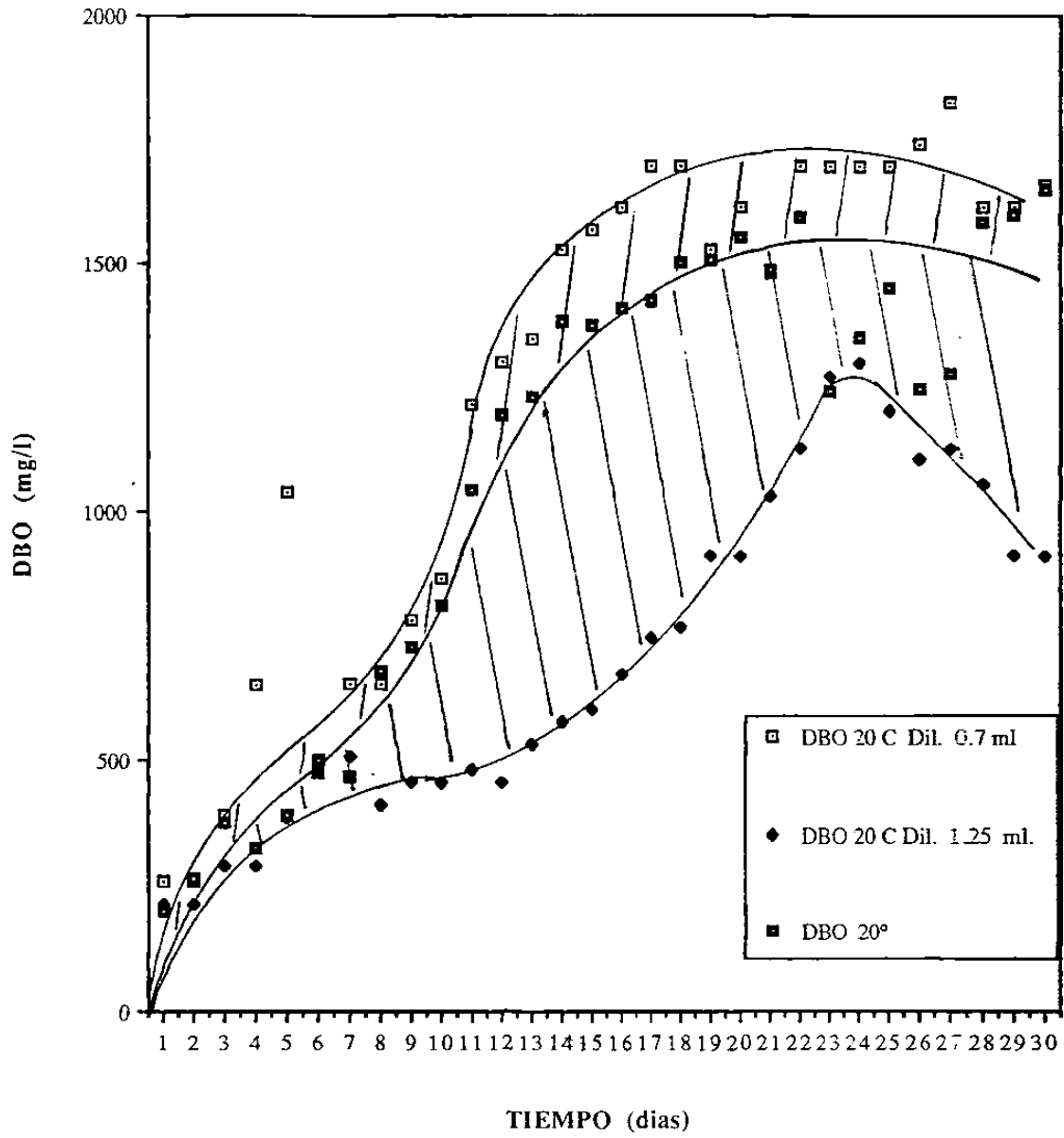
Gráfica 5.4 Comparación de las Tres Diluciones de la DBO a 20 °C.



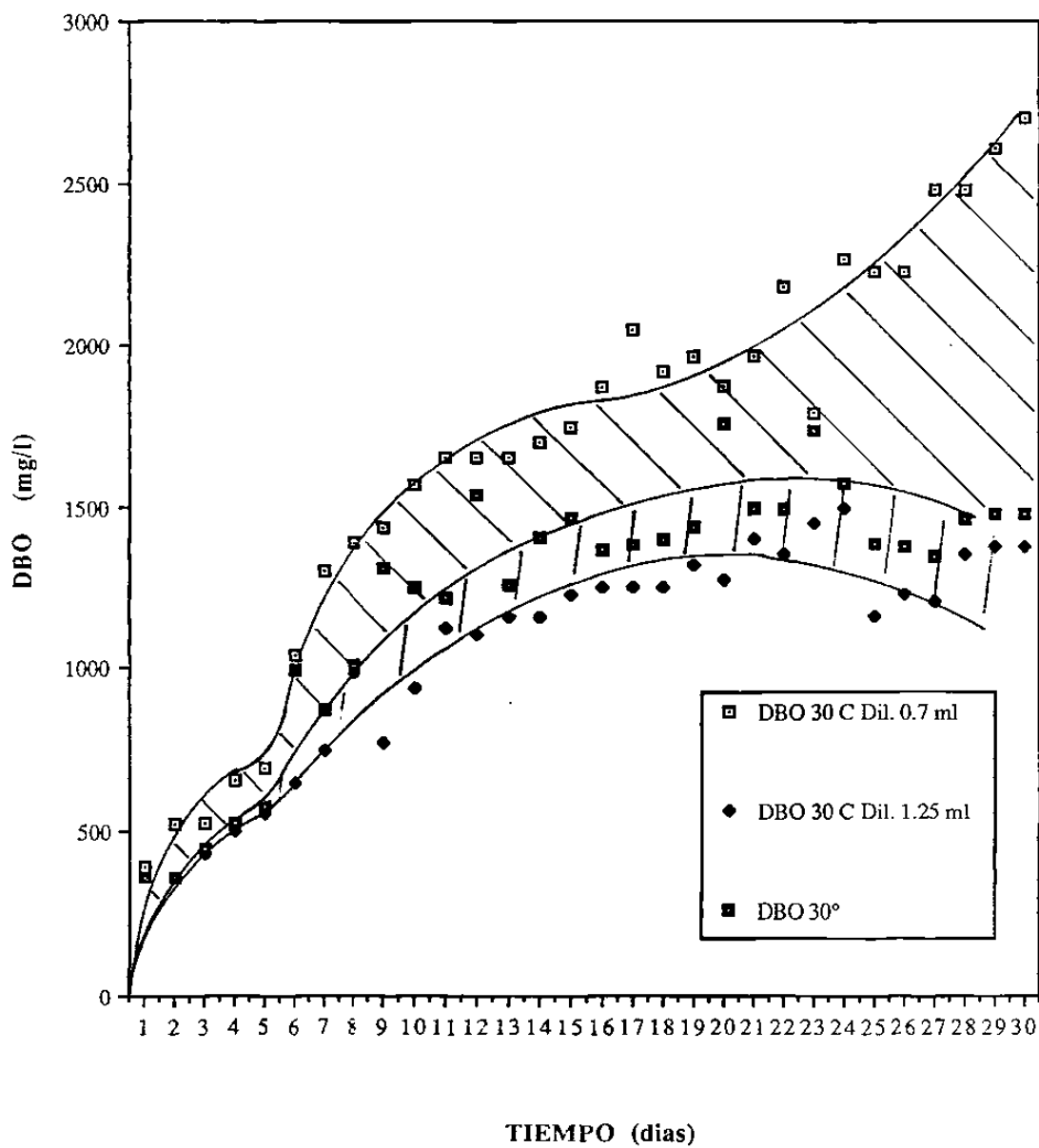
Gráfica 5.5 Comparación de las tres diluciones de la DBO a 30°C.



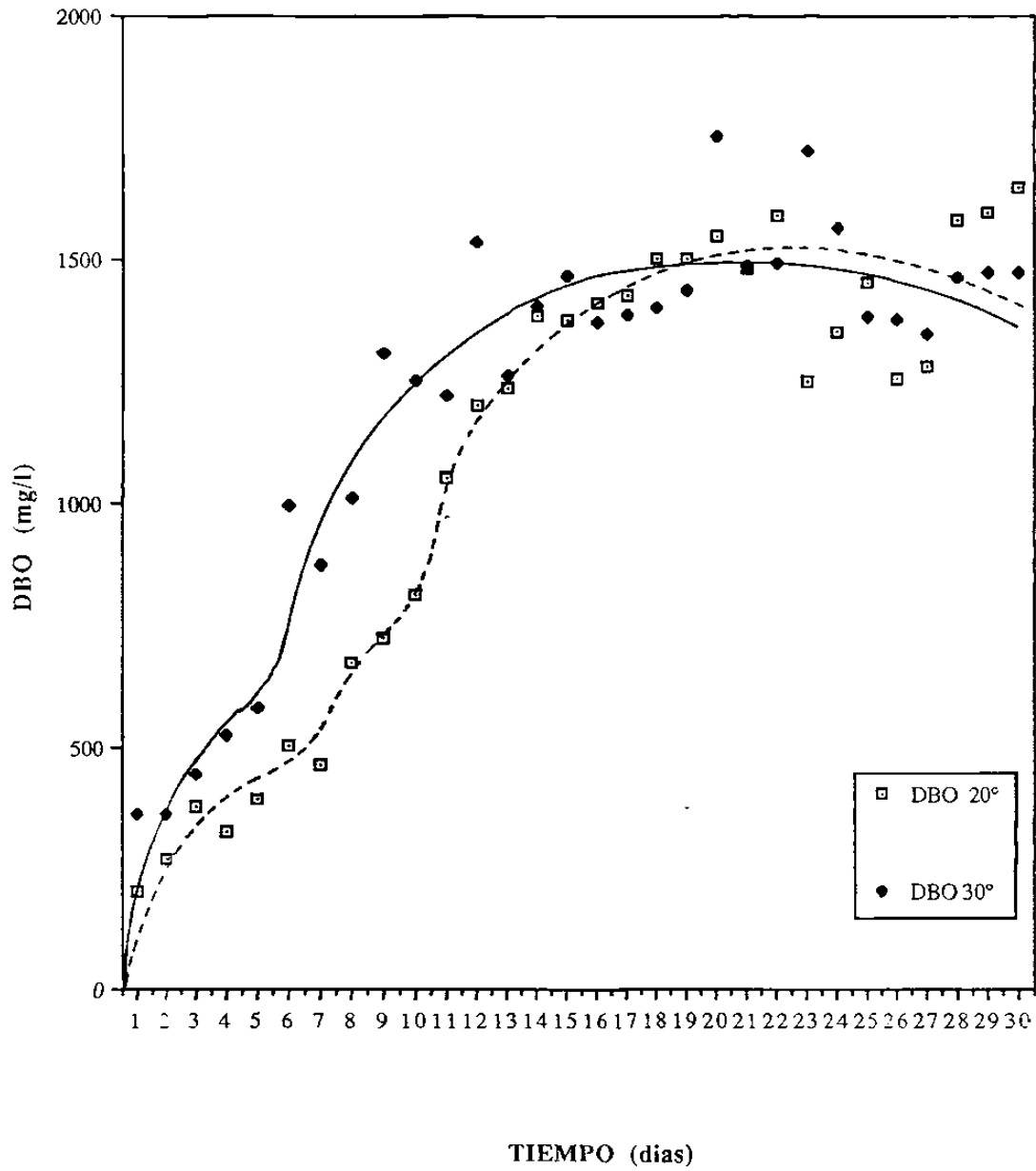
Gráfica 5.6 Comparación de la DBO en sus Diferentes Diluciones con la DBO que se Reportaría (20°C).



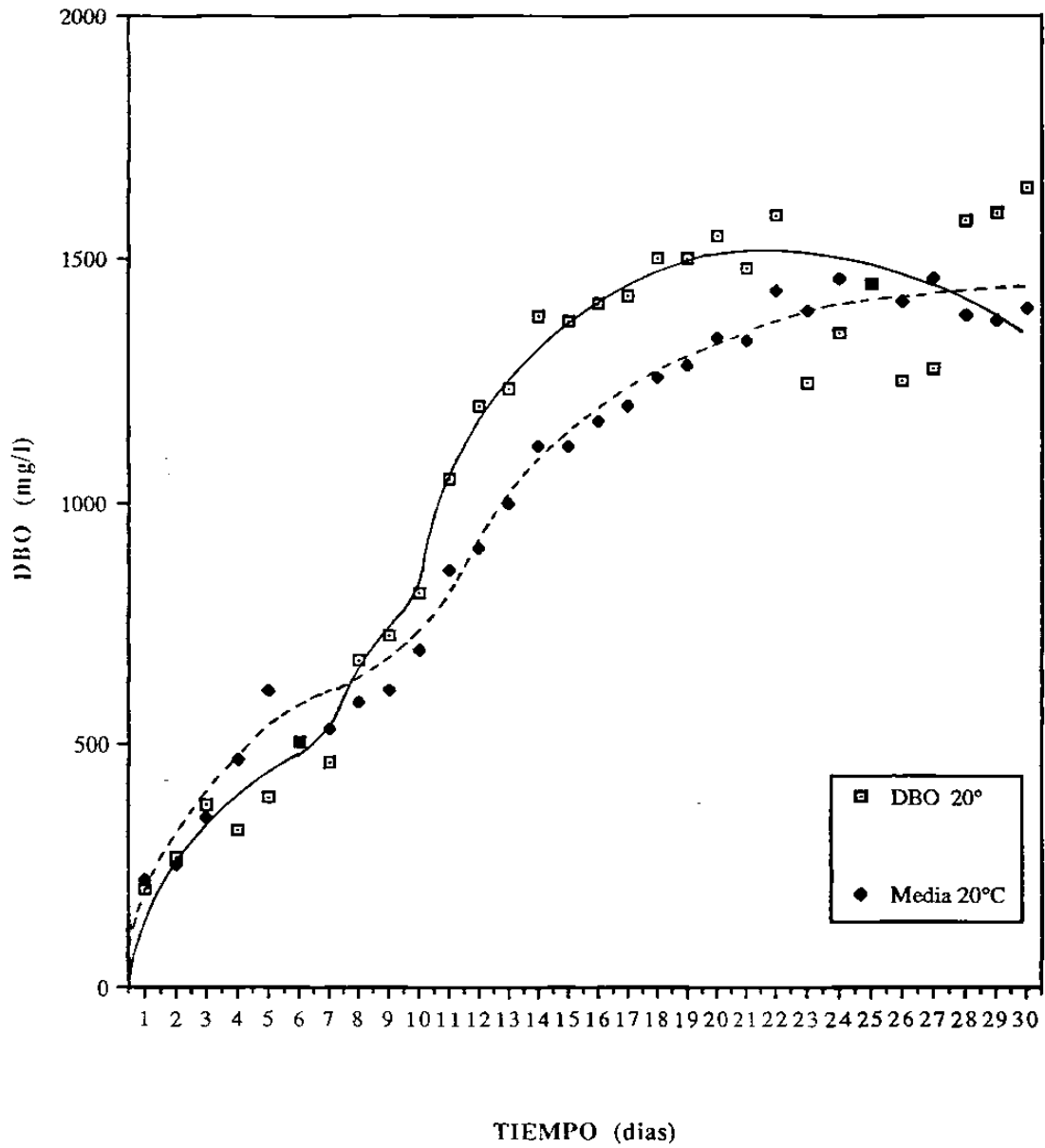
Gráfica 5.7 Comparación de la DBO en sus diferentes diluciones y DBO que se reportaría (30°C).



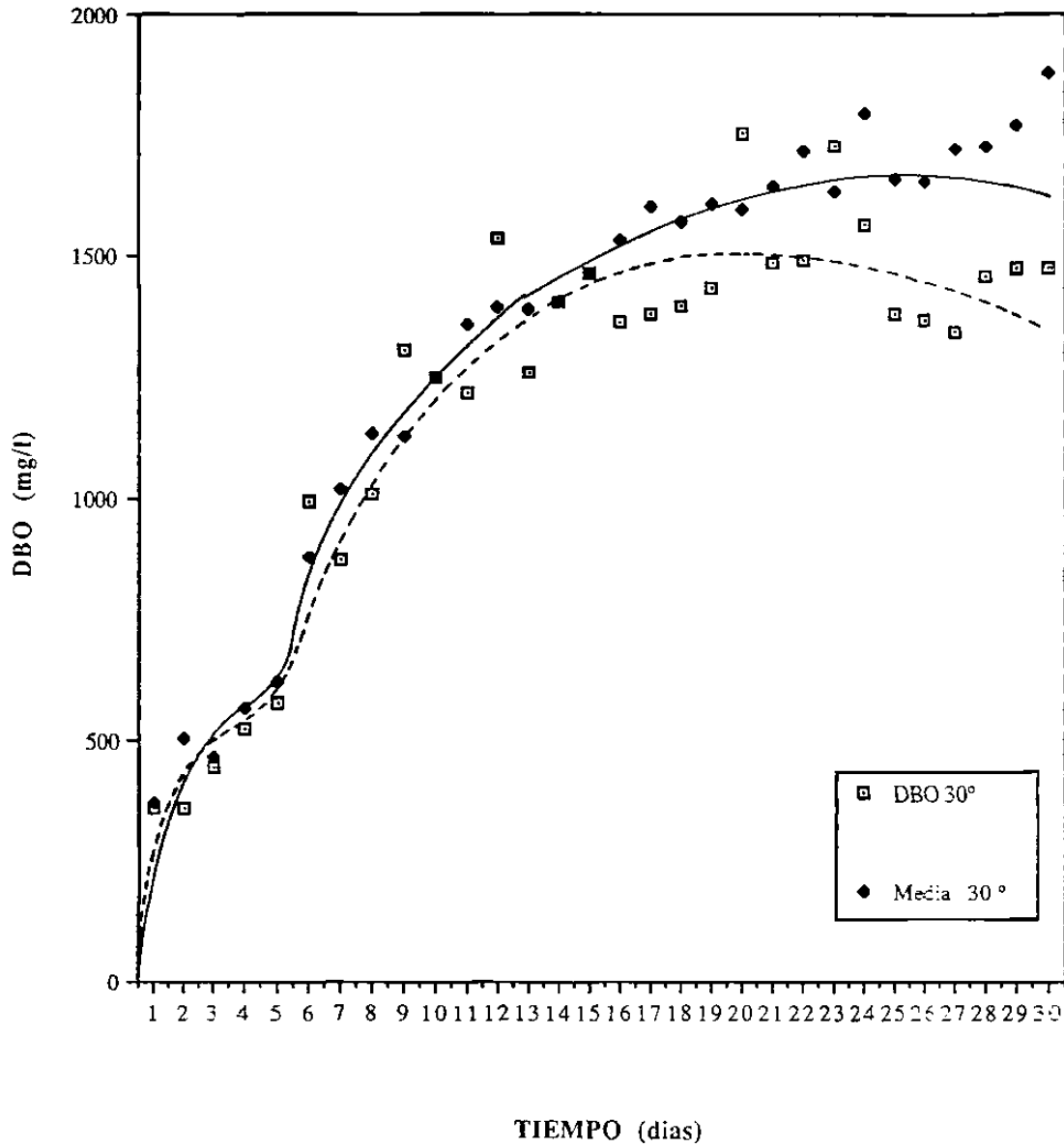
Gráfica 5.8 Comparación de la DBO que se Reportaría a 20 y 30 °C.



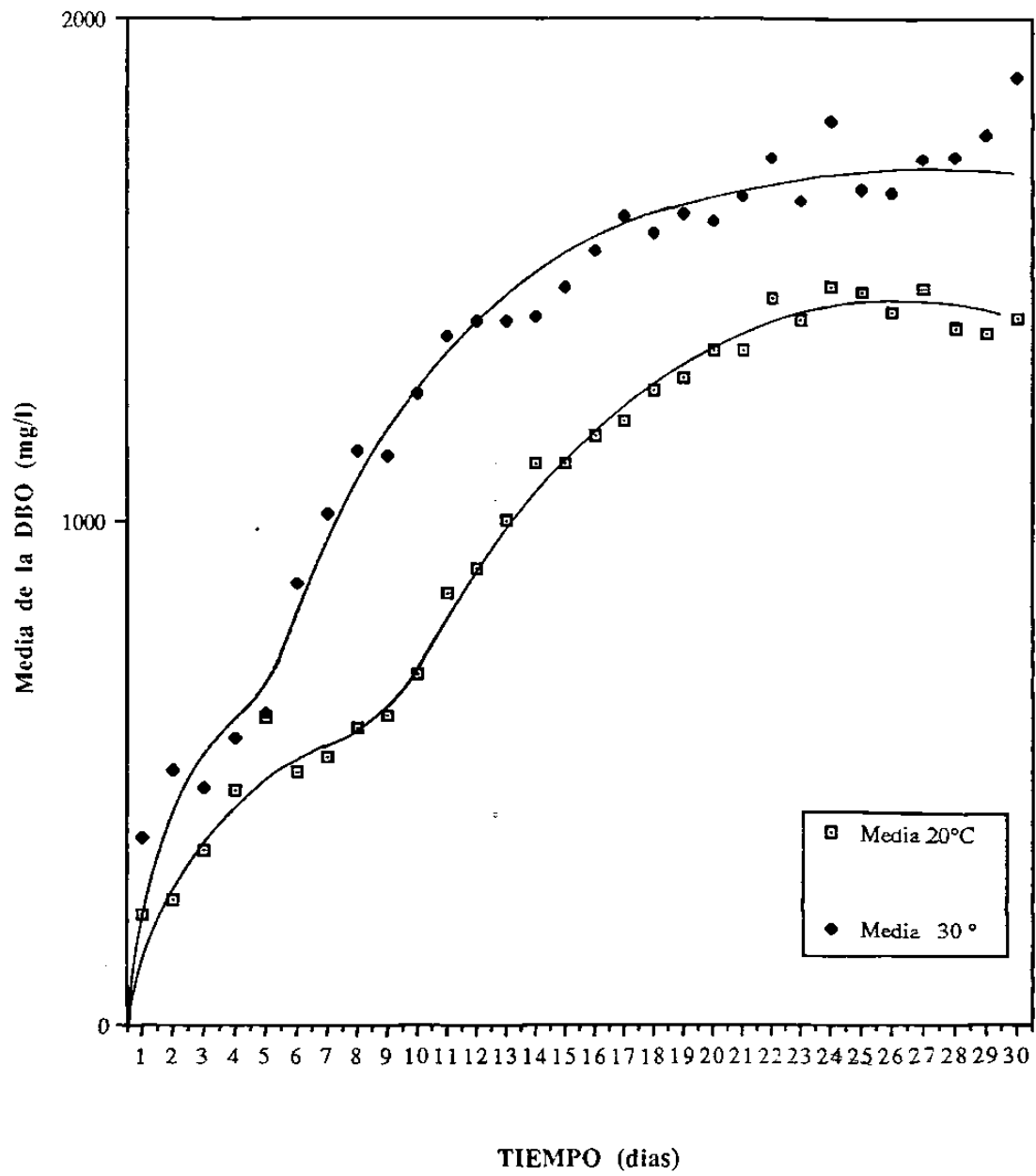
Gráfica 5.9 Comparación de la DBO a Reportar con la Media Aritmética de las Tres Diluciones de la DBO (20°C).



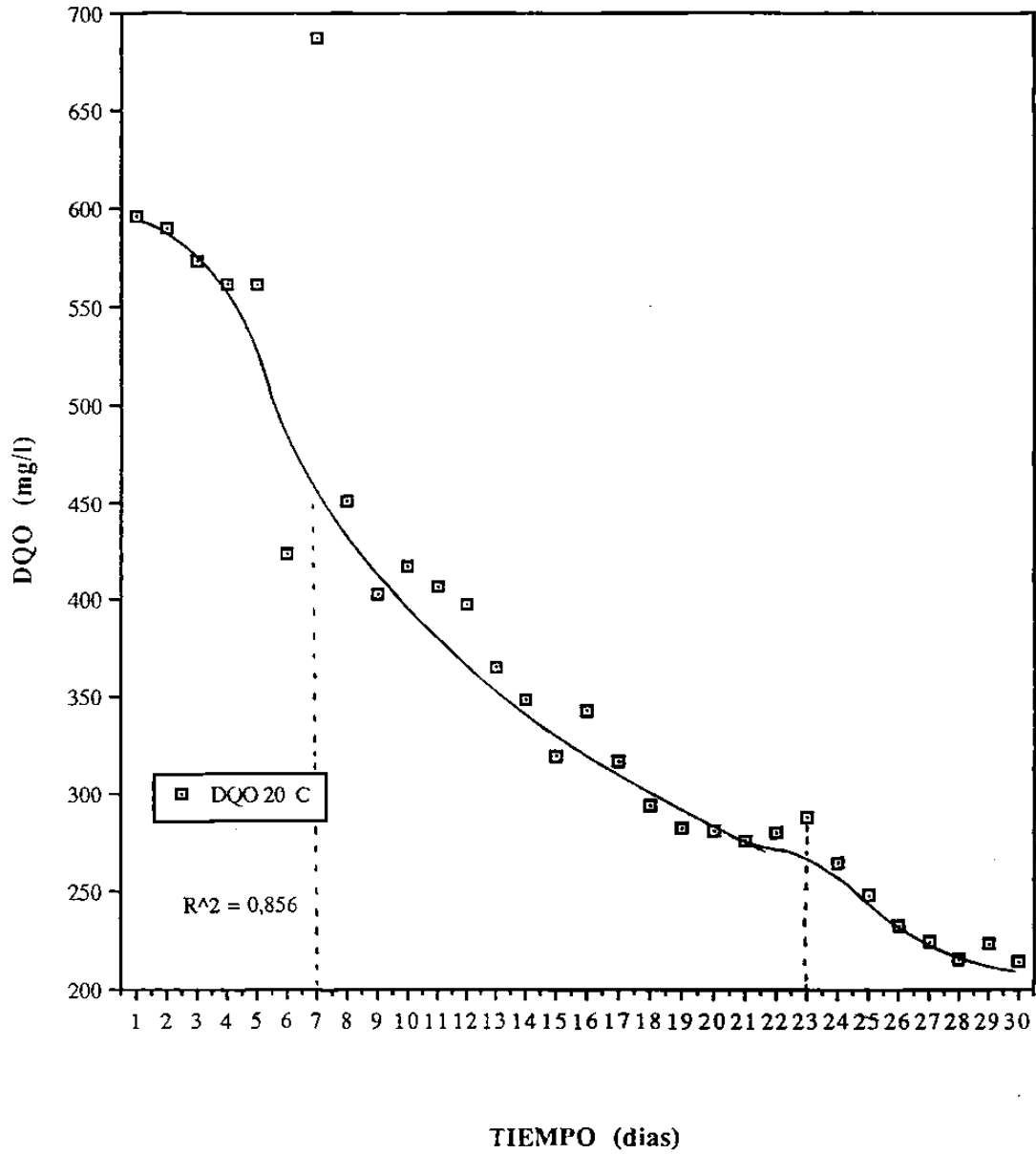
Gráfica 5.10 Comparación de la DBO a Reportar con la Media Aritmética de las Tres Diluciones de la DBO (30°C).



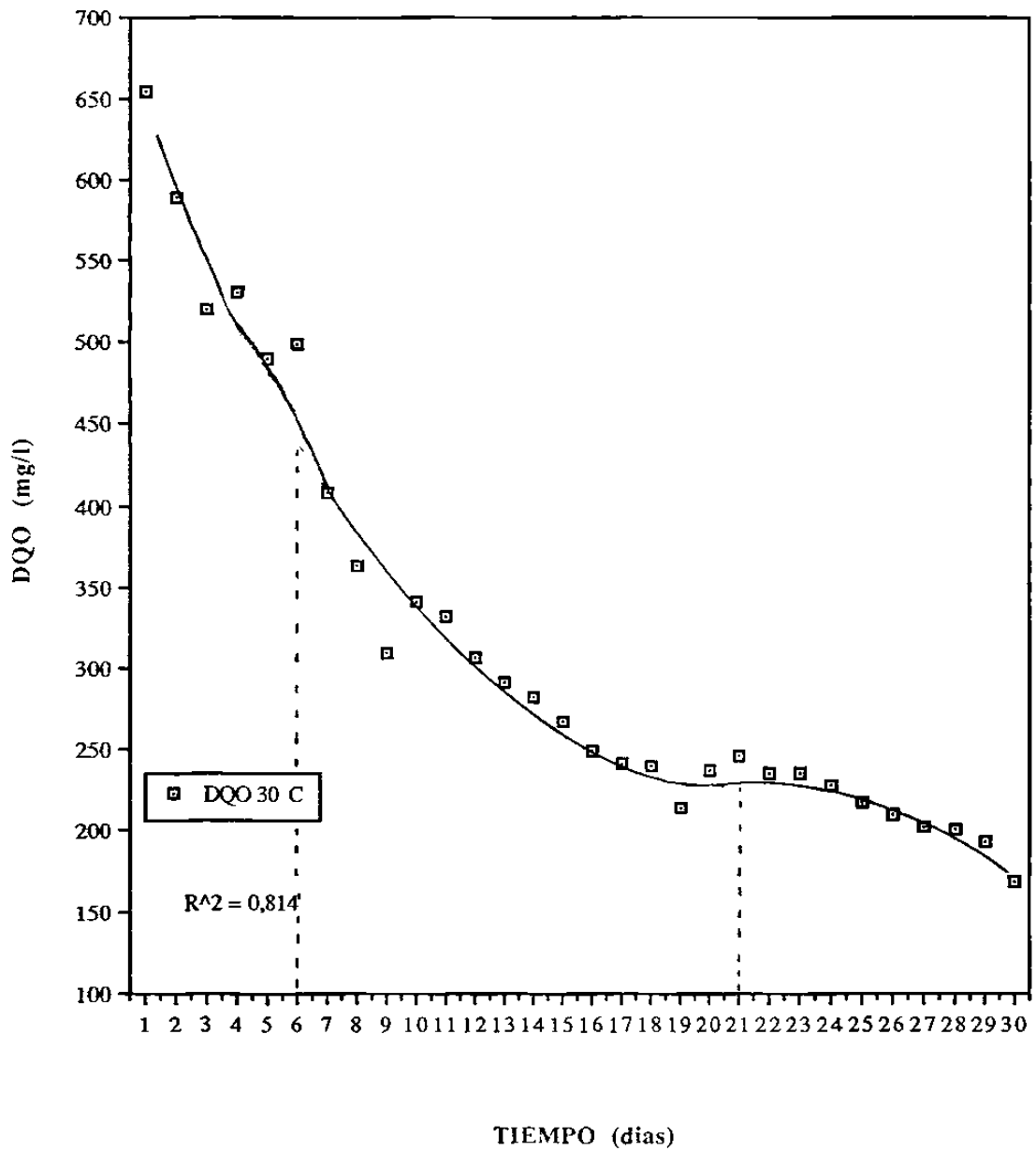
Gráfica 5.11 Comparación de la Media Aritmética de la DBO (20 y 30 °C).



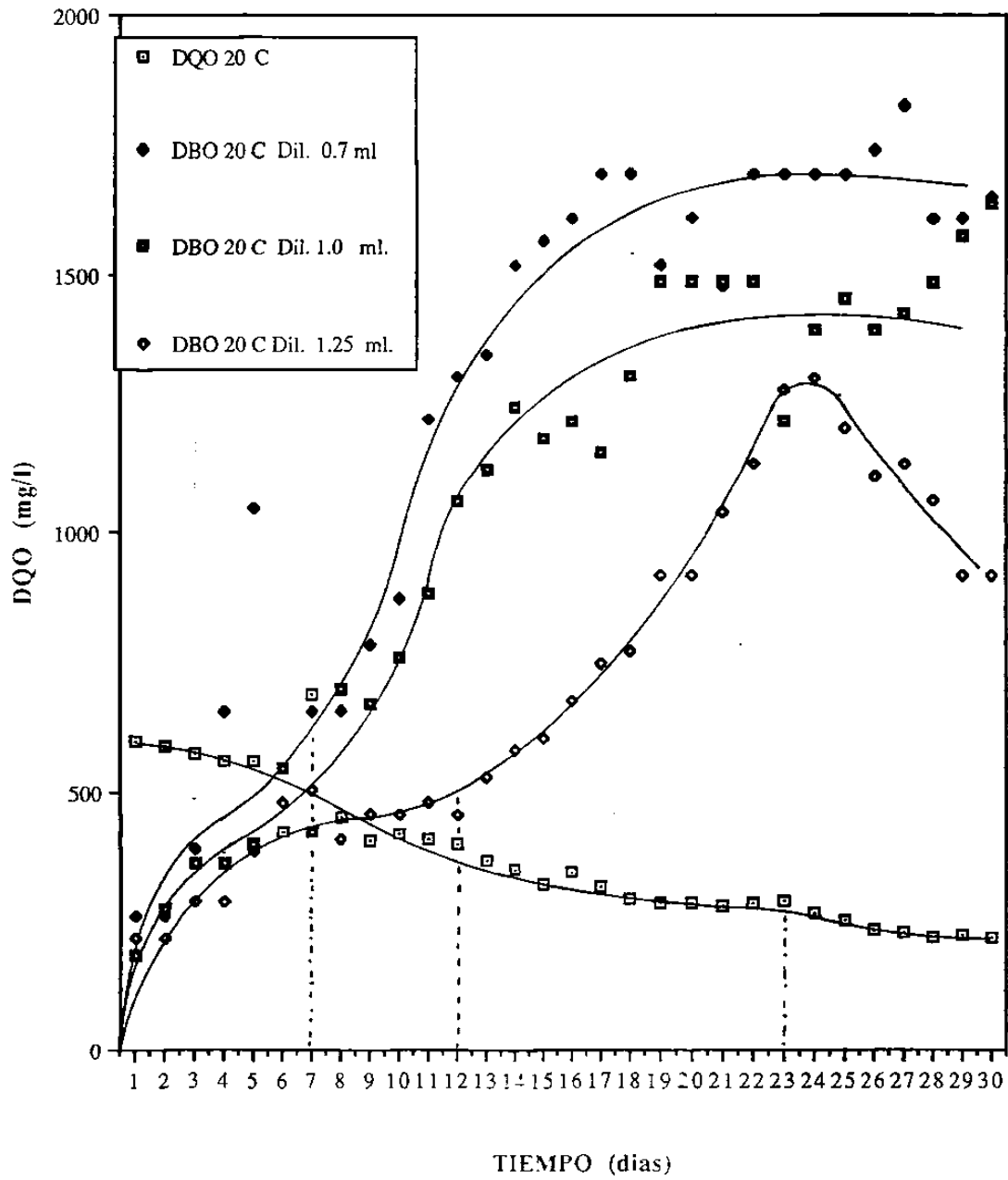
Gráfica 5.12 Comportamiento de la DQO determinada a 20 °C con Respecto al Tiempo.



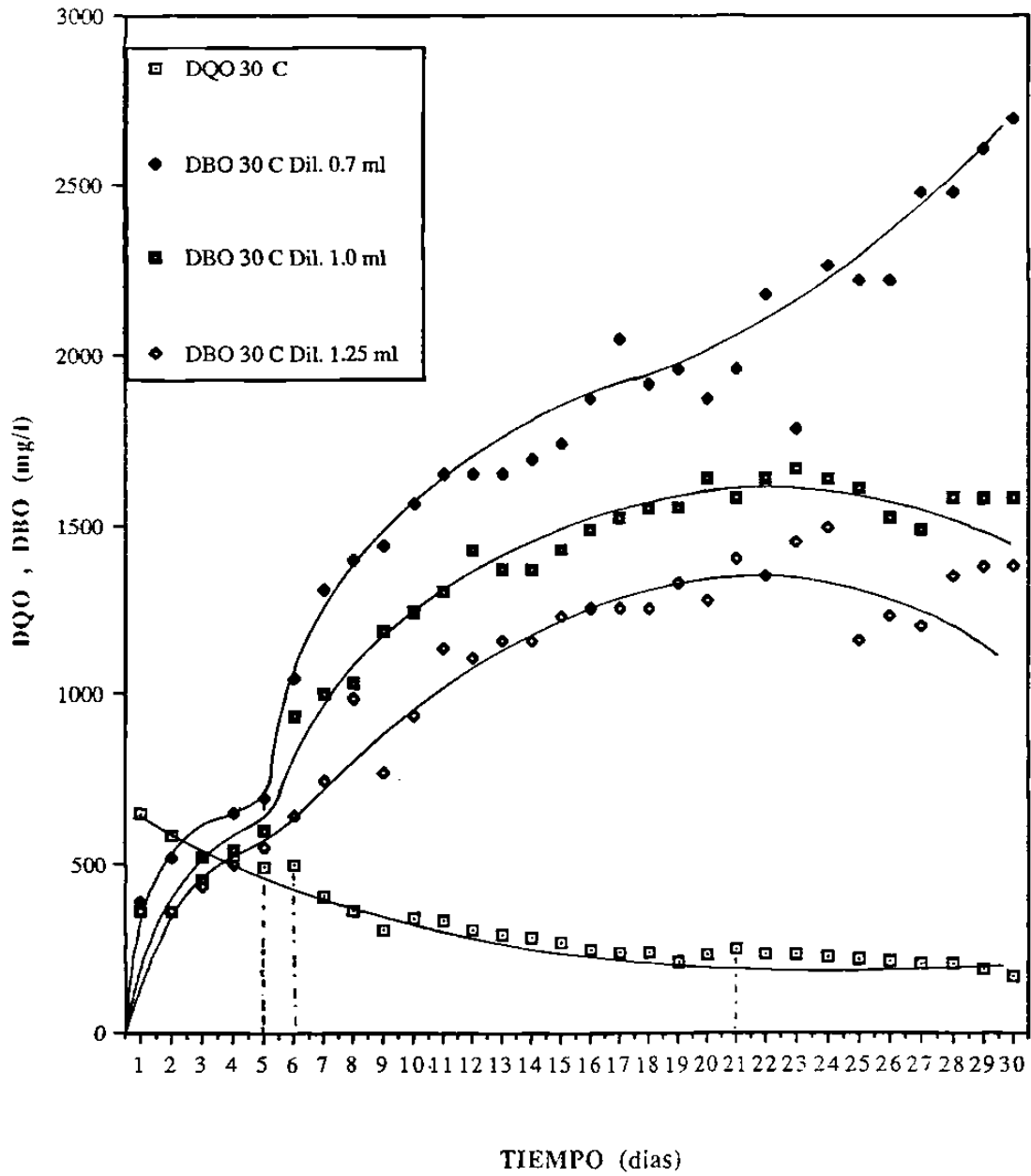
Gráfica 5.13 Comportamiento de la DQO Determinada a 30 °C con Respecto al Tiempo.



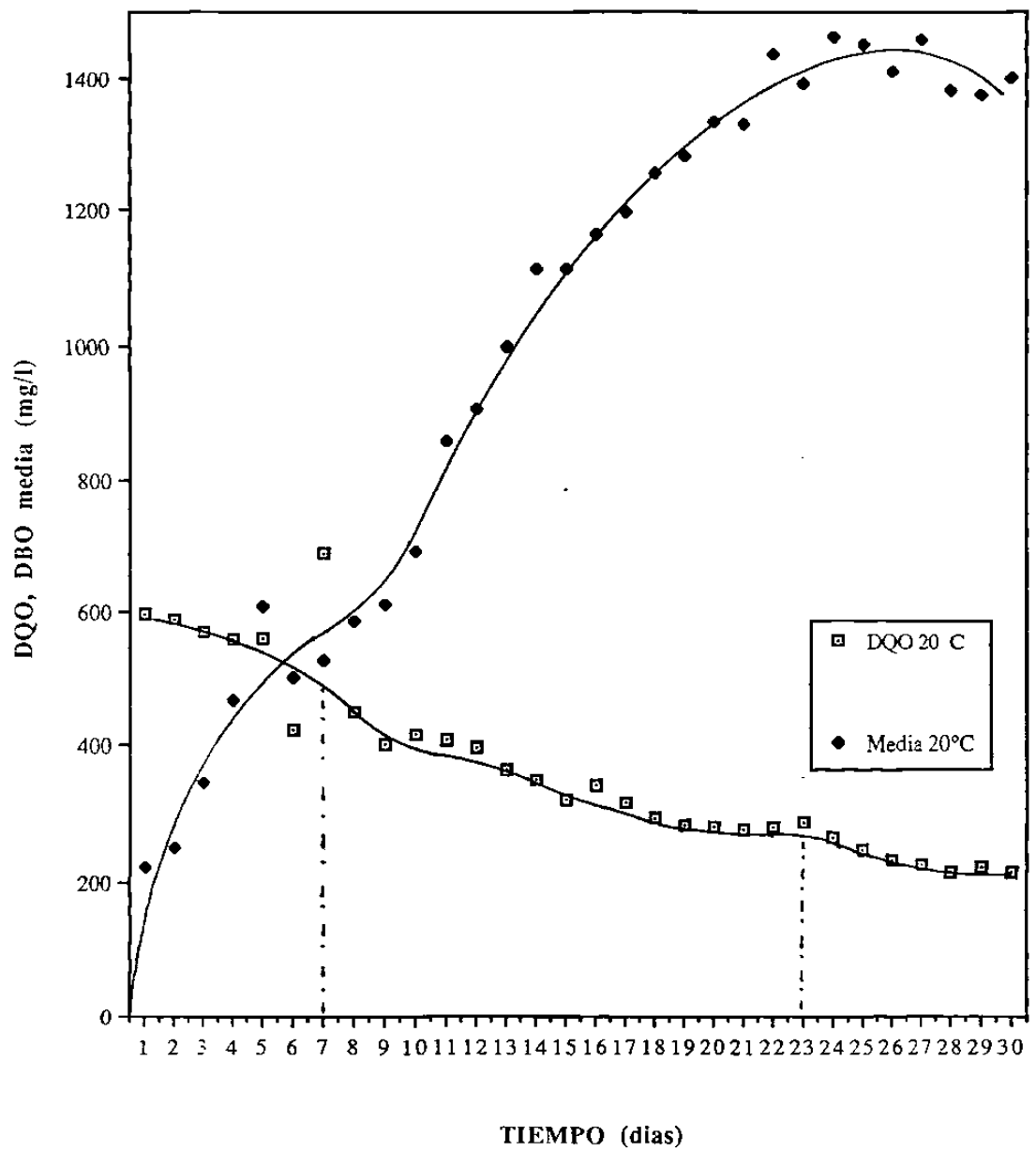
Gráfica 5.14 Comportamiento de la DBO a 20 °C ensus Tres Diluciones con Respecto a la DQO.



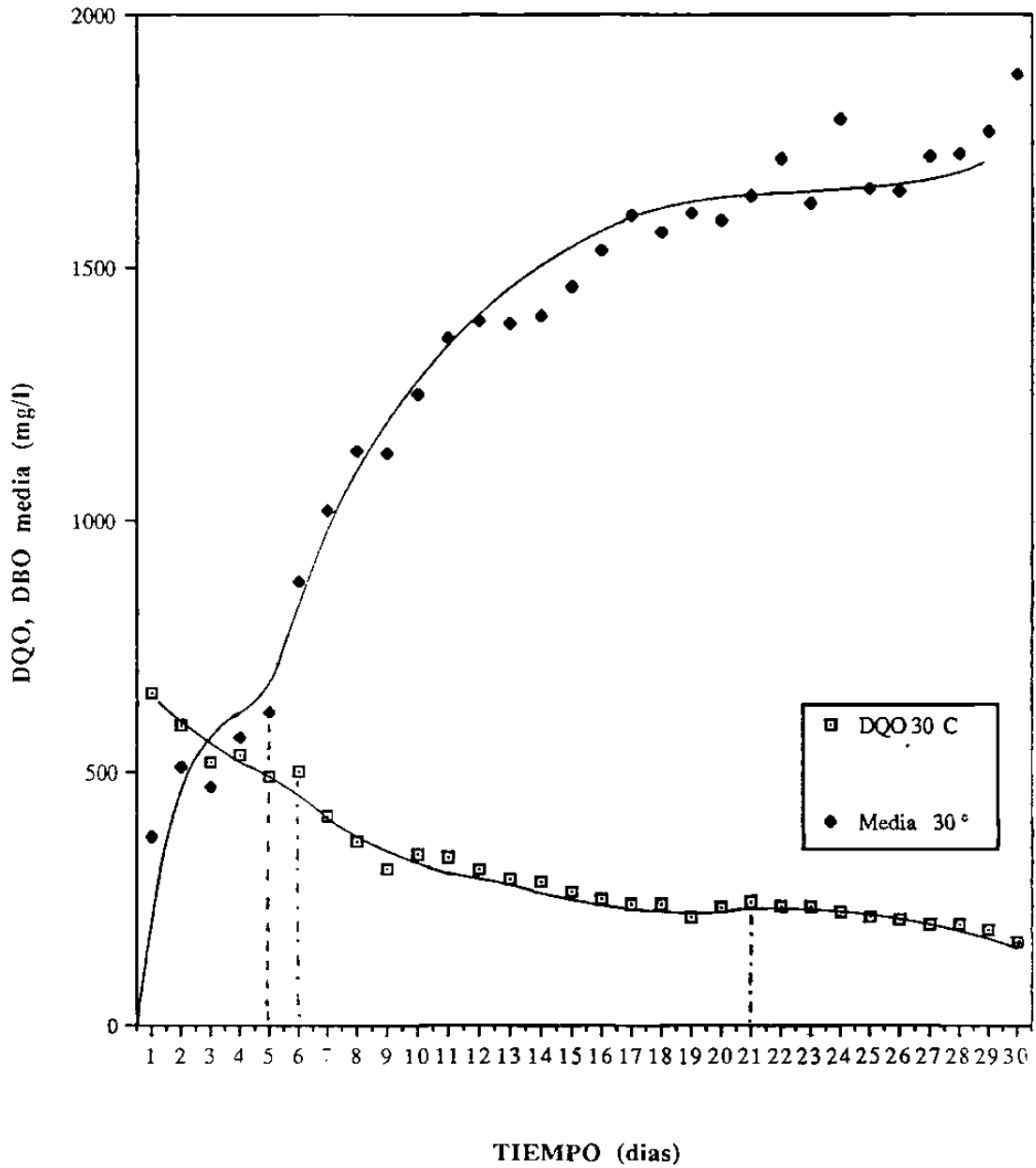
Gráfica 5.15 Comportamiento de la DQO y DBO a 30 °C en sus Tres Diluciones con Respecto Tiempo.



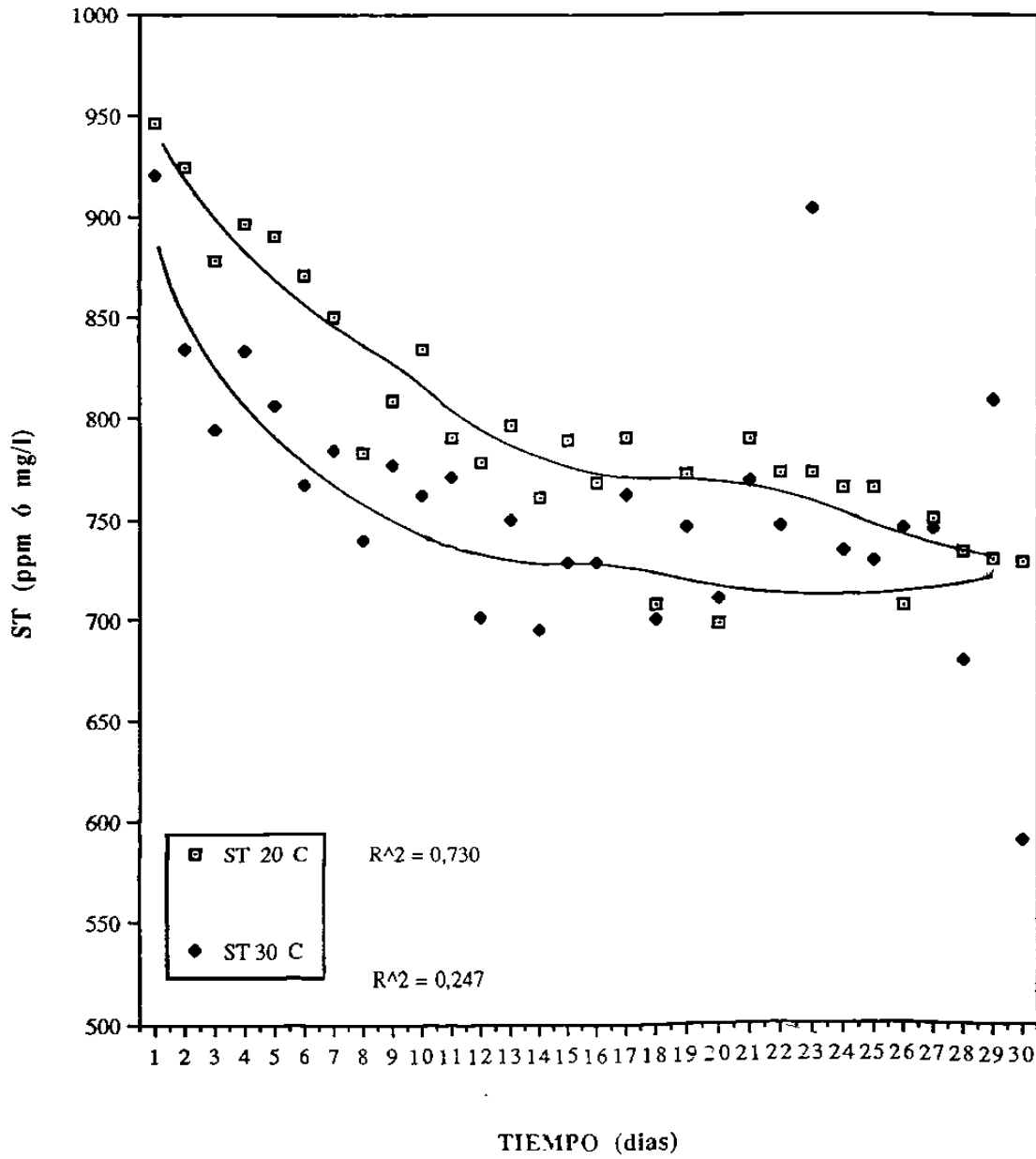
Gráfica 5.16 Comportamiento de la DQO y la DBO (Media) a 20 °C con Respecto al Tiempo.



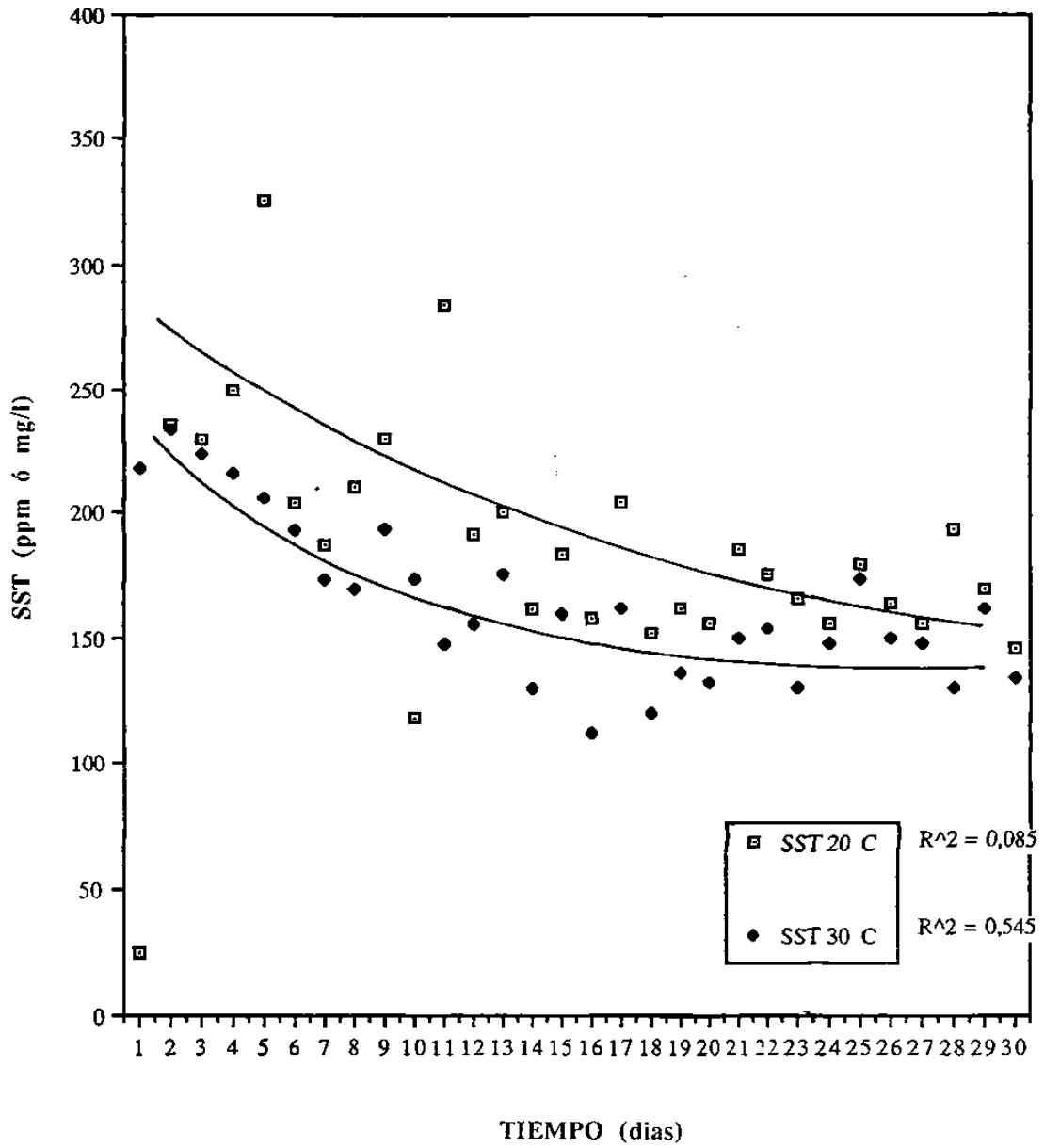
Gráfica 5.17 Comportamiento de la DQO y DBO (Media) a 30 °C con Respecto al tiempo.



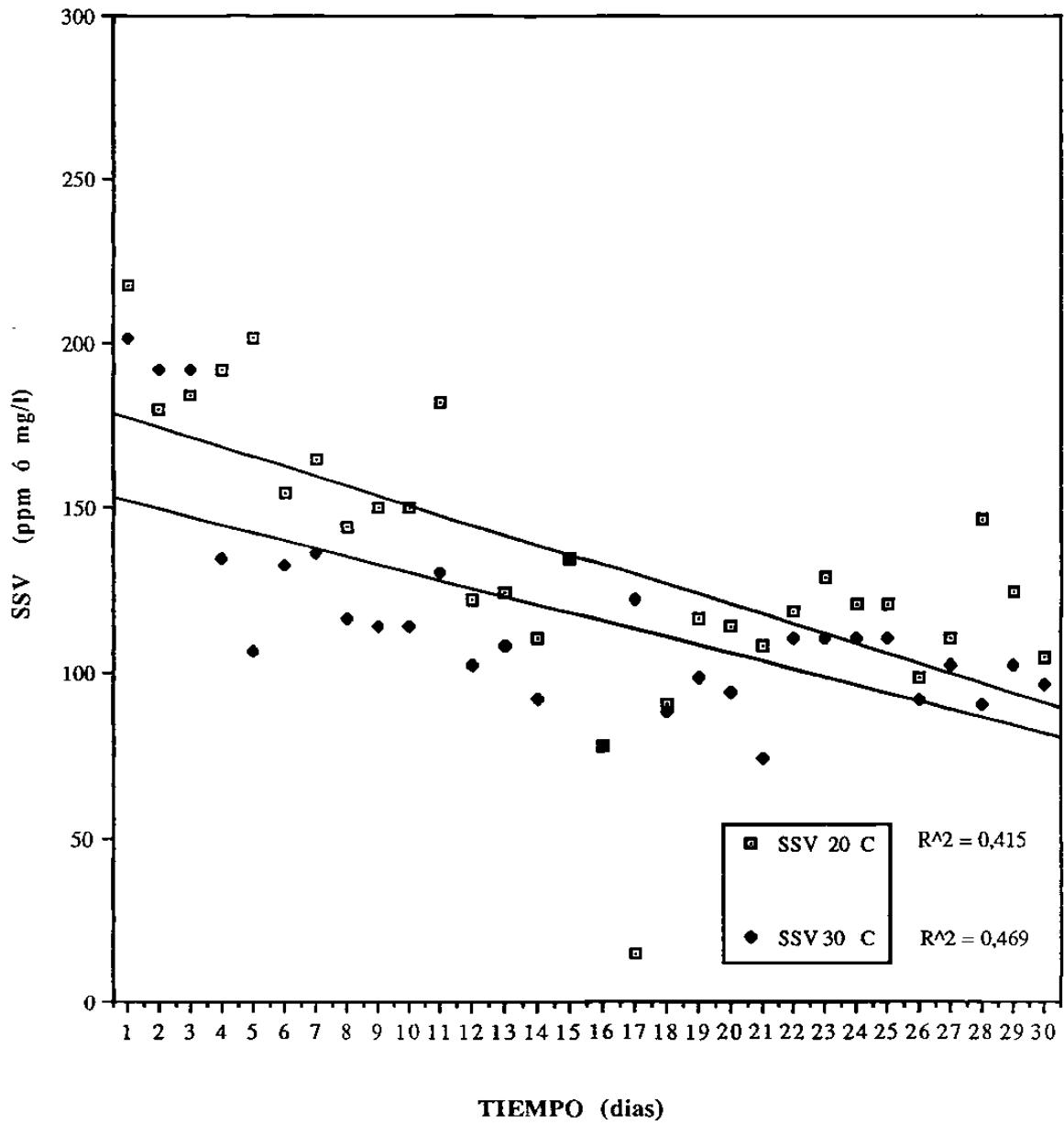
Gráfica 5.18 Comportamiento de los Sólidos Totales a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo.



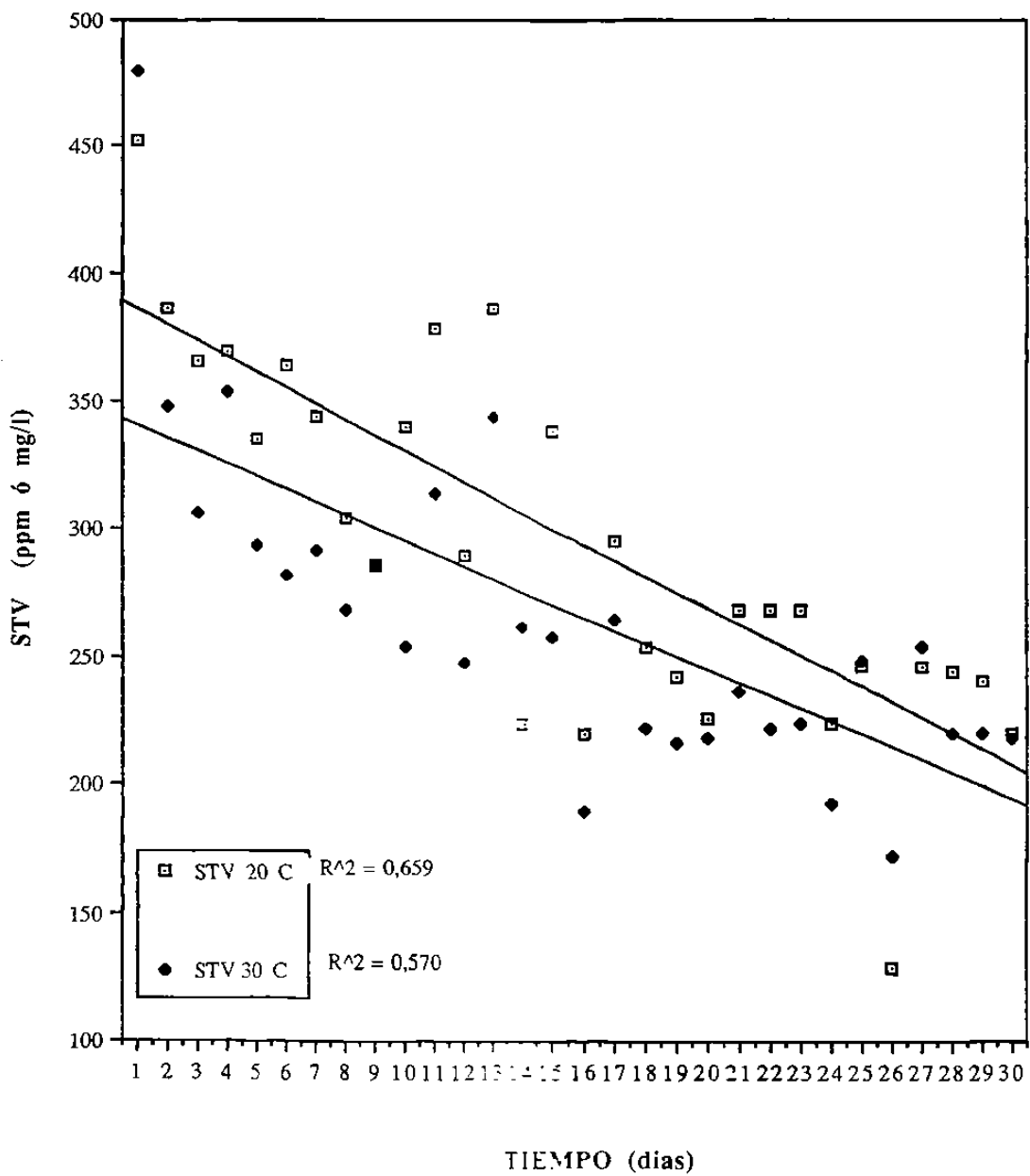
Gráfica 5.19 Comportamiento de los Sólidos Suspendedos Totales a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo.



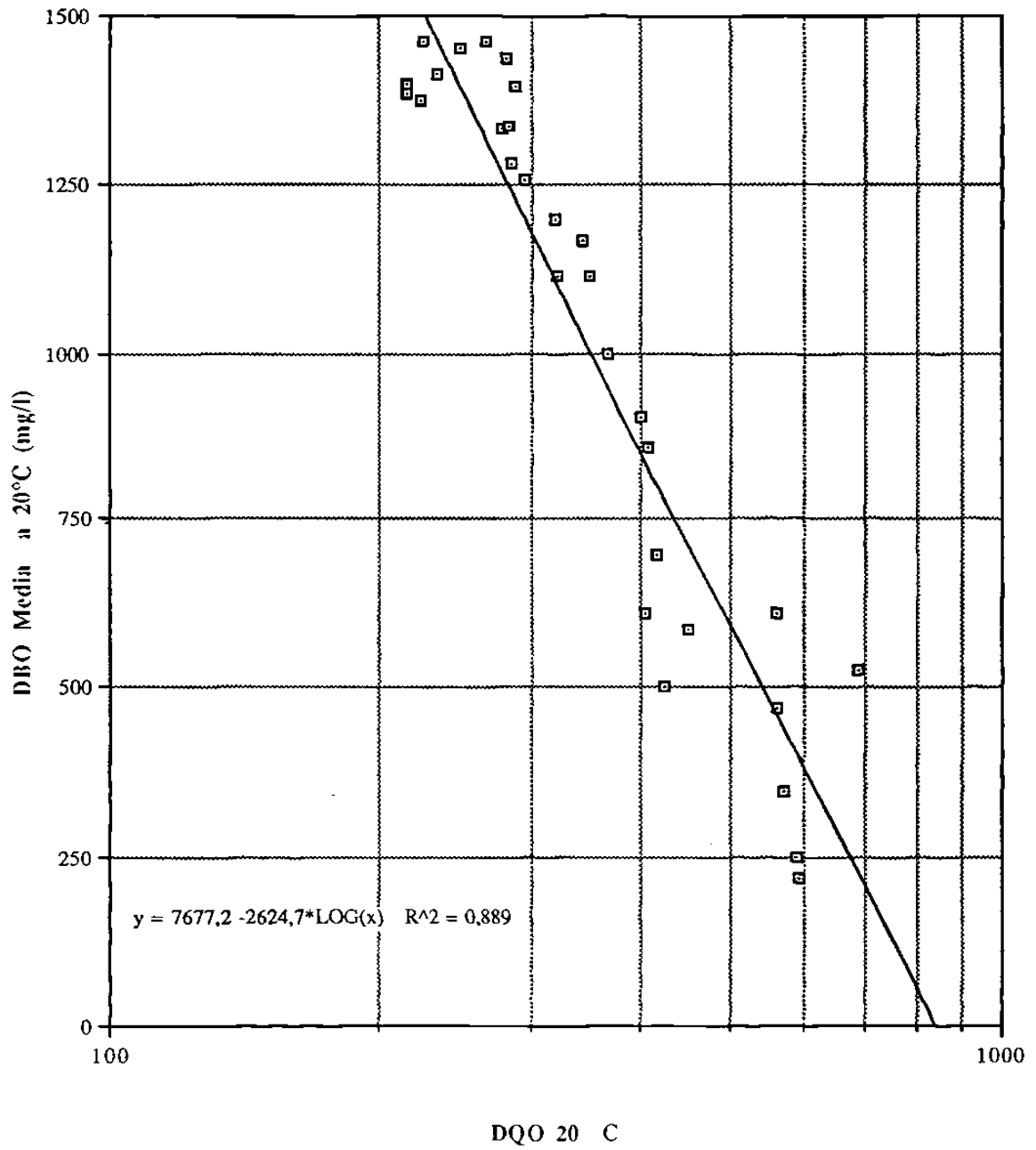
Gráfica 5.20 Comportamiento de los Sólidos Suspendedos Volátiles a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo.



Gráfica 5.21 Comportamiento de los Sólidos Totales Volátiles a 20 y 30 °C con Respecto al Tiempo.



Gráfica 5.22 Correlación del Log DQO con la DBO a 20°C.



Gráfica 5.23 Correlación del Log DQO con la DBO (30°C).

