

## Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala

Ivis Nohelia Peralta Salgado

Ingeniera Civil, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS – USAC. Honduras  
Trabajo: Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA)  
Dirección para recibir correspondencia: ivisperalta01@yahoo.com.mx  
Recibido 20.05.2015 Aceptado 10.06.2015

### Resumen.

El adecuado tratamiento de las aguas residuales depende de su composición y concentración. Con el propósito de obtener información propia del país, para el dimensionamiento de unidades de tratamiento de efluentes crudos domésticos, fueron recopilados datos de los parámetros a la entrada de la planta experimental “Ing. Arturo Pazos Sosa” desde el año 1974 al 2015, a través de 30 investigaciones de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), de la Universidad de San Carlos de Guatemala. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico, se obtuvo que la concentración promedio de los parámetros estudiados es: temperatura 22.6°C, pH 7.44 (U), color 403.7 (UC), DBO<sub>5</sub> 253.6 mg/l, DQO 422 mg/l, sólidos totales 640.8 mg/l, sólidos suspendidos 282.8 mg/l, nitrógeno total 40.5 mg/l, fósforo total 11.6 mg/l, coliformes totales 9.7E+11 NMP/100ml y coliformes fecales 6.8E+11 NMP/100ml. Así mismo se determinó que la relación DBO<sub>5</sub> con respecto a la DQO es 0.57 veces. Esta información será un punto de partida para determinar la composición típica del agua residual doméstica cruda en Guatemala y de utilidad en el diseño de tratamientos.

PALABRAS CLAVE: Análisis estadístico, Biodegradación, Parámetros de calidad, Tratamiento de Aguas residuales.

### Abstract.

*The base of a proper wastewater treatment is the determination of the composition and concentration of the contaminants in the water. From 1974 to 2015, thirty investigations from the Regional School of Sanitary Engineering and Water Resources (ERIS, for its acronym in Spanish), University of San Carlos in Guatemala, had allowed to collect information from the wastewater that is headed to the pilot plant “Ing. Arturo Pazos Sosa”. This information has been used to characterize the domestic wastewater effluents of the country, allowing the design of the units that should be used to treat this kind of water. The statistical analysis of this data shows that the average values of the studied parameters are: temperature 22.6°C, pH 7.44 (U), color 403.7 (CU), 553.6 BOD<sub>5</sub> mg/L, COD 422 mg/L, total solids 640.8 mg/L, suspended solids 282.8 mg/L, total Nitrogen 40.5 mg/L, total Phosphorus 11.6 mg/L, 9.7E11 MPN/100 total coliforms, and 6.8E11 MPN/100 fecal coliforms. The relation between BOD<sub>5</sub> and COD was also evaluated, showing that the ratio between these two parameters is 0.57. This information should be used as a starting point to determinate and characterize the average composition of the raw domestic wastewater produced in Guatemala, and the base to the design of wastewater treatment in the country.*

**Key words:** Statistical analysis, Biodegradation, domestic effluent, Quality parameters, Wastewater Treatment

## Introducción

La composición de las aguas residuales domésticas es semejante entre poblaciones, pudiendo variar de acuerdo al tamaño de la población, consumo de agua, cultura, clima y otros factores. Por consiguiente es necesario generar información propia, de acuerdo a la región. Basarse en datos obtenidos de países extranjeros con características distintas de población, puede resultar en un sobredimensionamiento de las unidades de tratamiento.

En el artículo se presentan los valores típicos de algunos parámetros de las aguas residuales tratadas en la planta experimental “Ing. Arturo Pazos Sosa”, estos se obtuvieron por medio del análisis estadístico de datos recopilados en 30 estudios especiales de la Maestría de Ingeniería Sanitaria de la ERIS. También se muestran los gráficos que representan la variación anual de cada parámetro a lo largo del período de estudio. Así mismo se calculó la relación de DBO5 con respecto a la DQO del agua a tratar. Es importante mencionar que esta investigación es parte del estudio especial “Uso de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas”, realizado por los profesionales, Inga. Ivis Peralta e Ing. Wilber Flores previo a obtener el título de maestro en Ciencias de la Ingeniería Sanitaria y del estudio especial “Uso de suelo y pet para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas por infiltración” del Ing. Andy Alonzo.

## Antecedentes

La planta experimental de tratamiento de aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa” inició operaciones en el año 1974. Al principio se trataban los efluentes de las colonias Aurora I y Aurora II, en la actualidad solo presta servicio a la colonia Aurora II que genera un caudal promedio de 4.0 l/s. Además de dar tratamiento al agua residual, la planta sirve para fines de docencia e investigación de la ERIS y de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

Desde 1974, se han realizado diferentes investigaciones por parte de los estudiantes de la ERIS y han sido la base para este artículo. En la tabla I se muestra cada estudio especial que fue consultado para la recopilación de datos del afluente de la planta experimental. La información está ordenada por el tipo de tratamiento, el código de registro del Centro de Información y Documentación (CIERIS) de la ERIS y el año de publicación.

## Descripción del área de estudio

La planta experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas “Ing. Arturo Pazos Sosa” se encuentra en la diagonal 26, 20-56 de la colonia militar Aurora II zona 13 de la ciudad de Guatemala. Sus coordenadas geográficas son 14° 34’ 40” latitud norte y 90° 32’ 12” longitud oeste.

La mejora de la calidad del agua en la planta experimental, se da a través de diferentes unidades de tratamiento como: lagunas de estabilización, humedales, sedimentador primario, unidades de infiltración, filtros percoladores tipo torre, filtros intermitentes de arena, ripio y pet, filtro lento de arena pómez, reactores anaerobios de flujo ascendente de concreto y polietileno, biodigestor prefabricado y sedimentador secundario tipo Dortmund.

**Tabla I: Lista de estudios especiales de la ERIS consultados**

Tipo de Tratamiento	#	Código	Año
Lagunas de estabilización	1	5	1974
	2	9	1975
	3	37	1980
	4	218	2004
Filtros percoladores	5	28	1978
	6	35	1980
	7	41	1982
	8	42	1982
	9	132	1991
	10	239	2010
	11	253	2012
Reactores anaerobios de flujo ascendente	12	110	1989
	13	112	1989
	14	130	1991
	15	137	1992
	16	144	1993
	17	230	2006
	18	233	2007

Tipo de Tratamiento	#	Código	Año
Filtros anaerobios de flujo ascendente	19	125	1991
	20	142	1992
Filtros biológicos	21	243	2010
	22	255	2012
	23	258	2013
Riego	24	109	1989
Evaluación de tratamientos primarios, secundarios y terciarios	25	209	2003
	26	216	2003
	27	254	2012
Humedales	28	250	2012
Biodigestor	29	263	2014
Uso del suelo como tratamiento secundario	30	*P	2015

\*P: Pendiente de publicación

Fuente: Centro de información y documentación CIERIS

biodegradabilidad del agua en la entrada de la planta experimental.

## Resultados

Los resultados de las medidas estadísticas se muestran en la tabla II y los gráficos 1 al 11 muestran la variación y el promedio de cada parámetro a lo largo del período de estudio.

## Metodología

En esta investigación los parámetros analizados a la entrada de la planta experimental, de acuerdo a la información recopilada en los estudios especiales mencionados en la tabla I, fueron: la temperatura, color, potencial de hidrógeno, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos totales, sólidos suspendidos, coliformes totales y coliformes fecales. La información fue procesada a través del programa IBM SPSS Statistics versión 22, que permitió obtener las diferentes medidas estadísticas.

En los estudios especiales consultados, los muestreos se realizaron con frecuencias diarias, semanales y mensuales. Estos fueron convertidos a datos promedio anuales, para graficar la variación de cada parámetro a lo largo del período de estudio con la ayuda del programa Microsoft Office Excel 2007.

Se calculó también la tendencia de la relación de DBO<sub>5</sub> con respecto a la DQO, para comparar con el rango que representa las aguas residuales domésticas, según los valores recomendados por Romero, J y Metcalf & Eddy. Al mismo tiempo se calculó el promedio de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO para conocer la

**Tabla II. Medidas estadísticas de los parámetros del agua residual a la entrada de la planta**

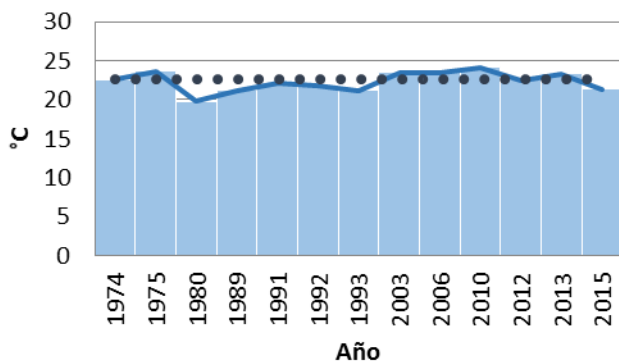
Parámetro	Temp (°C)	pH	Color (UC)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	Sólidos Suspen. (mg/l)	N total (mg/l)	P total (mg/l)	Col. Tot. (NMP/100ml)	Col. Fec. (NMP/100ml)
<b>N</b>	124	156	39	227	222	59	135	70	72	5	16
<b>Media</b>	22.6	7.44	403.7	253.6	422.1	640.8	282.8	40.5	11.6	9.7E+11	6.8E+11
Error estándar de la media	0.1	0.04	64.6	5.6	9.3	19.3	16.4	1.4	0.8	5.8E+11	3.0E+11
<b>Mediana</b>	22.7	7.30	282.0	237.9	432.0	653.9	267.8	40.4	9.1	2.8E+10	1.3E+10
<b>Moda</b>	22.0	7.20	169.0	234.0	286.00 (a)	469.3	196.0	40.0	5.9	2.4E+12	1.6E+09
<b>Desviación estándar</b>	1.5	0.46	403.6	83.9	138.3	148.1	190.9	11.7	7.0	1.3E+12	1.2E+12
<b>Varianza</b>	2.3	0.21	162924.5	7039.1	19125.7	21925.4	36440.6	137.5	49.2	1.7E+24	1.5E+24
<b>Asimetría</b>	-0.3	0.56	2.2	1.6	0.4	0.3	1.6	-0.1	1.2	0.61	1.45
Error estándar de asimetría	0.2	0.19	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.91	0.56
<b>Curtosis</b>	-0.5	0.18	5.8	5.0	0.6	-1.1	4.9	0.0	0.6	-3.33	0.49
Error estándar de curtosis	0.4	0.39	0.7	0.3	0.3	0.6	0.4	0.6	0.6	2.00	1.09
<b>Rango</b>	6.8	2.41	1961.1	585.5	735.8	490.1	1228.6	56.0	26.5	2.4E+12	3.5E+12
<b>Mínimo</b>	19.0	6.70	21.4	89.5	123.5	442.0	0.0	12.0	3.5	2.4E+06	1.4E+06
<b>Máximo</b>	25.8	9.11	1982.5	675.0	859.3	932.1	1228.6	68.0	30.0	2.4E+12	3.5E+12
<b>Percentiles</b>											
<b>25</b>	21.6	7.10	169.0	208.0	318.0	501.8	140.0	33.0	6.1	5.8E+09	1.6E+09
<b>50</b>	22.7	7.30	282.0	237.9	432.0	653.9	267.8	40.4	9.1	2.8E+10	1.3E+10
<b>75</b>	23.8	7.80	533.0	280.0	497.7	748.8	378.0	47.0	16.0	2.4E+12	1.8E+12

(a): Existen múltiples modas, se muestra el valor más pequeño

N: numero de datos por parámetro

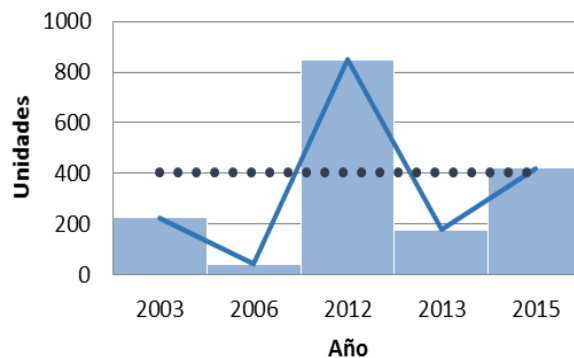
Fuente: Ing. Andy Alonzo e Inga. Ivis Peralta

**Gráfico 1. Variación y promedio de temperatura**



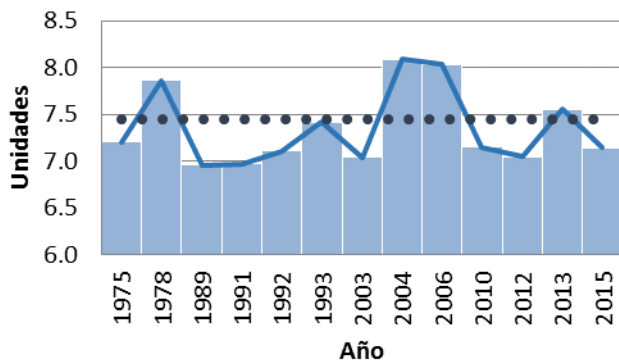
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3. Variación y promedio de color**



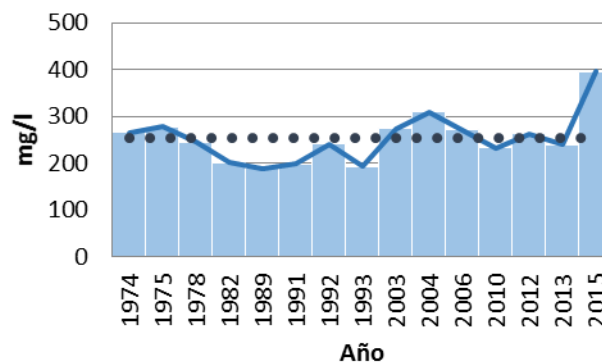
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 2. Variación y promedio de pH**



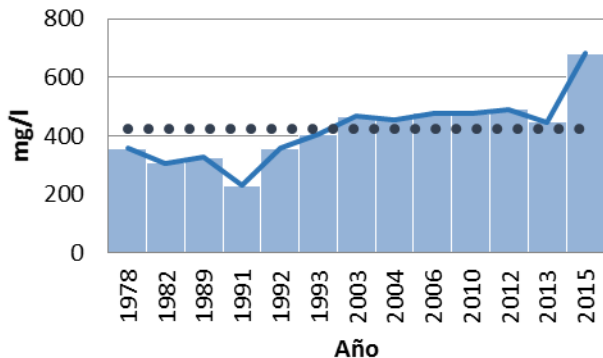
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 4. Variación y promedio de DBO5**



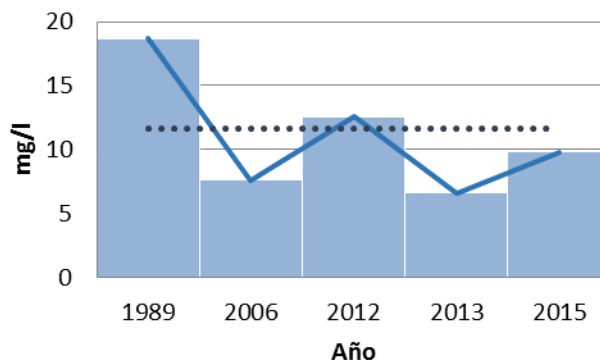
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 5. Variación y promedio de DQO**



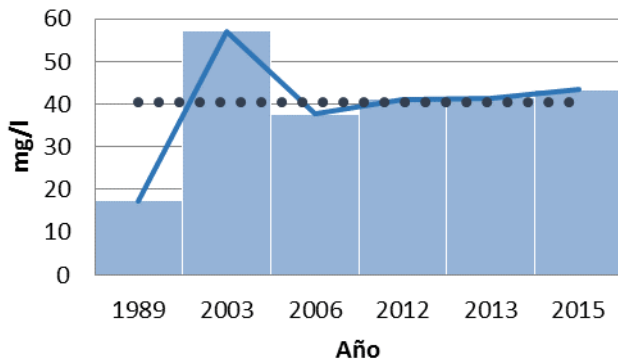
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 7. Variación y promedio de Fósforo Total**



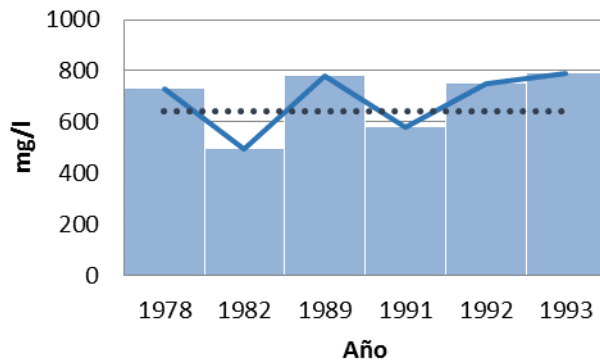
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 6. Variación y promedio de Nitrógeno Total**



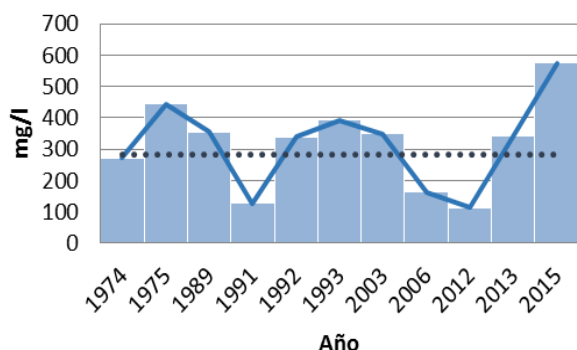
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 8. Variación y promedio de Sólidos Totales**



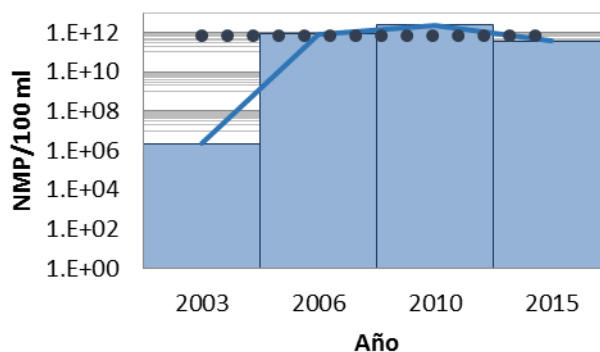
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 9. Variación y promedio de Sólidos Suspendidos**



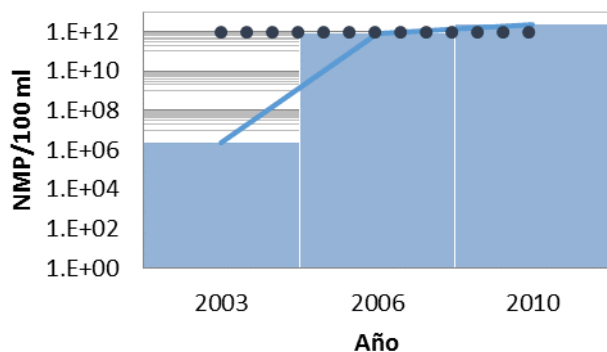
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 11. Variación y promedio de Coliformes Fecales**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 10. Variación y promedio de Coliformes Totales**



Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO se calculó la correlación de Pearson (ver tabla III), las medidas estadísticas (ver tabla IV), gráficos de dispersión (ver gráfico 12 y 13) y el gráfico 14 muestra la variación de la DBO<sub>5</sub> con respecto a la DQO a lo largo del período de estudio.

**Tabla III. Correlación entre DBO<sub>5</sub> y DQO**

		DQO
DBO <sub>5</sub>	Correlación de Pearson	0.51*
	p-valor	0.00
	Numero de datos	206

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01

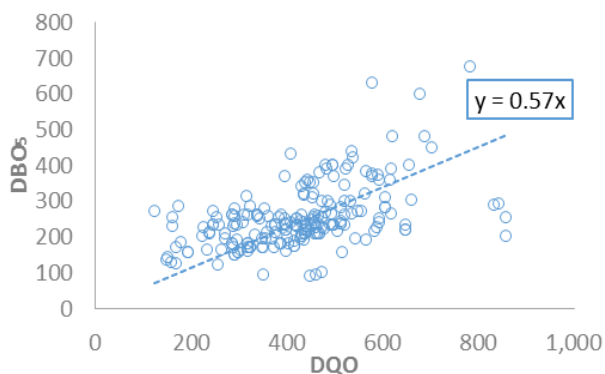
Fuente: Elaboración propia

**Tabla IV. Medidas estadísticas de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO**

<b>Numero de datos</b>	207
<b>Media</b>	0.63
Error estándar de la media	0.02
<b>Mediana</b>	0.57
<b>Moda</b>	0.52
<b>Desviación estándar</b>	0.24
<b>Varianza</b>	0.06
<b>Asimetría</b>	2.09
Error estándar de asimetría	0.17
<b>Curtosis</b>	9.89
Error estándar de curtosis	0.34
<b>Rango</b>	2.21
<b>Mínimo</b>	0.00
<b>Máximo</b>	2.21

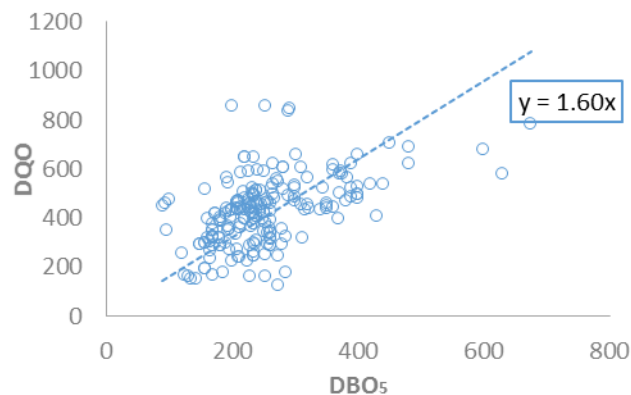
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 12. Relación DBO<sub>5</sub> con respecto a DQO**



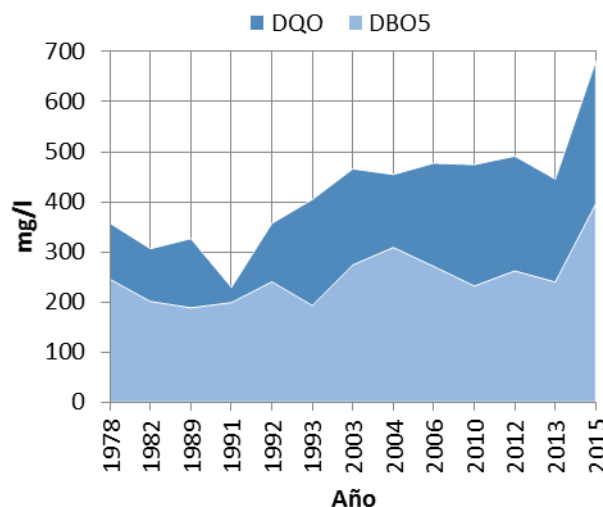
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 13. Relación DQO con respecto a DBO<sub>5</sub>**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 12. Variación de DBO<sub>5</sub> y DQO**



Fuente: Elaboración propia

### Discusión de resultados

La temperatura y el nitrógeno total presentan asimetrías negativas indicando que la mayor parte de los datos están por debajo de la media, el resto de parámetros tiene asimetría positiva y se asume que la mayor parte de los datos se encuentran por encima de la media. (Ver tabla II)



La temperatura, los sólidos totales y los coliformes totales tienen curtosis negativa, lo indica que la distribución de los datos es de forma platicúrnica (achatada) y no tiene un comportamiento de distribución normal. El resto de parámetros tienen curtosis positiva que indica una distribución de forma leptocúrnica (alargada), esto representa que la mayor concentración de valores se encuentra alrededor de la media. (Ver tabla II)

El comportamiento de la temperatura sigue una tendencia lineal casi horizontal. El pH tiene una variación menor a 8 unidades relacionándose directamente con la descomposición de la materia orgánica (ver gráfico 2). El color se comportó de forma irregular debido a que los muestreos se hicieron en diferentes épocas del año (época de lluvia y época seca) y en distinto horario (Ver gráfico 3), manteniendo valores menores a 282 UC el 50% de las veces.

La DBO<sub>5</sub>, la DQO y los sólidos totales se comportaron de forma regular a lo largo del tiempo manteniendo valores menores 237.9 mg/l, 432 mg/l y 653.9 mg/l respectivamente en el 50% de los datos. Los sólidos suspendidos se comportaron de forma irregular manteniendo valores menores a 267.8 mg/l el 50% de las veces (ver gráfico 9).

El nitrógeno y el fósforo se comportaron de forma regular manteniendo valores menores a 40.4 mg/l y 9.05 mg/l respectivamente en el 50% de los datos (ver gráficos 6 y 7). La variación descendente del fósforo se asume por la introducción de los detergentes biodegradables a principio del año 2000 en Guatemala.

Los coliformes totales y fecales presentaron su punto más bajo en el año 2003, el resto del período se comportaron de forma regular manteniendo valores menores a  $2.8E+10$  y  $1.3E+10$  NMP/100ml respectivamente en el 50% de los datos.

La posibilidad de establecer relaciones constantes entre los diferentes parámetros de medida del contenido de materia orgánica depende principalmente del tipo de agua residual y su origen (Metcalf y Eddy, 1995). Para aguas residuales domésticas crudas la relación DBO<sub>5</sub> con respecto a

la DQO se encuentra entre 0.4 a 0.8, también es válido relacionar la DQO con respecto DBO<sub>5</sub> y su valor se encuentra entre 1.2 a 2.5. Para conocer estas relaciones en el agua de la planta experimental de tratamiento de aguas residuales "Ing. Arturo Pozas Sosa", se utilizó la correlación de Pearson y el gráfico de dispersión.

La correlación de Pearson expresa una alta relación entre más próximo a uno sea el resultado y una baja relación cuando está cercana a cero. Cuando el resultado es menor a cero se dice que existe una relación lineal inversa y cuando es mayor a cero la relación es lineal directa.

La correlación DBO<sub>5</sub> respecto de la DQO es 0.51 (ver tabla III). Debido a que el resultado es positivo existe una relación lineal directa entre las dos variables mencionadas. Como la significación estadística, o sea el *p-valor* es menor a 0.05 (ver tabla III), se rechaza la hipótesis de independencia y se asume que las dos variables están relacionadas debido a que el *p-valor* marca un riesgo del 0% de error. En resumen, existe una relación lineal directa moderada entre DBO<sub>5</sub> y DQO.

El gráfico 12 indica que la relación DBO<sub>5</sub>/DQO tiene una tendencia lineal con pendiente igual a 0.57, indicando que la DBO<sub>5</sub> es 0.57 veces la DQO. Así mismo el gráfico 13 indica que la relación DQO/DBO<sub>5</sub> tiene una tendencia lineal con pendiente igual a 1.60, indicando que la DQO es 1.60 veces la DBO<sub>5</sub>.

El gráfico 14 muestra la variación promedio anual de la DBO<sub>5</sub> y la DQO. Al realizar la relación entre ambas variables por año, se obtiene que las medidas de estadística descriptiva como la moda es 0.52, la mediana es 0.57, la media es 0.63 y la desviación estándar es 0.24, utilizando la media y la desviación estándar como referencia el rango de variación de dicha relación es de 0.39 a 0.87. (Ver tabla IV).

De acuerdo a los resultados anteriores, el agua residual cruda en la planta tiene un índice de biodegradabilidad alto. Cabe mencionar que el índice de biodegradabilidad es una referencia que indica si el agua residual puede ser tratada biológicamente, se representa por la relación entre la DBO<sub>5</sub> respecto a la DQO. Si esta relación es menor a 0.20 el agua es poco biodegradable, si se encuentra entre 0.20 y 0.40 es biodegradable, si es mayor a 0.40 el agua es muy biodegradable.

## Conclusiones

La composición y concentración típica del agua residual cruda de la Planta Experimental “Ing. Arturo Pazos Sosa”, es la siguiente:

Parámetro	Promedio	Desv. Estándar
Temperatura	23.0	1.5
pH	7.44	0.46
Color	404	404
DBO <sub>5</sub>	253	84
DQO	422	138
Sólidos totales	641	148
Sólidos suspendidos t.	283	191
Nitrógeno total	40.5	11.7
Fósforo total	11.6	7.0
Coliformes totales	9.7E+11	1.3E+12
Coliformes fecales	6.8E+11	1.2E+12

Se comprobó que la relación entre DBO<sub>5</sub> y DQO sigue una tendencia lineal, con pendiente igual a 0.57. Por consiguiente, en el afluente de la planta la DBO<sub>5</sub> es 0.57 veces la DQO, encontrándose dentro del rango de un agua residual doméstica según Romero, J. y Metcalf & Eddy.

La relación DBO<sub>5</sub> con respecto a la DQO puede variar desde 0.39 a 0.87, lo que indica que el afluente de la planta es muy biodegradable, según los rangos del índice de biodegradabilidad antes mencionados.

## Agradecimientos

Esta investigación pudo llevarse a cabo gracias a la colaboración de: El Ing. Andy Alonzo, por su apoyo en la recopilación y procesamiento de datos, la Lic. Dora Cardoza, por su apoyo en el Centro de Información y Documentación (CIERIS) y al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el otorgamiento de fondos.

## Referencias

HERNÁNDEZ, J. (2012). *Diseño, construcción y evaluación de un modelo experimental de filtro percolador utilizando estopa de coco como medio filtrante, para la reducción de nitrógeno y fósforo total de las aguas*

*residuales de la planta de tratamiento Aurora II “Ing. Arturo Pazos Sosa”*. Estudio especial de la Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria (ERIS), Universidad de San Carlos de Guatemala.

METCALF Y EDDY. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo*, segunda edición. España: McGraw-Hill.

ROMERO, J. (2004) *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de diseño*. Colombia: Escuela colombiana de ingeniería.

ROZANO, E. Y DAPENA, J.L. (2002). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. España: Díaz de Santos.

SOLARES, M. (2006). *Certificación de la norma ISO 14000 para una planta de tratamiento de aguas negras*. Tesis de pregrado ingeniería industrial, USAC.