



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA
Y MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

TESINA DE MÁSTER

**“ESTUDIO ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS RELACIONES NECESARIAS
ENTRE PARÁMETROS ANALÍTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA SU
CARACTERIZACIÓN SEGÚN LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE FANGOS ACTIVADOS”**

Presentado por:

JAVIER EDUARDO SÁNCHEZ RAMÍREZ

Director:

Dra. MARÍA FRANCISCA GARCÍA USACH

Codirector:

Dr. JOSEP RIBES BERTOMEU

Valencia, Noviembre del 2008

Agradecimientos

A Dios

A mi Madre y Pili

A mi Familia.

Al grupo de investigación Calagua y los directores de tesis Josep y Paqui

Gracias por esta oportunidad,

Profesores, compañeros y amigos.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente,

No temas ni desmayes,

Porque yo estaré contigo donde quiera que vayas”

Josué 1

RESUMEN

Titulo: "Estudio estadístico para la obtención de las relaciones necesarias entre parámetros analíticos de las aguas residuales para su caracterización según los modelos de fangos activados".

El problema del crecimiento urbano que se experimenta en la actualidad esta incrementando en gran medida la cantidad de agua residual generada y en consecuencia un aumento de contaminantes en el agua. El tratamiento de estas aguas se ha realizado en los últimos años mediante procesos biológicos como el comúnmente utilizado de fangos activados. Estos procesos han sido descritos mediante modelos que describen la eliminación de los contaminantes presentes en el agua (materia orgánica, N y P).

La utilización de estos modelos requiere de una caracterización detallada de los contaminantes presentes en el agua residual. La caracterización de un agua residual es clave para el uso de estos modelos de simulación, tanto en el diseño como en la simulación de las mismas. Esta tesis ha utilizado y considerado los parámetros propuestos en el modelo de fangos activados BNRM1 (Seco y col., 2004) siendo este modelo una ampliación del modelo Asm2d propuesto por la International Water Association (IWA).

El objetivo principal de esta tesina es la realización de un estudio estadístico con el fin de obtener relaciones entre los datos analíticos utilizados para la caracterización del agua residual según los modelos matemáticos de fangos activados.

La obtención de todos los componentes del modelo matemático a partir de poca información teniendo en cuenta que no siempre se dispone de todos los datos necesarios para caracterizar el agua, exige la realización de suposiciones y consideraciones basadas en; la experiencia del diseñador, datos encontrados en diferentes plantas y datos bibliográficos obtenidos a partir de aguas residuales urbanas analizadas en diferentes lugares.

El presente estudio estadístico se realizó a partir de datos obtenidos en caracterizaciones de aguas residuales urbanas de diferentes estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia (Valencia, España). Las caracterizaciones fueron realizadas por el grupo de investigación Calagua.

Las caracterizaciones realizadas fueron el punto de partida del presente trabajo, de allí se extrajo la información necesaria de todos los datos experimentales y componentes que describen y caracterizan las aguas residuales influentes a las EDARs. Se estudiaron diversas relaciones entre

los datos de acuerdo a la influencia que tenían sobre el proceso biológico y la relación entre ellos. Además se estudió la influencia que tienen estas relaciones con el correcto funcionamiento de los procesos de eliminación de materia orgánica y nutrientes del agua residual.

En la bibliografía existen varias de estas relaciones así como valores propuestos para dichas relaciones según los modelos de fangos activados que se han desarrollado. En la presente tesina se han propuesto relaciones entre los distintos datos experimentales y componentes, se han comparado con las relaciones encontradas en la bibliografía, la comparación realizada se ha hecho con los datos obtenidos en el presente estudio. Los resultados de la comparación se han explicado en base a las distintas depuradoras estudiadas.

La importancia de las relaciones propuestas radica en la posibilidad de caracterizar un agua residual urbana a partir de pocos datos experimentales y calcular los diferentes componentes del agua residual según los modelos matemáticos para aguas residuales del tipo ASM.

SUMMARY

Title: "Statistical study to obtain the necessary relationships of analytical parameters of wastewater for its characterization according to the mathematical models of activated sludge"

The current problem of urban growth is increasing significantly the amount of wastewater generated and therefore, the amount of pollutants in water. In recent years, the treatment of these wastewaters has been done by biological processes such as the commonly used activated sludge. These processes have been simulated by models that describe the elimination of contaminants in water (organic matter, N and P).

The use of these models requires a detailed characterization of contaminants in the wastewater. The characterization of the wastewater is a key factor in the use of these simulation models, both in its design and simulation. This study has used and considered the parameters proposed in the model of activated sludge BNRM1 (Seco y col., 2004) which is an extension of the Asm2d model proposed by the IWA (International Water Association).

The main objective of this project is to carry out a statistical study in order to get relationships of the analytical data used in the characterization of wastewater according to the mathematical models of activated sludge.

Obtaining all components of the mathematical model from little information, taking into account that all the necessary data to characterize the water is not always available, requires the use of assumptions and considerations based on the designer's experience, the data found in different plants and the bibliographic data obtained from urban wastewater analysed in different places. This statistical study was done using data obtained in the characterization of urban wastewater done by different wastewater sewage treatment (EDAR) plants of the Valencian Community and the Murcia region (Valencia, Spain), the characterizations were done by the Calagua Research Group.

The characterizations performed were the starting point of this work. From these, the necessary information for all the experimental data and components that describe and characterize the wastewater flowing to the EDAR's was extracted. We studied various relationships in the data according to their influence on the biological process and the relationship between them. In addition, the influence of these relationships on the proper functioning of the processes of organic matter and nutrients elimination from wastewater was studied.

In the literature there are several of these relationships as well as values proposed for those relationships according to the Model of activated sludge that have been developed. In the present work, some relationships between the various experimental data and components have been

proposed and compared with the relationships found in the literature. The results from this comparison have been explained based on the different treatment plants studied.

The importance of the proposed relationships lies on the possibility to characterize urban wastewaters from few experimental data and to calculate the different components of the wastewater according to the mathematical models for ASM wastewaters.

Resum

El problema del creixement urbà que s'experimenta en l'actualitat esta incrementant en gran manera la quantitat d'aigua residual generada i en conseqüència un augment de contaminants en l'aigua. El tractament d'estes aigües s'ha realitzat en els últims anys per mitjà de processos biològics com el comunament utilitzat de fangs activats, estos processos han sigut descrits per mitjà de models que descriuen l'eliminació dels contaminants presents en l'aigua (matèria orgànica, N i P).

La utilització d'estos models requereix d'una caracterització detallada dels contaminants presents en l'aigua residual. La caracterització d'una aigua residual és clau per a l'ús d'estos models de simulació, tant en el disseny com en la simulació de les mateixes. Esta tesi ha utilitzat i considerat els paràmetres proposats en el model de fangs activats BNRM1 (Sec i col., 2004) sent este model una ampliació del model Asm2d proposat per la IWA (International water Association).

L'objectiu principal d'esta tesina és la realització d'un estudi estadístic a fi d'obtindre relacions entre les dades analítiques utilitzades per a la caracterització de l'aigua residual segons els models matemàtics de fangs activats.

L'obtenció de tots els components del model matemàtic a partir de poca informació tenint en compte que no sempre es disposa de totes les dades necessàries per a caracteritzar l'aigua, exigix la realització de suposicions i consideracions basades en; l'experiència del dissenyador, dades trobades en diferents plantes i dades bibliogràfiques obtingudes a partir d'aigües residuals urbanes analitzades en diferents llocs.

El present estudi estadístic es realitze a partir de dades obtingudes en caracteritzacions d'aigües residuals urbanes de diferents EDAR (Estació Depuradora d'Aigua Residual) de la Comunitat Valenciana (València, Espanya), les caracteritzacions van ser realitzades pel grup d'investigació Calagua.

Les caracteritzacions realitzades van ser el punt de partida del present treball, d'allí es va extraure la informació necessària de totes les dades experimentals i components que descriuen i caracteritzen les aigües residuals influentes a les EDAR. Es van estudiar diverses relacions entre les dades d'acord amb la influència que tenien sobre el procés biològic i la relació entre ells. A més s'estudi la influència que tenen estes relacions amb el funcionament correcte dels processos d'eliminació de matèria orgànica i nutrients de l'aigua residual.

En la bibliografia hi ha diverses d'estes relacions així com valors proposats per a les dites relacions segons els models de fangs activats que s'han desenvolupat. En la present tesina s'han proposat relacions entre les distintes dades experimentals i components, s'han comparat amb les

relacions trobades en la bibliografia i la justificació de la comparació realitzada s'ha fet d'acord amb els estudis realitzats en les distintes depuradores estudiades.

La importància de les relacions proposades radica en la possibilitat de caracteritzar una aigua residual urbana a partir de poques dades experimentals i calcular els diferents components de l'aigua residual segons els models matemàtics per a aigües residuals del tipus ASM.

ÍNDICE

Resumen

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	4
1.1.1	PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS	6
1.1.2	TIPOS DE MICROORGANISMOS	7
1.1.3	ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE MATERIA ORGÁNICA	7
1.1.3.1	Fraccionamiento de la materia orgánica.....	8
1.1.4	ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO DE LAS AGUAS RESIDUALES	9
1.1.4.1	Fraccionamiento del nitrógeno	11
1.1.4.2	Nitrificación	12
1.1.4.3	Desnitrificación.....	12
1.1.5	ELIMINACIÓN DE FÓSFORO DE LAS AGUAS RESIDUALES	13
1.2	MODELACIÓN DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS	14
1.2.1	MODELACIÓN DE PROCESOS DE ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES	15
1.2.2	MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO: BNRM1 (BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL MODEL NO.1)	16
1.2.2.1	Componentes solubles	19
1.2.2.2	Componentes particulados	20
1.2.2.3	Procesos considerados en el modelo BNRM1	22
1.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
2	OBJETIVOS.....	24
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	24
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3	MATERIALES Y METODOS.....	26
3.1	MÉTODOS ANALÍTICOS	26
3.1.1	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO).....	26
3.1.2	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)	27
3.1.3	FÓSFORO TOTAL	27
3.1.4	ORTOFOSFATOS	27
3.1.5	NITRÓGENO TOTAL	27
3.1.6	AMONIO	28
3.1.7	NITRATO	28
3.1.8	ÁCIDOS VOLÁTILES.....	28
3.1.9	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	29
3.2	MÉTODOS ESTADÍSTICOS	29
4	DATOS EXPERIMENTALES.....	30
4.1	ÁREA DE ESTUDIO	31

4.2	PUNTOS DE MUESTRO (EDAR).....	32
4.2.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS EDAR.....	33
4.3	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE MEDIANTE DATOS EXPERIMENTALES	34
4.3.1	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL SEGÚN LOS MODELOS MATEMÁTICOS TIPO ASM.....	34
5	METODOLOGIA PROPUESTA.....	41
5.1	RELACIONES MATEMÁTICAS ESTUDIADAS.....	42
5.2	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA PARA EL ANÁLISIS ESTADISTICO	43
5.3	ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES	44
5.4	ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS COMPONENTES SEGÚN LOS MODELOS TIPO ASM..	47
5.5	RELACIONES PROPUESTAS.....	48
5.6	IDENTIFICACIÓN DE VALORES ATÍPICOS	50
5.7	ANÁLISIS DE NORMALIDAD.....	53
5.7.1	DATOS ESTADÍSTICOS DE LAS VARIABLES NORMALIZADAS.....	56
5.8	ANÁLISIS PARAMETRICO	58
5.8.1	PRUEBA T.	58
5.9	PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE CORRELLACIÓN DE DATOS.....	61
5.9.1	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON.....	61
5.9.2	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN	62
5.9.3	CORRELACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES.....	63
5.10	PRUEBAS DE REGRESIÓN LINEAL.....	67
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
6.1	APLICACIÓN AL MODELO BNRM1.....	68
6.2	DATOS EXPERIMENTALES Y COMPONENTES DEL AGUA RESIDUAL TÍPICOS	69
6.3	RELACIONES PROPUESTAS TIPO I.....	71
6.3.1	DBO_5 : DBO_{LIM}	72
6.3.2	DBO : DQO	72
6.3.3	DQO : N Y DBO_5 : N	73
6.3.4	P : DQO Y P : DBO_5	75
6.3.5	SSV : SST	75
6.4	RELACIONES PROPUESTAS TIPO II.....	76
6.5	APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	79
6.5.1	OBTENCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODELO.....	79
6.5.2	CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CONVERSIÓN	83
6.6	APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL URBANA (CARU 1.0).....	84
7	CONCLUSIONES.....	87
8	BIBLIOGRAFIA.....	90
9	ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Principales procesos en el tratamiento de aguas residuales.	5
FIGURA 2. Esquema básico del proceso de fangos activados.	6
FIGURA 3. Fraccionamiento del agua residual.	8
FIGURA 4. Ciclo del nitrógeno. eliminación biológica	10
FIGURA 5. Fraccionamiento del nitrógeno	11
FIGURA 6. Acciones de el proceso de análisis de datos	29
FIGURA 7. Mapa España, Comunidad Valenciana y región de Murcia.....	31
FIGURA 8. Puntos de ubicación de las edar en la Comunidad Valenciana y Murcia.....	33
FIGURA 9. Ejemplo de diagrama de caja para los datos experimentales.	47
FIGURA 10. Diagramas de caja, identificación de valores atípicos.....	51
FIGURA 11. Diagramas Q-Q normales de las relaciones entre parámetros.	52
FIGURA 12. Ejemplo de histogramas obtenidos para las relaciones.	57
FIGURA 13. Relación lineal DBO_5 : DBO_{LIM}	64
FIGURA 14. Ejemplo de correlación DBO_{LIM} : DQO	64
FIGURA 15. Relación lineal SSV: SST.....	65
FIGURA 16. Relación lineal DQO: SST.....	65
FIGURA 17. Relación lineal DQOSOL: S_s	66
FIGURA 18. Relación lineal PO_4^{3-} : P	66
FIGURA 19. Entrada a la aplicación.	84
FIGURA 20. Pantalla de entrada de datos para	85
FIGURA 21. Pantalla de resultados obtenidos.	86
FIGURA 22. Pantalla de las relaciones utilizadas en esta aplicación.....	86

TABLAS

TABLA 1. Datos experimentales comúnmente empleados en la caracterización de agua residual.

TABLA 2. Componentes del modelo BNRM1. S: solubles X: particulado.

TABLA 3. Matriz de continuidad y factores de conversión.

TABLA 4. Coeficientes de conversión típicos según el modelo ASM.

TABLA 5. Procesos del modelo BNRM1.

TABLA 6. Puntos de muestreo.

TABLA 7. Caracterización del agua residual influente en las EDAR utilizadas en este estudio.

TABLA 8. Caracterización del agua residual influente en las EDAR.(2/2)

TABLA 9. Componentes del agua residual obtenidos a partir de datos experimentales.

TABLA 10. Relaciones propuestas entre datos, tipo I y II.

TABLA 11. Valores medios de los datos experimentales utilizados en este estudio.

TABLA 12. Valores de tendencia central de los componentes del modelo.

TABLA 13. Análisis estadístico de las relaciones propuestas (1/3).

TABLA 14. Análisis estadístico de las relaciones propuestas (2/3).

TABLA 15. Análisis estadístico de las relaciones propuestas (3/3).

TABLA 16. Numero de datos excluidos de las relaciones Tipo I y Tipo II.

TABLA 17. Pruebas de normalidad.

TABLA 18. Datos obtenidos de las pruebas de normalidad. Relaciones tipo I (1/3).

TABLA 19. Datos obtenidos en las pruebas de normalidad. Relaciones tipo I (2/3).

TABLA 20. Datos obtenidos de las pruebas de normalidad. Relaciones tipo II (3/3).

TABLA 21. Prueba T relaciones tipo I para muestras independientes categorías costera e interior.

TABLA 22. Prueba T relaciones tipo II para muestras independientes categorías costera e interior.

TABLA 23. Prueba T para muestras independientes entre datos experimentales y bibliográficos.

TABLA 24. Coeficientes de Pearson y Spearman para las relaciones tipo I.

TABLA 25. Ecuaciones lineales, pruebas de regresión lineal.

TABLA 26. Valores medios obtenidos en este estudio.

TABLA 27. Valores medios encontrados en la bibliografía para la DQO.

TABLA 28. Valores medios encontrados en la bibliografía para la DBO_{LIM} .

TABLA 29. Valor del porcentaje de la DQO encontrados en la bibliografía

TABLA 30. Resultados obtenidos para las relaciones tipo I Propuestas en este estudio.

TABLA 31. Valores para la relación DBO: DQO

TABLA 32. Valores para la relación SSV: SST

TABLA 33. Comparación de los valores obtenidos en este estudio y bibliográficos.

TABLA 34. Relaciones tipo II, datos fraccionados

TABLA 35. Fracciones típicas según la IWA

TABLA 36. Caracterización inicial del agua residual.

TABLA 37. Datos experimentales del agua residual influente a la depuradora de Sagunto.

TABLA 38. Componentes del agua residual influente para el diseño de la depuradora de Sagunto.

TABLA 39. Factores de conversión (i_{jk}) de las ecuaciones de continuidad.

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el crecimiento de los núcleos urbanos ha puesto a descubierto la necesidad de desarrollar e implementar tecnologías con el fin de compensar los graves problemas de contaminación que se producen. Día a día los núcleos urbanos generan residuos tanto sólidos como líquidos aumentando el impacto sobre el ambiente y la cantidad de los mismos. Los residuos líquidos generados son llamados aguas residuales teniendo en cuenta que provienen de una mezcla de líquidos urbanos, industriales y pluviales. Un agua residual puede definirse como un “residuo líquido recogido mediante la red de alcantarillado para su posterior envío a una planta de tratamiento” (Mujeriego y col., 1990). El tipo y la cantidad de agua residual influente a una estación depuradora reflejan la naturaleza de la misma, el uso que se le ha dado y las condiciones del medio de conducción.

El factor que más influye sobre el proceso de depuración de aguas residuales es sin duda su composición. El origen de las aguas residuales es un aspecto importante que define sus características físicas, químicas y biológicas.

Según su origen las aguas residuales se clasifican en:

- Urbanas o domésticas
- Industriales
- Agropecuaria
- Pluviales
- Origen incontrolado (vertidos e infiltraciones)

En la presente tesina al hablar de aguas residuales nos referiremos a aguas de origen doméstico o urbano con alguna posible aportación de pluviales y de origen incontrolado.

Las aguas residuales de origen doméstico presentan una composición muy variada debido a la diversidad de factores y la naturaleza de la población servida, la mayor fuente de contaminación que fluye por los sistemas recolectores tiene su origen en heces humanas y animales (excrementos y orina). Por otra parte las aguas pluviales drenan parte de la contaminación a las aguas residuales generalmente en forma particulada (arrastre de materia sólida).

El consumo medio de agua por persona y por día (entre 100 y 400 L/ hab. día) determina la cantidad de agua residual generada, los usos y la alimentación de la población determinan su composición química. La mayor parte de los compuestos que se encuentran en el agua residual se encuentran en forma particulada y soluble, el material particulado contiene aproximadamente un 70% de sustancias orgánicas (proteínas, grasas y carbohidratos) y el 30% restante material insoluble (sustancias inorgánicas).

Las aguas residuales a su vez contienen una gran variedad de microorganismos: virus, bacterias, hongos, protozoos y nematodos donde se estima que hay alrededor de 5 millones de especies en el "medio ambiente" que solo el 5% han sido catalogadas. Los microorganismos como parte importante de los ecosistemas transforman los compuestos orgánicos presentes en los ambientes acuáticos y terrestres contribuyendo a la depuración de contaminantes.

La gran diversidad en la composición de las aguas residuales hace necesario realizar un estudio que permita caracterizar las aguas residuales con el fin de implementar estrategias de tratamiento, mejores prácticas de control y optimización, así como el desarrollo de nuevos procesos.

La importancia de caracterizar las aguas residuales es sin duda un factor fundamental en el desarrollo de nuevos procesos (Marais y col., 1983) que garanticen una determinada calidad del afluente. Del mismo modo una caracterización adecuada del agua residual utilizando los *componentes* de acuerdo a los modelos existentes es indispensable para el buen funcionamiento de los modelos y los procesos de fangos activados. En general es indispensable para un sistema de tratamiento de agua residual (Janssen ,1994).

La caracterización de un agua residual urbana es clave para el uso de modelos tanto en el diseño como en la simulación de plantas de tratamiento de aguas residuales EDAR. Cuando se pretende diseñar y modelar un proceso, la disponibilidad de información muchas veces insuficiente sobre las características del agua residual hace imposible la obtención analítica de todos los componentes considerados en el modelo. La mayoría de análisis realizados a las aguas residuales se presentan con muy pocos datos lo cual impide la correcta caracterización del agua residual.

La obtención de todos los componentes a partir de pocos datos exige la realización de suposiciones y consideraciones basadas en la experiencia o en datos encontrados en la bibliografía.

El presente trabajo pretende realizar un estudio estadístico de datos experimentales obtenidos en caracterizaciones realizadas en aguas residuales urbanas que permita proponer relaciones matemáticas entre los distintos datos experimentales y componentes incluidos en los modelos para fangos activados. Las relaciones obtenidas servirán para completar los datos experimentales faltantes en la caracterización de un agua residual, así como calcular todos los componentes del agua residual según el modelo utilizado de una manera más científica y sistemática.

Los datos experimentales comúnmente empleados para la caracterización de un agua residual se muestran a continuación:

Físicos	Químicos	Biológicos
Sólidos totales (mg/l)	Materia orgánica (mgO/l)	Coliformes (numero/100ml)
Sólidos suspendidos	DBO ₅	virus (ufc/100ml)
Sólidos volátiles	DBO _{LIM}	
Temperatura	DQO	
Turbiedad UNT	pH	
	ALK (mgCaCO ₃ /l)	
	N (mgN/l)	
	N orgánico	
	N amoniacal	
	N nitritos	
	N nitratos	
	P fósforo (mgP/l)	

TABLA 1. Datos experimentales comúnmente empleados en la caracterización de agua residual.

1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales se hace importante a la hora de minimizar el impacto sobre el medio ambiente ocasionado por el vertido de contaminantes al medio, así como las propuestas de ahorro y reutilización de agua.

La calidad del agua se diferencia según el destino o el uso que se le asigne, de esto depende el tratamiento necesario que se debe aplicar al agua residual, la calidad del agua que entra a un sistema de tratamiento se puede variar aplicando métodos físicos, químicos y biológicos que se combinan como operaciones unitarias.

Una planta de tratamiento de agua residual esta formada por la combinación de operaciones químicas, físicas y biológicas necesarias para obtener la calidad del agua afluente deseada.

Las operaciones físicas constituyen procesos donde se utiliza las fuerzas físicas para separar los contaminantes del agua, entre las más utilizadas tenemos; la floculación, los enrejados, el mezclado, la sedimentación y la filtración.

De igual forma las operaciones químicas constituyen la adición de compuestos químicos para la eliminación de contaminantes, entre los procesos químicos utilizados tenemos; la absorción, la precipitación y la desinfección.

Las operaciones donde la calidad del agua se produce debido a la acción de microorganismos por medio de reacciones bioquímicas es uno de los procesos más conocidos actualmente y suelen clasificarse de acuerdo al medio donde se encuentren los microorganismos. En la actualidad existen dos grandes grupos; los de cultivo en suspensión, los microorganismos se encuentran dispersos en un líquido, y los de soporte sólido, los microorganismos se encuentran fijos sobre un soporte formando una película. El proceso más conocido de cultivo en suspensión se conoce como sistema de fangos activados siendo el tratamiento biológico más habitual para la eliminación de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales. A continuación se muestra una tabla con los principales procesos empleados en la depuración de aguas (Metcalf y Eddy, 1995).

Procesos Aerobios	Cultivo en suspensión	Fangos Activados	Continuos	Flujo en pistón Mezcla completa
		Lagunas aireadas	Discontinuos	
Procesos Anóxicos	Cultivo fijo	Biodiscos rotativos	Aireación prolongada	Alta carga Baja carga
		Filtros percoladores	Canales de oxidación	
Procesos Anaerobios	Cultivo en suspensión	Digestión anaerobia		Alta carga Baja carga Doble etapa
	Cultivo fijo	Filtro anaerobio Lecho expandido		
Procesos combinados (anaerobios-anóxicos-aerobios)	Nitrificación-desnitrificación			
	Nitrificación-desnitrificación-eliminación de fósforo			

FIGURA 1. Principales procesos en el tratamiento de aguas residuales.

1.1.1 Proceso de fangos activados

El proceso de fangos activados es el sistema de tratamiento biológico más habitual en el tratamiento de las aguas residuales. Fue desarrollado en Inglaterra en 1914 a partir de experimentos realizados a un cultivo biológico en suspensión aireado donde la biomasa formada (microorganismos) era recirculada.

La figura 2 muestra la configuración básica del proceso de fangos activados, el sistema requiere de un tanque donde se mantiene en suspensión la biomasa el tiempo suficiente para que se produzca la eliminación de materia orgánica, un sistema de aireación que suministre el oxígeno necesario a las bacterias, evite la sedimentación de los flocúlos en el reactor y permita la homogenización del agua. Tras este periodo la biomasa se separa del agua mediante decantación, una parte de la biomasa es recirculada y otra es extraída mediante una corriente de purga. Los caudales de purga son los encargados de regular el tiempo que duran los microorganismos en el reactor conocido como tiempo de retención celular (TRC).

El tiempo de retención celular TRC es un parámetro muy importante en el diseño de EDAR ya que determina el rendimiento de la eliminación y la cantidad de oxígeno necesaria en el proceso.

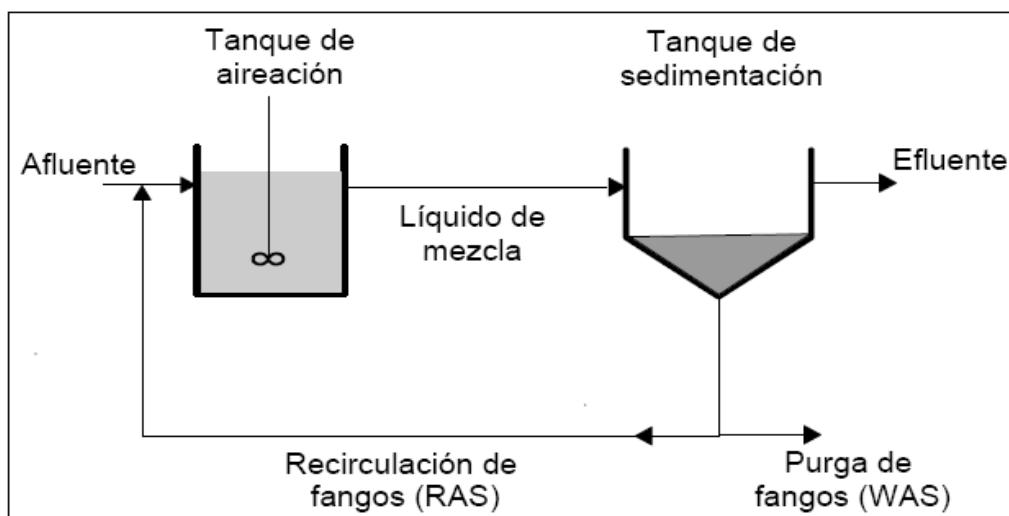


FIGURA 2. Esquema básico del proceso de fangos activados.

El proceso de fangos activados ha sido desarrollado principalmente para la eliminación de materia orgánica y de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo). Los microorganismos convierten la materia orgánica y los nutrientes en sustancias más simples como dióxido de carbono, agua y biomasa.

1.1.2 Tipos de microorganismos

La depuración biológica basa su funcionamiento en microorganismos tal y como se ha expresado anteriormente, estos microorganismos presentes en las aguas residuales necesitan de condiciones específicas para su desarrollo y actividad, estas condiciones se propician dentro de la depuradora. Los organismos suelen clasificarse de acuerdo a su fuente de carbono y del aceptor de electrones que intervienen en el metabolismo. Su clasificación se presenta a continuación:

Según la fuente de carbono:

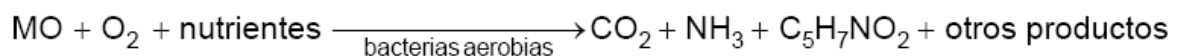
- Autótrofos (X_A): CO_2
- Heterótrofos (X_H): Compuestos orgánicos sintetizados.

Según el tipo de aceptor de electrones:

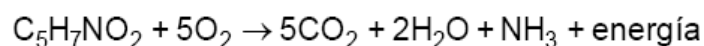
- Aerobios: Utilizan oxígeno O_2 como aceptor de electrones.
- Anaerobios estrictos: Se desarrollan en ambientes sin presencia de oxígeno O_2 .
- Anaerobios facultativos: Utilizan el oxígeno O_2 pero son capaces de desarrollarse en ausencia del mismo.
- Anaerobio aerotolerantes: utilizan como aceptor otra sustancia pero en presencia de oxígeno no se inhibe su metabolismo.

1.1.3 Eliminación biológica de materia orgánica

La materia orgánica (MO) presente en el agua residual influente a un sistema de fangos activados sirve como sustrato para las bacterias heterótrofas que se encuentran en el reactor dentro del líquido en suspensión (fango activado), este proceso se basa en la oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos y se expresa con la siguiente reacción:



Donde MO representa la materia orgánica y $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ la nueva biomasa formada, por otro lado las bacterias aerobias utilizan el oxígeno disuelto para la oxidación bioquímica de su contenido de materia orgánica a CO_2 , generando energía tal que:



Donde se observa una producción de nitrógeno amoniacal y consumo del oxígeno disuelto en el líquido.

1.1.3.1 Fraccionamiento de la materia orgánica

La cantidad de sustrato presente en el agua influente se expresa en términos de DQO siendo está una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica (MO) presente en las aguas residuales, la demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica presente en una muestra líquida.

El material carbonoso MO presente en las aguas residuales se encuentra dividido en cuatro fracciones: soluble(S) y particulado (X) que a su vez se dividen en biodegradable y no biodegradable (Ekama y Marais, 1979) todas expresadas en términos de DQO.

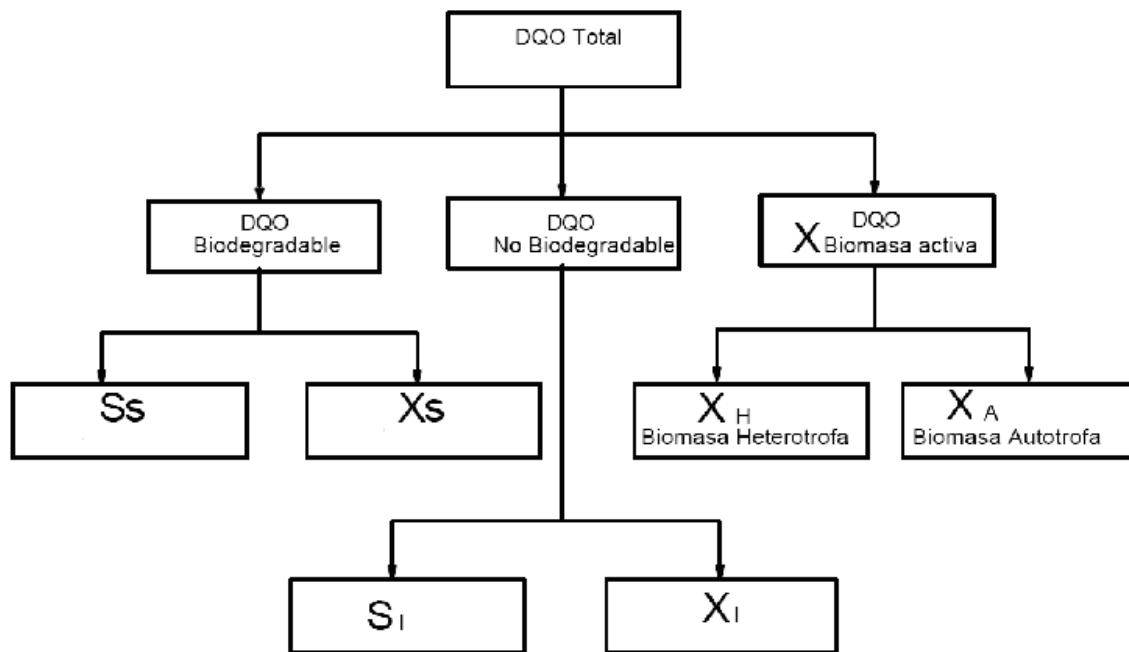


FIGURA 3. Fraccionamiento del agua residual.

El sustrato soluble representa la fracción filtrable del agua residual y el particulado el no filtrable, la fracción biodegradable corresponde al sustrato capaz de ser oxidado por la acción de microorganismos y la fracción no biodegradable el resto.

Una expresión matemática que permite describir los dos componentes constituyentes de la DQO se presenta a continuación:

$$DQO = DQO_{SOLUBLE} + DQO_{PARTICULADA} \quad \text{Ec. (1)}$$

El material carbonoso DQO está dividido (ver figura 3) en DQO biodegradable, DQO no biodegradable (materia orgánica inerte) y Biomasa, siendo la cantidad de biomasa ($X_{BIOMASA}$) comúnmente un valor despreciable en el agua influente a la depuradora.

Las fracciones mencionadas, están formadas por componentes solubles (S) y particulados (X). La parte biodegradable está dividida en una fracción rápidamente biodegradable soluble (S_s) y en una fracción lentamente biodegradable particulada (X_s). Se toma como hipótesis que la fracción rápidamente biodegradable está compuesta de materia orgánica soluble que se absorbe y metaboliza rápidamente por los microorganismos, mientras que la fracción particulada (X_s) compuesta de partículas coloides y materia orgánica compleja sufre una hidrólisis enzimática antes de poder ser absorbida.

La materia orgánica soluble (S_s) rápidamente biodegradable esta compuesta de ácidos volátiles o productos de la fermentación anaerobia (S_a) y materia orgánica fermentable fácilmente biodegradable (S_F).

La fracción lentamente biodegradable incluye compuestos orgánicos solubles difícilmente biodegradables que se tratan como si fuera materia particulada. La fracción no biodegradable de la DQO está dividida en una fracción soluble inerte (S_i) y en una fracción particulada (X_i) como se muestra en la figura 3, Por lo tanto, siempre que se asuma que la concentración de microorganismos en el agua residual es despreciable, la DQO total se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$DQO_{SOLUBLE} = S_s + S_i = S_a + S_F + S_i \quad \text{Ec. (2)}$$

$$DQO_{PARTICULADA} = X_i + X_s \quad \text{Ec. (3)}$$

$$DQO = S_a + S_F + S_i + X_s + X_i \quad \text{Ec. (4)}$$

1.1.4 Eliminación biológica de nitrógeno de las aguas residuales

Los nutrientes y en particular el nitrógeno como parte importante de los procesos biológicos son limitantes en el crecimiento bacteriano. En aguas residuales donde se dispone de todos los sustratos necesarios pero la concentración de nitrógeno no cubre las necesidades de los microorganismos el crecimiento bacteriano no tendrán lugar.

La acumulación de nitrógeno como nutriente por parte de los microorganismos hace parte de una de las formas utilizadas para la eliminación de nitrógeno de las aguas

residuales pero constituye solo el 12 ó 13% del nitrógeno eliminado en forma de biomasa, por lo cual es necesario aplicar alternativas con el fin de remover mayores cantidades de nitrógeno de las aguas residuales. Otra forma más efectiva de eliminar nitrógeno de las aguas residuales es transformándolo a nitrógeno gas mediante un proceso conocido como desnitrificación. La *desnitrificación* consiste en la reducción de nitrato NO_3^- a nitrógeno gaseoso N_2 , este proceso es realizado mayoritariamente por bacterias desnitrificantes en ambientes anóxicos donde se utilizan el nitrato como aceptor de electrones.

El amonio (NH_4^+) es la forma más común del nitrógeno en las aguas residuales motivo por el cual para que la remoción del nitrógeno sea efectiva es necesario transformar el amonio en nitrato (NO_3^-) mediante un proceso conocido como *nitrificación*, este proceso es realizado por organismos autótrofos que oxidan el amonio a nitrato.

Para que los procesos de nitrificación- desnitrificación se lleven a cabo es necesario someter a la biomasa a condiciones aerobias- anóxicas que garanticen las condiciones óptimas de crecimiento de los microorganismos.

La relación que existe entre la cantidad de materia orgánica y la cantidad de nitrógeno (DQO:N) del agua influente es un factor decisivo para la eliminación biológica de nitrógeno.

A continuación se presenta un esquema con el ciclo del nitrógeno dentro de un proceso de fangos activados:

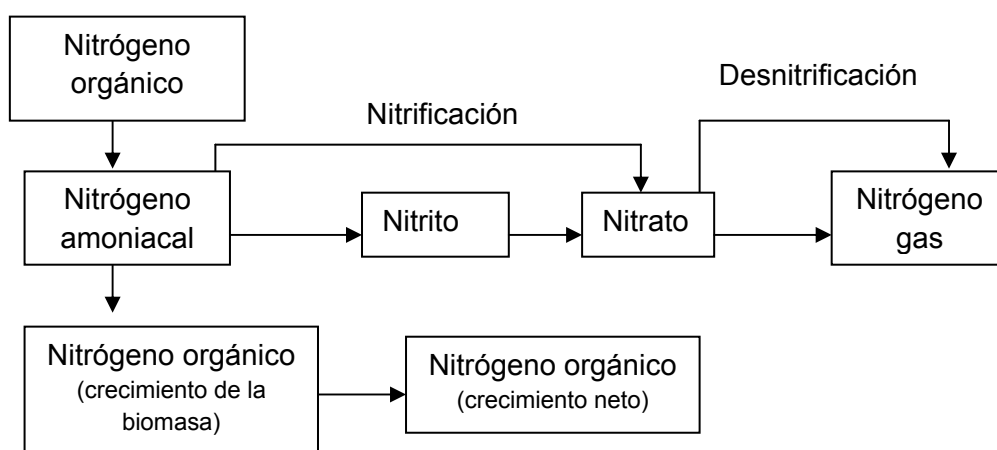


FIGURA 4. Ciclo del nitrógeno. Eliminación biológica

1.1.4.1 Fraccionamiento del nitrógeno

El nitrógeno total (N) presente en el agua residual hace parte esencial en los procesos biológicos ya que actúa como nutriente encontrándose en diferentes formas (N orgánico, NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^-) permitiendo que se lleven a cabo los procesos metabólicos. Se encuentra en su gran mayoría en forma de nitrógeno amoniacal (NH_4^+) y nitrógeno orgánico en proporciones de un 60 y 40% respectivamente, mientras que las formas nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) es inferior al 1% (EPA, 1993).

El NH_4^+ proviene principalmente de las heces humanas (urea y aminoácidos), mientras que las formas oxidadas NO_2^- y NO_3^- que son minoritarias provienen de procesos industriales y de la oxidación del amonio.

La fracción del nitrógeno total incluye por un lado los nitratos y nitritos (NO_x^-) y por otro el nitrógeno total Kjeldhal (NKT).

El nitrógeno total Kjeldhal (NKT) se fragmenta en nitrógeno amoniacal (NH_x , que incluye el NH_4^+ y NH_3), nitrógeno orgánico y nitrógeno contenido en la biomasa. El nitrógeno orgánico se divide en una fracción soluble y otra particulada, a su vez en una fracción biodegradable y no biodegradable ver figura 5.

$$N_{\text{TOTAL}} = N_{\text{SOLUBLE}} (S) + N_{\text{PARTICULADO}} (X) \quad \text{Ec. (5)}$$

$$N_{\text{SOLUBLE}} = S_{\text{NO}_3} + S_{\text{NH}_4} + N_{\text{ORGÁNICO}} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$N_{\text{PARTICULADO}} = N_{\text{TOTAL}} - N_{\text{SOLUBLE}} \quad \text{Ec. (7)}$$

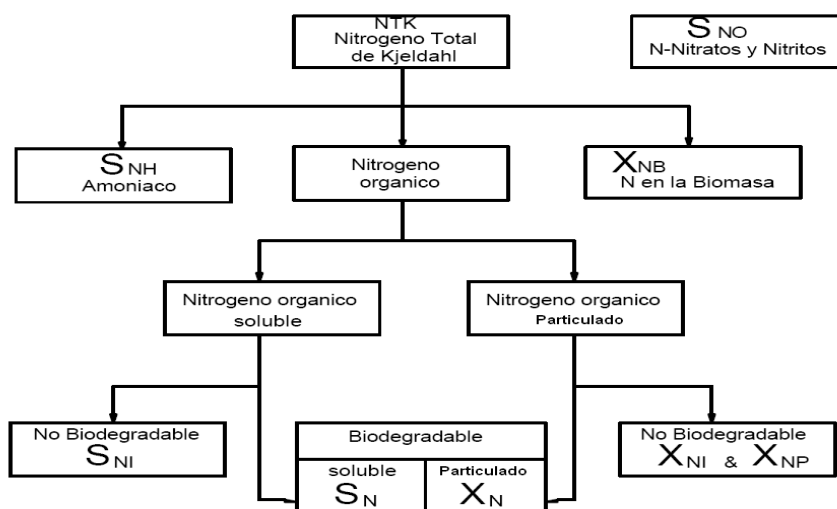
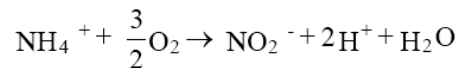


FIGURA 5. Fraccionamiento del Nitrógeno

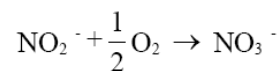
1.1.4.2 Nitrificación

Es el proceso mediante el cual el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrato en dos etapas mediante las bacterias nitrificantes (mayoritariamente Nitrosomonas y Nitrobacter). Estas bacterias se clasifican como autótrofas dado que utilizan el carbono inorgánico (CO_2 o HCO_3^-) como fuente de carbono. El proceso de nitrificación se resume en las siguientes reacciones:

Bacterias Nitrosomonas:



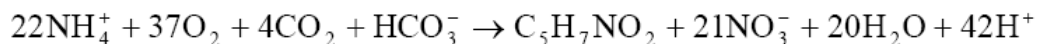
Bacterias Nitrobacter:



La reacción total comprende los 2 pasos anteriores tal que:

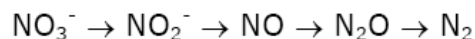


La reacción anterior se puede expresar de manera diferente suponiendo una composición de la biomasa igual a $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$:



1.1.4.3 Desnitrificación

La desnitrificación es un proceso que realizan ciertas bacterias durante la respiración usando el nitrato como aceptor de electrones en condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno). El proceso de reducción de nitratos hasta nitrógeno gas ocurre en etapas seriales, catalizadas por sistemas enzimáticos diferentes, apareciendo como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso:



La desnitrificación requiere un sustrato oxidable ya sea orgánico o inorgánico que actúe como fuente de energía, por lo que la desnitrificación puede llevarse a cabo tanto por bacterias heterótrofas como autótrofas. En la desnitrificación heterótrofa, un sustrato orgánico, como metanol, etanol, ácido acético, glucosa, etc. actúa como fuente de energía (donador de electrones) y fuente de carbono. En la desnitrificación autótrofa, la fuente de energía es inorgánica, como hidrógeno o compuestos reducidos de azufre: sulfhídrico (H_2S) o tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), la fuente de carbono, también inorgánica, es el CO_2 .

La nitrificación y las desnitrificación están fuertemente influenciadas por la competencia que se establece entre los microorganismos heterótrofos y autótrofos, esta competencia depende de la relación DQO: N del agua residual influente a los procesos.

1.1.5 Eliminación de fósforo de las aguas residuales

La cantidad de fósforo presente en las aguas ha aumentado notablemente como consecuencia de los usos agrícolas, actividades industriales y productos de uso doméstico. El fósforo es un elemento fundamental en el crecimiento microbiano ya que actúa como nutriente, una baja concentración de este elemento en el medio limita el crecimiento biológico e impide la eliminación de sustrato orgánico.

El fósforo presente en aguas residuales proviene en su mayoría de la materia fecal (50%), vertidos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico presente en los detergentes y productos de limpieza (30-35%). El fósforo se puede encontrar en tres formas: ortofosfato PO_4^{3-} , fósforo orgánico y polifosfato P_2O_7 .

El fósforo total (P_{TOTAL}) de un agua residual se divide en dos componentes fósforo soluble S_P y particulado X_P .

El fósforo soluble S_P incluye los ortofosfatos y una parte de polifosfatos siendo la más representativa en forma soluble el ortofosfato, la fracción particulada incluye el fósforo orgánico y los polifosfatos. A continuación se presentan las ecuaciones que permiten calcular cada una de las fracciones mencionadas anteriormente:

$$P_{\text{TOTAL}} = S_P + X_P \quad \text{Ec. (8)}$$

$$S_P = S_{\text{PO}_4} + S_{\text{PORG}} \quad \text{Ec. (9)}$$

En la actualidad las cantidades de fósforo en las diversas formas mencionadas han aumentado debido al crecimiento de los núcleos urbanos y la necesidad de obtener mayores rendimientos en la agricultura, alrededor del 80% de los fosfatos son utilizados como fertilizantes y un pequeño porcentaje 5% empleado en alimento para animales, el fósforo utilizado con el tiempo termina en ríos, vertederos de depuradoras o en el mar, generando problemas relacionados con el aumento de nutrientes (eutrofización) en las aguas y suelos. Por ello se hace necesario emplear técnicas que permitan su tratamiento y reutilización en la industria.

Los microorganismos presentes en los procesos biológicos convencionales emplean el fósforo como nutriente eliminando una parte importante del fósforo presente, mediante este proceso se obtienen porcentajes de eliminación del 15%, sin embargo no es suficiente para cumplir con los requerimientos de vertido exigidos en la legislación vigente.

Dentro de los principales procesos para la eliminación del fósforo tenemos:

Biológicos:

- Eliminación biológica de fósforo EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal) realizado por bacterias denominadas PAO (polyphosphate accumulating organisms) capaces de acumular fósforo en su interior en condiciones anaerobias-aerobias alternadas.

Químicos:

- Precipitación química mediante la adición de sales de aluminio, calcio y hierro, capaces de formar precipitados insolubles con los compuestos de fósforo principalmente ortofosfato para su posterior sedimentación.

Actualmente la práctica más extendida es la precipitación química debido a la facilidad de llevar el proceso y su gran estabilidad, sin embargo se han generado problemas relacionados con el aumento de sólidos y el empeoramiento del proceso biológico debido a las concentraciones de fósforo obtenidas en la precipitación, siendo un factor de gran importancia la elección del punto de adición de los reactivos.

1.2 MODELACIÓN DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

En la actualidad las investigaciones científicas realizadas se han radicado en expresar los procesos que se llevan a cabo en el tratamiento de aguas residuales mediante modelos. El desarrollo de modelos ha permitido entender mejor los procesos y el comportamiento de los microorganismos en los distintos sistemas.

Un modelo es el conjunto de ecuaciones matemáticas que describen un proceso basadas en formulaciones teóricas con sentido físico.

El desarrollo de un modelo requiere de la comprobación, simulación y calibración del mismo con el fin de obtener predicciones de las variables más importantes en el proceso así como definir los parámetros característicos del mismo.

Finalizada la etapa de calibración es necesaria la validación del modelo, consistente en evaluar las ecuaciones propuestas mediante experimentos realizados y contrastar los resultados con los obtenidos en la calibración.

Los modelos se pueden clasificar en:

- **Mecanicistas:** describen físicamente todos los procesos, físicos químicos y biológicos mediante ecuaciones de balance.
- **Empíricos:** se basa en relaciones matemáticas que utilizan las variables de entrada para generar variables de salida sin que esta suponga la descripción de un proceso con un significado físico.
- **Semi-empíricos:** se basan en procesos fenomenológicos, son modelos mecanicistas simplificados donde los parámetros utilizados incorporan diferentes fenómenos de difícil cuantificación.

Los modelos utilizados aplicables a los procesos de fangos activados son modelos semi-empíricos que describen los distintos fenómenos biológicos y representan la velocidad con la que estos fenómenos ocurren (biocinética).

1.2.1 Modelación de procesos de eliminación de materia orgánica y nutrientes

En la actualidad, existen una gran necesidad de difusión del tema y actualización de los especialistas en modelación de los procesos de tratamiento de agua residual y también existen retos bien identificados para la investigación en los aspectos de *caracterización del agua residual* y los mecanismos bioquímicos, así como la simplificación de los modelos y los protocolos de simulación.

Uno de los procesos desarrollados por la comunidad científica que dió inicio a la forma de caracterizar las aguas residuales es conocido como el proceso de fangos activados.

Las investigaciones realizadas por la comunidad científica han radicado en llegar a expresar el proceso de fangos activados mediante el uso de modelos, así como mejorar la forma de presentarlos y hacerlos evolucionar o ampliar progresivamente. Uno de los modelos desarrollados para fangos activados es conocido con las siglas (ASM) que ha permitido entender mejor los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Actualmente existen hoy cuatro generaciones de modelos ASM desarrollados por el grupo de modelación de procesos de fangos activados ("Task Group on Mathematical

Modelling for Design and Operation of Activated Sludge Process”) perteneciente a la International Water Association (IWA), donde inicialmente pretendían describir los procesos de eliminación de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación. La primera versión conocida es el modelo ASM1 (Henze y col., 1987) y el muy reciente ASM3 (Henze y col., 2000), capaces de predecir la degradación de la materia orgánica, nitrificación y desnitrificación en fangos activados, los modelos ASM1 y ASM3 no incluyen los procesos de eliminación biológica de fósforo.

El ASM2 y su versión modificada ASM2d desarrollados entre 1995 y 1999 por la IWA siendo una modificación de los modelos anteriores incluyen la remoción biológica de fósforo llevado a cabo por las bacterias acumuladoras de fosfato PAO (polyphosphate accumulating organisms). Los componentes de los modelos propuestos por la IWA (Henze y col., 2000) se muestran en el anexo 8.

Uno de los desarrollos más significativos, logrado para mejorar la comprensión del proceso de fangos activados según el modelo ASM2d fue la adopción de la DQO como componente modelo para el sustrato. Entre la demanda biológica de oxígeno (DBO) que describe la cantidad de materia orgánica que puede ser degradada por los microorganismos medida como DBO_5 o DBO_{LIM} y la demanda química de oxígeno (DQO), el grupo de modelación de la (IWA) propuso utilizar la demanda química de oxígeno DQO, porque primero es el único que permite establecer una liga clara entre los equivalentes de electrones del sustrato orgánico, la biomasa activa y el oxígeno utilizado (Henze y col., 1987) (Sözen y col., 1998), y de esta forma realizar balances de masas teniendo en cuenta que la medida de la DQO es rápida y repetible.

Por último cabe mencionar que existen diversos grupos de investigación dedicados a la modelación de los procesos biológicos los cuales generan modificaciones a los modelos propuestos por el IWA con el fin de describir mejor los procesos químicos, físicos y biológicos, como el modelo BNRM1 (Biological Nutrient Removal N°1) propuesto y desarrollado por el grupo de investigación Calagua de la Universidad Politécnica de Valencia en España (Seco y col., 2004).

1.2.2 Modelo matemático utilizado: BNRM1 (Biological Nutrient Removal Model No.1)

Como base de partida en la presente tesina se utilizan los componentes descritos según el modelo BNRM1 (Seco y col., 2004), este modelo fue propuesto con el objetivo de desarrollar un único modelo capaz de describir los procesos químicos, físicos y biológicos que se llevan a cabo en las estaciones depuradoras. Los procesos

incluidos en este modelo se basan en los descritos en el modelo de fangos activados ASM2d con algunas modificaciones, Entre otras que el proceso de fermentación lo llevan a cabo bacterias acidogénicas y está asociado al crecimiento de estas bacterias, se ha eliminado el componente S_{alk} , incorporación de la predicción del pH y la sustitución de la función switch de alcalinidad por una función de inhibición por pH. El modelo considera en total 27 componentes, 13 solubles y 14 particulados:

componentes	Descripción
S_{O_2}	Oxígeno disuelto
S_F	Sustrato rápidamente biodegradable
S_a	Productos de fermentación
S_{NH_4}	Amonio
S_{NO_3}	Nitritos
S_{PO_4}	Fosfatos
S_I	Materia orgánica soluble inerte
S_{ALK}	Alcalinidad
S_{N_2}	Nitrógeno orgánico
X_I	Materia orgánica particulada inerte
X_S	Materia orgánica lentamente biodegradable
X_H	Biomasa heterótrofa
X_{PAO}	Biomasa acumuladora de fósforo
X_{PP}	Poli fosfato
X_{PHA}	
X_{AUT}	Biomasa autótrofa
X_{SST}	Sólidos totales
X_{MEP}	Fosfatos metálicos
S_{CH_4}	Concentración de metano
S_{H_2}	Concentración de hidrogeno
S_{PRO}	Prod. de fermentación excluyendo acético
X_{ACET}	Biomasa acetogenica
X_{ACID}	Biomasa acidogénica
X_{MAC}	Bacterias metanogénicas
X_{NV}	Sólidos no volátiles

TABLA 2. Componentes del modelo BNRM1. S: solubles X: particulado

Los componentes mencionados anteriormente representan las cantidades de nitrógeno, fósforo, materia orgánica y sólidos totales presentes en las aguas residuales.

Con el objetivo de verificar el balance total de cada parámetro presente en las aguas residuales el modelo plantea la ecuación de continuidad para cada parámetro (N, P,

SST y DQO) donde (i_{ij}) representan el coeficiente de conversión para cada componente.

A continuación se muestra el balance realizado para cada parámetro con sus respectivos coeficientes de conversión por componente:

Componentes	DQO	N	P	SST
S _{O2} (g O ₂)	-1			
S _F (g DQO)		i_{NSF}	i_{PSF}	
S _a (g DQO)	1			
S _{NH4} (g N)	1	1		
S _{NO3} (g N)	64/14	1		
S _{PO4} (g P)			1	
S _I (g DQO)	1	i_{NSI}	i_{PSI}	
S _{ALK} (mol HCO ₃)				
S _{N2} (g N)	24/14	1		
X _I (g DQO)	1	i_{NXI}	i_{PXI}	i_{SSTXI}
X _S (g DQO)	1	i_{NXS}	i_{PXS}	i_{SSTXS}
X _H (g DQO)	1	i_{NBM}	i_{PBM}	i_{SSTBM}
X _{PAO} (g DQO)	1	i_{NBM}	i_{PBM}	i_{SSTBM}
X _{PP} (g P)			1	3,23
X _{PHA} (g DQO)	1			0,6
X _{AUT} (g DQO)	1	i_{NBM}	i_{NBM}	i_{SSTBM}
X _{SST} (g SST)				-1
X _{MeOH} (g SST)				1
X _{MeP} (g SST)			0,205	1

TABLA 3. Matriz de continuidad y factores de conversión.

Los coeficientes de conversión pueden ser calculados aplicando la ecuación de continuidad que se muestra a continuación, para cada parámetro mostrado en la tabla anterior. Sin embargo el modelo ASM propone como valores típicos los que se muestran en la tabla 4.

$$\sum v_{j,i} i_{c,i} = 0$$

$v_{j,i}$: coeficiente estequiométrico del componente i en el proceso j.

$i_{c,i}$: factor de conversión que permite el paso de las unidades del componente i a las del material c al que se le aplica la ecuación de conservación.

Parámetro	Definición	Valor	Unidad
Nitrógeno			
i_{NSI}	N en la fracción orgánica inerte soluble (S_I)	0,01	g N/ g DQO
i_{NSF}	N en el sustrato soluble (S_F)	0,03	g N/ g DQO
i_{NXI}	N en la fracción orgánica inerte particulada (X_I)	0,03	g N/ g DQO
i_{NXS}	N en el sustrato particulado (X_S)	0,04	g N/ g DQO
i_{NBM}	N en la biomasa	0,07	g N/ g DQO
Fósforo			
i_{PSI}	P en la fracción orgánica inerte soluble (S_I)	0	g P / g DQO
i_{PSF}	P en el sustrato soluble (S_F)	0,01	g P / g DQO
i_{PXI}	P en la fracción orgánica inerte particulada (X_I)	0,01	g P / g DQO
i_{PXS}	P en el sustrato particulado (X_S)	0,01	g P / g DQO
i_{PBM}	P en la biomasa	0,02	g P / g DQO
Sólidos suspendidos			
i_{SSTXI}	SST por unidad de (X_I)	0,75	g SST / g DQO
i_{SSTXS}	SST por unidad de (X_S)	0,75	g SST / g DQO
i_{SSTBM}	SST por unidad de biomasa	0,9	g SST / g DQO

TABLA 4. Coeficientes de conversión típicos según el modelo ASM.

1.2.2.1 Componentes solubles

S_a (M_{DQO}/L^3): Productos de fermentación anaerobia de la materia orgánica (masa de DQO/volumen). Básicamente están constituidos por aniones de ácidos orgánicos de cadena corta, producto de la actividad de bacterias acidógenas. A efectos estequiométricos pueden considerarse constituidos por el ión acetato.

S_{ALK} (M_{HCO_3}/L^3): Alcalinidad de las aguas residuales (mol HCO_3)/volumen proporciona una medida de la capacidad neutralizante de ácidos del agua. Se define como:

$$S_{ALK} = [HCO_3^-] + 2 \cdot [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]$$

S_F (M_{DQO}/L^3): Materia orgánica disuelta rápidamente biodegradable (masa DQO/volumen). Está constituida por la fracción de la DQO que es directamente utilizable por los organismos heterótrofos tanto aerobios como anaerobios, no incluidos los productos resultantes de la fermentación anaerobia.

S_I (M_{DQO}/L^3): Materia orgánica inerte disuelta (masa DQO/volumen). Está constituida por la materia orgánica disuelta no susceptible de biodegradación en un sistema de

fangos activados. Puede formar parte de la alimentación del sistema o producirse como consecuencia de los procesos biológicos.

S_{N_2} (M_N/L^3): Nitrógeno gaseoso. Se asume que es el único producto nitrogenado de la desnitrificación. Puede estar sujeto a la transferencia entre la fase líquida y gaseosa al igual que el oxígeno, S_{O_2} .

S_{NH_4} (M_N/L^3): Nitrógeno amoniacal. Amonio y amoniaco (masa de nitrógeno/volumen).a efectos de cálculo de los balances de carga eléctrica en los procesos, se considerará que todo el nitrógeno amoniacal se encuentra en forma de ión amonio NH_4^+ .

S_{NO_3} (M_N/L^3): Nitrato y nitrito (masa de nitrógeno/volumen). Está constituido por el nitrógeno en forma de iones nitrato y nitrito, si bien se puede adoptar la simplificación de considerar que todo el nitrógeno oxidado se encuentra en forma de nitrato.

S_{O_2} (M_{O_2}/L^3): Oxígeno disuelto. (Masa oxígeno/volumen).

S_{PO_4} (M_P/L^3): Fósforo soluble inorgánico, principalmente ortofosfato. Para el balance de cargas eléctricas, se asume que S_P (fósforo soluble) consiste en un 50% de $H_2PO_4^-$ y un 50% de HPO_4^{2-} , independientemente del pH.

S_S (M_{DQO}/L^3): Sustrato rápidamente biodegradable. Este componente se introdujo en el ASM1. En el ASM2, se reemplaza por la suma de las fracciones solubles (S_F+S_A).

1.2.2.2 Componentes particulados

X_{AUT} (M_{DQO}/L^3): Biomasa de organismos nitrificantes (masa de DQO/volumen). Son organismos quimiolitotróficos, aerobios estrictos, que oxidan el amonio a nitrato. Incluyen los géneros Nitrosomonas y Nitrobacter.

X_H (M_{DQO}/L^3): Biomasa de organismos heterótrofos (masa de DQO/volumen). Esta variable está constituida por la biomasa de todos los organismos heterótrofos tanto aerobios y facultativos como anaerobios.

X_{PAO} (M_{DQO}/L^3): Biomasa de organismos acumuladores de fosfatos -PAO- (masa DQO/volumen). No incluye la masa de polifosfatos ni de poli-hidroxialcanoatos (PHA) acumulados en el interior de las células de estos organismos.

X_{PHA} (M_{DQO}/L^3): Producto almacenado intracelularmente en los organismos acumuladores de polifosfatos, PAO. Incluye, principalmente, polihidroxialcanoatos (PHA), glicógeno, etc. Este componente tan solo se asocia con X_{PAO} , pero no está incluido en la masa de éste. Ha de satisfacer el principio de conservación de DQO y por tanto, puede calcularse a partir del correspondiente balance. Por consideraciones estequiométricas, se puede asumir que el PHA tiene la composición química del polihidroxibutirato, PHB ($C_4H_6O_2$)_n.

X_{PP} (M_P/L^3): Poli fosfatos. Se trata de un producto de almacenamiento intracelular de las bacterias PAO. No está incluido en la masa de X_{PAO} . Es una parte del fósforo particulado y puede ser cuantificado analíticamente. Para consideraciones estequiométricas se puede suponer que tiene la composición química de la forma ($K_{0.33} Mg_{0.33} PO_3$)_n.

X_S (M_{DQO}/L^3): Sustrato lentamente biodegradable. Se trata de compuestos orgánicos de alto peso molecular en forma coloidal o particulada. Para ser biodegradado, ha de ser previamente hidrolizado por los microorganismos heterótrofos.

X_I (M_{DQO}/L^3): Materia orgánica inerte en suspensión (masa de DQO/volumen). Está constituida por la materia orgánica en suspensión no susceptible de biodegradación en un sistema de fangos activados. Puede formar parte de la alimentación del sistema o producirse como consecuencia de los procesos biológicos.

X_{MeOH} (M_{SST}/L^3): Hidróxidos metálicos. Este componente se introduce en el modelo para representar el proceso de precipitación química de fósforo. Para consideraciones estequiométricas, se asume este componente como $Fe(OH)_3$.

X_{MeP} (M_{SST}/L^3): Fosfatos metálicos. Este componente resulta de la precipitación química de fósforo. Para todas las consideraciones estequiométricas, se supone el X_{MeP} como $FePO_4$.

X_{SST} (M_{SST}/L^3): Sólidos suspendidos totales. Este componente se introduce en el modelo para calcular su concentración mediante la estequiometría. La predicción de los SST resulta interesante debido a que la eliminación biológica de fósforo y la precipitación química introducen fracciones inorgánicas en el fango activado.

1.2.2.3 Procesos considerados en el modelo BNRM1

El modelo BNRM1 incluye 30 procesos y supone que los realizan tres clases de microorganismos: las bacterias autótrofas, las bacterias heterótrofas y las bacterias PAO.

Hidrólisis _{aerobia}
Hidrólisis _{anóxica}
Hidrólisis _{anaerobia}
Crecimiento de X_H a partir de S_F
Crecimiento de X_H a partir de S_a
Crecimiento aerobio X_H a partir S_{pro}
Crecimiento anòxico X_H a partir de S_F
Crecimiento anòxico X_H a partir de S_a
Crecimiento anòxico X_H a partir de S_{pro}
Lisis de X_H
Almacenamiento X_{PHA} a partir de S_{pro}
Almacenamiento X_{PHA} a partir de S_a
Almacenamiento aerobio de X_{PP}
Crecimiento aerobio X_{PAO}
Almacenamiento anòxico de X_{PP}
Crecimiento anòxico de X_{PAO}
Lisis de X_{PAO}
Lisis de X_{PP}
Lisis de X_{PHA}
Nitrificación realizada por X_{AUT}
Lisis de X_{AUT}
Hidrólisis realizada por X_{ACID}
Fermentación realizada por X_{ACID}
Lisis de X_{ACID}
Conversión de S_{PRO} en acético
Lisis X_{PRO}
Conversión acético en metano por las X_{MAC}
Lisis X_{MAC}
Conversión hidrógeno a metano
Lisis de X_{MH2}

TABLA 5. Procesos del modelo BNRM1.

1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La estadística es una ciencia de carácter matemático que sirve esencialmente a dos funciones fundamentales:

- La Estadística Descriptiva, que sirve para analizar y resumir datos de diferentes muestras.
- La Inferencia Estadística, (o estadística inferencial), que se ocupa de hacer deducciones y predicciones sobre las poblaciones a partir de los datos de las muestras.

El análisis estadístico desarrollado en este trabajo se realizó utilizando los conceptos de la estadística descriptiva referida a la recolección, clasificación, síntesis, organización, análisis e interpretación de los datos experimentales y componentes obtenidos en las caracterizaciones de aguas residuales urbanas.

Los datos experimentales obtenidos pueden ofrecer diferente tipo de información dependiendo del objetivo que se persiga, entendiendo por objetivo la tarea que se quiere implementar. En este caso, serán utilizados para obtener diferentes relaciones entre datos experimentales y componentes que sean estadísticamente significativas y permitan la caracterización del agua residual urbana. El tratamiento de estos datos se realizará mediante la clasificación, predicción, agrupamiento y estimación de datos.

Teniendo en cuenta lo anterior en una investigación resulta muy conveniente obtener información tanto cuantitativa como cualitativa entendiendo por variables cuantitativas aquellas que toman valores numéricos y cualitativas las que no.

Un estudio estadístico tendrá mayor calidad de información y posibilidad de análisis en la medida en que cuente con el mayor número posible de datos cuantitativos y evidencia cualitativa.

En el presente trabajo el estudio estadístico cuenta con datos experimentales y componentes obtenidos en caracterizaciones de agua residual en 22 depuradoras.

Se utilizará para el estudio estadístico el software SPSS, se determinarán relaciones entre los distintos parámetros, el valor medio de cada relación, la frecuencia de los datos y la correlación entre los mismos. Asimismo se comparan estadísticamente con datos utilizados por la comunidad científica.

2 OBJETIVOS

La caracterización del agua residual es de gran importancia cuando se pretende diseñar y modelar un proceso, sin embargo la cantidad de información insuficiente hace imposible el cálculo de los datos analíticos y los componentes necesarios para caracterizar el agua residual según los modelos existentes para aguas residuales.

La caracterización del agua a partir de pocos datos experimentales exige la utilización de datos bibliográficos y suposiciones basadas en la experiencia. Esta metodología lleva consigo la aportación de errores debido a la utilización de datos obtenidos en distintas áreas geográficas, que en muchas ocasiones difieren en sus características a las estudiadas.

El objetivo principal de esta tesis es proponer relaciones matemáticas entre los diversos datos experimentales y componentes que caracterizan las aguas residuales, que permitan la correcta y completa caracterización de un agua residual. El estudio estadístico utilizará los datos experimentales obtenidos en los análisis realizados en las depuradoras de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia.

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta tesina es la realización de un estudio estadístico con el fin de obtener relaciones entre los datos experimentales y componentes del modelo, utilizados para la caracterización del agua residual según los modelos matemáticos de fangos activados. Debido a la dificultad de medir todos los componentes del modelo en el agua influente a las depuradoras, siendo esta una limitante en la aplicación de los modelos existentes se plantearán relaciones que permitan la obtención de dichos componentes a partir de pocos datos experimentales tales como N, P, SST, DQO y DBO.

Específicamente el estudio se realizará a los datos obtenidos en caracterizaciones realizadas a distintas depuradoras de la Comunidad Valenciana y Murcia. Además se compararán los valores obtenidos con los recomendados por la comunidad científica, se justificará la diferencia y la influencia que tiene diversos factores físicos, químicos y biológicos en la composición del agua residual, así como la importancia de las relaciones propuestas en el diseño y la simulación de procesos. Para ello se realizarán las siguientes tareas:

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar los datos bibliográficos de las relaciones utilizadas por la comunidad científica para caracterizar el agua residual según los modelos matemáticos para fangos activados.
2. Determinar mediante análisis estadístico relaciones que permitan calcular los datos experimentales necesarios para la caracterización del agua residual con el fin de utilizarlas en la estimación y la caracterización de un agua residual cuando se dispone de pocos datos.
3. Comparar y justificar mediante análisis estadístico el valor de las relaciones propuestas, para la caracterización del agua residual con los datos bibliográficos propuestos por la comunidad científica.
4. Desarrollar una herramienta que permita la utilización de las relaciones propuestas para la caracterización del agua residual cuando se dispone de información insuficiente. La aplicación desarrollada permitirá calcular y completar los datos experimentales, componentes y factores de conversión, utilizados en los distintos modelos matemáticos de fangos activados más utilizados por la comunidad científica.

3 MATERIALES Y METODOS

El estudio experimental del presente trabajo fue realizado por el grupo I+D+i CALAGUA en depuradoras (EDAR) de la Comunidad Valenciana, los datos fueron procesados y tratados estadísticamente en esta tesina según los objetivos propuestos.

3.1 MÉTODOS ANALÍTICOS

Se utilizaron diferentes técnicas para la determinación de los siguientes parámetros:

- DQO particulada y soluble
- DBO_{LIM} particulada y soluble
- Fósforo total (P)
- Ortofosfato (PO_4^{-3})
- Nitrógeno total (N)
- Amonio (NH_4^+)
- Nitrato (NO_3^-)
- Ácidos grasos volátiles (AGV)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Todos los análisis fueron realizados según la norma descrita en el APHA (American Public Health Association, 1998) excepto la determinación de los ácidos grasos volátiles que se realizó utilizando el método ácido-base propuesto por Moosbrugger y col. (1992), los métodos utilizados y el parámetro calculado se describen a continuación:

3.1.1 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se utiliza el método estándar de oxidación de la materia orgánica con dicromato mediante digestión con reflujo abierto (APHA, 1998). Este test se lleva a cabo por calentamiento bajo condiciones de reflujo total de un determinado volumen de muestra de agua con un exceso conocido de dicromato, en presencia de ácido sulfúrico al 96%. El periodo de reflujo estándar es de 2 horas. El exceso de dicromato se determina mediante una valoración redox.

En el caso que el valor esperado de DQO esté entre 10-150 mg/l se utiliza el test de la firma comercial Merck (Spectroquant® 1.14540). Consiste en una digestión con reflujo cerrado y determinación colorimétrica del exceso de dicromato.

3.1.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Para la determinación de la demanda biológica de oxígeno se ha utilizado un método experimental basado en el respirómetro de Warburg (Metcalf y Eddy, 1995). Se introduce en una botella un volumen de agua residual determinado, dependiendo del valor de la DBO esperada y se conecta a un manómetro por un periodo de tiempo de 5 días o 20 días. Los microorganismos consumirán oxígeno para degradar la materia orgánica presente en la muestra. El oxígeno utilizado será el que se encuentre en el aire que hay sobre la muestra y en el interior de la botella. De esta forma, se produce un descenso de la presión en el interior de la botella y queda reflejado en el manómetro. El manómetro está calibrado en unidades de mg DQO/l. El CO₂ producido en la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos es eliminado del medio mediante unas lentejas de NaOH que se introducen en un depósito en la parte superior de la botella. Todo este sistema se encuentra en el interior de una cámara termostaticada a la temperatura de 20 ± 0.5 °C.

3.1.3 Fósforo total

El método utilizado en esta tesis ha sido la digestión ácida mediante persulfato potásico (APHA, 1998) con un tiempo de reacción de dos horas. Los dos reactivos utilizados en la digestión son el ácido sulfúrico y el persulfato potásico. El primero de ellos es el encargado de transformar los Polifosfatos en Ortofosfatos y el segundo, el fósforo orgánico en Ortofosfatos.

3.1.4 Ortofosfatos

El método colorimétrico del ácido ascórbico es el utilizado para determinar la concentración de Ortofosfatos (APHA, 1998). En medio ácido, el amonio heptamolibdato y el antimonio potasio tartrato reaccionan con el ortofosfato para formar un complejo. Este complejo es reducido por el ácido ascórbico para formar un compuesto de un intenso color azul. Se mide la absorbancia de este compuesto en la longitud de onda de 880 nm.

3.1.5 Nitrógeno total

Se utiliza el test de reactivos de la firma comercial Merck (Spectroquant® 1.14537). Los compuestos orgánicos e inorgánicos de nitrógeno se transforman en nitratos por el método Koroleff por tratamiento con un oxidante en un termorreactor. En ácido sulfúrico concentrado, con un derivado del ácido benzoico, los nitratos forman un nitrocompuesto rojo intenso que se mide fotométricamente ($\lambda = 517$ nm). La

disgregación es análoga a DIN EN ISO 11905-1. En el control de producción se determinaron los siguientes datos según DIN 38402 A51:

- Desviación estándar del procedimiento: ± 0.17 mg/l de N
- Coeficiente de variación del procedimiento: $\pm 1.8\%$
- Intervalo de confianza: ± 0.5 mg/l de N
- Dispersión de un valor de medición: ± 1.0 mg/l de N

3.1.6 Amonio

Basado en el método del Fenol (APHA, 1998). El amonio presente en la muestra reacciona con hipoclorito y fenol, catalizado por el nitroprusiato sódico, para formar un compuesto de azul intenso. Se mide la absorbancia de este compuesto en la longitud de onda de 640 nm.

3.1.7 Nitrato

Para la determinación de la concentración de nitrato se emplea el test de reactivos de la firma comercial Merck (Spectroquant® 1.14773). En ácido sulfúrico concentrado, con un derivado del ácido benzoico, los nitratos forman un nitrocompuesto rojo intenso que se mide fotométricamente ($\lambda = 517$ nm). En el control de producción se determinaron los siguientes datos según ISO 8466-1 y DIN 38402 A51:

- Desviación estándar del procedimiento: ± 0.24 mg/l de N-NO₃
- Coeficiente de variación del procedimiento: $\pm 2.4\%$
- Intervalo de confianza: ± 0.5 mg/l de N-NO₃
- Dispersión de un valor de medición: ± 0.7 mg/l de N-NO₃

3.1.8 Ácidos volátiles

Para la determinación de la concentración de ácidos volátiles de cadena corta se ha utilizado el método de valoración ácido-base propuesto por Moosbrugger y col.(1992). El procedimiento experimental consiste en la valoración con HCl 0.1N de la muestra filtrada. Se determinan los volúmenes de ácido necesarios para bajar el pH de la muestra a 6.70, 5.90, 5.20 y 4.30. La concentración de ácidos volátiles y de alcalinidad de la muestra se obtiene mediante cálculos de equilibrio químico realizados por un programa informático distribuido por los propios autores del método analítico.

Se debe tener en cuenta la concentración de especies químicas, como son el fosfato, el amonio y el sulfuro, en el cálculo del equilibrio químico ya que dichas especies, junto con los ácidos volátiles y los carbonatos, son los ácidos/bases débiles más comunes

que se pueden encontrar en el agua. Si no se dispone de esta información, la propia metodología indica la influencia que pueden tener sobre la precisión de los resultados.

3.1.9 Sólidos en suspensión

La concentración de sólidos suspendidos totales se determina mediante filtración y eliminación de la humedad a 105 °C. El incremento en el peso del filtro representará a las sólidos suspendidos totales. La concentración de sólidos suspendidos no volátiles se obtiene mediante calcinación a 550 °C de los sólidos suspendidos totales. Estas determinaciones siguen la metodología propuesta por *American Public Health Association* (APHA, 1998).

3.2 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

El análisis estadístico como principal objetivo de esta tesis se realizó utilizando el software SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences) y se organizó según los pasos descritos en la siguiente figura.

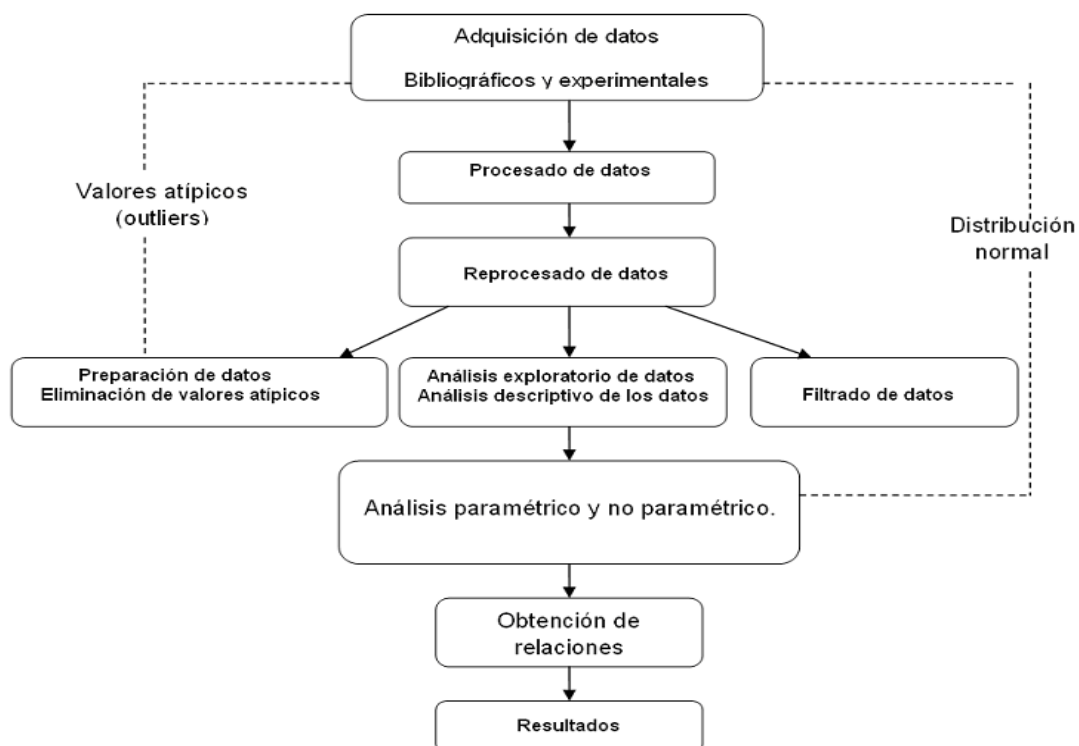


FIGURA 6. Acciones de el proceso de análisis de datos

La etapa inicial y una de las más importantes para procesar y analizar los datos experimentales fue la *adquisición de datos*. Estos datos fueron recopilados de caracterizaciones realizadas al agua influente (entrada) en 22 estaciones depuradoras de aguas residuales, las cuales fueron hechas en diversos estudios realizados en la Comunidad Valenciana y la región de Murcia. Los datos fueron organizados y

tabulados con el fin de determinar la ausencia de datos (datos incompletos) así como el número total de datos disponibles, su distribución y frecuencia.

La etapa siguiente comprendió el *procesado de datos* que agrupó diversas fases y que tuvieron como objetivo: completar los datos incompletos, categorizar los datos según su origen, la fuente y el tipo de dato (componentes, experimentales). Definir las relaciones a estudiar de acuerdo al objetivo principal de este trabajo. En esta etapa se incluye el *reprocesado de los datos*, el cual consta de 3 procesos claves:

- Preparación de los datos: eliminación de datos (valores atípicos), codificación de datos (categorizar) y normalización de los datos.
- Análisis exploratorio de datos: análisis descriptivo o elemental (media, mediana, moda, asimetrías, curtosis etc.), frecuencias de aparición, pruebas de normalidad, correlaciones, análisis paramétricos y no paramétricos.
- Filtrado de datos: disminución del efecto del ruido, identificación de malas mediciones de la variable, errores al procesar los datos (errores de transcripción) y medidas incompletas.

Una vez concluida la fase correspondiente al *reprocesado de datos* se realizó la prueba estadística conocida como prueba T para determinar si existe diferencia significativa entre los valores medios de las dos categorías propuestas. Asimismo, se determinó la correlación existente entre los diferentes datos experimentales y componentes del modelo mediante las pruebas estadísticas de Pearson y Spearman. Finalmente como resultado, se obtuvieron las relaciones propuestas en este estudio.

4 DATOS EXPERIMENTALES

Los resultados de un amplio estudio en la caracterización de las aguas residuales en depuradoras de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia, desarrollado por el grupo de investigación Calagua (Universidad Politécnica de Valencia), se recogen en el presente trabajo con el objetivo de realizar un tratamiento estadístico y obtener relaciones matemáticas que sean estadísticamente significativas que permitan caracterizar las aguas residuales según los modelos de fangos activados más utilizados.

La calidad de las aguas residuales fue evaluada experimentalmente según los principales parámetros contaminantes utilizando los métodos de análisis descritos anteriormente.

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la Comunidad Valenciana y la región de Murcia, que se encuentra al este de la península ibérica, en la región costera de España a orillas del mar mediterráneo. En la actualidad cuenta con aproximadamente 4 millones de habitantes y una parte importante de la industria española repartidos en tres provincias, Alicante, Castellón y Valencia. En este contexto una buena caracterización de las aguas residuales es muy importante para la correcta selección y diseño de las tecnologías apropiadas para el tratamiento de las aguas residuales así como la evaluación del funcionamiento de los sistemas instalados actualmente en cada provincia.

Teniendo en cuenta que el desarrollo de nuevas tecnologías requiere un profundo conocimiento de la composición del agua residual siendo una metodología correcta la caracterización del agua residual influente a cada proceso. Esta metodología permite obtener los componentes necesarios para la aplicación de los modelos, orientados al desarrollo de alternativas de tratamiento.

A continuación se muestran la ubicación geográfica de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia en el mapa de España así como su distribución geográfica:



FIGURA 7. Mapa España, Comunidad Valenciana y región de Murcia

4.2 PUNTOS DE MUESTRO (EDAR)

Los puntos de muestreo fueron definidos según datos obtenidos por el grupo CALAGUA, las caracterizaciones utilizadas corresponden a estudios realizados en los últimos años en las distintas EDAR de la zona comprendiendo un amplio número de depuradoras distribuidas en las 3 provincias de la Comunidad Valenciana y Murcia.

Las diferentes estaciones depuradoras seleccionadas se presentan en la tabla siguiente, se muestra el nombre de la depuradora que corresponde al nombre del municipio, la provincia donde se encuentra ubicada y los habitantes equivalentes en cada una de ellas:

Depuradora (EDAR)	Provincia	He (habitante equivalente)
Alfondegulla	Castellón	22.797
Alcoi	Valencia	136.004
Alcantarilla	Murcia	129.466
Abaran	Murcia	18.863
Buñol-alborache	Valencia	64.093
Cuenca del carraixet	Valencia	109.520
Cincotorres	Castellón	903
Canals	Valencia	52.807
Elche-Alogoros	Alicante	234.636
Elda	Alicante	166.028
Forcall	Castellón	861
Figueroles	Castellón	514
IBI	Valencia	35.325
Orihuela	Valencia	43.599
Ontinyent-agullent	Valencia	89.599
Pinedo	Valencia	916.283
Rincón de león	Alicante	667.297
Sagunto	Valencia	80.518
Sierra Engarceran	Castellón	385
Vilanova Alcolea	Valencia	1.315
Vistabella	Castellón	598
Villa real	Valencia	23.684

TABLA 6. Puntos de muestreo

4.2.1 Ubicación geográfica de las EDAR

Las depuradoras seleccionadas se encuentran distribuidas en las tres provincias de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia, fueron organizadas para el presente trabajo en dos categorías (interior-costera) según su ubicación geográfica actual. Definiendo en la categoría costera las EDAR ubicadas en sitios próximos a la costa y la categoría interior el resto. Mediante las coordenadas UTM y un software de posicionamiento las EDAR fueron situadas en el mapa de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia que se muestran a continuación (Ver anexo 9, coordenadas UTM):

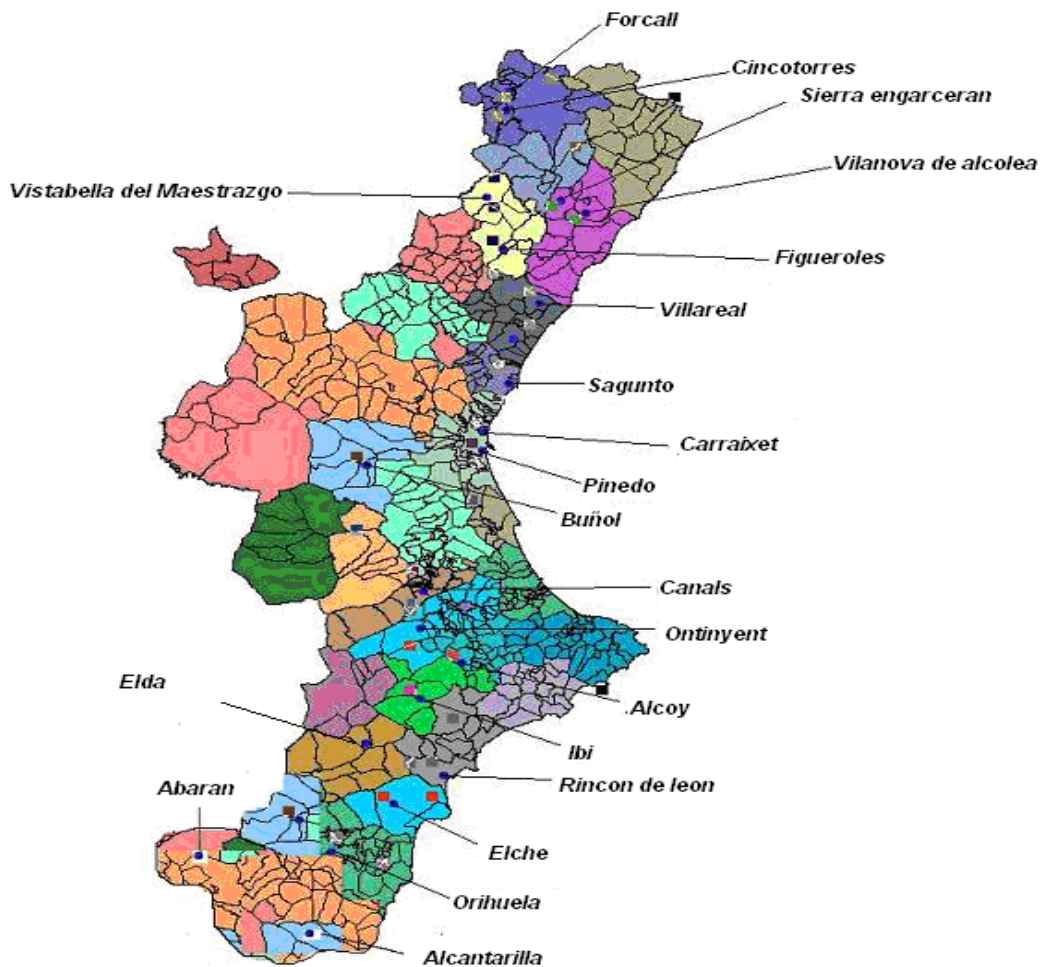


FIGURA 8. Puntos de ubicación de las EDAR en la Comunidad Valenciana y Murcia

La ubicación anterior permite tener una variabilidad en las características físicas y químicas del agua residual, con el fin de obtener los parámetros necesarios descritos en el modelo BNRM1 y que sean representativos en el análisis estadístico. En cada una de las depuradoras anteriores se realizaron análisis físicos y químicos con el fin de caracterizar el agua residual influente, según el modelo utilizado en la presente tesis. Fueron en total 55 muestras distribuidas en las 22 depuradoras seleccionadas.

Las muestras fueron recogidas y caracterizadas (cálculo de datos experimentales y componentes) en distintas épocas del año.

Las muestras del influente fueron recogidas como muestras integradas durante 24 horas. El carácter general de las aguas residuales analizadas corresponde a urbano siendo este el más representativo entre las depuradoras estudiadas.

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INFLUENTE MEDIANTE DATOS EXPERIMENTALES

Tradicionalmente la caracterización de un agua residual se realiza mediante la determinación de datos experimentales como la DQO, DBO₅, SST, N y P. Sin embargo, esta caracterización no es suficiente para el diseño y la aplicación a modelos. Los datos experimentales son el punto de partida para la correcta y completa caracterización del agua residual, pero en ocasiones no es posible obtener estos datos siendo necesario calcularlos utilizando datos y herramientas que lo permitan. Por esta razón en esta tesina se proponen relaciones entre los distintos datos experimentales que permitan calcular los datos faltantes y faciliten el cálculo de los componentes necesarios según los modelos para aguas residuales.

La caracterización realizada en el presente trabajo pretende identificar las distintas fracciones orgánicas e inorgánicas presentes en las aguas residuales descritas en los diferentes modelos y proponer relaciones matemáticas que permita la caracterización de un agua residual urbana.

4.3.1 Caracterización del agua residual según los modelos matemáticos tipo ASM.

El agua residual está compuesta por componentes solubles y particulados, esta clasificación se realiza teniendo en cuenta aquellos componentes filtrables y no filtrables presentes en el agua residual Influyente.

Mediante los ensayos de DQO y DBO_{LIM} es posible determinar la cantidad de materia orgánica total, así como las fracciones de materia orgánica biodegradable e inertes presentes en el agua residual.

La cantidad de materia orgánica y sus fracciones fueron obtenidas mediante los balances que se muestran a continuación utilizando las ecuaciones 1 al 4 del presente trabajo, asumiendo una cantidad inicial de microorganismos (biomasa) despreciable.

Asumiendo que no se produce materia orgánica inerte en el proceso de fangos activados es posible determinar la fracción S_i como la diferencia entre la DQO_{SOL} soluble y la DBO_{SOL} . La forma más utilizada para determinar la fracción inerte de un proceso para el tratamiento de agua residual es utilizando el valor de la DQO y DBO del agua efluente, sin embargo no siempre se dispone de esta información, por lo cual este cálculo se aproxima utilizando los valores del agua influente (Ec 9b). Asumiendo que no se produce materia orgánica soluble inerte durante el proceso, las dos ecuaciones disponibles para determinar este componente se muestran a continuación:

$$S_i = DQO_{SOL_{EFL}} - DBO_{SOL_{EFL}} \quad \text{EC (9a)}$$

$$S_i = DQO_{SOL} - DBO_{LIMSOL} \quad \text{EC (9b)}$$

La cantidad de materia orgánica inerte particulada presente en el influente (X_i) se obtiene restando al valor de la DQO la DBO y el valor de (S_i) conocido previamente:

$$X_i = DQO_{TOTAL} - DBO_{LIM_{TOTAL}} - S_i \quad \text{EC (10)}$$

Los ácidos volátiles de cadena corta (S_a) se determinan mediante la metodología propuesta por (Moosbrugger y col., 1992).

La materia orgánica soluble inerte y fácilmente biodegradable (S_s) constituye la DQO soluble, a su vez la fracción fácilmente biodegradable puede descomponerse en 2 fracciones pudiéndose calcular así la fracción fácilmente biodegradable fermentable S_f puesto que (S_i) y (S_a) han sido calculadas previamente. La fracción S_f se calcula haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$S_f = DQO_{SOLUBLE} - S_i - S_a \quad \text{EC (11)}$$

La materia orgánica particulada X_s se determina restando de la DQO total todos los parámetros calculados anteriormente utilizando la ecuación 4 suponiendo que la cantidad de microorganismos inicial es despreciable:

$$X_s = DQO_{TOTAL} - S_i - S_f - S_a - X_i \quad \text{EC (12)}$$

La metodología presentada anteriormente facilita el cálculo de los componentes además de ser bastante precisa y fácil de llevar. Sin embargo necesita una caracterización completa del agua residual, cosa que muy pocas veces se puede dar en la práctica.

Las tablas siguientes contienen los datos correspondientes a la caracterización realizada para cada una de los puntos de muestreo definidos anteriormente. En ellas

se muestran la cantidad de materia orgánica en cada depuradora expresada en términos de DQO y DBO, así como la cantidad de nutrientes presentes en el agua residual influente (P y N) obtenidos en los análisis experimentales realizados.

La caracterización de los principales datos experimentales (DQO, DBO, N, P y SST) proporciona una indicación del grado de calidad de las aguas residuales la cual varía de un lugar a otro y puede ser observada en las siguientes tablas.

EDAR	DQOT mgO/l	DQO_{Sol} %DQOT	DBO₅ mgO/l	DBO_{5Sol} %DBO₅	DBO_{LIM} mgO/l	DBO_{LIMSol} %DBO_{LIM}
Abaran	715	19,4	276	29,71	280	37,9
Abaran	698	21,1	369	15,99	515	16,4
Abaran	628	20,1	428	25,23	546	22
Abaran	847	20	397	25,94	512	26,8
Abaran	734	22,6	340	28,82	470	21,5
Abaran	749	20,7	451	26,16	586	25,1
Alcantarilla	1176	42,4	819	40,54	1003	42,7
Alcantarilla	1140	46	725	49,79	941	48,5
Alcantarilla	1630	45,9	1073	41,57	1370	42,7
Alcantarilla	1255	43,5	890	44,38	1186	41,9
Alcantarilla	1170	32	777	35,91	946	36,5
Alcantarilla	1050	36,7	749	33,78	974	26,6
Alcantarilla	1030	31,4	705	17,37	710	17,5
Alcoi	551	71	298	72,8	436	74,5
Alfondeguilla	1279	50	870	45	-	-
B-alborache	529	83	383	817	445	84,5
B-alborache	692	71,7	445	77,5	560	73,9
B-alborache	681	83,1	476	77,1	586	81,7
C. carraixet	290	33,1	151	39,7	206	37,9
Canals	827	39,1	360	55	452	46,9
Cincotorres	1275	31	680	44	-	-
E-Alogoros	939	39	552	45,5	710	42,3
E-Alogoros	727	41	510	45,9	634	44
E-Alogoros	973	53,8	341	53,8	794	49,9
Elda	645	58,3	459	55,8	533	59,7
Elda	563	52,5	406	54,7	490	59
Elda	662	58	-	-	-	-
Elda	632	60,1	479	55,7	561	65,4
Figueroles	722	46	470	43	-	-

Forcall	539	42	380	43	-	-
IBI	396	61,1	260	47,8	331	46,8
IBI	428	70,8	324	69,4	372	69,8
IBI	302	69,7	203	65,5	231	71,9
Ont-agullent	779	31,5	336	33,93	445	38
Ont-agullent	537	32,4	257	24,12	353	30,3
Ont-agullent	920	10,1	287	19,16	395	22,8
Ont-agullent	802	21,9	310	24,19	420	29,8
Orihuela	531	53,7	322	54,7	403	52
Orihuela	447	66,3	284	63,3	349	63,3
Orihuela	373	68,1	272	70,3	310	70,8
Pinedo	444	38,5	279	32,26	357	31,9
Pinedo	460	44,1	273	42,12	349	41,5
Pinedo	254	47,6	158	45,57	203	42,4
Pinedo	289	46	214	50,93	262	49,6
Pinedo	168	53,5	-	-	109	47,7
Pinedo	138	47,1	-	-	109	52,3
Pinedo	189	49,2	-	-	88	75,0
Pinedo	190	43,2	-	-	125	45,6
Pinedo	211	44,5	-	-	141	53,9
Pinedo	235	54,5	-	-	138	49,3
Rincón de león	694	56	436	67	561	62,4
S, Engarceran	738	37	500	52	-	-
Sagunto	377	46,9	217	61,8	273	59
V, Alcolea	361	57	255	45	-	-
Villa real	422	47,6	259	46,8	348	46,8
Vistabella	691	47	585	47	-	-

TABLA 7. Caracterización del agua residual influente en las EDAR utilizadas en este estudio. Datos experimentales, fracciones de la materia orgánica. (1/2)

Puntos de muestreo	SST mg/l	SSV mg/l	NO ₃ ⁻ mgN-NO ₃ /l	NH ₄ ⁺ mg N-NH ₄ /l	N mgN/l	P mg P/l	PO ₄ ³⁻ mgP-PO ₄ /l
Abaran	538	380	<0,2	39,8	54,8	9,3	7
Abaran	458	332	<0,2	38,5	54,8	8	6,4
Abaran	340	244	<0,2	36,1	51,6	6,2	5,2
Abaran	444	320	<0,2	47,6	61,5	8	5,7
Abaran	332	234	<0,2	40,1	49,2	8	5,4
Abaran	322	168	<0,2	43,5	53,5	6	5
Alcantarilla	374	288	<0,2	41,7	85	9,8	7,5
Alcantarilla	366	272	0,5	49,1	75	13,2	9,2

Alcantarilla	478	374	0,8	55,3	80,5	11	6,8
Alcantarilla	542	494	0,8	47,1	78	13,5	7,4
Alcantarilla	476	362	<0,2	60,5	93	10,4	9,5
Alcantarilla	408	302	<0,2	78,6	82	14,4	8,6
Alcantarilla	624	490	1,4	95,3	134	16,4	10,9
Alcoi	110	86	-	30,7	39,1	4,2	1,6
Alfondeguilla	397	-	-	-	104	20,2	9,09
B-alborache	102	63	0,8	1	13,9	3,2	0,6
B-alborache	217	130	-	1,8	9,7	3,5	0,2
B-alborache	179	112	-	0,2	2	3,6	0,3
C.carraixet	115	97	-	32,4	49,5	6,9	4,5
Canals	404	298	0,2	32,3	49,4	3,2	0,4
Cincotorres	605	-	-	-	179	25	9,75
E-Alogoros	366	289	0,7	26	69,5	18,3	13,4
E-Alogoros	346	271	0	26,8	74	15	9,2
E-Alogoros	439	349	0	21,5	71,3	20,5	12
Elda	121	103	0	60,8	79	6,6	4,5
Elda	127	110	-	60,5	68	8,8	7,4
Elda	147	133	0,4	64,8	87,7	8	6
Elda	121	98	-	61,8	76	4,8	2,6
Figueroles	229	-	-	-	55	5,3	2,5
Forcall	200	-	-	-	50	5,8	-
IBI	90	84	1	41,8	48	6,9	4,5
IBI	79	72	-	46,4	57	8,8	5,6
IBI	67	54	-	38,4	61	4,9	1,9
Ont-agullent	336	310	9,1	17,5	39,6	5,9	5,5
Ont-agullent	238	193	0,9	19,3	29,8	5,3	2,4
Ont-agullent	307	252	1,4	21	33,3	4,9	1,9
Ont-agullent	357	295	1,8	19,9	34	6,8	3
Orihuela	133	97	-	43,8	67	8	4,9
Orihuela	84	62	-	54,7	66	7	5,3
Orihuela	79	57	-	71,4	71	7,9	6
Pinedo	126	98	1,3	39,6	48	7	4,3
Pinedo	138	104	0	37,9	40,8	6,8	4,4
Pinedo	114	108	0,5	23,9	69,6	4,3	2,8
Pinedo	114	82	0	25,7	36,8	6	3
Pinedo	55	48	<0,2	14,8	18,6	4,1	3,6
Pinedo	57	43	<0,2	21,6	29	6	3
Pinedo	66	53	<0,2	17,7	39,1	4,9	3,7

Pinedo	57	41	<0,2	26,2	33,9	4,7	2,8
Pinedo	76	72	<0,2	26,3	36,4	4,9	3,4
Pinedo	68	54	<0,2	23,5	35,2	5,7	4
R. de león	171	152	-	68,4	83	27,5	18,7
S. Engarceran	198	-	-	-	97	14,1	9,16
Sagunto	136	115	-	41,4	48,6	9,6	6,6
Vilanova Alcolea	117	-	-	-	65	8,7	3,48
Villa real	143	117	-	40,8	56	9,9	5,9
Vistabella	230	-	-	-	65	6,8	3,67

TABLA 8. Caracterización del agua residual influente en las EDAR.(2/2)

En los datos presentados anteriormente se pueden observar los valores medidos en cada punto de muestreo. Esta caracterización permite tener una idea del tipo de agua residual a tratar. Algunos valores difieren de los encontrados como agua residual urbana debido a diferencias en el punto de muestreo o la influencia de agua residual de origen industrial.

La caracterización del agua residual según los modelos matemáticos para agua residual incluye el fraccionamiento de los datos experimentales en las fracciones solubles, particuladas e inertes presentes en el agua. Estas fracciones permiten establecer criterios para el diseño y la simulación de nuevos procesos.

A continuación se presentan los principales componentes en las que es posible separar el agua residual utilizados en los modelos de fangos activados. Estos componentes se obtienen mediante los balances mostrados en las ecuaciones 1 al 12 a partir de los datos experimentales de las tablas 7 y 8.

Este fraccionamiento incluye las distintas formas en las que es posible encontrar los contaminantes presentes en el agua, componentes solubles (S) y componentes particulados (X).

Punto de muestreo	S _s mgO/l	S _a mgO/l	S _F mgO/l	X _s mgO/l	X _i mgO/l	S _i mgO/l	S _{NH4} mgN/l	S _{PO4} mgP/l
Abaran	122,6	36,3	86,3	157,4	418,9	16,1	39,8	7,0
Abaran	124,5	56,5	68,0	390,4	160,3	22,7	38,5	6,4
Abaran	103,2	52,3	51,0	442,8	59,0	23,0	36,1	5,2
Abaran	155,9	69,3	86,6	356,1	321,5	13,5	47,6	5,7
Abaran	154,0	62,9	91,2	315,9	252,2	11,8	40,1	5,4
Abaran	144,1	66,1	78,0	441	152,1	10,9	43,5	5,0

Alcantarilla	313,6	266	48,0	690	-12,0	185	41,7	7,5
Alcantarilla	406,4	246	161	535	81,0	118	49,1	9,2
Alcantarilla	607,2	267	341	763	119,0	141	55,3	6,8
Alcantarilla	477,9	264	215	708	1,0	68,0	47,1	7,4
Alcantarilla	369,4	223	147	577	219,0	5,0	60,5	9,5
Alcantarilla	366,4	188	179	607	57,0	19,0	78,6	8,6
Alcantarilla	136,4	48,0	88,4	574	133,0	187	95,3	10,9
Alfondeguilla	-	-	-	-	-	-	-	9,1
Alcoi	334,2	61,4	273	101,8	58,0	57,0	30,7	1,6
B-alborache	399,1	166	232	45,9	44,0	40,0	1,0	0,6
B-alborache	460,6		461	99,4	96,4	35,6	1,8	0,2
B-alborache	522,9		523	63,1	52,0	43,0	0,2	0,3
Cincotorres	-	-	-	-	-	-	-	9,8
Canals	206,4	66,2	140	245,6	258,0	117,0	32,3	0,4
C. carraixet	68,0	4,9	63,1	138,0	56,0	28,0	32,4	4,5
E-Alogoros	326,2	85,9	241	383,8	189,0	40,0	26,0	13,4
E-Alogoros	294,1	-	294,	339,9	89,0	4,0	26,8	9,2
E-Alogoros	514,5	-	514,5	279,5	170,0	9,0	21,5	12,0
Elda	320,0	91,4	229	213,0	56,0	56,0	60,8	4,5
Elda	240,6	-	241	249,4	18,0	55,0	60,5	7,4
Elda	-	-	-	-	-	-	64,8	6,0
Elda	344,8	-	344	216,2	36,0	35,0	61,8	2,6
Figueroles	-	-	-	-	-	-	-	2,5
IBI	192,0	52,3	140	139,0	15,0	50,0	41,8	4,5
IBI	262,0	-	262	110,0	15,0	41,0	46,4	5,6
IBI	8,5	-	8,5	222,5	131,0	202,0	38,4	1,9
Ont-agullent	-	41,6	-	-	-	-	17,5	5,5
Ont-agullent	116,0	18,1	97,9	237,0	126,0	58,0	19,3	2,4
Ont-agullent	80,9	5,3	75,6	314,1	513,0	12,0	21,0	1,9
Ont-agullent	116,6	20,3	96,4	303,4	323,0	59,0	19,9	3,0
Orihuela	235,1	81,7	154	167,9	78,0	50,0	43,8	4,9
Orihuela	256,4	-	257	92,6	58,0	40,0	54,7	5,3
Orihuela	238,0	-	238	72,0	47,0	16,0	71,4	6,0
Pinedo	141,9	51,2	90,7	215,1	58,0	29,0	39,6	4,3
Pinedo	145,9	60,8	85,1	203,1	54,0	57,0	37,9	4,4
Pinedo	120,9	30,9	90,0	82,1	51,0	0,0	23,9	2,8
Pinedo	124,9	42,7	82,3	137,1	19,0	8,0	25,7	3,0
Pinedo	52,9	-	52,9	56,1	22,0	37,0	14,8	3,6
Pinedo	38,0	-	38,0	71,0	2,0	27,0	21,6	3,0

Pinedo	57,0	-	57,0	31,0	65,0	36,0	17,7	3,7
Pinedo	67,0	-	67,0	58,0	50,0	15,0	26,2	2,8
Pinedo	70,0	-	70,0	71,0	46,0	24,0	26,3	3,4
Pinedo	105,0	-	105	33,0	74,0	23,0	23,5	4,0
R. de león	345,6	154	191	215	90,0	43,0	68,4	18,7
Sagunto	145,8	16,2	129	127	73,0	31,0	41,4	6,6
S Engarceran	-	-	-	-	-	-	-	9,2
Villa real	168,9	24,7	144	179	42,0	32,0	40,8	5,9
V. Alcolea	-	-	-	-	-	-	-	3,5
Vistabella	-	-	-	-	-	-	-	3,7

TABLA 9. Componentes del agua residual obtenidos a partir de datos experimentales.

5 METODOLOGIA PROPUESTA

En el estudio estadístico que se desarrollará en la presente tesina se utilizarán los datos experimentales obtenidos en las distintas caracterizaciones realizadas en las EDARs de la Comunidad Valenciana y Murcia.

La metodología desarrollada para el estudio estadístico se realizó con el fin de determinar las relaciones matemáticas entre los diferentes *datos experimentales* que caracterizan el agua residual, que permitan estimar los datos experimentales faltantes y los *componentes* del agua residual influente a una depuradora según el modelo matemático utilizado.

Las pruebas estadísticas realizadas a los datos se ha elaborado utilizando como herramienta informática el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

En el estudio estadístico desarrollado se pretende que las relaciones obtenidas sean estadísticamente significativas, para ello es necesario realizar distintas pruebas que permitan eliminar datos atípicos, fuera de rango y aquellos que no son representativos en la muestra analizada.

Algunas de las relaciones que se presentan en esta tesina han sido propuestas en diversos estudios desarrollados sobre el tratamiento de aguas residuales como el realizado por (Orhon y col., 1996), en este estudio se caracterizaron las aguas residuales de la ciudad de Istanbul (Turquía), se muestran las relaciones existentes entre las distintas fracciones de la DQO, DBO, N y P. Otros estudios sobre la caracterización del agua residual que citan relaciones entre los parámetros han sido hechos por el Grupo de Modelación Matemática en Fangos activados de la IWA,

durante los trabajos desarrollados para la obtención de los distintos modelos existentes. Estas relaciones permiten comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los encontrados en la bibliografía.

El estudio estadístico de la presente tesina utilizó los *datos experimentales* y los *componentes* del modelo que se muestran en las tablas anteriores para proponer las relaciones matemáticas tipo I y tipo II que se describen a continuación.

5.1 RELACIONES MATEMÁTICAS ESTUDIADAS

La estimación de los parámetros para la caracterización de un agua residual según los modelos de simulación ASM1, ASM2d y BNRM1, requieren de relaciones y consideraciones que permitan obtener todos los componentes de una manera sistemática y científica.

Teniendo en cuenta que la caracterización del agua residual pretende interpretar la tratabilidad de las aguas residuales, dicha tratabilidad es observada utilizando datos experimentales como la DQO, DBO, N y P. Estos datos dan una idea del contenido total de materia orgánica y nutrientes presentes en el agua residual analizada. La información aportada por estos datos es indispensable como punto de partida en cualquier estudio sobre las aguas residuales.

Para la aplicación de los modelos matemáticos en el tratamiento de aguas residuales se requiere de la caracterización detallada sobre la composición de las aguas, siendo necesario calcular los componentes a partir de los datos experimentales haciendo uso de herramientas que faciliten el fraccionamiento del agua residual. Una herramienta útil que facilita la caracterización del agua residual, son las relaciones matemáticas entre datos experimentales y componentes como las que se muestran a continuación:

TIPO I Relaciones entre datos experimentales	TIPO II Relaciones entre componentes y datos experimentales
DBO _{LIM} : DQO	SS: DQO
DBO ₅ : DQO	S _F : DQO sol
DQO: N	S _j : DQO
DQO: P	X _S : DQO
DQO: SSV	X _j : DQO
SSV: SST	S _a : DQO
DBO ₅ : DBO _{LIM}	S _F : DQO
DBO ₅ : N	S _S : DBO _{LIM}
DBO ₅ : P	X _S : DBO _{LIM}

$\text{NH}_4^+ : \text{N}$	
$\text{NT}_{\text{SOL}} : \text{N}$	
$\text{PO}_4^{-3} : \text{P}$	
$\text{DBO}_{\text{LIMSOL}} : \text{DBO}_{\text{LIM}}$	
$\text{DQO}_{\text{sol}} : \text{DQO}$	
$\text{DBO}_{5\text{SOL}} : \text{DBO}_5$	

TABLA 10. Relaciones propuestas entre datos, tipo I y II.

Uno de los parámetros importantes en el diseño de nuevos procesos que determinan la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales se conoce como índice de biodegradabilidad, este índice es una relación entre datos experimentales que permite determinar el grado de tratabilidad de las aguas residuales, algunos autores citan la relación (DBO: DQO) como el índice de biodegradabilidad donde la DBO puede estar expresada en términos de DBO_5 o DBO_{LIM} . En los Estados Unidos (EE.UU.) composiciones típicas para agua residual de concentración débil, medio y fuertes corresponden a una gama entre 0.40-0.44 para este cociente (Metcalf y Eddy, 1991).

Otra relación importante que permite establecer la cantidad de materia orgánica total biodegradable es la relación ($\text{DBO}_5 : \text{DBO}_{\text{LIM}}$), tradicionalmente se han utilizado valores entre 0.67-0.7 para este cociente o inclusive 0.6 propuesto por Henze y col., 1996.

Otras importantes relaciones como la (DQO: N), (DQO: P), ($\text{DBO}_5 : \text{N}$) y ($\text{DBO}_5 : \text{P}$) permiten fijar los parámetros para el diseño y simulación de los procesos de nitrificación, desnitrificación y eliminación biológica de fósforo.

Asimismo y con el fin de obtener todos los componentes del modelo, en el presente trabajo se proponen diversas relaciones que permitan calcular las diferentes fracciones existentes en los modelos de fangos activados más utilizados por la comunidad científica y en particular el modelo BNRM1.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron ordenados alfabéticamente para cada EDAR, se tabularon de acuerdo a cada relación y se organizaron con el fin de facilitar los análisis posteriores. Uno de los pasos iniciales en el análisis estadístico de los datos fue determinar la distribución y frecuencia que presentan los datos para cada una de las relaciones propuestas, para ello se calcularon los valores de tendencia central para los datos experimentales, los componentes y las relaciones propuestas.

Los valores de tendencia central calculados en la presente tesina incluyen: la media, mediana, desviación estándar, asimetría, curtosis, los errores de asimetría y curtosis, el valor mínimo, máximo y los percentiles (25, 50,75).

El siguiente paso consistió en identificar aquellas relaciones cuyos datos presentaban una distribución normal y que cumplen las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y Shapiro-Wilk (S-W) realizadas. Aquellas relaciones que no presentaran una distribución se les aplicaban pruebas que permitieran identificar los datos que estaban por fuera o alejados de la curva gaussiana (valores atípicos).

Asimismo los valores obtenidos para cada relación fueron clasificados en dos categorías (Costera e Interior) según la ubicación geográfica de la depuradora, de igual forma con el objetivo de realizar una comparación se clasificaron en otras dos categorías (Calagua y datos bibliográficos) de acuerdo a la procedencia del dato siendo Calagua los datos experimentales y bibliográficos los datos reportados en la bibliografía revisada.

Las pruebas de normalidad realizadas garantizan que las relaciones propuestas en este estudio proceden de datos con una distribución normal. Este hecho permite realizar la prueba de Levene y la prueba T para determinar si existe diferencia significativa entre los valores medios según las categorías mencionadas anteriormente.

El análisis estadístico finaliza con las pruebas de correlación y regresión lineal. Con estas pruebas se pretende determinar la relación lineal que existe entre las variables. Las pruebas utilizadas para este análisis son el coeficiente de correlación de Pearson y Spearman.

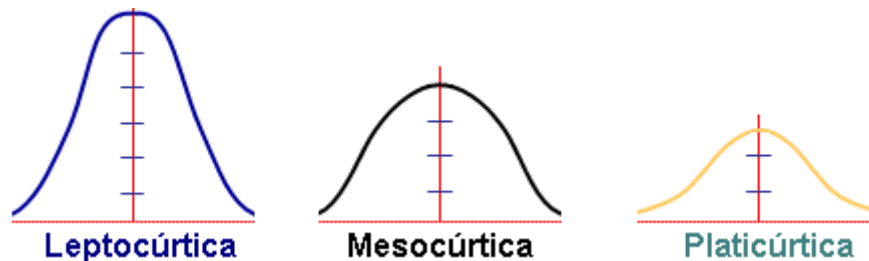
5.3 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

El análisis exploratorio inicial se realizó con un promedio de 56 muestras tomadas en 22 EDARs de la Comunidad Valenciana y Murcia con las cuales se determinaron las distintas medidas de tendencia central descritas anteriormente, con estos datos es posible observar la distribución de los datos con respecto al valor medio e inferir sobre el comportamiento que tiene la muestra.

Los valores de Asimetría y Curtosis calculados para cada relación, permiten observar el grado de acumulación de los datos alrededor de la media y la inclinación de la curva comparada con una muestra normal, se pueden distinguir 3 distribuciones típicas según el grado de concentración de los datos alrededor de la media, es decir si los

datos se concentran demasiado o no, comparados con un modelo de distribución llamado distribución normal.

- La distribución se denominará **leptocúrtica** (más apuntada que la normal)
- La distribución se denominará **mesocúrtica** (normal)
- La distribución se denominará **platicúrtica** (menos apuntada que la normal)



Donde el nivel de curtosis se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$CAp = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4}{N_s^4}$$

Donde (X_i) es cada uno de los valores, (\bar{X}) el valor medio de la muestra y (N_s) la frecuencia de cada valor.

Leptocúrtica: $Cap > 0$ (curva es mas apuntada que lo normal)

Mesocúrtica: $Cap = 0$ (curva es igual que la normal)

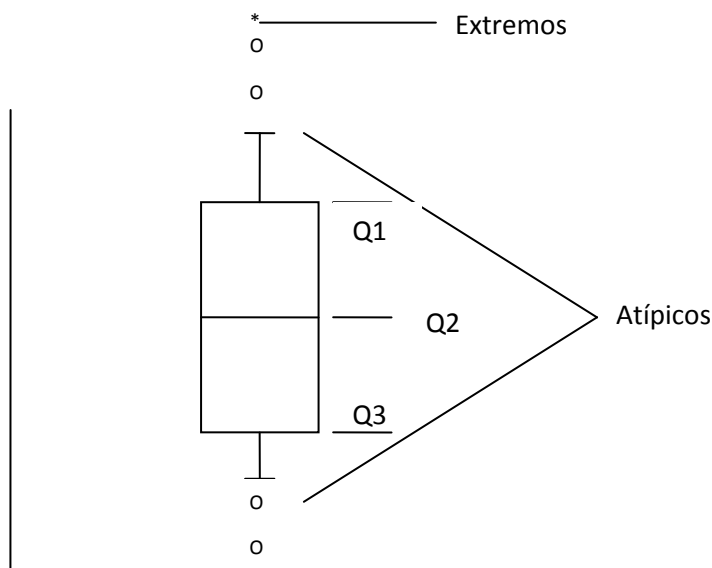
Platicurtica: $Cap < 0$ (curva es mas aplastada que lo normal)

El análisis estadístico fue realizado para los datos experimentales de las tablas 7 , 8 y 9 del presente trabajo, los valores que se presentan a continuación corresponden a los valores medios obtenidos y representan las características de un agua residual urbana en la Comunidad Valenciana. Sin embargo este análisis inicial no permite establecer si todos los datos son representativos o existen datos atípicos en la muestra.

Para identificar los valores atípicos para cada uno de los parámetros se utilizó la herramienta gráfica conocida como *diagramas de caja*, permiten identificar la distribución y la dispersión de los datos de una variable. Es un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos alrededor de la media.

En el diagrama de caja se suministra información sobre la mediana, los cuartiles (1 y 3), los valores atípicos y los valores extremos. La estructura de este tipo de gráfico

esta basada en una caja, donde el límite superior corresponde al valor del tercer cuartil Q_3 (75% de los datos) y el límite inferior al primer cuartil Q_1 (25%), a su vez dentro de la caja se incluye una línea representando el valor de la mediana Q_2 .



Los datos experimentales presentados en la siguiente tabla y el diagrama de caja correspondiente son un ejemplo del análisis estadístico realizado a los datos utilizados en este trabajo. Los demás datos experimentales y componentes utilizados se muestran en el anexo 1.

Datos experimentales	DQO mgO/l	DBO ₅ mgO/l	DBO _{LIM} mgO/l	SST mg/l	SSV mg/l	N mgN/l	NH ₄ ⁺ mgN/l	P mgP/l
N	56	49	48	56	56	56	49	56
Media	655,7	430,3	477,2	242,1	187,5	59,6	38,1	8,83
Mediana	653,5	380,0	440,5	188,5	142,5	55,5	38,4	6,95
Moda	138 ^a	151 ^a	109,0	57,0	54,0	39,0	60	8,0
Desv típ.	331,2	206,7	282,9	161,0	124,3	29,2	19,9	5,33
Asimetría (A)	0,644	1,238	1,185	0,677	0,782	1,303	0,468	1,75
Error (A)	0,319	,340	0,343	0,319	0,319	0,319	0,340	0,319
Curtosis (C)	0,200	1,184	1,539	-,702	-,393	4,399	0,420	3,01
Error (C)	0,628	0,668	0,674	,628	0,628	0,628	0,668	0,628
Mínimo	138,0	151,0	88,00	55,00	41,00	2,000	0,200	3,20
Máximo	1630,	1073	1370,	624,0	494,0	179,0	95,30	27,5
25	402,5	277,5	287,5	114,0	88,75	39,22	23,70	5,30
50	653,5	380,0	440,5	188,5	142,5	55,50	38,40	6,95
75	820,7	500,5	561,0	366,0	293,5	74,75	48,35	9,87

TABLA 11. Valores medios de los datos experimentales utilizados en este estudio.

(^a existen varias modas, se mostrara el menor de los valores)

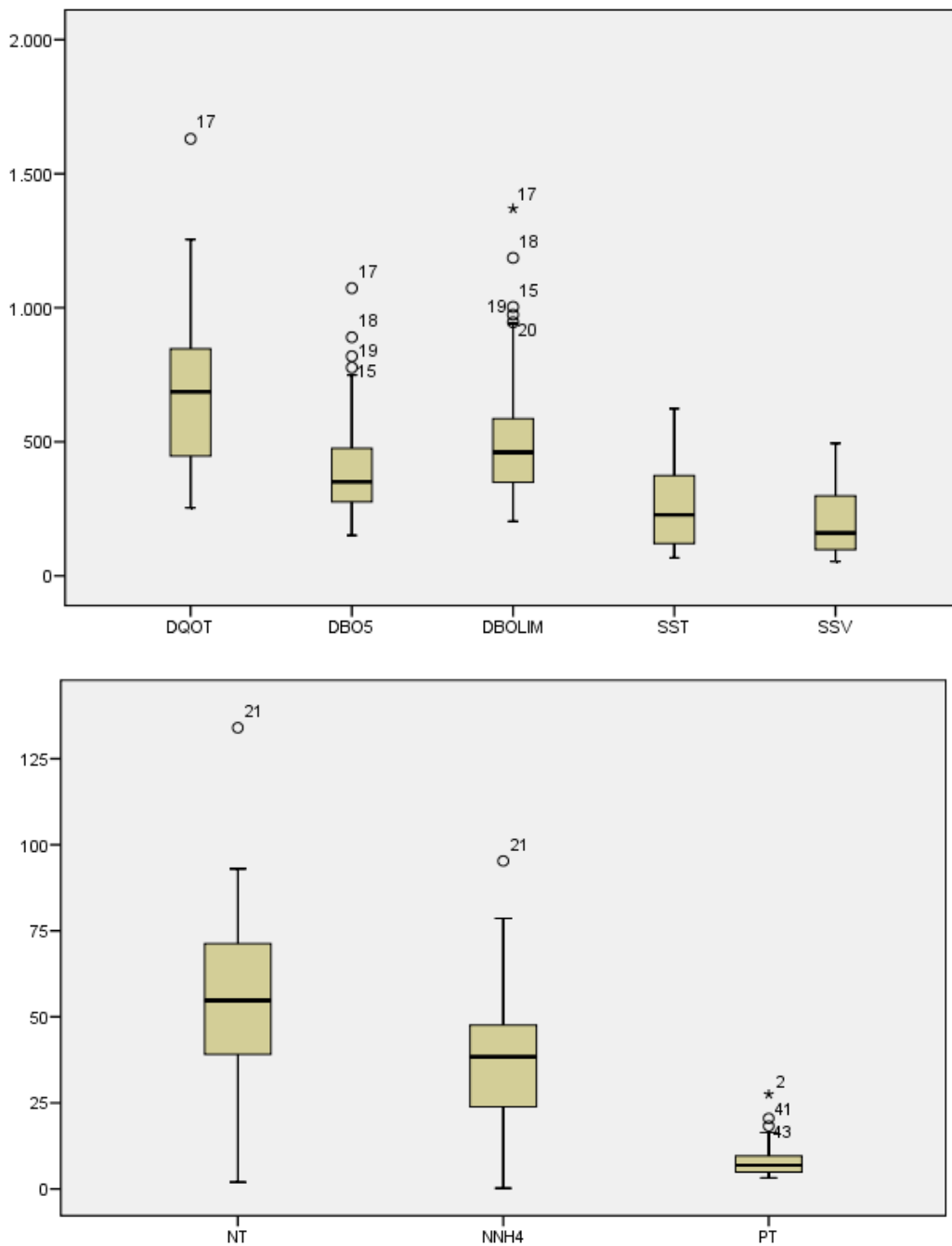


FIGURA 9. Ejemplo de diagrama de caja para los datos experimentales.

5.4 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS COMPONENTES SEGÚN LOS MODELOS TIPO ASM

Los datos que se presentan a continuación han sido tomados y tratados a partir de la tabla 9 del presente trabajo, constituyen el fraccionamiento de los datos de la DQO, N y P medidos en el agua influente en cada depuradora.

Parámetro	S _s mgO/l	S _a mgO/l	S _F mgO/l	X _s mgO/l	X _I mgO/l	S _I mgO/l	S _{NH4} mgN/l	S _{PO4} mgP/l	X _{NV} mg/l
N	47	32	47	47	44	47	49	56	56
Media	225,5	91,2	164,3	252,3	116,4	47,45	38,28	5,39	54,53
Mediana	168,8	61,1	129,5	215,0	62,00	35,60	38,50	4,95	39,28
Moda	8,49 ^a	52,2	8,49 ^a	71,00	58,00	40,00	60,50	3,0 ^a	14,00
Desv típ.	147,0	82,2	122,0	190,9	116,7	47,65	19,93	3,53	42,40
Asimetría(A)	,742	1,20	1,406	1,101	1,758	2,047	,447	1,18	,711
Error (A)	,347	,414	,347	,347	,357	,347	,340	,319	,319
Curtosis (C)	-,259	,114	1,741	,562	2,706	3,812	,415	2,58	-,668
Error (C)	,681	,809	,681	,681	,702	,681	,668	,628	,628
Mínimo	8,494	4,90	8,494	31,00	2,000	,000	,200	,000	4,000
Máximo	607,17	266	522,9	762,8	513,0	202,0	95,30	18,7	154,0
25	116,63	37,6	78,00	99,43	47,75	16,10	23,70	3,00	18,25
50	168,87	61,1	129,5	215,0	62,00	35,60	38,50	4,95	39,28
75	334,21	138	238,0	356,1	158,2	56,00	48,35	7,30	89,25

TABLA 12. Valores de tendencia central de los componentes del modelo calculados a partir de los datos experimentales utilizados en este estudio. (^a existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores)

5.5 RELACIONES PROPUESTAS

Las relaciones entre los *datos experimentales* y los *componentes* de los modelos de fangos activados permiten caracterizar totalmente un agua residual y sirven para identificar las cantidades de sustrato y nutrientes presentes en el agua influente.

Estos datos pueden ser de gran importancia, ya que permite diseñar un nuevo proceso así como identificar los requerimientos exigidos por los microorganismos para el correcto funcionamiento de una EDAR existente.

Las relaciones propuestas en este estudio descritas como relaciones tipo I y tipo II permitirán calcular los datos experimentales y componentes del agua residual. Las relaciones tipo I permiten calcular todos los datos experimentales necesarios para completar o caracterizar totalmente un agua residual.

Las relaciones tipo II pueden ser utilizadas para calcular los componentes descritos en los modelos matemáticos de fangos activados como el BNRM1. A continuación se muestran los resultados del análisis estadístico para las relaciones tipo I y II calculadas a partir de los datos experimentales y los componentes utilizados en este estudio.

Relaciones tipo I	DBO _{LIM} : DQO	DBO ₅ : DBO _{LIM}	DBO ₅ : DQO	DQO: N	DBO ₅ : N	DBO ₅ : P	DQO: P	DQO: SSV	SSV: SST	
N	48	42	49	56	49	49	56	49	56	
Media	0,74	0,78	0,61	18,2	12,6	54,7	85,4	4,07	0,785	
Mediana	0,79	0,78	0,63	10,2	6,73	45,5	67,0	3,60	0,784	
Moda	0,39	0,42 ^a	,31 ^a	3,64	5,81	15,8	23,0	1,88	0,719	
Desv. típ	0,13	0,084	0,11	44,9	33,5	29,0	48,6	1,50	0,085	
Asimetría(A)	-,98	-1,2	-,73	6,95	6,60	1,09	1,37	,791	-,399	
Error (A)	0,34	0,36	0,34	,319	,340	,340	,319	,340	0,319	
Curtosis (C)	0,20	7,98	-,02	50,2	44,9	,549	2,04	,088	0,978	
Error (C)	0,67	0,71	0,66	,628	,668	,668	,628	,668	0,628	
Mínimo	0,39	0,42	0,31	3,64	2,27	15,8	23,0	1,88	0,522	
Máximo	0,94	1,0	0,84	340,	238,	132,	258,	8,39	0,947	
	25	0,65	0,75	0,53	7,53	4,92	34,9	48,2	2,78	0,737
	50	0,79	0,78	0,63	10,2	6,73	45,5	67,0	3,60	0,784
	75	0,83	0,81	0,70	13,9	8,58	70,2	110,	5,04	0,839

TABLA 13. Análisis estadístico de las relaciones propuestas (1/3).(^a existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores)

Relaciones tipo I	DQO _{SOL} : DQO	DBO _{LIMSOL} : DBO _{LIM}	DBO _{5SOL} : DBO ₅	NH ₄ ⁺ : NT _{sol}	NT _{sol} : N	PO ₄ : P	
N	56	48	49	40	46	55	
Media	,457	,474	,462	,806	,819	,601	
Mediana	,460	,468	,455	,882	,824	,647	
Moda	0,46	0,38	0,43	0,112	0,800	0,33	
Desv. típ	,163	,176	,164	,246	,108	,194	
Asimetría(A)	,134	,193	,196	-1,239	-,380	-,98	
Error (A)	,319	,343	,340	,374	,350	,322	
Curtosis (C)	-,140	-,763	-,460	1,411	-,736	1,10	
Error (C)	,628	,674	,668	,733	,688	,634	
Mínimo	,10	,16	,16	,112	,584	,057	
Máximo	,83	,85	,82	1,26	,985	,932	
	25	,340	,330	,338	,736	,735	,50
	50	,460	,468	,455	,882	,824	,647
	75	,556	,618	,553	,96272	,917	,732

TABLA 14. Análisis estadístico de las relaciones propuestas (2/3).

Relaciones tipo II	Ss: DQOT	S _F : DQOT	Sa: DQOT	Sa: DQOsol	S _F : DQOsol	S _i : DQOsol	Xs: DQOT	X _i : DQOT	S _i : DQOT	
N	47	47	32	32	47	47	47	47	46	
Media	,36	,29	,11	,29	,61	,19	,37	,16	,09	
Mediana	,35	,27	,10	,29	,58	,15	,35	,13	,07	
Moda	,02 ^a	,02 ^a	,006	,051	,040	,013	,087	-,43	,00	
Desv. típ	,17	,18	,07	,14	,21	,16	,15	,16	,10	
Asimetría (A)	,36	,71	,72	,10	-,31	2,41	,11	-,25	4,21	
Error (A)	,34	,34	,41	,41	,34	,35	,34	,34	,35	
Curtosis (C)	-,24	-,16	,31	-,87	,12	8,50	-,16	4,13	23,1	
Error (C)	,68	,68	,80	,80	,68	,68	,68	,68	,68	
Mínimo	,02	,02	,00	,05	,04	,013	,08	-,43	,004	
Máximo	,76	,76	,31	,59	,98	,96	,73	,58	,66	
	25	,23	,12	,05	,16	,46	,08	,29	,07	,035
	50	,35	,27	,10	,29	,58	,15	,35	,13	,077
	75	,48	,40	,16	,40	,81	,26	,47	,22	,10

TABLA 15. Análisis estadístico de las relaciones propuestas (3/3).^(a) existen varias modas, se mostrara el menor de los valores)

5.6 IDENTIFICACIÓN DE VALORES ATÍPICOS

Los valores atípicos en una muestra se definen como aquellos datos que tienen un valor que se aleja del valor típico (valor medio) de la muestra, esto es, se encuentran por fuera de la curva de distribución normal de una muestra. La importancia de identificar estos valores radica en que no permiten obtener muestras normales dificultando la interpretación y fiabilidad de las pruebas estadísticas realizadas. El origen de estos datos pueden ser situaciones anormales en los procesos y en el tratamiento inicial de los datos. Por ejemplo; el vertido de un contaminante, la ausencia de nutrientes en un día de muestreo, el cálculo erróneo de los parámetros e incluso errores en la transcripción de los datos. En el presente trabajo se pretende identificar los valores atípicos para cada relación propuesta e intentar explicar el origen de los mismos.

El procedimiento utilizado consiste en observar mediante los diagramas de caja realizados con el software SPSS como el de la figura 9, la distribución que tienen los datos según la información suministrada por este tipo de diagramas. Tal como se explicó anteriormente, estos diagramas muestran aquellos puntos que se encuentran por fuera y alejados de los valores mínimo y máximo para una muestra con una distribución normal y que son atípicos dentro del conjunto de datos.

A continuación se presenta el diagrama de caja para un grupo de relaciones tipo I, las demás relaciones propuestas siguen el mismo procedimiento realizado en este apartado, los diagramas se muestran en el anexo 1.

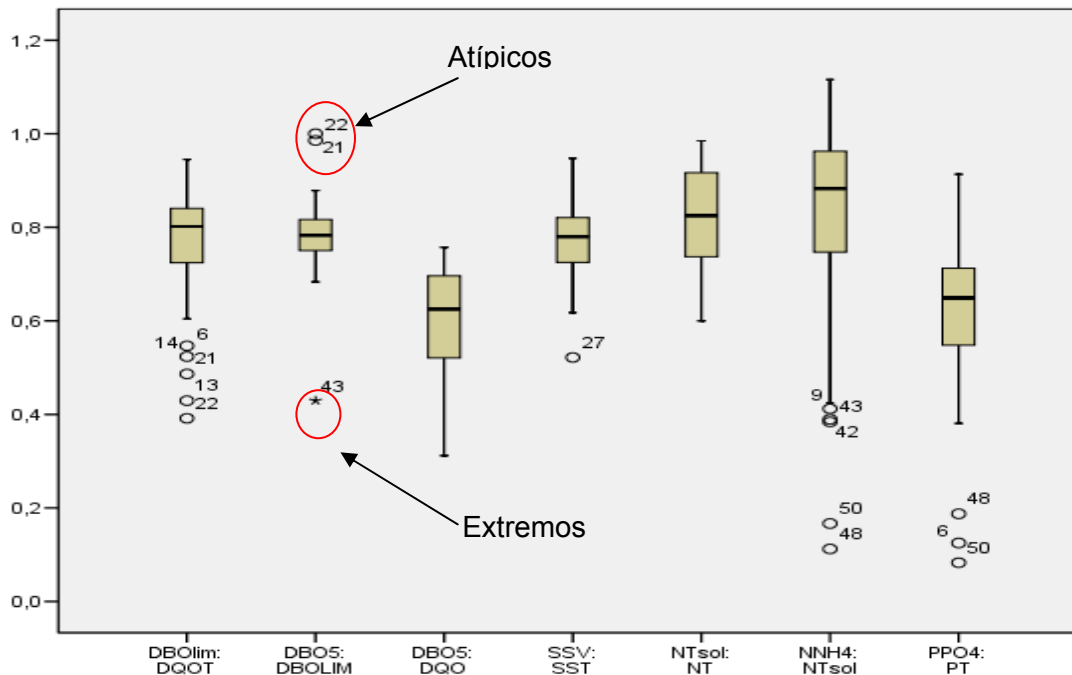


FIGURA 10. Diagramas de caja, identificación de valores atípicos

En la figura 10 se muestran los datos atípicos que se identifican con el símbolo (°) y los valores extremos con el símbolo (*), indicando la presencia de valores dispersos. Se puede observar que para la relación $DBO_5: DBO_{LIM}$ existen datos que están alejados de la distribución normal de la muestra que esta representada por la caja, este tipo de grafico tiene la característica que indica la posición del dato atípico en la lista, en este caso los datos 21, 22 son valores atípicos y corresponden a las depuradoras de Alcantarilla y Abaran ubicadas en la región de Murcia, donde los valores 21 y 22 de la relación $DBO_5: DBO_{LIM}$ presenta valores cercanos a 1 posiblemente debido a que la cantidad de materia orgánica medida como DBO_5 y DBO_{LIM} eran de magnitud similar. El dato 43 en la gráfica para esta relación es un valor extremo.

Otra herramienta importante utilizada que permite observar la desviación de los datos son las graficas Q-Q normales que se muestran a continuación para 2 relaciones tomadas como ejemplo, este tipo de gráficos se basan en el hecho de que para una distribución normal la tendencia de los datos debe ser lineal. Las graficas de este tipo realizadas para las diferentes relaciones se encuentran en el anexo2.

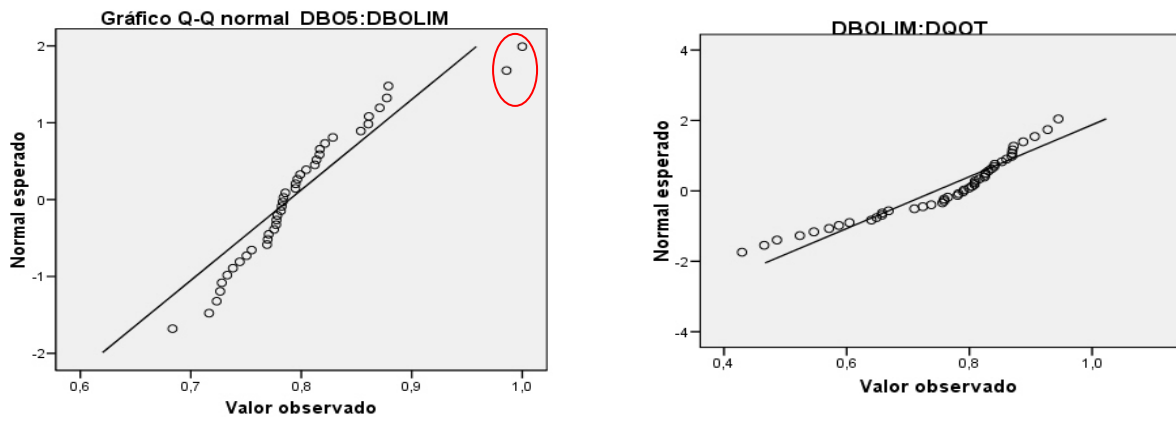


FIGURA 11. Diagramas Q-Q normales de las relaciones entre parámetros.

Los puntos que se observan en las figura 11 que no siguen una tendencia lineal coinciden con los mostrados en el diagrama de caja tal y como se observa en la figura 10, para la relación $DBO_5: DBO_{LIM}$, la figura muestra dos puntos alejados cercanos a un valor de 1 que coinciden con los puntos 21 y 22 del diagrama de cajas de la figura 10.

En la tabla 16 se recoge información sobre el número total de datos excluidos y el porcentaje de datos excluidos con respecto al número total de datos para cada relación:

Relaciones	N datos experimentales	N datos excluidos	% datos excluidos
Relaciones tipo I			
$DBO_{LIM}: DQO$	48	1	2,08
$DBO_5: DBO_{LIM}$	42	2	4,76
$DBO_5: DQO$	49	1	2,04
$DQO: N$	56	5	8,93
$DBO_5: N$	49	3	6,12
$DBO_5: P$	49	3	6,12
$DQO: P$	56	4	7,14
$DQO: SSV$	49	1	2,04
$SSV: SST$	27	1	3,70
$NT_{SOL}: N$	46	0	-
$NH_4^+: NT_{SOL}$	40	7	17,50
$PO_4^{3-}: P$	55	4	7,27
$DQO_{SOL}: DQO$	56	0	-
$DBO_{LIMSOL}: DBO_{LIM}$	48	0	-
$DBO_{5SOL}: DBO_5$	49	0	-

Relaciones tipo II			
S _F : DQOT	47	1	2,13
S _A : DQOT	32	1	3,13
S _I : DQO _{SOL}	47	7	14,89
X _S : DQOT	47	1	2,13
X _I : DQOT	47	6	12,77
S _I : DQO	46	2	4,35
S _S : DQO _{SOL}	47	5	10,64

TABLA 16. Numero de datos excluidos de las relaciones Tipo I y Tipo II

5.7 ANÁLISIS DE NORMALIDAD

Existen muchas comprobaciones que muestran que en el mundo biológico, sociológico, económico, etc. se encuentran poblaciones que al extraer muestras para una variable específica, la distribución de frecuencias es casi superponible a una curva normal. El parecido es tanto mayor cuanto mayor es el tamaño de la muestra.

Una población es normal respecto a una variable si la distribución de frecuencias respecto a esa variable en una muestra aleatoria suficientemente grande, es superponible a la distribución que los matemáticos y estadísticos llaman *distribución normal*, esto es cuando las medidas de tendencia central (media, mediana y moda) coinciden en su valor, lo cual origina gráficamente una curva simétrica donde su eje central de simetría coincide con las tres medidas de tendencia central.

Con el fin de determinar la distribución que tienen los datos de cada relación propuesta para los parámetros del modelo BNRM1, se realizó un análisis estadístico que permitiera evaluar esta condición. Las pruebas de normalidad utilizadas fueron la de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y Shapiro-Wilk (S-W) las cuales fueron realizadas utilizando la herramienta disponible en el software SPSS.

Las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk son pruebas que contrastan las distribuciones normales teóricas con la distribución de la muestra y proporciona un valor de probabilidad que representa que tan cerca están los datos experimentales de una distribución normal. Los valores generados en la prueba, como el caso de la significancia estadística, debe ser mayores a 0.05 (Sig>0.05). Este es un valor de sensibilidad que permite determinar que muestras cumplen con el supuesto de normalidad. De igual manera, mediante los valores estadísticos de resumen generados se pueden observar los valores de tendencia central, los cuales deben ser de igual magnitud o cercano al valor de la media. A continuación se presentan los

datos obtenidos en las pruebas de normalidad realizadas para las relaciones tipo I y tipo II una vez eliminados los datos atípicos:

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Relaciones tipo I						
DBO ₅ : DQO	0.121	48	0.074	0.945	48	0.024
DQO: SSV	0.139	48	0.022	0.943	48	0.022
SSV: SST	0.087	55	0.200*	0.970	55	0.181
DBO _{LIM} : DQO	0.171	47	0.002	0.914	47	0.002
DBO ₅ :DBO _{LIM}	0.170	40	0.005	0.762	40	0.00
DQO : N	0.168	51	0.001	0.948	51	0.025
DBO ₅ : N	0.085	46	0.200*	0.974	46	0.390
DBO ₅ : P	0.155	46	0.007	0.930	46	0.008
DQO :P	0.155	52	0.003	0.931	52	0.005
NTsol: N	0.115	46	0.153	0.960	46	0.117
NH ₄ ⁺ :NTsol	0.116	33	0.200*	0.955	33	0.190
PO ₄ ³⁻ : P	0.085	51	0.200*	0.973	51	0.287
DQO _{sol} : DQO	0.079	56	0.200*	0.981	56	0.530
DBO _{5sol} :DBO ₅	0.077	49	0.200	0.977	49	0.438
DBO _{LIMsol} :DBO _{LIM}	0.091	48	0.200	0.973	48	0.334
Relaciones tipo II						
S _F : DQO	0.107	46	0.200*	0.945	46	0.030
Sa: DQO	0.131	32	0.174	0.954	32	0.192
Sa: DQOsol	0.099	32	0.200*	0.973	32	0.587
S _F : DQOsol	0.079	47	0.200*	0.971	47	0.298
S _i : DQOsol	0.113	39	0.200*	0.956	39	0.133
Xs: DQO	0.070	46	0.200*	0.982	46	0.680
X _i : DQO	0.137	41	0.051	0.944	41	0.042
S _i : DQO	0.083	44	0.200*	0.947	44	0.043
S _s : DQOsol	0.132	42	0.062	0.946	42	0.045
S _s : DBO _{LIM}	0.095	47	0.200*	0.984	47	0.777
Xs: DBO _{LIM}	0.095	47	0.200*	0.984	47	0.777
S _s : DQO	0.063	47	0.200*	0.983	47	0.711

TABLA 17. Pruebas de normalidad. (* este es un límite inferior de la significancia)

Los datos obtenidos en la tabla anterior muestran los diferentes valores de significancia estadística obtenidos en las dos pruebas de normalidad realizadas para cada relación.

La significancia estadística (sig) con frecuencia es mencionada y tenida en cuenta para determinar si se presentó o no efecto del azar en la investigación. Técnicamente la significancia estadística se define como la probabilidad de que si no hubiere diferencia real entre los grupos comparados, se hubiese encontrado una diferencia igual o mayor, solamente por efecto del azar; en otras palabras que la diferencia encontrada sea verdadera y no producto del azar.

En este trabajo se utilizó un valor utilizado tradicionalmente de aceptación para una significancia ($\text{sig} > 0.05$) cuyo valor significa que la probabilidad de observar una diferencia como la hallada o más extrema por efecto del azar, es de 5 en 100.

En los datos se observan valores de significancia mayores que el valor fijado de significancia ($\text{sig} > 0.05$) lo cual indica, que en las pruebas realizadas los datos de estas relaciones representan una distribución normal cumpliendo así con el supuesto de normalidad.

Una herramienta que permite observar la distribución que tienen los datos y compararlos con una distribución normal son los histogramas y los datos de tendencia central. Los histogramas obtenidos y los datos de tendencia central para las relaciones cuya distribución tiene una tendencia normal se presentan a continuación.

5.7.1 Datos estadísticos de las variables normalizadas

Los datos que se muestran a continuación corresponden a los valores estadísticos de tendencia central obtenidos para cada relación propuesta en el presente trabajo y que han sido obtenidos tras la prueba de normalidad explicada anteriormente y la exclusión de los valores atípicos en cada relación.

Relaciones tipo I	DBO _{LIM} : DQO	DBO ₅ : DBO _{LIM}	DBO ₅ : DQO	DQO: N	DBO ₅ : N	DQO: P	DQO: SSV	SSV: SST	
N	47	40	48	51	46	52	48	55	
Media	,752	,7790	,6175	10,25	6,65	76,02	3,98	,790	
Mediana	,791	,7827	,6395	9,03	6,57	63,91	3,58	,785	
Moda	,429	,429	,400	9,00	5,81	23,0	1,40	,800	
Desv. Típ	,12	,0731	,1118	4,09	2,31	34,81	1,38	,078	
Asimetría(A)	-,930	-2,750	-,654	0,548	0,432	0,677	0,570	,013	
Error (A)	,347	,374	,343	0,333	0,350	0,330	0,343	,322	
Curtosis (C)	,106	12,90	-,149	-,442	0,202	-,45	-,642	,150	
Error (C)	,681	,733	,674	0,656	0,688	0,650	0,674	,634	
Mínimo	,429	,429	,350	3,64	2,27	23,0	1,88	,599	
Máximo	,945	,879	,847	20,24	13,33	165,3	7,210	,947	
	25	,657	,7515	,5352	7,50	4,80	47,63	2,78	,738
	50	,791	,7827	,6395	9,032	6,57	63,91	3,58	,785
	75	,840	,8158	,7041	13,51	8,44	101,3	4,91	,843

TABLA 18. Datos obtenidos de las pruebas de normalidad. Relaciones tipo I (1/3).

Relaciones tipo I	DQO _{SOL} : DQO	DBO _{LIMSOL} : DBO _{LIM}	DBO _{5SOL} : DBO ₅	NH ₄ ⁺ : NT _{SOL}	NT _{SOL} : N	PO ₄ : P	
N	56	48	49	33	46	51	
Media	,457	,474	,462	0,88	0,82	0,64	
Mediana	,460	,468	,455	0,90	0,82	0,65	
Moda	,46	,38	,43	,112	0,80	0,38	
Desv. típ	,163	,176	,164	0,12	0,11	0,14	
Asimetría(A)	,134	,193	,196	-0,75	-0,38	-0,11	
Error (A)	,319	,343	,340	0,41	0,35	0,33	
Curtosis (C)	-,140	-,763	-,460	0,76	-0,74	-0,49	
Error (C)	,628	,674	,668	0,80	0,69	0,66	
Mínimo	,10	,16	,16	0,56	0,58	0,38	
Máximo	,83	,85	,82	1,12	0,98	0,93	
	25	,340	,330	,338	0,82	0,74	0,54
	50	,460	,468	,455	0,90	0,82	0,65
	75	,556	,618	,553	0,96	0,92	0,75

TABLA 19. Datos obtenidos en las pruebas de normalidad. Relaciones tipo I (2/3).

Relaciones tipo II	Ss: DQO	S _F : DQO	Sa: DQO	Sa: DQO _{sol}	S _F : DQO _{sol}	S _i : DQO _{sol}	Xs: DQO	X _i : DQO	S _i : DQO	
N	47	46	32	32	47	39	46	41	44	
Media	0,37	0,28	0,12	0,29	0,61	0,14	0,37	0,15	0,08	
Mediana	0,35	0,28	0,10	0,29	0,59	0,14	0,35	0,13	0,08	
Moda	0,04	0,02	0,06	0,05	0,04	0,01	0,60	0,10	0,02	
Desv. típ.	0,17	0,17	0,07	0,15	0,22	0,08	0,14	0,09	0,05	
Asimetría(A)	0,36	0,58	0,72	0,11	-0,32	0,60	-0,06	0,61	0,61	
Error (A)	0,35	0,35	0,41	0,41	0,35	0,38	0,35	0,37	0,36	
Curtosis (C)	-0,24	-0,50	0,31	-0,87	0,13	0,11	-0,35	-0,4	0,03	
Error (C)	0,68	0,69	0,81	0,81	0,68	0,74	0,69	0,72	0,70	
Mínimo	0,03	0,03	0,01	0,05	0,04	0,01	0,09	0,00	0,00	
Máximo	0,77	0,67	0,32	0,60	0,99	0,34	0,71	0,34	0,20	
	25	0,23	0,12	0,05	0,16	0,46	0,08	0,29	0,07	0,03
	50	0,35	0,28	0,10	0,29	0,59	0,14	0,35	0,13	0,08
	75	0,48	0,37	0,16	0,41	0,81	0,18	0,47	0,20	0,10

TABLA 20. Datos obtenidos de las pruebas de normalidad. Relaciones tipo II (3/3).

Con el fin de comprobar visualmente la distribución de los datos se realizaron histogramas para cada relación como los que se muestran a continuación, representa la frecuencia y distribución que tienen los datos. Los histogramas de todas las relaciones normalizadas se muestran en el anexo 3.

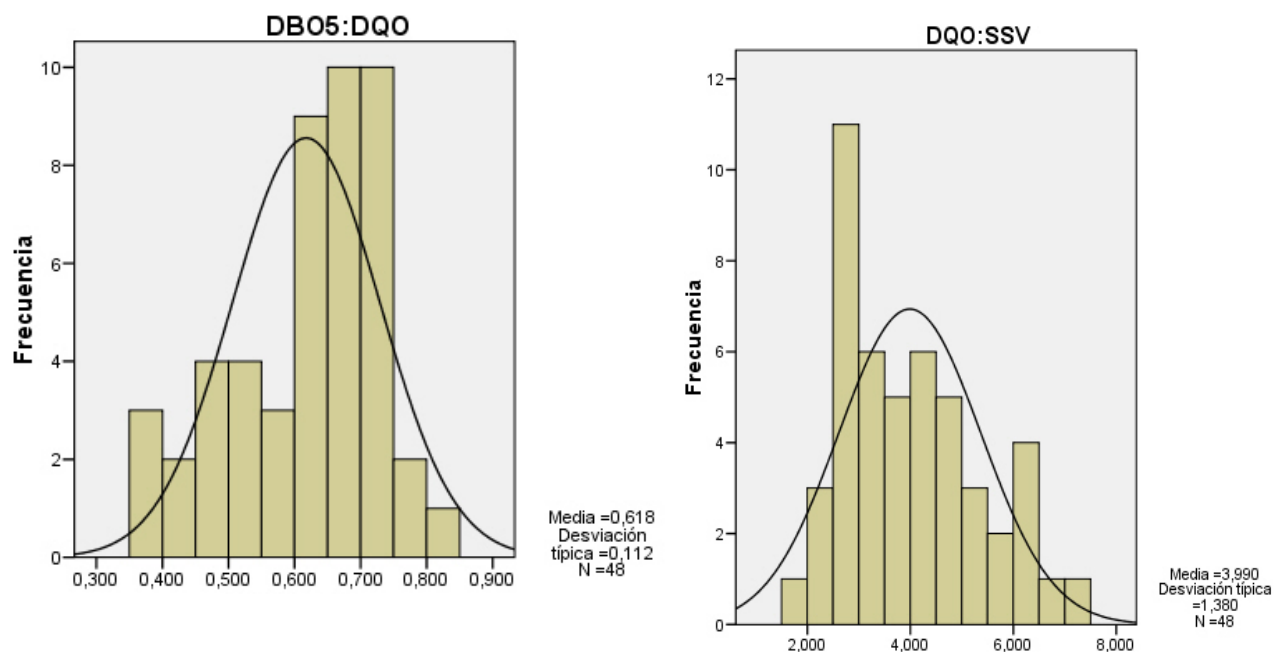


FIGURA 12. Ejemplo de histogramas obtenidos para las relaciones BDO5: DQO y DQO: SSV normalizadas

5.8 ANÁLISIS PARAMETRICO

Los métodos estadísticos paramétricos suponen que los datos que se analizan siguen una distribución normal (Gaussiana), tal y como se comprobó en el apartado anterior. Los análisis paramétricos se utilizan para comparar dos grupos independientes con respecto a una variable.

En este trabajo se realizó el análisis paramétrico a las relaciones matemáticas propuestas con el fin de comparar la diferencia que tiene cada relación matemática propuesta con respecto a las dos categorías establecidas en este trabajo, la primera con respecto a la ubicación geográfica de la depuradora y la otra al origen del dato (experimental o bibliográfico). Las dos primeras categorías fueron divididas en dos zonas llamadas interior y costera, corresponde a la ubicación geográfica que tienen las EDARs en la Comunidad Valenciana y Murcia, las que se encuentran cerca de la costa y la que no. Así mismo y con el fin de comparar los datos obtenidos en las relaciones propuestas con los datos encontrados en la bibliografía se crearon dos categorías según el origen del dato; datos experimentales (Calagua) y datos encontrados en la bibliografía.

La prueba paramétrica utilizada para comprobar la diferencia que tiene cada categoría se conoce como prueba T. La prueba T de medias para muestras independientes es una prueba inferencial de la significancia de la diferencia entre dos medias basadas en dos grupos independientes.

El resultado de la prueba depende de la prueba de Levene que se muestra en el anexo 4, una vez definida la igualdad de varianzas, los valores de la prueba T y la significancia estadística que debe ser mayor que 0.05 ($\text{sig} > 0.05$), este valor de significancia determina si la diferencia entre medias es estadísticamente significativa.

5.8.1 Prueba T.

La prueba T se realizó con el objetivo de evaluar si existen diferencias significativas entre las categorías propuestas en la presente tesina respecto a sus valores medios. Los coeficientes obtenidos en la prueba se muestran en el anexo 4. A continuación se presentan los valores medios para cada categoría obtenidos en la prueba para cada relación propuesta en este trabajo:

Relaciones tipo I	Categoría	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DBO _{LIM} : DQO	Costera	19	0,745	0,1050	0,024
	Interior	28	0,757	0,1414	0,026
DBO ₅ : DBO _{LIM}	Costera	13	0,764	0,1065	0,029
	Interior	27	0,786	0,0512	0,009
DBO ₅ : DQO	Costera	14	0,613	0,0972	0,025
	Interior	34	0,619	0,1187	0,020
DQO: N	Costera	20	7,95	2,92	0,655
	Interior	31	11,73	4,09	0,735
DBO ₅ : N	Costera	20	6,86	2,83	0,634
	Interior	26	6,50	1,87	0,367
DBO ₅ : P	Costera	20	55,28	24,56	5,49
	Interior	26	46,16	21,71	4,25
DQO: P	Costera	20	48,87	11,69	2,61
	Interior	32	93,00	33,71	5,96
DQO: SSV	Costera	19	3,93	1,301	0,298
	Interior	29	4,02	1,451	0,269
SSV: SST	Costera	20	0,797	0,0673	0,015
	Interior	35	0,786	0,0846	0,014
DQO _{sol} : DQO	Costera	20	0,483	0,085	0,019
	Interior	36	0,442	0,193	0,322
DBO _{LIMSOL} : DBO _{LIM}	Costera	19	0,502	0,118	0,027
	Interior	29	0,456	0,206	0,038
DBO _{5SOL} : DBO ₅	Costera	14	0,498	0,101	0,027
	Interior	35	0,448	0,182	0,030
NH ₄ ⁺ : NT _{SOL}	Costera	9	0,8880	0,12167	0,0405
	Interior	24	0,8801	0,11613	0,0237
NT _{SOL} : N	Costera	14	0,8842	0,06011	0,0160
	Interior	32	0,7908	0,11274	0,0199
PO ₄ ³⁻ : P	Costera	20	0,6491	0,10217	0,0228
	Interior	31	0,6333	0,1636	0,0294

TABLA 21. Prueba T relaciones tipo I para muestras independientes categorías costera e interior.

La tabla anterior recoge los valores medios para cada una de las relaciones tipo I de acuerdo a la categoría según la ubicación de cada depuradora en la zona geográfica utilizada para este estudio. Se puede observar que no existen diferencias significativas entre las categorías costera e interior para cada relación, excepto las relaciones entre la DQO y los nutrientes (N y P) donde la cantidad de nutrientes es menor en las depuradoras ubicadas en el interior que las ubicadas en la costa.

Relaciones Tipo II	Categoría	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
S _s : DQOT	Costera	19	,3960	,10461	,02400
	Interior	28	,3521	,20590	,03891
S _F : DQOT	Costera	19	,3496	,12241	,02808
	Interior	27	,2341	,18386	,03538
S _a : DQOT	Costera	9	,0978	,04848	,01616
	Interior	23	,1227	,07983	,01664
S _a : DQO _{sol}	Costera	9	,2181	,10192	,03397
	Interior	23	,3213	,15278	,03185
S _F : DQO _{sol}	Costera	19	,7134	,15862	,03639
	Interior	28	,5418	,22740	,04297
S _i : DQO _{sol}	Costera	15	,1512	,08695	,02245
	Interior	24	,1390	,07987	,01630
X _s : DQO	Costera	19	,3492	,11535	,02646
	Interior	27	,3865	,15918	,03063
X _i : DQO	Costera	19	,1677	,08075	,01852
	Interior	22	,1326	,10221	,02179
S _i : DQO	Costera	17	,0842	,05334	,01293
	Interior	27	,0702	,04760	,00916
S _s : DQO _{sol}	Costera	16	,8582	,09211	,02302
	Interior	26	,8434	,09843	,01930
S _s : DBO _{LIM}	Costera	19	,5352	,13047	,02993
	Interior	28	,4523	,22121	,04180

TABLA 22. Prueba T relaciones tipo II para muestras independientes categorías costera e interior.

Para las relaciones tipo II mostradas en la tabla 22 se puede observar que no existen diferencias entre los valores medios obtenidos para cada relación y categoría. Esto indica que el agua residual influente a las depuradoras ubicadas en la costa y en el interior presenta similitud entre los diversos componentes del modelo con los que se caracteriza el agua residual.

Relaciones	Fuente	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Ss: DQO	Calagua	47	,3698	,17216	,02511
	Bibliografía	21	,2504	,06184	,01349
Xs: DQO	Calagua	46	,3711	,14250	,02101
	Bibliografía	21	,5685	,09671	,02110
X _i : DQO	Calagua	41	,1489	,09345	,01459
	Bibliografía	18	,1294	,09734	,02294
S _i : DQO	Calagua	44	,0756	,04976	,00750
	Bibliografía	18	,0588	,03628	,00855
Ss: DQOsol	Calagua	42	,8491	,09521	,01469
	Bibliografía	11	,6345	,28717	,08658
DBO ₅ : DQO	Calagua	48	,6175	,11187	,01614
	Bibliografía	13	,4530	,14043	,03895
SSV: SST	Calagua	55	,7902	,07833	,01056
	Bibliografía	21	,6895	,15853	,03459
DBO ₅ : DBO _{LIM}	Calagua	40	,7790	,07316	,01156
	Bibliografía	7	,6514	,09511	,03595
P: DBO ₅ (%)	Calagua	47	2,1928	,95750	,13966
	Bibliografía	14	4,7142	2,04933	,54770
N: DBO ₅ (%)	Calagua	47	15,316	6,32679	,92285
	Bibliografía	17	21,100	6,81358	1,65253
DQO: SSV	Calagua	48	3,9896	1,38007	,19919
	Bibliografía	15	1,9606	,61754	,15945
DQO: N	Calagua	51	10,253	4,09951	,57404
	Bibliografía	12	10,441	2,48571	,71756

TABLA 23. Prueba T para muestras independientes entre datos experimentales y bibliográficos.

La prueba de medias realizada para comparar los valores obtenidos en este estudio con los datos bibliográficos se muestra en la tabla anterior. Allí se observa como los valores obtenidos en este estudio para cada relación propuesta se encuentran dentro de los intervalos citados en la bibliografía. Esta prueba demuestra que no existen diferencias significativas entre los datos obtenidos en este estudio y los bibliográficos.

5.9 PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE CORRELACIÓN DE DATOS

5.9.1 Coeficiente de correlación de Pearson

En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables

cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra.

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1, +1]:

Si $r = 0$, no existe ninguna correlación. El índice indica, por tanto, una independencia total entre las dos variables, es decir, que la variación de una de ellas no influye en absoluto en el valor que pueda tomar la otra.

Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en idéntica proporción.

Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.

Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en idéntica proporción.

Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

5.9.2 Coeficiente de correlación de Spearman

El Coeficiente de correlación de Spearman, ρ (Rho), es una prueba no paramétrica que mide la asociación o interdependencia entre dos variables discretas. Para calcular ρ , los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden.

El estadístico ρ viene dado por la expresión:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Donde D es la diferencia entre los correspondientes valores de $x - y$. N es el número de parejas. Se tiene que considerar la existencia de datos idénticos a la hora de ordenarlos, aunque si éstos son pocos, se puede ignorar tal circunstancia

Para muestras mayores de 20 observaciones, podemos utilizar la siguiente aproximación a la distribución t de Student:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{(1 - \rho^2)/(n - 2)}}$$

La interpretación del coeficiente de Spearman es igual que la del coeficiente de correlación de Pearson. Oscila entre -1 y +1, indicándonos correlaciones negativas o positivas respectivamente, o cero (0) que significa que no existe correlación alguna entre las variables.

5.9.3 Correlación de datos experimentales

La correlación de datos interesa cuando dos variables se ajustan linealmente entre si y además esta pueda ser representada matemáticamente mediante una ecuación. Por tanto, es importante identificar las variables que tienen una correlación positiva perfecta o aceptable según las pruebas utilizadas.

El análisis de correlación del presente trabajo permitió identificar las relaciones cuyas variables presentan una correlación lineal con el fin de expresar dicha correlación de manera matemática que permita definir el valor de un parámetro mediante una ecuación lineal.

A continuación se muestran los coeficientes de Pearson y Spearman para cada relación TIPO I, los valores de la prueba para todos los datos experimentales y componentes se presentan en el anexo 5:

Relaciones tipo I	N	R Pearson	σ Spearman
DBO _{LIM} : DQO	48	0,928	0,89
DBO _{LIM} : DBO ₅	42	0,968	0,958
SSV: SST	56	0,968	0,987
DQO: SSV	56	0,854	0,903
DQO: SST	56	0,851	0,912
DQO _{SOL} : S _S	47	0,955	0,929
PO ₄ ³⁻ : P	55	0,913	0,935
DBO ₅ : DQO	49	0,890	0,816
DQO: N	56	0,569	0,550
DBO ₅ : N	49	0,497	0,586
DBO ₅ : P	49	0,450	0,413
DQO: P	56	0,555	0,534
NTsol: N	46	0,963	0,936
NH ₄ ⁺ : NTsol	40	0,809	0,745
DQOsol: DQO	56	0,736	0,635
DBO _{LIM} : DQO	48	0,928	0,890

TABLA 24. Coeficientes de Pearson y Spearman para las relaciones tipo I.

Como se observa en la tabla 24 se muestran las relaciones cuyos datos presentan un alto grado de correlación, esto indica que las dos variables representan una tendencia lineal y puede ser representada matemáticamente. A continuación se muestran las graficas realizadas para cada relación:

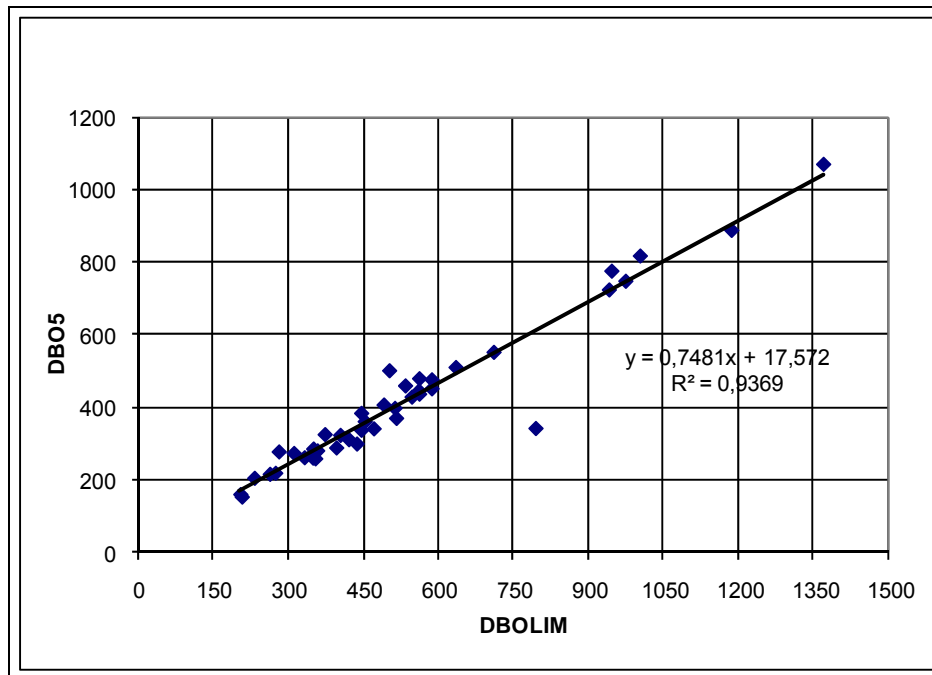


FIGURA 13. Relación lineal DBO_5 : DBO_{LIM}

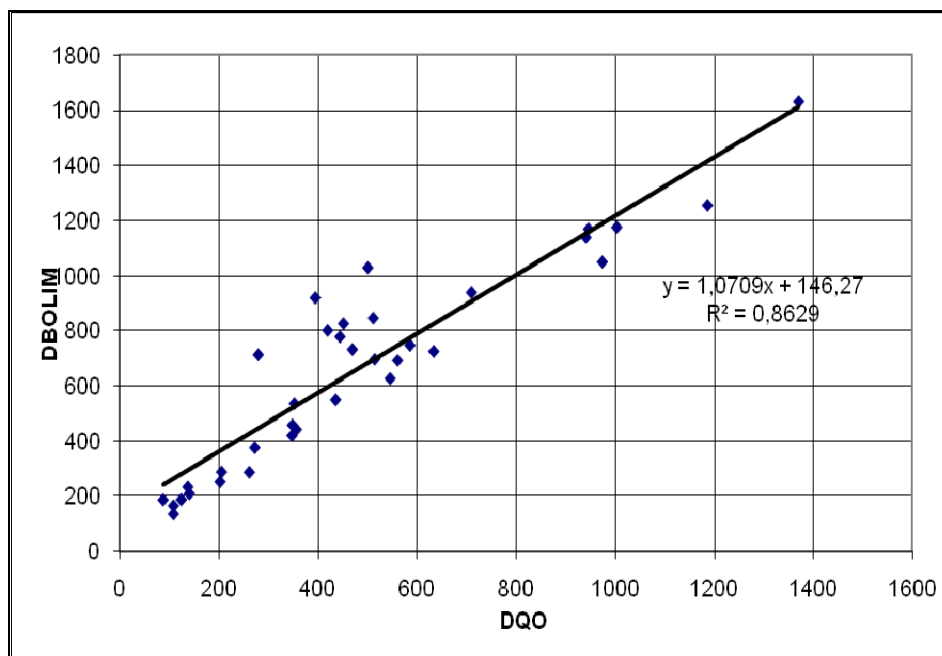


FIGURA 14. Ejemplo de correlación DBO_{LIM} : DQO

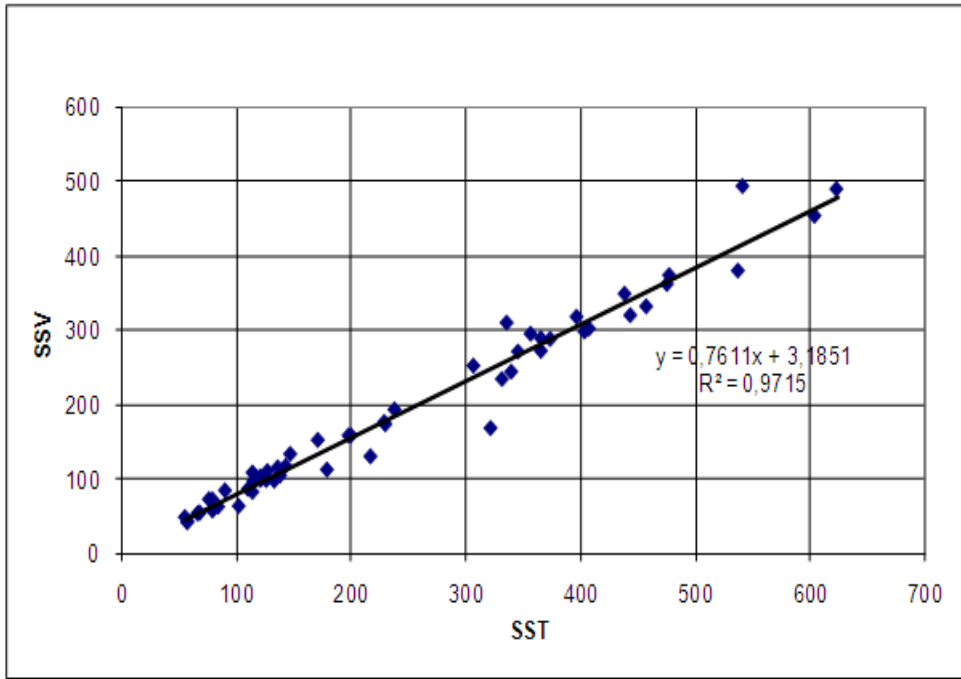


FIGURA 15. Relación lineal SSV: SST

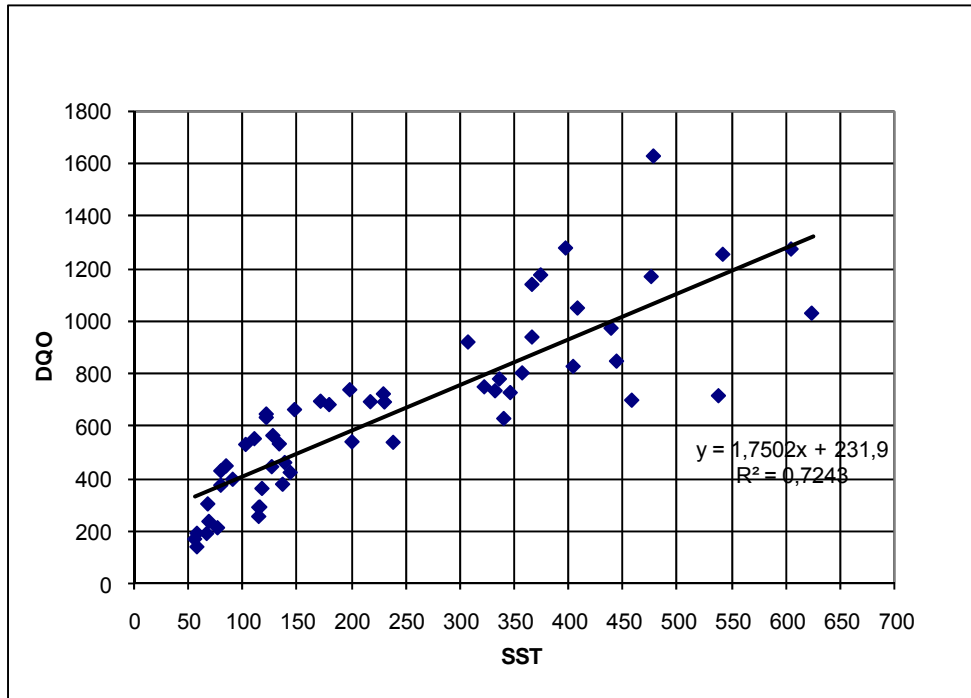


FIGURA 16. Relación lineal DQO: SST

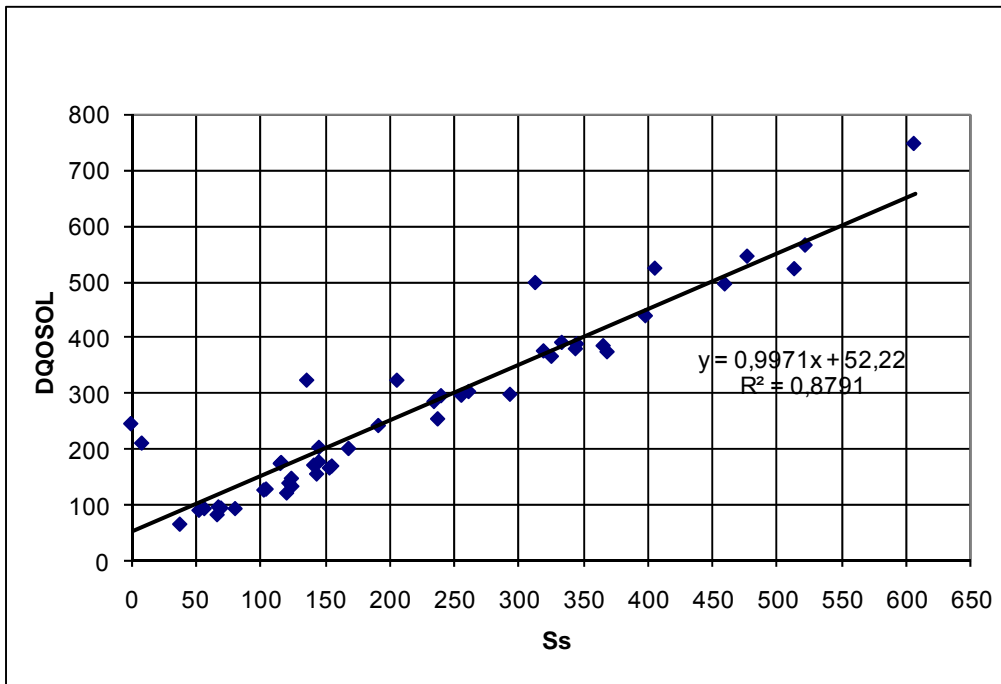


FIGURA 17. Relación lineal DQOsol: S_s

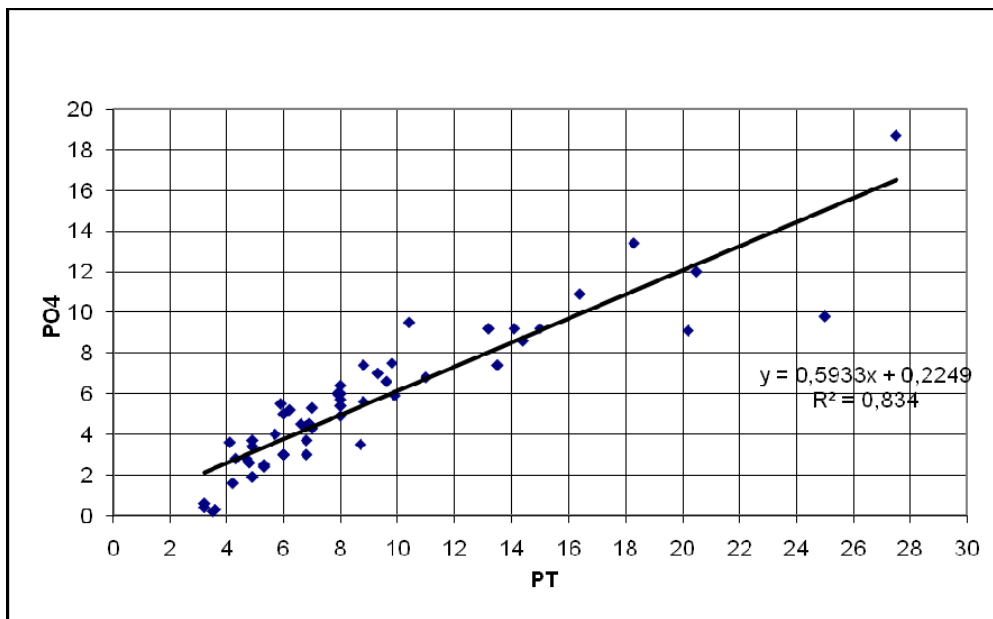


FIGURA 18. Relación lineal PO_4^{3-} : P

Las figuras anteriores muestran las relaciones cuyos coeficientes de Pearson y Spearman son cercanos al valor 1 (ver tabla 24), esto indica que los datos están distribuidos de tal forma que siguen una tendencia lineal y existe correlación entre ellos. Las ecuaciones presentadas en cada figura representan la ecuación de la línea de tendencia que siguen los datos en cada relación. Estas ecuaciones han sido obtenidas mediante la prueba de regresión lineal que se explica a continuación.

5.10 PRUEBAS DE REGRESIÓN LINEAL

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística que permite estudiar la relación entre una variable dependiente y una o mas variables independientes, dicho análisis tiene como objetivo estudiar la relación entre las variables y obtener predicciones mediante ecuaciones matemáticas de una variable a partir de otras.

Una primera aproximación realizada en el presente estudio fue determinar mediante diagramas de dispersión el tipo de relación existente entre las dos variables como los mostrados en las figuras 13 a la 18, estos diagramas permiten tener una idea inicial de la relación entre ambas variables.

Igualmente observando el comportamiento de los datos en las graficas de correlación lineal se observan tendencias lineales entre los datos los cuales pueden representarse mediante ecuaciones lineales de la forma: $(Y1: B + B1 \cdot Xi)$.

El coeficiente B es el punto en el que la recta corta el eje de ordenadas, es el origen de la recta de regresión y es la constante de la ecuación de regresión lineal simple, informa el valor que alcanza la variable dependiente cuando la variable independiente es igual a cero.

El coeficiente B1 es la pendiente de la recta, nos informa del cambio promedio de la variable dependiente por dada unidad de cambio en la variable dependiente.

El análisis de regresión lineal se llevó a cabo para las relaciones propuestas de la tabla 24. Las ecuaciones correspondientes se recogen en la tabla siguiente y en el anexo 6:

X	Y	R	R ²	B	B1	Ecuación
DQO	DBO _{LIM}	0,928	0,86	-27,08	0,79	DBO _{LIM} : -27,083+0,795*DQO
DBO _{LIM}	DBO ₅	0,968	0,93	17,57	0,74	DBO ₅ : 17,57 + 0,748 *DBO _{LIM}
SSV	DQO	0,854	0,73	229,1	2,27	DQO: 229,1 + 2,275*SSV
SST	DQO	0,851	0,724	231,9	1,75	DQO: 231,9 + 1,75*SST
SST	SSV	0,986	0,973	3,02	0,76	SSV: 3,02 + 0,762 SST
Ss	DQO _{sol}	0,955	0,91	38,22	1,0	DQO _{sol} : 38,22 + 1,041* Ss
P	PO ₄ ³⁻	0,913	0,83	0,228	0,5	PO ₄ ³⁻ : 0,228 + 0,593*P

TABLA 25. Ecuaciones lineales, pruebas de regresión lineal.

Las ecuaciones presentadas en la tabla 25 representan las ecuaciones que describen el comportamiento de los datos para cada relación, sin embargo no es posible utilizarlas en todo los rangos de valores ya que no son reproducibles para todos los valores medibles sino para los estudiados en el presente trabajo. Debido a esto y como ejemplo se observa que para la relación DQO: DBO_{LIM} la ecuación tendría valores negativos para valores de DQO muy bajos o iguales a cero.

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Un aspecto importante que permite comprender los resultados obtenidos en el presente trabajo es que la caracterización del agua residual es el primer paso en la elaboración de propuestas para el tratamiento de agua residual así como el diseño de nuevos procesos y en la utilización de modelos.

Los modelos como se explicaba anteriormente son ecuaciones matemáticas que describen un proceso y se componen de variables. En el caso de los modelos utilizados para describir el tratamiento de agua residual están constituidos por *componentes* los cuales se obtienen a partir de datos experimentales y de una completa caracterización del agua residual. La metodología expuesta en el presente trabajo permite caracterizar el agua residual para completar los datos experimentales o calcular los componentes que se describen en el modelo BNRM1 para fangos activados.

Los valores obtenidos para las relaciones propuestas en el presente estudio servirán como herramienta para caracterizar las aguas residuales urbanas a partir de datos iniciales referentes a la calidad del agua residual tales como DQO, DBO, SST y nutrientes (N y P).

6.1 APLICACIÓN AL MODELO BNRM1

El modelo BNRM1 describe los diferentes procesos que se llevan a cabo en los sistemas de fangos activados entre los que se encuentran: Degradación de materia orgánica, eliminación de nitrógeno total (N) y fósforo total (P) mediante los procesos de nitrificación, desnitrificación y eliminación biológica de fósforo. Los procesos mencionados anteriormente requieren de los datos experimentales y componentes del agua residual para su correcto desarrollo, estos datos son obtenidos a partir de la caracterización realizada al agua residual influente a cada depuradora.

Uno de los problemas mas comunes en la utilización de los modelos es la falta de información sobre la composición de las aguas residuales debido a que en muchos casos caracterizar el agua residual requiere de largos periodos de análisis y elevados costos. Esta falta de información para la aplicación de los modelos conlleva a utilizar suposiciones e información bibliográfica para la caracterización de las aguas residuales. El ejemplo mas común se presenta en el diseño de EDARs donde en muchos casos las propuestas vienen acompañadas de datos sobre la calidad del agua residual en términos de DQO, DBO₅, SST, N y P siendo necesario completar la caracterización utilizando datos de aguas con características similares, haciendo suposiciones o utilizando relaciones propuestas entre datos experimentales encontrados en la bibliografía.

6.2 DATOS EXPERIMENTALES Y COMPONENTES DEL AGUA RESIDUAL TÍPICOS OBTENIDOS EN ESTE ESTUDIO.

Los valores medios y la desviación estándar (SD) obtenidos en el estudio estadístico para las aguas residuales de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia (España) se recogen en la siguiente tabla y serán discutidos a continuación y comparados con los valores encontrados en la bibliografía:

Datos experimentales	SD	Promedio (mg/l)
DQO	331,2	655,7
DQO _{sol}	156,6	283,2
DQO _{susp}	240,5	372,5
DBO ₅	206,7	430,3
DBO _{5 sol}	106,7	199,2
%DBO _{5 sol}	35,5	46,3
DBO _{LIM}	282,9	477,2
SST	161,0	242,1
SSV	124,3	187,5
%SSV	8,56	77,4
N	29,2	59,6
NH ₄ ⁺	19,9	38,1
P	5,33	8,83

Componentes	SD	Promedio (mg/l)
S _s	147	225,58
S _a	82,2	91,2
S _F	122,0	164,3
X _s	190,9	252,3
X _I	116,7	116,4
S _I	47,6	47,45
S _{NH4}	19,9	38,28
S _{PO4}	3,5	5,39
X _{NV}	42,4	54,53
S _{ALK}	2,1	5,1

TABLA 26. Valores medios obtenidos en este estudio. Representan un agua residual urbana típica.

El valor de la demanda química de oxígeno DQO obtenido fue de 655,7 mg/l, este parámetro representa la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual y se encuentra dentro de los valores encontrados en la bibliografía para aguas residuales urbanas tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Autor	DQO (mg/l)
Orhon y col., 1996	450 - 670
Barbosa y Sant', 1989	689
Orhon y col., 2004	605
Eliosov y Argaman, 1995	635
Seco y col., 2001	715
<i>Este estudio</i>	655,7

TABLA 27. Valores medios de la DQO encontrados en bibliografía y comparados con el valor medio obtenido en este estudio.

Estos valores representan los valores medios para la DQO encontrados para aguas residuales urbanas.

La cantidad de materia orgánica biodegradable expresada como DBO_{LIM} varía en el intervalo de 477 mg/l a 600 mg/l, aumentando su valor al aumentar el contenido orgánico en el agua residual. Cabe esperar que la fracción soluble sea más fácilmente biodegradada por los microorganismos mientras que la fracción particulada debe sufrir una hidrólisis antes de su degradación. Los valores encontrados en la bibliografía corresponden a un rango entre 375 mg/l y 610 mg/l tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Autor	DBO_{LIM} (mg/l)
Orhon y col., 1996	585
Orhon y col., 2002	375
seco y col., 2001	610
<i>Este estudio</i>	477,2

TABLA 28. Valor medio de la DBO_{LIM} comparado con los datos bibliográficos

La fracción soluble de la DQO con un porcentaje en el presente trabajo del 43% representa la cantidad de materia orgánica que esta en forma soluble y se encuentra dentro de los intervalos encontrados en la bibliografía, se observa una variación entre el 34 al 54% del total de la DQO tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Autor	DQOsol (%)
Orhon y col., 1996	47
Sanz y Polanco, 1990	54
Orhon y col., 2001	34
<i>Este estudio</i>	43

TABLA 29. Valor del porcentaje de la DQO encontrados en la bibliografía

Las fracciones solubles y particuladas (S_s , X_s , X_i y S_i) son calculadas utilizando el procedimiento descrito en apartados anteriores utilizando las ecuaciones 9 al 12 del presente trabajo. La correcta evaluación de estos parámetros es de gran importancia debido a que en muchos casos estas fracciones limitan la velocidad del proceso biológico, como el caso de la fracción fácilmente biodegradable S_s que actúa como sustrato en el crecimiento de las bacterias heterótrofas. La evaluación de la fracción inerte de la DQO (S_i y X_i) es de gran importancia porque es un indicativo de la cantidad de fango producido en el sistema.

6.3 RELACIONES PROPUESTAS TIPO I

Los resultados obtenidos en este estudio para las relaciones tipo I propuestas se muestran en la siguiente tabla:

Relaciones tipo I	Media	SD
$DBO_{LIM}: DQO$	0,75	0,12
$DBO_5: DBO_{LIM}$	0,77	0,07
$DBO_5: DQO$	0,61	0,11
$DQO: N$	10,25	4,09
$DBO_5: N$	6,65	2,31
$DBO_5: P$	50,13	23,18
$DQO: P$	76,02	34,81
$DQO: SSV$	3,98	1,38
$SSV: SST$	0,79	0,07
$NT_{SOL}: N$	0,82	0,11
$NH_4^+: NT_{SOL}$	0,88	0,12
$PO_4^{3-}: P$	0,64	0,14
$DQO_{SOL}: DQO$	0,45	0,16
$DBO_{LIMSOL}: DQO$	0,47	0,17
$DBO_{5SOL}: DBO_5$	0,46	0,35

TABLA 30. Resultados obtenidos para las relaciones tipo I Propuestas en este estudio.

A la hora de discutir los valores obtenidos en el estudio es necesario describir la influencia que tienen los parámetros en los procesos que se llevan a cabo en el tratamiento de aguas residuales.

6.3.1 DBO₅: DBO_{LIM}

La DBO₅ corresponde a una medida estándar indirecta de la materia orgánica donde la muestra es incubada durante 5 días, esta medida de la DBO no ofrece un valor total y exacto del consumo de oxígeno por parte de los microorganismos ni asegura el consumo total de materia orgánica siendo necesario someter la muestra a más tiempo de incubación el cual ha sido definido en 20 días donde se alcanza una degradación de materia orgánica alrededor del 95%, la variable medida al cabo de este tiempo se conoce como DBO_{LIM} siendo esta medida la base de cualquier cálculo biológico. En muchas caracterizaciones debido al tiempo que requiere realizar estos ensayos se utiliza la DBO₅ como parámetro principal y para pasar de DBO₅ a DBO_{LIM} se utiliza la relación existente entre las variables DBO₅: DBO_{LIM} con valores estándar para aguas residuales urbanas.

Calcular la DBO_{LIM} a partir de valores de DBO₅ ha sido propuesta en diversas ocasiones encontrándose valores para esta relación según Henze y col. 1992 de 0,6 a 0,7 así como valores según Orhon y col. 1996 de 0.3 a 0.7 para la relación DBO₅: DBO_{LIM}, un valor característico en aguas residuales urbanas es de 0,65. Los valores anteriores han sido calculados a partir de un análisis de regresión a la curva característica de la DBO, ajustándola a una expresión matemática considerando que la DBO₅ cambia con el tiempo tal que:

$$DBO_5: DBO_{LIM} (1-10^{-KT})$$

Donde K: constante de la velocidad de reacción con valores entre 0,07 a 0,12 d⁻¹, y T(tiempo en días) siendo el valor de K 0,10 d⁻¹ utilizado de forma habitual.

Valores similares a los anteriores fueron obtenidos en la presente tesis para la relación DBO₅: DBO_{LIM} siendo 0,77 el valor medio calculado para esta relación (ver tabla 30).

6.3.2 DBO: DQO

La biodegradabilidad de las aguas residuales puede ser medida utilizando como parámetros de medición la DBO_{LIM} o DBO₅ comparándolos con el valor de la DQO, esta relación es conocida como índice de biodegradabilidad.

La relación DBO₅: DQO conocida como un índice de biodegradabilidad es utilizada para determinar de forma aproximada los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales, puede darnos una aproximación de la materia orgánica fácilmente y lentamente biodegradable presente en el agua influente. Tuvo un valor

medio de 0,617 en el presente trabajo, este valor se encuentra dentro de los intervalos propuestos en diversos estudios como por ejemplo los desarrollados en estados unidos EE.UU. donde composiciones típicas para aguas residuales débiles y medias de origen urbano corresponden a una gama entre 0,4 y 0,44 (Metcalf y Eddy, 1991) siendo el agua muy biodegradable para valores mayores a 0,4. Otros autores citan valores entre 0,5 y 0,63 para esta relación.

Autor	DBO:DQO
Orhon y col., 1999	0,5
Orhon y col., 1996	0,41-0,63
Eliosov y Argaman., 1995	0,51
<i>Este estudio</i>	0,61

TABLA 31. Valores para la relación DBO: DQO encontrados en la bibliografía.

Por otra parte cabe destacar que los datos obtenidos en las caracterizaciones realizadas para la relación DBO_5 : DQO estuvieron alrededor de estos valores excepto en el punto de muestreo Ontinyent-Agullent que tuvo un valor de 0,312 presentando una elevada DQO y una valor muy bajo de DBO, esto debido al fuerte carácter industrial que presentaba la planta de tratamiento en el momento del muestreo.

6.3.3 DQO: N y DBO_5 : N

Uno de los parámetros mas críticos en el proceso de nitrificación y desnitrificación es la relación DQO/N debido a que el contenido carbono-nitrógeno del agua residual determina la competencia en el crecimiento que se establece las poblaciones de microorganismos autótrofos y heterótrofos (Cheng y chen, 1994; Niel y col., 1993; Hanaki y col., 1990). Tradicionalmente se ha considerado que la influencia de esta relación es mayor en un proceso convencional de lodos activos que en un proceso de eliminación biológica de nitrógeno. Sin embargo algunos estudios demuestran que la influencia de relación DQO/N sobre el proceso de nitrificación es similar en ambos sistemas (Mc Clintock y col., 1993).

Esta relación es especialmente importante en el diseño y modelado de los procesos de nitrificación y desnitrificación. El nitrógeno que actúa como nutriente puede ser un factor limitante en los procesos biológicos en casos en que no esté presente en cantidad suficiente en el agua residual influente siendo necesario mantener los niveles mínimos de nitrógeno mediante la adición de los mismos. Los problemas en la ausencia de nutrientes se refleja en la superproducción de polisacáridos y como consecuencia de ello se presentan problemas de decantación con presencia de bacterias filamentosas generando el conocido

“BULKING”. Sin embargo, este no suele ser un problema para aguas residuales urbanas, al contrario la falta de DQO suficiente no permite que se lleve a cabo el proceso de desnitrificación.

Tradicionalmente la $DBO_5:N$ esta estrechamente relacionada con el potencial de nitrificación con valores que se encuentran en un intervalo de 4,73 a 6, sin embargo Henze en su libro “Wastewater Treatment” cita valores para aguas residuales para la relación $DBO:N$ que se encuentran entre 3 y 4 para aguas con concentraciones bajas, 4 y 6 típicas y de 6 a 8 altas, así mismo (Orhon y col., 1997) proponen, que para valores menores a 4 la nitrificación debe considerarse como un proceso separado. Los resultados del presente estudio indican un valor medio para aguas residuales urbanas de 6,65 mg $DBO/mg N$ encontrándose este valor dentro del intervalo para aguas residuales con concentraciones altas según Henze.

Otra relación importante es la $DQO:N$ relacionada estrechamente con los procesos de desnitrificación con valores que se encuentran entre 6 y 8 mg $DQO/mg N$ para aguas con concentración de nitrógeno bajas, de 8 a 12 típicas y de 12 a 16 altas. A rasgos generales, valores superiores a 9 para esta relación suponen buenas eficacias en el proceso de desnitrificación. En cambio, el proceso se ve afectado para valores inferiores a 5. El valor medio obtenido en esta tesina fue de 10,25 que se encuentra dentro de la categoría de aguas residuales típicas.

En el estudio estadístico realizado se observaron valores atípicos para esta relación correspondientes a estaciones de tratamiento con problemas de baja concentración de nutrientes en el agua influente, las dos estaciones con problemas de nutrientes fueron Ontinyent-Agullent y Buñol-Alborache con valores para esta relación mayores a 20.

En caso de una deficiencia de nitrógeno es necesaria la adición de este. El compuesto más utilizado es la Urea debido a su contenido de nitrógeno con composiciones que están alrededor de 0,47gN por g de urea, la adición de este compuesto requiere de estudios sobre el punto de aplicación con el fin de obtener las concentraciones deseadas de nutrientes en el agua influente que sean de fácil utilización por los microorganismos.

6.3.4 P: DQO y P: DBO₅

En el caso del fósforo al igual que el nitrógeno actúa como nutriente permitiendo así el desarrollo de los procesos biológicos siendo necesario mantener valores de fósforo en el agua influente que permitan el crecimiento de los microorganismos. Numerosos estudios han reportado valores para la relación P: DQO en el agua de entrada entre 0,05 y 0,1 (Mino y col., 1998) y para la relación P: DBO₅ entre 0,037 y 0,044 (Metcalf y Eddy, 1995), valores similares son propuestos por Ekama y Marais. (1986) en un intervalo de 0.03 a 0.05 para esta relación.

Asimismo se ha observado la influencia que tiene esta relación sobre el proceso de eliminación biológica de fósforo encontrando que para valores menores de 0.02 mgP /mg DQO en el agua de entrada tiende a favorecer el crecimiento de las bacterias acumuladoras de glicógeno (GAO) que compiten por el sustrato con las PAO, por lo que su presencia también afectaría al proceso de eliminación biológica de fósforo (Mino y col., 1998). De este modo, la relación P: DQO en el influente de un proceso de eliminación biológica de fósforo marcará el grado de eficacia de dicho proceso. El valor óptimo de esta relación puede variar según el tipo de esquema de tratamiento y las condiciones de operación. La relación P: DQO y P: DBO₅ estudiada en esta tesina presentó un valor de 0,014 y 0,022 respectivamente, los valores de las relaciones se muestra en la tabla 30.

6.3.5 SSV: SST

La relación SSV: SST es utilizada como un indicador del grado de tratamiento necesario para un agua residual debido a la relación que existe entre los SSV y el contenido de materia orgánica. Valores encontrados para esta relación son reportados por diferentes autores y se muestran en la tabla siguiente, el valor se encuentra dentro de los intervalos reportados en la bibliografía.

Autor	SSV:SST
Henze y col., 1996	0,6 - 0,8
Orhon y col., 1998	0,74
Orhon y col., 1996	0,69
Orhon y col., 2002	0,84
Henze y col., 2003	0,75
<i>Este estudio</i>	0,79

TABLA 32. Valores para la relación SSV:SST

Los intervalos presentados anteriormente para cada relación propuesta son comparados con la bibliografía encontrada. Henze y col. (1996) definieron tres

posibles tipos de agua urbana de acuerdo a la carga orgánica y evalúo cada una de las relaciones que se muestran en la tabla siguiente, donde se comparan los valores obtenidos en este estudio con los citados por Henze:

Relación	Henze y col., 1996			Este estudio	
	Baja	Típica	Alta	Medio	SD
DQO: DBO	1,5 - 2	2 - 2,5	2,5 - 3,5	1,32	0,12
DQO: N	6 - 8	8 - 12	12 - 16	10,25	4,09
DQO: P	20 - 35	35 - 45	45 - 60	76,02	34,81
DBO: N	3 - 4	4 - 6	6 - 8	6,65	2,31
DBO: P	10 - 15	15 - 20	20 - 30	50,13	23,18
DQO: SSV	1,2 - 1,4	1,4 - 1,6	1,6 - 2,0	3,98	1,38
SSV: SS	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 0,9	0,79	0,078

TABLA 33. Comparación de los valores obtenidos entre las relaciones propuestas y los datos bibliográficos.

6.4 RELACIONES PROPUESTAS TIPO II

Como ya se ha comentado en el presente trabajo, la capacidad de una planta para el tratamiento de aguas residuales se diseña tradicionalmente mediante la determinación de la DQO y DBO₅ así como los contenidos de nutrientes N y P en el influente. Sin embargo este conjunto de datos experimentales no permite estimar con precisión el potencial de un tratamiento biológico ya que considera el valor total de la DBO y DQO sin tener en cuenta que solo parte de este sustrato es utilizado por los microorganismos. Los estudios realizados en esta área han logrado avances notables en el fraccionamiento de la materia orgánica y la identificación de los componentes de fácil utilización por los microorganismos.

Los distintos modelos propuestos para el tratamiento de aguas residuales han requerido la caracterización detallada del agua residual siendo el principal objetivo la identificación de las fracciones orgánicas con distintas tasas de biodegradabilidad. La caracterización detallada del agua residual con todas sus fracciones en muchos casos es un trabajo extenso y dispendioso, siendo necesario utilizar datos bibliográficos o empíricos para la obtención de los componentes del agua residual según los modelos para aguas residuales. Existen dos formas de obtener estos valores, utilizando las ecuaciones descritas para el fraccionamiento de la DQO, N, P y SST (ecuaciones 1-9) cuando se dispone de datos experimentales completos o se han completado mediante las relaciones tipo I.

Otra forma de calcular estos componentes es mediante la utilización de las relaciones tipo II, propuestas en este estudio para el fraccionamiento de la DQO y

la DBO_{LIM} . Las relaciones propuestas se muestran en la tabla 33 y son utilizadas para calcular los componentes del agua residual según los modelos para aguas residuales tipo ASM cuando no se dispone de datos experimentales.

Relaciones tipo II	Media	SD
Ss: DQO	0,37	0,17
S _F : DQO	0,28	0,17
Sa: DQO	0,12	0,07
Sa: DQOsol	0,29	0,15
S _F : DQOsol	0,61	0,22
S _i : DQOsol	0,14	0,08
Xs: DQO	0,37	0,14
X _i : DQO	0,15	0,09
S _i : DQO	0,08	0,05
Ss: DQOsol	0,85	0,1
Xs: DBO_{LIM}	0,51	0,19
Ss: DBO_{LIM}	0,49	0,19

TABLA 34. Relaciones tipo II, datos fraccionados

Las diferentes fracciones en las que se componen la DQO y DBO condicionan los procesos de depuración biológica y en particular la eliminación biológica de nutrientes. Así, la fracción fácilmente biodegradable (Ss) es utilizada como fuente de carbono en la desnitrificación, los ácidos grasos volátiles (AGV) son de vital importancia en las etapas anaeróbicas en los procesos de eliminación biológica de fósforo; la fracción lentamente biodegradable S_F se hidroliza y fermenta para producir fracciones solubles entre ellas ácidos grasos volátiles (Sa), todo esto muestra la importancia que tiene el correcto fraccionamiento del agua residual.

La fracción de sustrato fácilmente biodegradable (Ss) son compuestos de pequeño peso molecular que pueden ser absorbidos directamente por los microorganismos para ser metabolizados posteriormente. Se componen en general de hidratos de carbono monomérico, ácidos grasos volátiles, aminoácidos y alcoholes, pueden representar el 30% de la DQO según los siguientes autores (Henze y col., 1987; 32%: Orhon y col., 2002; 30%; IWA (Henze y col.,2000); 30%), siendo el valor medio encontrado en la presente tesina para esta fracción (Ss: DQO) del 37% con una desviación estándar del 17% encontrándose así dentro de los intervalos propuestos en la bibliografía.

La fracción fácilmente biodegradable compuesta por ácidos grasos volátiles (Sa) representa alrededor del 10 % de la DQO según la IWA (Henze y col.,2000): 2-10%; Henze y col., 1992: 8-10%). Asimismo la fracción fácilmente biodegradable

fermentable (S_F) representa el 20% de la DQO IWA (Henze y col.,2000): 10-20%; Henze y col., 1992: 5-22%). Los valores medios encontrados para la relación S_a : DQO y S_F : DQO estudiados en el presente trabajo son del 12% y 28% respectivamente.

La materia orgánica lentamente biodegradable particulada definida en el modelo como X_s cubre un amplio rango de tamaños desde solubles hasta coloidales y de partículas orgánicas de estructura compleja. Por lo tanto cabe esperar que la hidrólisis sea el proceso limitante de la velocidad de utilización de este componente, una característica común de esta fracción es que no puede atravesar la pared celular ya que necesita sufrir una hidrólisis antes de su absorción (Orhon y Artan, 1994). Esta fracción representa entre el 40 al 60% de la DQO, algunos autores citan diversos valores como los presentados por la IWA (Henze y col.,2000) entre el 30 y 60%, Ekama y Marais, 1986 de 62%, Henze y col., 1987 con 43%, Orhon y col., 2002 del 62%. Sin embargo, la fracción X_s : DQO en este estudio presento un valor del 37% encontrándose por debajo de los propuestos en la bibliografía.

La fracción inerte ha sido dividida en dos fracciones, no biodegradable soluble (S_i) y no biodegradable particulada (X_i), la fracción soluble S_i entra y sale del sistema sin participar en ningún proceso bioquímico mientras que la fracción particulada X_i queda atrapada y acumulada en los fangos saliendo del sistema a través de la purga (Orhon y Artan, 1994). Estas fracciones representan el 10% de la DQO para la S_i y el 15% para la X_i según la IWA. El valor medio de la relación S_i : DQO en este estudio fue de 8% y para la X_i : DQO del 15%.

La tabla que se presenta a continuación es una recopilación bibliográfica comparados con los valores obtenidos para las relaciones tipo II propuestas en este estudio para aguas residuales urbanas.

Fracciones típicas IWA(Henze y col.,2000)		Relaciones tipo II (Este Estudio)	
Relación	%	%	SD
S_F : DQO	10-20	28	17
S_a :DQO	2-10	12	7
S_i : DQO	5-10	8	5
X_i : DQO	10-15	15	9
X_s : DQO	30-60	37	14

TABLA 35. Fracciones típicas según la IWA (Henze y col.,2000)

6.5 APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores obtenidos en la presente tesina para cada una de las relaciones propuestas deben ser de gran utilidad para la completa caracterización de un agua residual.

En el presente apartado se realizará la caracterización del agua residual para un caso de diseño real. Los parámetros iniciales para el agua residual influente que se presentan son extraídos de un pliego de cláusulas suministrado por la entidad de saneamiento de aguas residuales (EPSAR) para el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual en Sagunto:

DBO ₅	500 mg/l
SST	350 mg/l
DQO	800 mg/l
N	50 mg/l
P	8 mg/l

TABLA 36. Caracterización inicial del agua residual.

Teniendo en cuenta que los datos anteriores representan las características básicas del agua bruta de entrada a la planta que se consideraran en el diseño, es necesario completar los datos experimentales y calcular los componentes que caracterizan el agua residual para la aplicación a los modelos existentes, para ello se utilizarán los resultados obtenidos para cada una de las relaciones propuestas en la presente tesina, que se muestran en las tablas 30 y 34.

A continuación se presentan los cálculos realizados y las relaciones utilizadas para la caracterización del agua residual a partir de los datos de la tabla 36.

6.5.1 Obtención de los componentes del modelo

Utilización de las relaciones tipo I y cálculo de los datos experimentales:

- Cálculo para la DQO

$$DQO_{sol} / DQO = 0,457$$

$$DQO_{sol} = 0,457 * 800 = 365,6 \text{ mg/l}$$

$$DQO_{susp} = 800 - 365,6 = 434,4 \text{ mg/l}$$

➤ Cálculo de la DBO_{LIM}

$$DBO_5 / DBO_{LIM} = 0,779$$

$$DBO_{LIMsol} / DBO_{LIM} = 0,47$$

$$DBO_{LIM} = 500 / 0,779 = 641,84 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{LIMsol} = 0,47 * 641,84 = 301,66 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{LIMpart} = 641,84 - 301,66 = 340,18 \text{ mg/l}$$

➤ Fraccionamiento del N:

$$NTsol / N = 0,82$$

$$NH_4^+ / NTsol = 0,88$$

$$NTsol = 0,82 * 50 = 41 \text{ mg/l}$$

$$NTpart = 50 - 41 = 9 \text{ mg/l}$$

$$NH_4^+ = 0,88 * 41 = 36,08 \text{ mg/l}$$

$$NTsol = NH_4^+ + Norg$$

$$Norg = 41 - 36,08 = 4,92 \text{ mg/l}$$

➤ Fraccionamiento del P :

$$PO_4^{3-} / P = 0,64$$

$$PO_4^{3-} = 0,64 * 8 = 5,12 \text{ mg P/l} \approx Sp$$

$$Xp = 8 - 5,12 = 2,88 \text{ mgP/l}$$

➤ Fraccionamiento de los sólidos suspendidos totales :

$$SSV / SST = 0,79$$

$$SSV = 0,79 * 350 = 276,5$$

$$SSNV = 350 - 276,5 = 73,5$$

$$SSVB = SSV * (DBO_{LIMpart} / DQO_{susp})$$

$$SSVB = 276,5 * (340,18 / 436,4) = 215,53 \text{ mg/l}$$

$$SSNVB = 276,5 - 215,53 = 60,97 \text{ mg/l}$$

Datos Experimentales (mg/l)	Valor con relaciones Tipo I
SS	350
SSV	276,5
%SSV	0,79
DQO	800
DQO _{sol}	365,6
DBO _{LIM}	641,84
DBO _{LIMsol}	301,66
N-NO ₃ ⁻	0
N-NH ₄ ⁺	36,08
N	50
N total soluble	41
P	8
P-PO ₄ ⁻³	5,12

TABLA 37. Datos experimentales del agua residual influente a la depuradora de Sagunto, aplicación de las relaciones tipo I.

Utilización de las relaciones tipo II, datos experimentales (tabla 36) y ecuaciones de balance 9 -12 del presente estudio, para el cálculo de los componentes del modelo:

Con relaciones tipo I y ecuaciones de balance:

- Componentes solubles y particulados de la materia orgánica:

$$S_I = DQO_{sol} - DBO_{LIMSOL} = 365,6 - 301,66 = 63,94 \text{ mg/l}$$

$$S_S = DQO_{sol} - S_I = 365,6 - 63,94 = 301,66 \text{ mg/l}$$

$$X_I = DQO - DBO_{LIM} - S_I = 800 - 641,84 - 63,94 = 94,22 \text{ mg/l}$$

$$X_S = DQO - S_S - S_I - X_I = 800 - 301,66 - 63,94 - 94,22 = 340,18 \text{ mg/l}$$

- Fraccionamiento de la materia orgánica fácilmente biodegradable S_S:

$$S_a / DQO_{sol} = 0,29$$

$$S_a = 0,29 * 365,6 = 106,024 \text{ mg/l}$$

$$S_S = S_a + S_f = 301,66$$

$$S_f = 301,66 - 106,024 = 195,63 \text{ mg/l}$$

Con relaciones tipo II:

$$S_S = 0,37 * DQO = 296 \text{ mg/l}$$

$$S_f = 0,28 * DQO = 224 \text{ mg/l}$$

$$S_a = 0,12 *DQO =96 \text{ mg/l}$$

$$S_l = 0,08 *DQO =64 \text{ mg/l}$$

$$X_l = 0,15 *DQO =120 \text{ mg/l}$$

$$X_s = 0,37 *DQO =296 \text{ mg/l}$$

A continuación se presenta los componentes para la aplicación del modelo de fangos activados, para el diseño de la EDAR de Sagunto calculados con el procedimiento anterior y comparados con los obtenidos directamente, utilizando las relaciones tipo II. Asimismo se muestran los balances de continuidad utilizados para el cálculo de los coeficientes de conversión según el modelo BMRM1:

Componentes (mg/l)	Con relaciones tipo I	Con relaciones tipo II
S _s	301,66	296
S _F	195,63	224
S _a	106,024	96
S _l	63,94	64
S _{NO3}	0	0
S _{NH4}	36,08	-
S _{PO4}	5,12	-
X _l	94,22	120
X _s	340,18	296
X _{NV}	73,5	-

TABLA 38. Componentes del agua residual influente para el diseño de la depuradora de Sagunto.

En la tabla anterior se observa la similitud entre los valores de los componentes calculados a partir de las relaciones tipo I y tipo II, excepto para el valor de la X_l. Esta diferencia en el valor de la X_l puede explicarse teniendo en cuenta que la relación X_l: DQO puede tomar valores entre 0,12 a 0,17 para un intervalo de confianza del 95%, y un valor medio de 0,15. Esto es debido a la variabilidad que tiene la fracción inerte particulada (X_l) en las aguas residuales estudiadas.

La posibilidad de escoger diversos valores dentro de este intervalo conlleva a obtener valores distintos de X_l a partir de una misma DQO. Para el ejemplo desarrollado anteriormente, un valor de 0,12 para la relación X_l: DQO con una DQO de 800 mg/l daría como resultado un valor de X_l (96 mg/l) más cercano al valor obtenido mediante las relaciones tipo I de la tabla 38.

6.5.2 Cálculo de los coeficientes de conversión

Balances de continuidad para el cálculo de los coeficientes de conversión:

Balance para el Nitrógeno:

$$N: S_F * i_{NS_F} + S_{NH_4} + S_{NO_3} + i_{NS_I} * S_I + S_{N_2} + i_{NX_I} * X_I + i_{NX_S} * X_S$$

Balance para el Fósforo:

$$P: i_{PS_F} * S_F + S_{PO_4} + i_{PS_I} * S_I + i_{X_I} * X_I + i_{PX_S} * X_S$$

Balance para los Sólidos suspendidos totales:

$$SST: i_{SSTX_I} * X_I + i_{SSTX_S} * X_S + X_{NV}$$

Teniendo en cuenta los balances anteriores y los valores de los componentes obtenidos con las relaciones tipo I de la tabla 38, es posible ajustar los valores correspondientes a los coeficientes de conversión, considerando las cantidades de cada componente en el agua residual influente. Los coeficientes de conversión obtenidos en este ejemplo se recogen en la tabla 39 para el agua residual influente a la depuradora.

Coeficientes →	i_{SI}	i_{SF}	i_{XI}	i_{XS}
NITRÓGENO(N)	0,01	0,022	0,02	0,021
FÓSFORO (P)	0,00	0.0045	0.0046	0.0047
SÓLIDOS (SST)			0.636	0.636

TABLA 39. Factores de conversión (i_{jk}) de las ecuaciones de continuidad.

6.6 APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL URBANA (CARU 1.0)

La fase final de la presente tesina según los objetivos propuestos era la realización de una herramienta que utilizará los datos obtenidos en el presente trabajo y calculará los datos experimentales necesarios para caracterizar el agua residual y los componentes del modelo.

La aplicación fue diseñada en el entorno Visual Basic configurado bajo Windows para la caracterización de aguas residuales urbanas a partir de pocos datos experimentales. El programa tiene implementado una serie de rutinas basadas en las ecuaciones para el fraccionamiento de la DQO, DBO, N, P, SST y las relaciones propuestas en el presente trabajo.

Diseñado para un fácil uso permite cambiar y utilizar diferentes intervalos recomendados en el software para las relaciones propuestas.

A continuación se presenta unas imágenes del entorno visual de la aplicación:



FIGURA 19. Entrada a la aplicación.

La aplicación desarrollada permite calcular los datos experimentales, componentes del modelo y ajustar los factores de conversión correspondientes de un agua residual urbana. Mediante la utilización de subrutinas el programa identifica los datos suministrados por el usuario y utiliza las relaciones correspondientes para completar o calcular los datos experimentales y componentes del modelo. Las relaciones utilizadas se muestran en una ventana externa donde el usuario puede variar los valores dentro de un intervalo recomendado para aguas residuales urbanas.

Asimismo tiene implementado una serie de advertencias en caso de posibles errores por parte del usuario en el momento de ingresar los valores en la aplicación.

Carga Contaminante	DQOT (mg/l)	%SOL	DQO sol	DQO part
Agua residual	655	45,7	299	356
<input checked="" type="radio"/> Urbana	430	50,6	218	212
<input type="radio"/> Ninguna	477	47	224	253
N Total (mgN/l)	242	79	191	51
<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="49"/>	<input type="text" value="82"/>	<input type="text" value="5,88"/>	
	Nitro (N-NO3)	N-NH4 (AMONIO)	N-NH4 particulado	
	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="43,12"/>	<input type="text" value="11"/>	
P Total (mgP/l)	P Total soluble	%Ptsol	Ortofosfatos	P org particulado
<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="5,12"/>	<input type="text" value="64"/>	<input type="text" value="5,12"/>	<input type="text" value="2,88"/>
		AGV(mg HAc/l)	AGV (mg DQO/l)	
		<input type="text" value="38"/>	<input type="text" value="41"/>	

FIGURA 20. Pantalla de entrada de datos para el cálculo de los datos experimentales

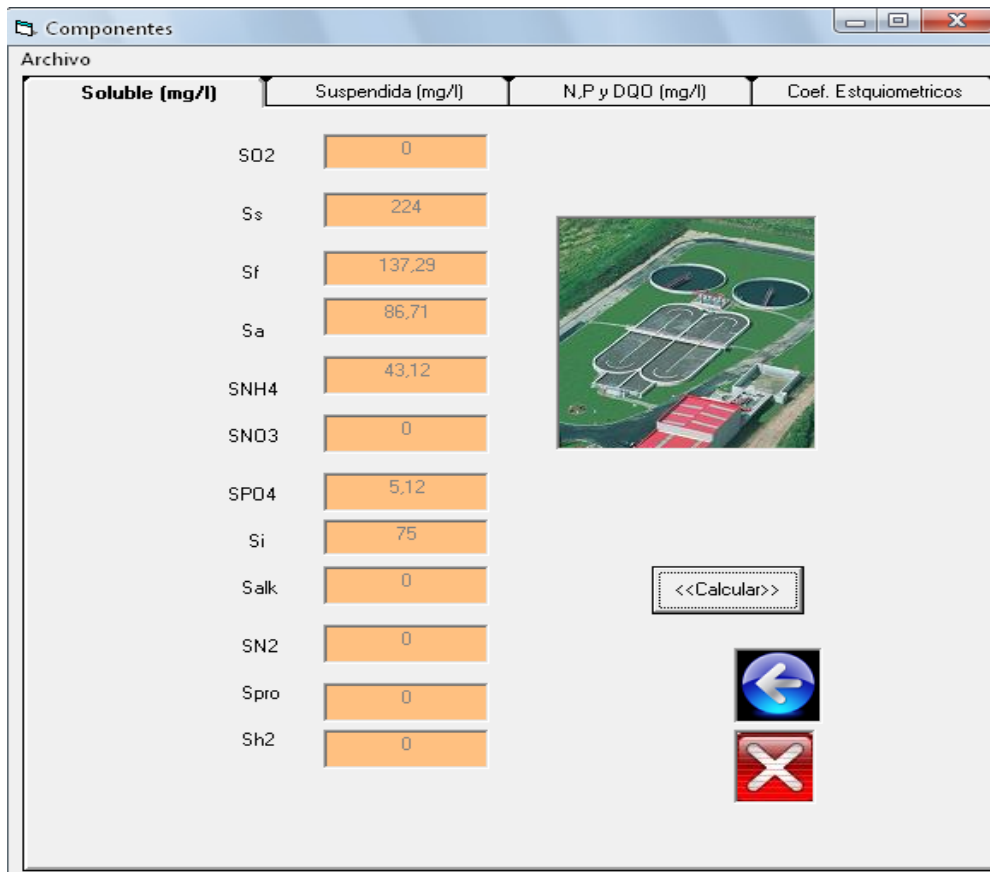


FIGURA 21. Pantalla de resultados obtenidos, componentes del modelo y coeficientes de conversión (i_{jk}).

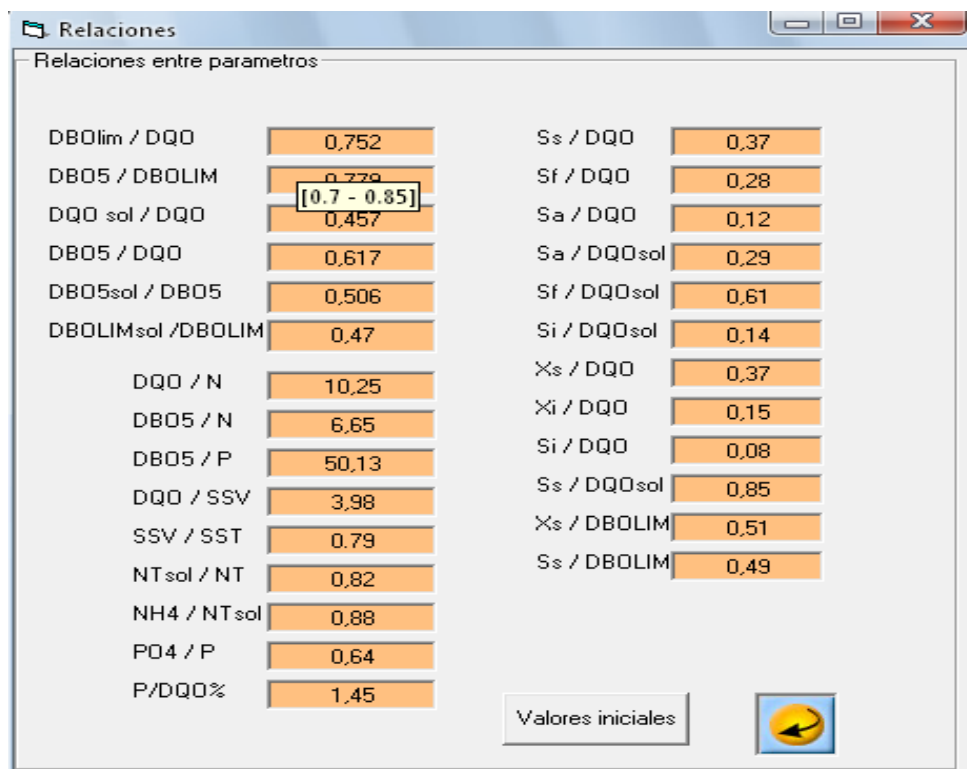


FIGURA 22. Pantalla de las relaciones utilizadas en esta aplicación.

7 CONCLUSIONES

1. En estudios realizados por el grupo de investigación Calagua, se caracterizó el agua residual influente en diversas depuradoras de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia, según los *componentes* descritos en el modelo BNRM1 (Seco y col., 2004). Los datos recopilados recibieron un tratamiento estadístico obteniendo una serie de valores para las relaciones propuestas entre los distintos datos experimentales y componentes, que caracterizan las aguas residuales. Con los resultados obtenidos es posible caracterizar un agua residual a partir de pocos datos, tales como la DQO, DBO, N y P.
2. Se evaluaron 22 depuradoras distribuidas en la Comunidad Valenciana y Murcia que son representativas de aguas residuales urbanas sin apreciable impacto por vertidos industriales excepto la depuradora de alcantarilla donde se observa un fuerte carácter industrial.
3. Los resultados obtenidos son de gran importancia ya que en muchos casos las relaciones entre datos experimentales condicionan los procesos biológicos en particular los referentes a la eliminación biológica de nutrientes.
4. En general, se ha observado una afinidad entre los valores obtenidos en la presente tesina y los de la bibliografía. Existen casos con pequeñas discrepancias que han sido justificados en base a la composición inicial del agua residual en el momento de la caracterización, esto es, casos en que el agua residual presentaba deficiencia de nutrientes o presencia de vertidos industriales.
5. Se obtuvieron 27 relaciones clasificadas en dos categorías (tipo I y tipo II) que permiten la caracterización del agua residual urbana influente a una depuradora a partir de datos experimentales como la DQO, DBO, SST, SSV, N y P.
6. Los valores encontrados son de gran ayuda para la caracterización del agua residual, permiten obtener los componentes necesarios para el diseño y la aplicación de modelos de fangos activados ahorrando tiempo y dinero.
7. Los valores presentados en esta tesina son característicos para las aguas residuales urbanas de esta zona siendo necesario un estudio preliminar sobre la caracterización del agua residual para la aplicabilidad de estos datos en otras zonas geográficas. Los resultados confirman que las características del

agua residual son muy específicas del lugar de origen y deberían determinarse para cada caso, relaciones similares a las obtenidas en este estudio.

8. La aplicación informática desarrollada en este estudio es una herramienta que utiliza los resultados de las relaciones, para la caracterización del agua residual urbana de forma rápida y sencilla. Las relaciones utilizadas deberían ser actualizadas mediante la incorporación de nuevos datos obtenidos en caracterizaciones de agua residual.

BIBLIOGRAFIA

8 BIBLIOGRAFIA

Anish R.; Gross, M. (2004) *Advanced onsite wastewater systems technologies*. Editorial Taylor y Francis Group (CRC), USA.

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation. (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th Ed., Washington D. C.

Barbosa, R.A.; Sant',A. (1989) Treatment of raw domestic sewage in an UASB reactor. *Water Research* **12**, 1483–1490.

Barker, P. S.; Dold, P. L. (1995) COD and nitrogen mass balances in activated sludge systems. *Water Research*. Vol. 29, N° 2, 633-643.

Chebbo, G.; Gromaire, M.C. (2004) The experimental urban catchment 'Le Marais' in Paris: what lessons can be learned from it? . *Journal of Hydrology*. Vol. 299, 312–323.

Chudoba, P.; Pannier, M. (1994) Use of powdered clay to upgrade activated sludge process. *Environ. Technol.* Vol.15, 863.

Devi, R.; Dahiya, R.P. (2008) COD and BOD Removal from domestic wastewater generated in Decentralised sectors. *Bio. resource .Technology*. Vol. 99, N°2, 344–349.

Dulekgurgen E.; Do˘gruel, S.; Karahan, ˘O.; Orhon D. (2006) Size distribution of wastewater COD fractions as an index for biodegradability. *Water Research*. Vol. 40, 273-282.

Eckenfelder, W.; Grau, P. (1992): *Activated Sludge Process Design and Control. Theory and Practice*. Water Quality Management Library. Vol. 1, Pennsylvania.

Ekama, G.A.; Marais, G.v.R. (1979) Dynamic Behaviour of the Activated Sludge Process. *J. Water Pollution Control Fed.*, Vol.51, 534-556.

Ekama ,G.A.; Dold, P.; Marais, G.v.R. (1986) Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems. *Water. Sci. Technol.* Vol .18, N°6, 91–114.

Ekama, G.A.; Sotemann, S.W.; Wentzel, M.C. (2007). Biodegradability of activated sludge organics under anaerobic conditions. *Water Research*. Vol. 41,244 – 252.

Eliosov, B.; Argaman, Y. (1995) Hydrolysis of particulate organics in activated sludge systems. *Water Research* 29 N°1, 155–163.

Ferrer, J.; Seco, A. (1997) Tratamientos de las aguas residuales. Introducción a los tratamientos de aguas (Tomo I, II y III). Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. España.

Garcia, M^a.F. (2002) Influencia del tiempo de retención celular y la temperatura en los procesos de eliminación biológica de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Valencia. España

Garuti, G., Dohanyos, M., and Tilche, A. (1992) Anaerobic-aerobic combined process for the treatment of sewage with nutrient removal: the ananox process. *Water. Sci. Tech.* Vol.25, 383–394.

Ginestet, P.; Maisonnier, A.; Spérandio, M. (2002) Wastewater COD characterization: biodegradability of physico-chemical fractions. *Water. Sci. Technol.* Vol.45, 89-97.

Gross, M.A. (2005) Wastewater Characterization text. National Decentralized Water Resources Capacity Development Project. University of Arkansas, Fayetteville, AR.

Gujer, W.; Kappeler, J. (1992) Modelling Population Dynamics in Activated Sludge Systems. *Water Sci. Techn.* Vol. 25, 93-103.

Henze, M.; Gujer, W.; Mino, T.; Matsuo, T.; Wentzel, M. C.; Marais, G. v. R.; van Loosdrecht, M. C. M. (1999) Activated Sludge Model No.2d. *Water Science and Technology.* Vol .39, N° 1, 165-182.

Henze, M.; Gujer, W. (1995): Modelling and Control of Activated Sludge Processes. *Water Science and Technology.* Vol. 31, (2), 274.

Henze, M. (1992). Characterization of wastewater for modelling of activated sludge processes. *Water Sci. Technol.*, Vol 2, (6), 1-15.

Henze, M.; Gujer, W.; Mino, T.; van Loosdrecht, M. C. M. (1999b) Activated Sludge Model No.3. *Water Science and Technology.* Vol. 39, No. 1, 183-193.

Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. (1987) Activated Sludge Model No.1. IAWPRC. *Scientific and Technical Report No.1*. IAWPRC, London. ISSN 1010-707X.

Henze, M. (1986) Nitrate versus oxygen utilization rates in wastewater and activated sludge systems. *Water Science and Technology*. Vol. 18, N° 6, 115-122.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T. and van Loosdrecht, M. C. M. (2000) *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. *Scientific and Technical Report No. 9*. IWA Publishing, London.

Janssen, P.M (1994). Operating experiences on two full escale plants, retrofitted for biological phosphorus removal. Nutrient removal from wastewaters. *technomic Publishing co.inc*. Pennsylvania

Jiménez B.; Chávez, A. (1997) Treatment of Mexico City Wastewater for Irrigation Purposes. *Environ.Tech.*, Vol .18, 721-730.

Kraume, M.; Bracklow U.; Vocks, M.; Drews, A. (2005) Nutrients removal in mbrs for municipal wastewater treatment. *Water. Sci. Tech*. Vol.51 , 391-402.

Manga, J.; Ferrer, J.; García-Usach, F.; Seco, A. (2001) .Modification to the Activated Sludge No.2 based on the competition between phosphorus-accumulating organisms and glycogen-accumulating organisms. *Water Science and Technology*. Vol. 43, N°. 11, 161-171.

Manga, J.; Ferrer, J.; García-Usach, F.; Seco, A. (2001) A modification to the Activated Sludge No.2 based on the competition between phosphorus-accumulating organisms and glycogen-accumulating organisms. *Water Science and Technology*. Vol. 43, No. 11, 161-171.

Mathieu, S.; Etienne, P. (2000) Estimation of wastewater biodegradable COD fractions by combining respirometric experiments in various so/xo ratios. *Water. Research*. Vol. 34, N°. 4, 1233-1246.

Metcalf y Eddy. (1995) Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ª Edición. Editorial McGraw-Hill, Madrid.

Moosbrugger, R. E.; Wentzel, M. C.; Ekama, G. A.; Marais, G. v. R. (1992) Simple titration procedures to determine H_2CO_3^* alkalinity and short-chain fatty acids in aqueous solutions containing known concentrations of ammonium, phosphate and sulphide weak acid/bases. *Water Research Commission*, Report No. TT 57/92. University of Cape Town, Research Report W 74, Pretoria, Republic of South Africa.

Mujeriego, R.(1990) Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Orhon, D.; Sözen, S.; Artan, N. (1996) The effect of heterotrophic yield on the assessment of the correction factor for anoxic growth. *Water Science and Technology*. Vol. 34, No. 5-6, 67-74.

Orhon D.; Esra Ate.; Sözen, S.; Cokgor, U. (1996) Characterization and COD Fractionation of domestic wastewater. *Environmental Pollution*. Vol. 95, N°2, 191-204.

Orhon D.; Fatos, G.; Insel G. (2001) Characterization and modelling of denim processing wastewaters for activated sludge. *Tech Biotechnology*. Vol. 76, 919-931.

Orhon D.; Okutman. D.; Insel.G. (2002) Characterisation and biodegradation of settleable organic matter for domestic wastewater. *Water S.A*. Vol. 28, No 3.

Orhon D.; Cokgor, U. (1997) COD Fractionation in Wastewater Characterization, The State of the Art. *Journal of Chem Tech and Biotechnology*. Vol. 68,N°3, 283-293.

Orhon D.; Karahan; Sözen, S. (1999) The effect of residual microbial products on the experimental assessment of the particulate inert COD in wastewaters. *Water Research*. vol. 33, N°14, 3191-3203.

Orhon, D.; Artan, N. (1994). Modelling of Activated Sludge Systems, Lancaster, PA, *Technomic Publishing Co. Inc.*, 589pp.

Orhon D.; Arran, N.; Cimsit, Y. (1989) The concept of soluble residual product formation in the modelling of activated sludge. *Water Sci. Technol*. Vol. 21, 339-350.

Petersen, B.; Gernaey, K.; Henze, M.; Vanrolleghem, P.(2002) Evaluation of an ASM1 model calibration procedure on a municipal–industrial wastewater treatment plant. *Journal of hydroinformatic*.Vol. 4,15-37.

Ramalho, R.S.; Jimenez, D.; Lora, F. (1996) Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverte. Canada.

Rozano, E.; Dapena, J. (1995) Tratamiento biológico de aguas residuales. Editorial Díaz Santos S.A. España.

Sanz, I.; Fdz-Polanco, F. (1990). Low temperature treatment. *Water Research*. Vol. 24, 463–469.

Seco, A.; Ribes, J.; Ferrer, J.; Serralta, J.; Manga, J. (2004) Biological Nutrient Removal Model No. 1 (BNRM1). *Water Science and Technology*. Vol. 50(6), 69-78.

Seco, A.; Ferrer, J.; Serralta, J.; Manga, J.; Muñoz, M. (2001) Evaluation of Activated sludge Model No.2 at high phosphorus concentrations. *Environ. Technol.* Vol.22, 497–507.

Soria, E.; Martín, J.; Serrano, J.; Aguado, D. (2007) Análisis de datos experimentales. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.

Sözen, S.; Uday Çokgör, D.; Orhon, D.; Henze, M. (1998) Respirometric analysis of activated sludge behaviour-II. Heterotrophic growth under aerobic and anoxic conditions. *Water Science and Technology*. Vol. 32, No. 2, 476-488.

Sözen, S.; Uday Çokgör, D.; Orhon, D.; Henze, M. (1998) Respirometric analysis of activated sludge behaviour-I, assessment of the readily biodegradable substrate. *Water Research*. Vol. 32, N° 2, 461-475.

Sospeda, B. J. (2005). Anàlisi estadística AMB L`SPSS. Pla de formació PDI. Servei de formació permanent. Universitat de València, Valencia. España.

Sözen, S.; Orhon D. (1999) The effect of nitrite correction on the evaluation of the rate of nitrate utilization under anoxic conditions. *J Chem Technol Biotechnol*. Vol 74. 790-800.

Tasli, R.; Orhon, D.; Artan, N. (1999) The effect of substrate composition on the nutrient removal potential of sequencing batch reactors. *Water S.A.* Vol. 25, No.3.

Zhi-rong H.; Wentzel, M.C.; Ekama, G.A. (2003) Modelling biological nutrient removal activated sludge systems a review. *Water Research*. Vol. 37, 3430–3444.

9 ANEXOS.

9.1 DIAGRAMAS DE CAJA PARA LAS RELACIONES TIPO I Y II DIAGRAMAS DE CAJA

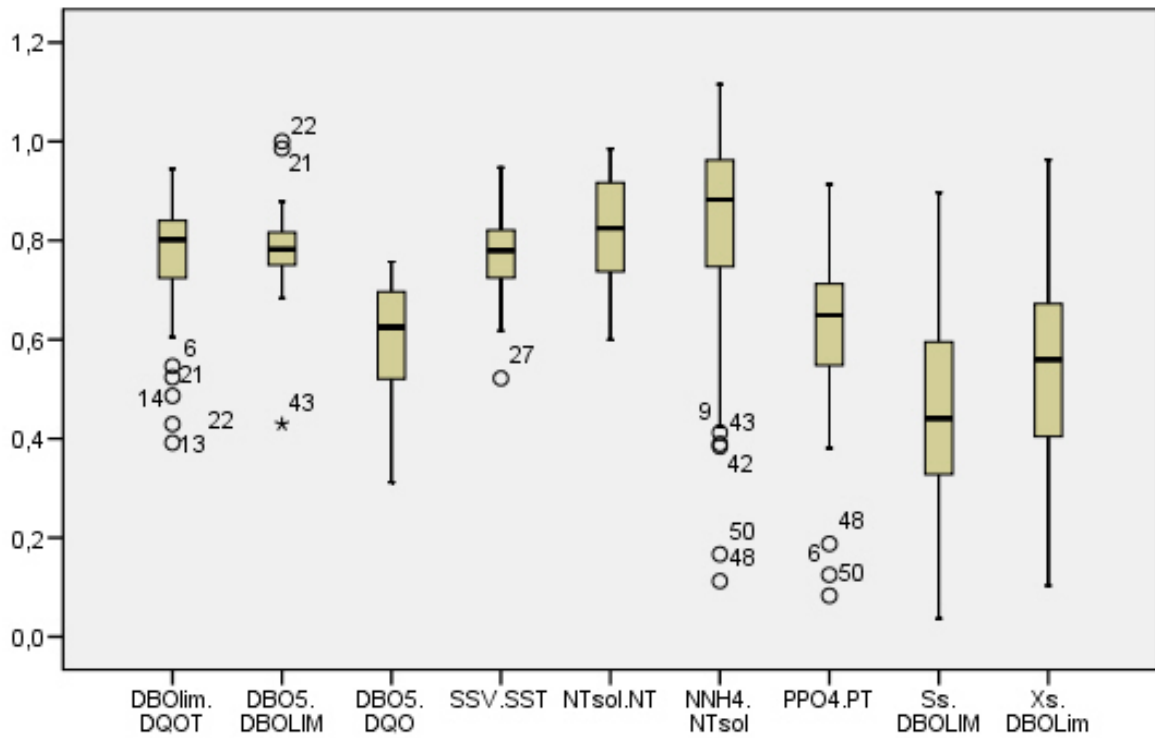


Figura A1. Diagramas de cajas realizados para determinar valores atípicos para las distintas relaciones propuestas tipo I y II. (1/4)

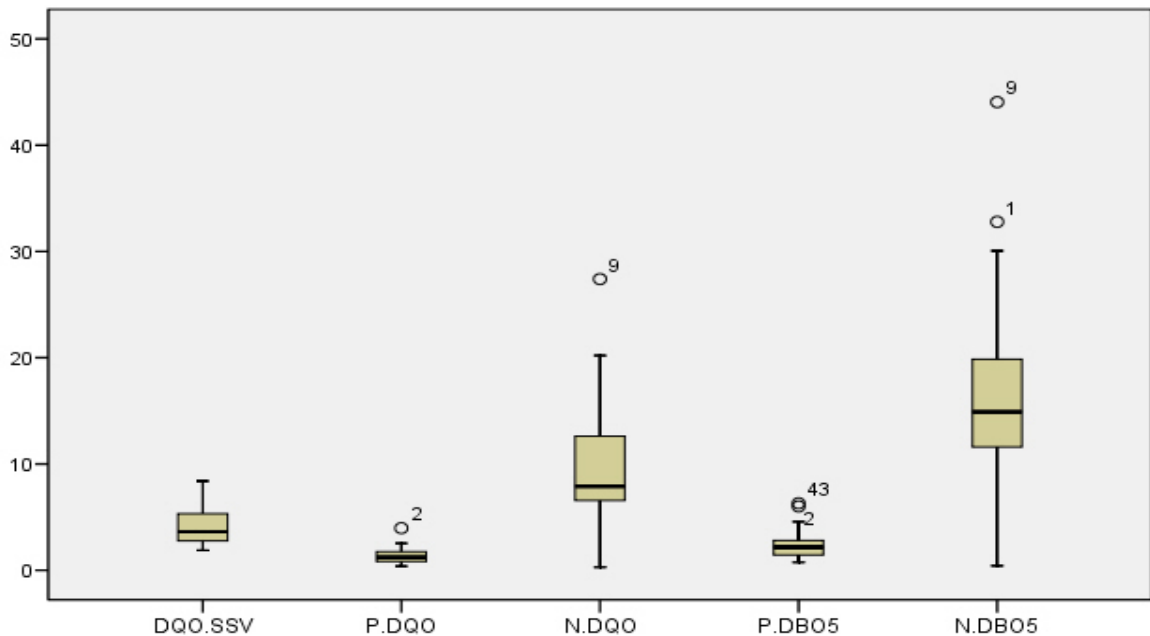


Figura A2. Diagramas de cajas determinación de valores atípicos para las distintas relaciones propuestas tipo I y II. (2/4)

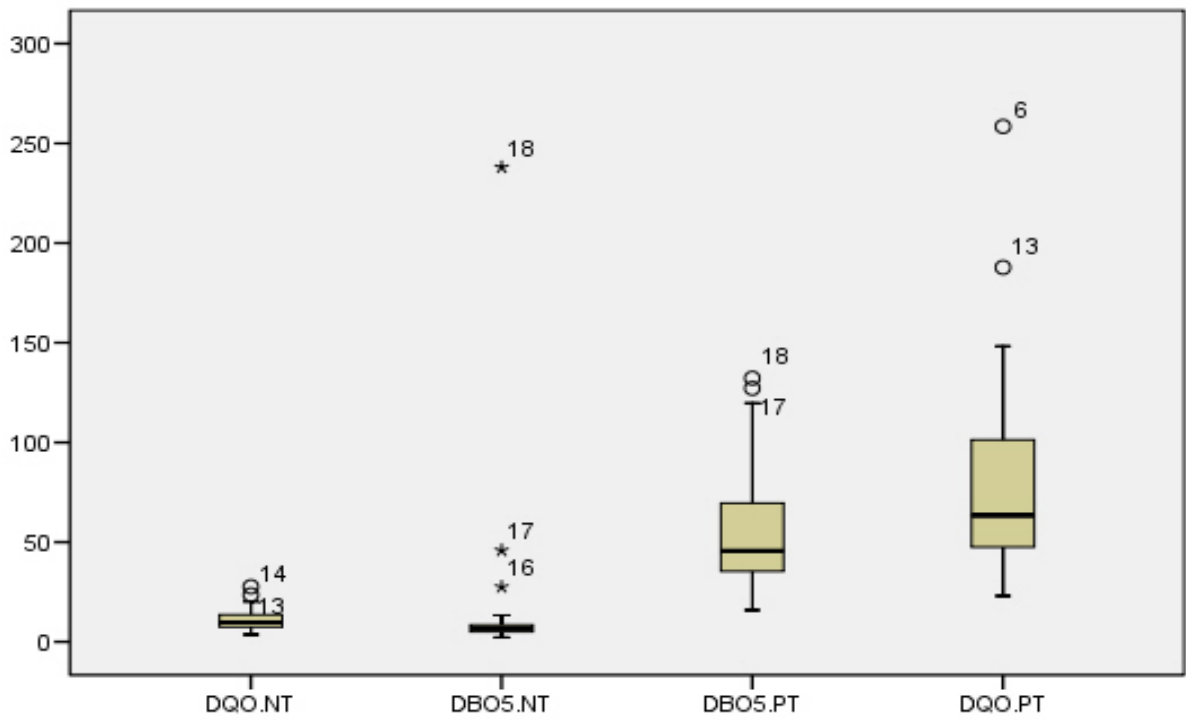


Figura A3. Diagramas de cajas para la determinación de valores atípicos en las relaciones propuestas tipo I y II. (3/4)

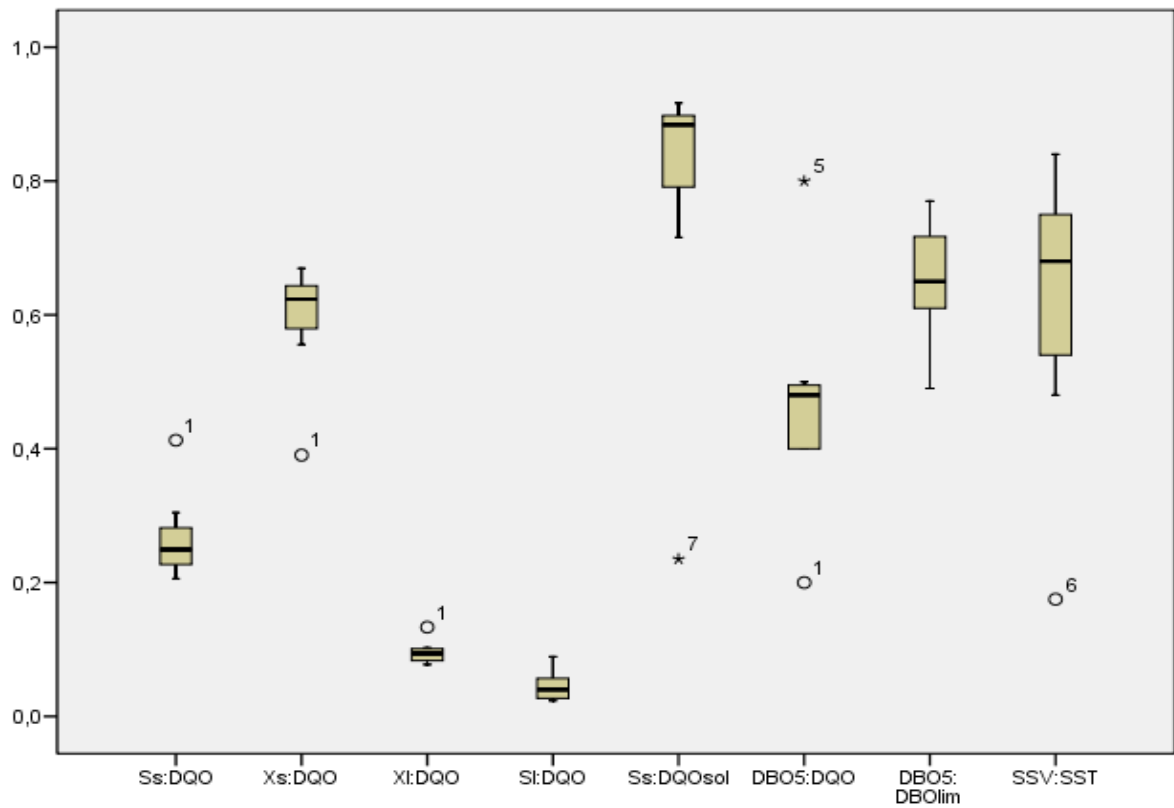
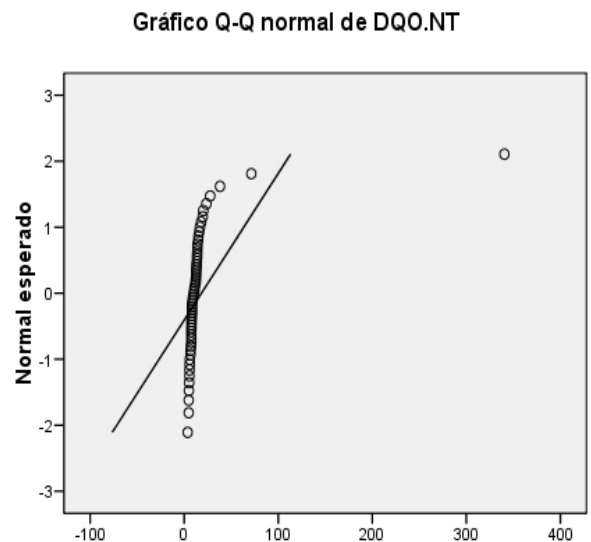
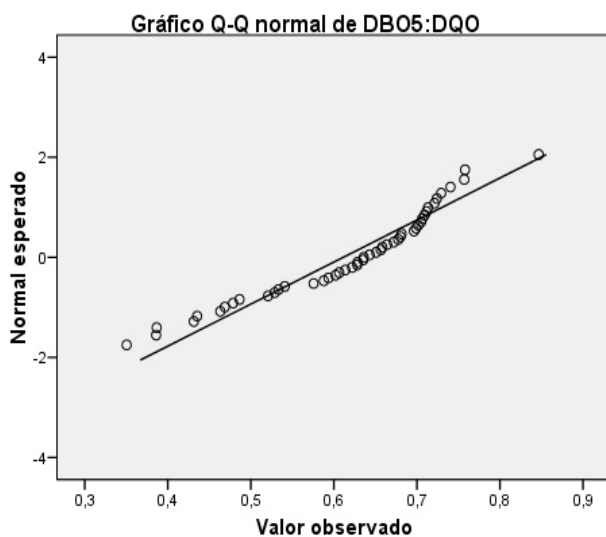
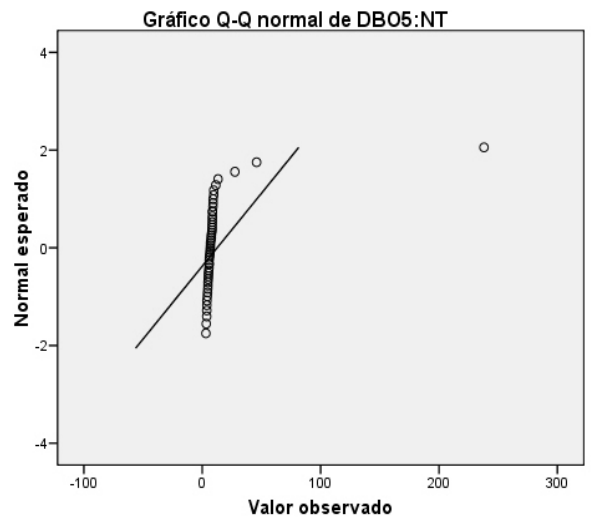
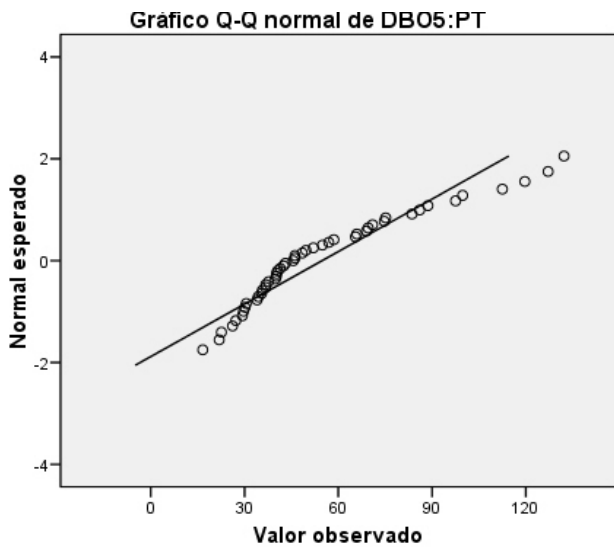
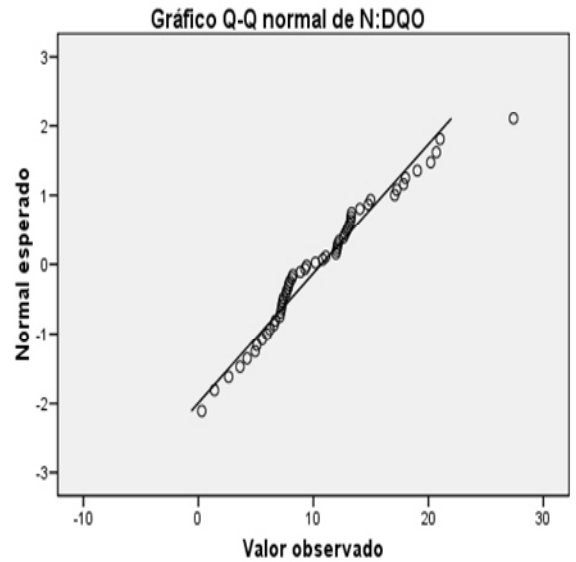
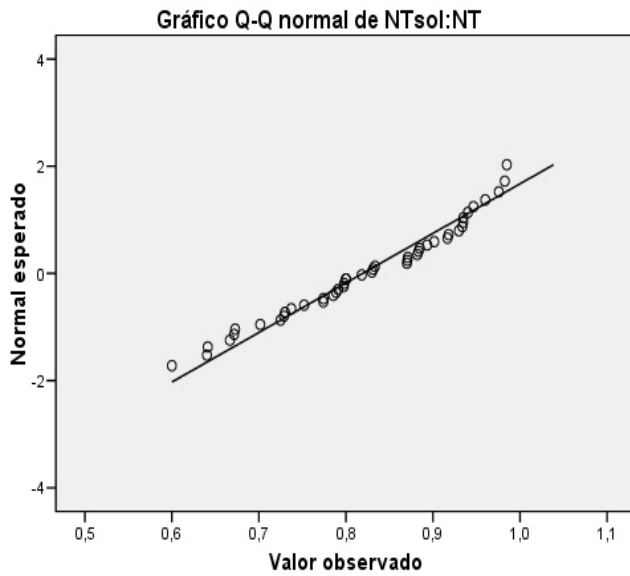


Figura A3. Diagramas de cajas para la determinación de valores atípicos en las relaciones propuestas tipo I y II. (4/4)

9.2 ANEXO 2. DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD Q-Q NORMALES.

Los diagramas de probabilidad mostrados a continuación son utilizados como herramientas gráficas, para determinar valores de las relaciones propuestas que no siguen una tendencia lineal típica de una distribución normal.



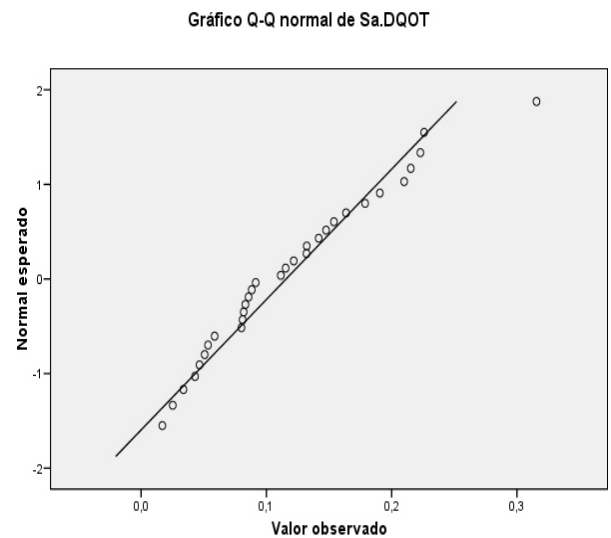
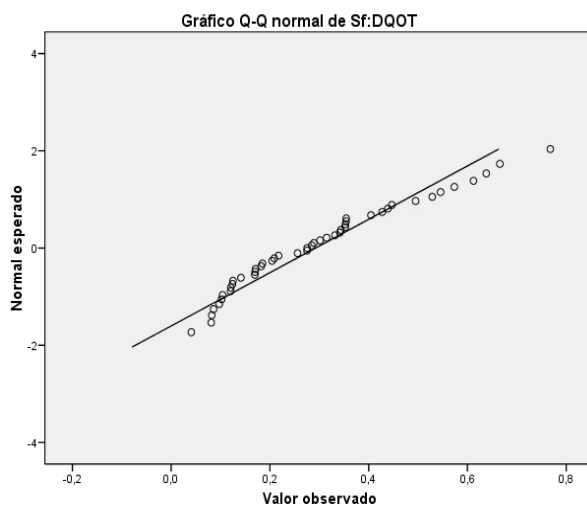
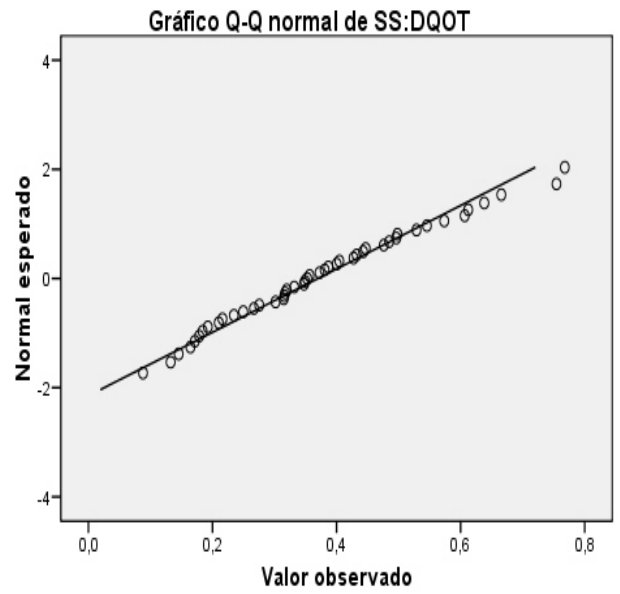
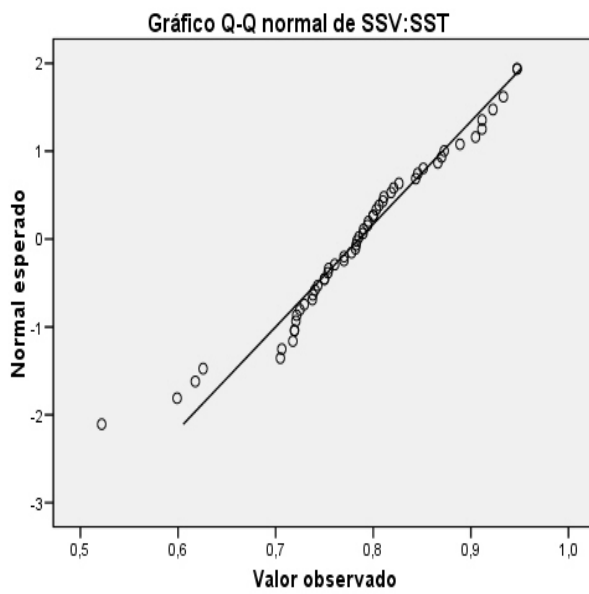
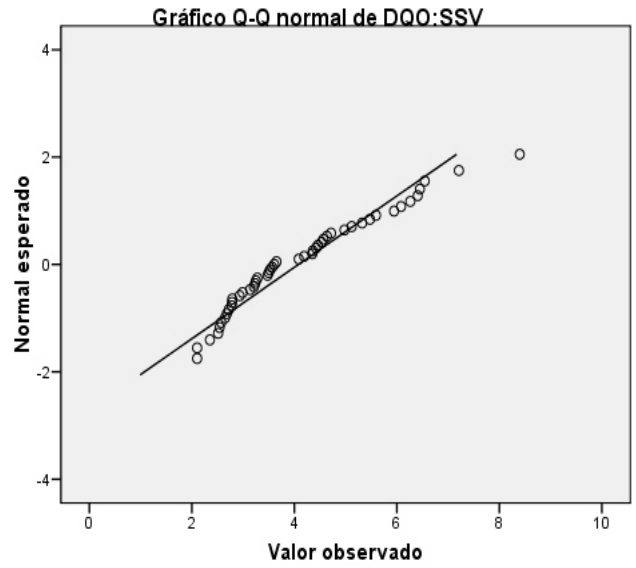
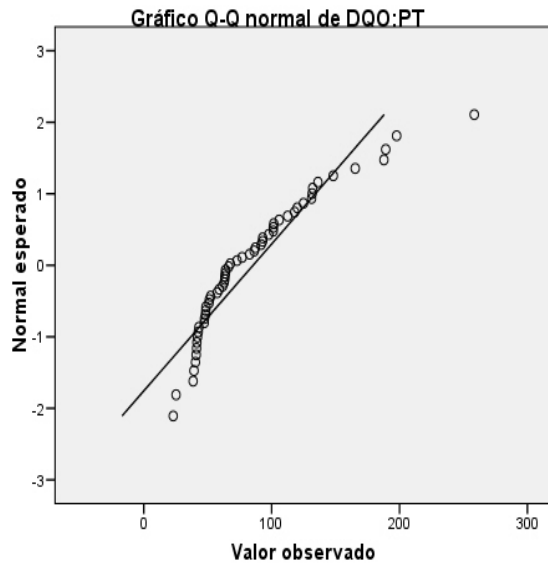


Gráfico Q-Q normal de Xs.DQOT

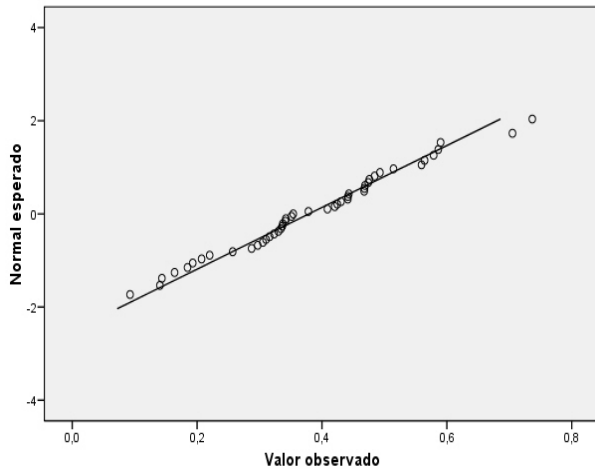


Gráfico Q-Q normal de Xi.DQOT

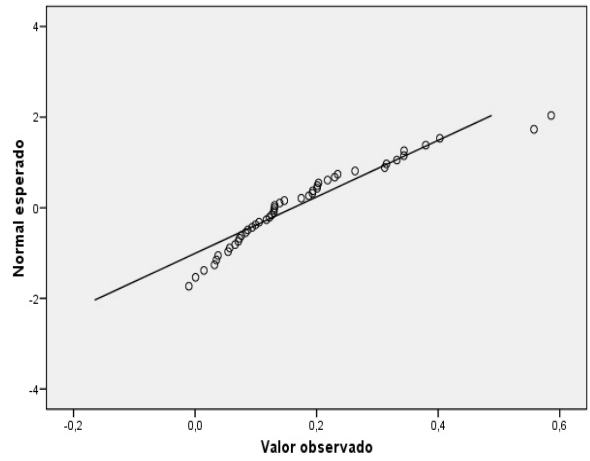
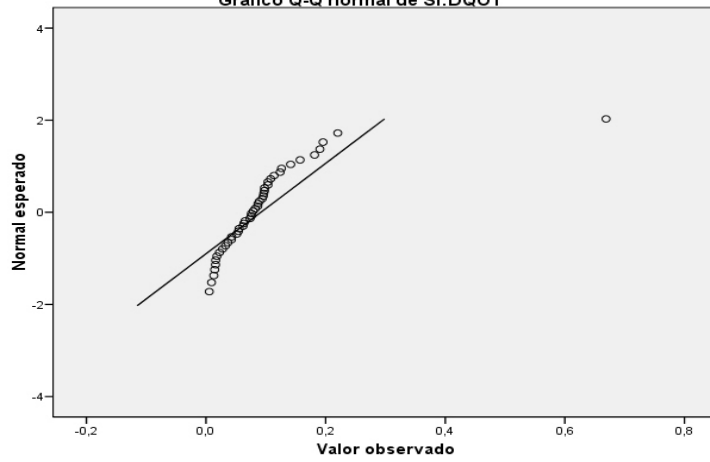
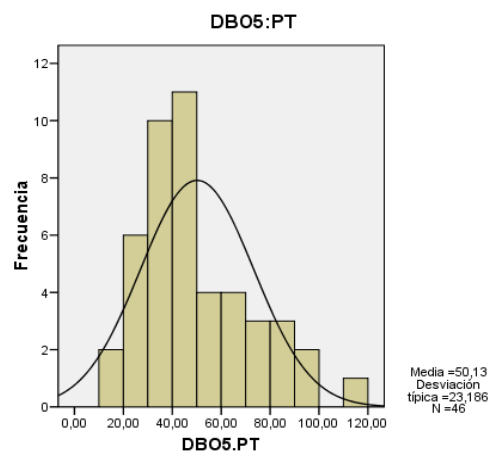
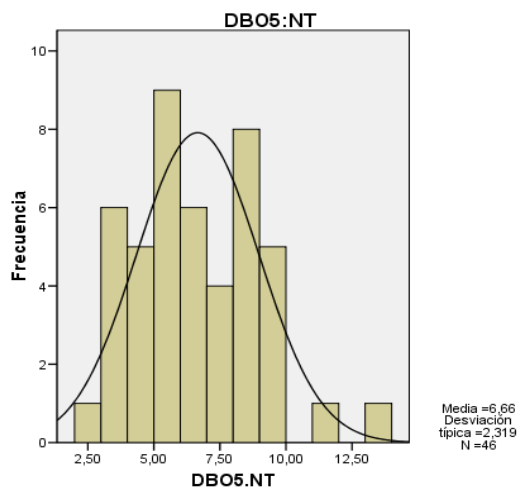
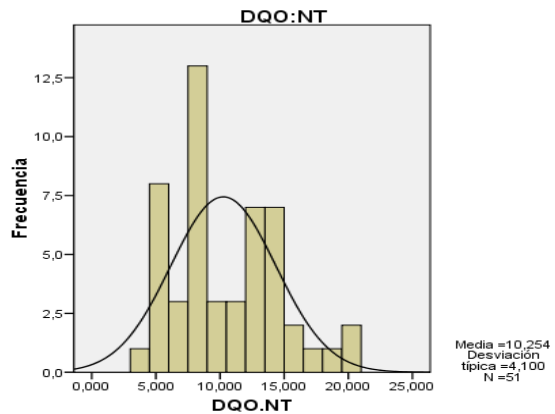
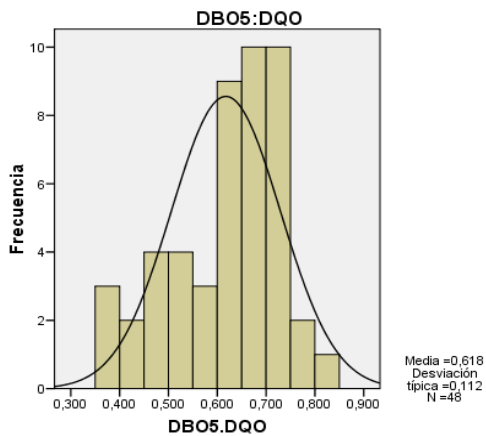
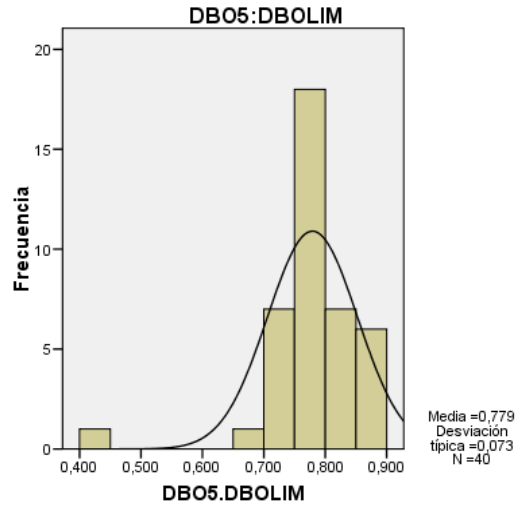
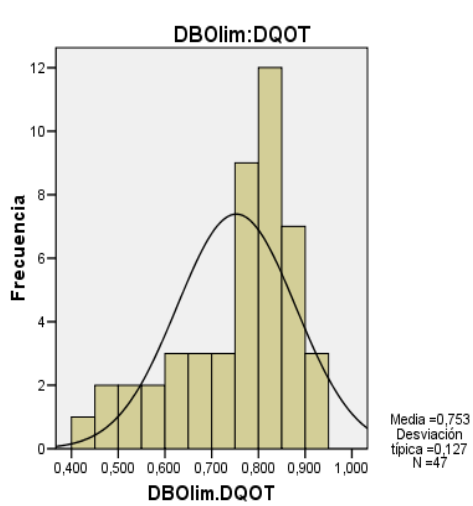


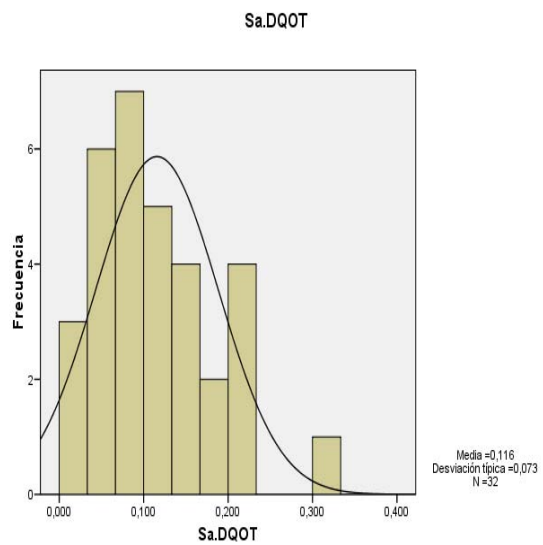
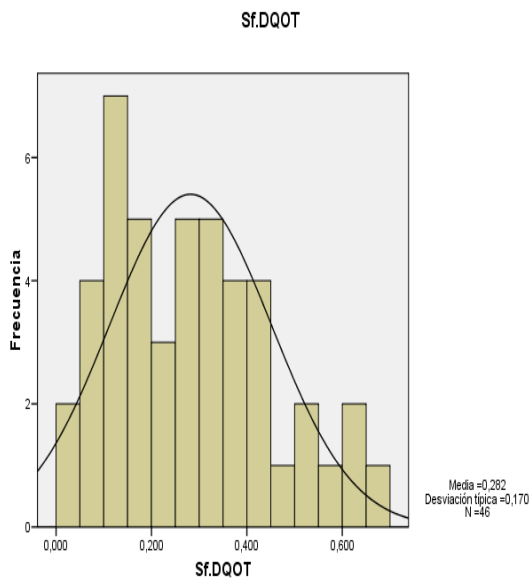
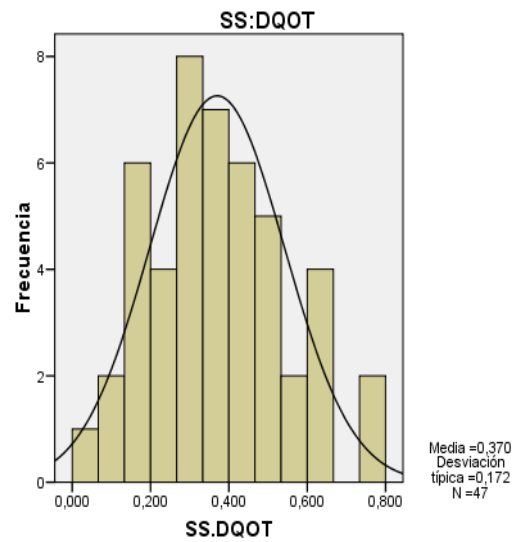
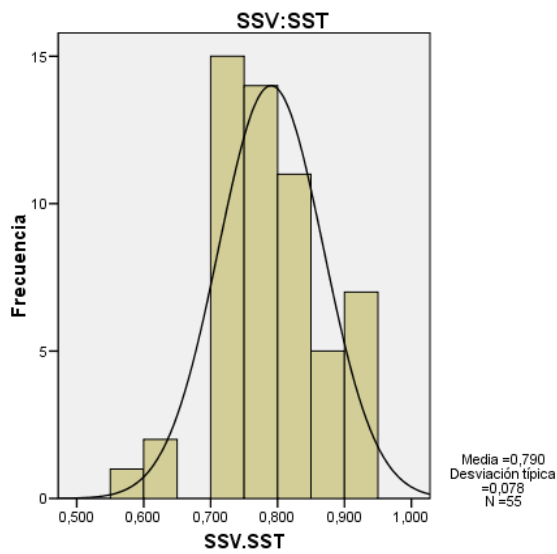
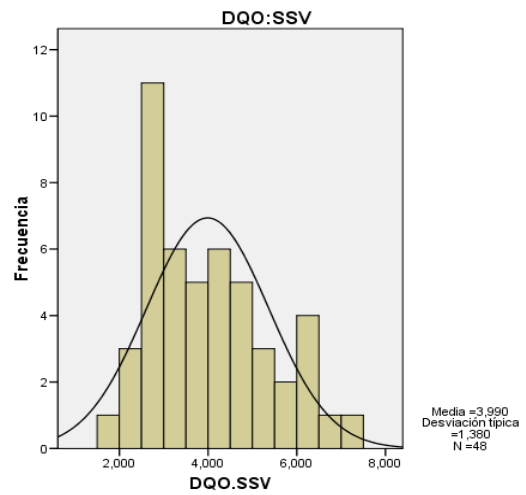
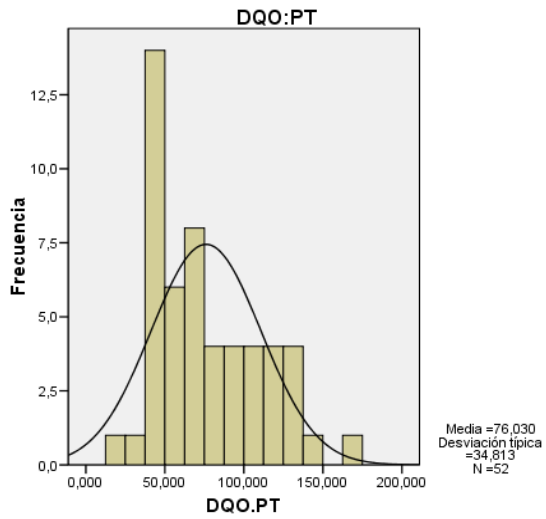
Gráfico Q-Q normal de Si.DQOT

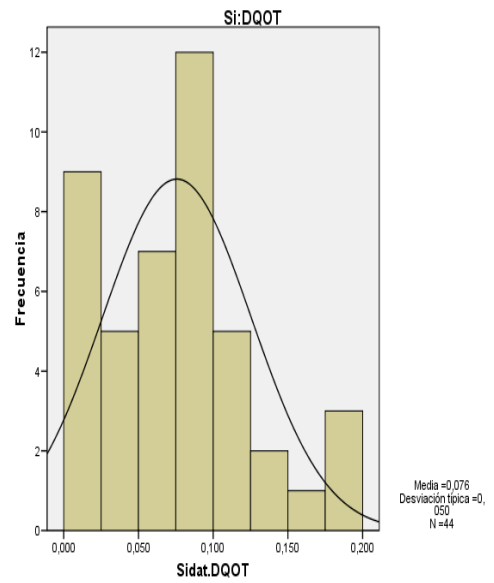
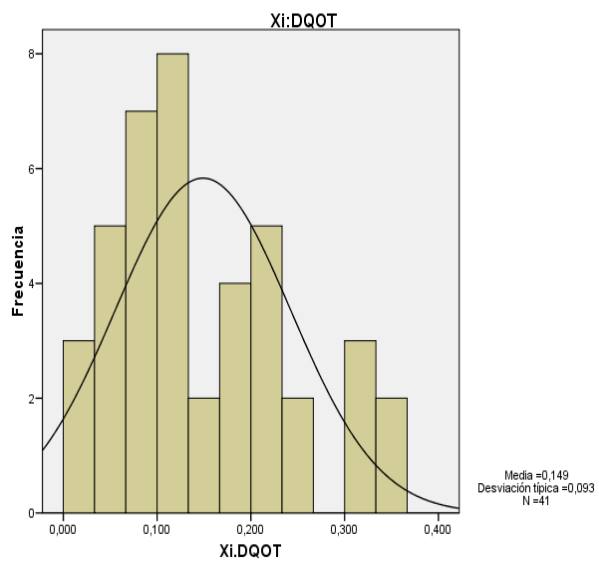
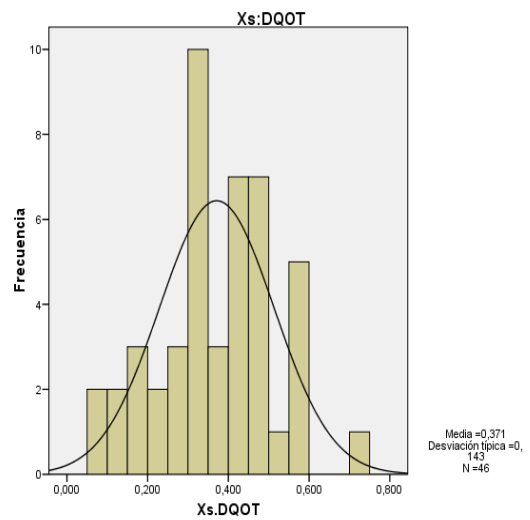
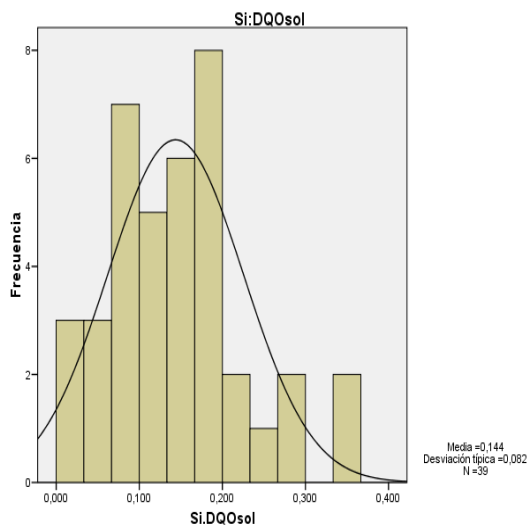
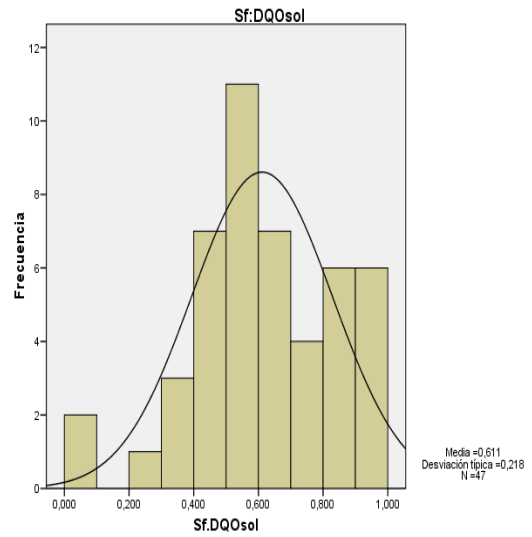
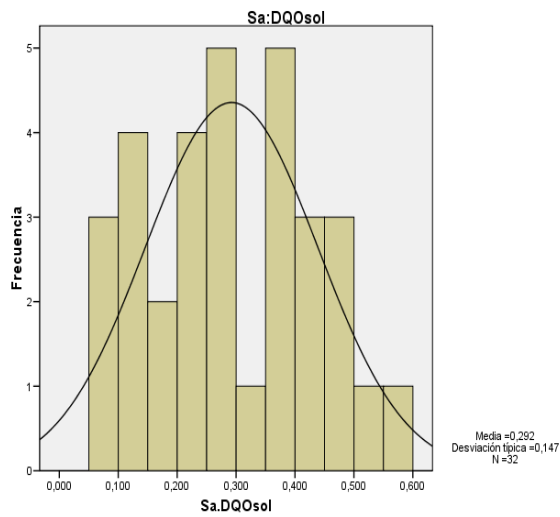


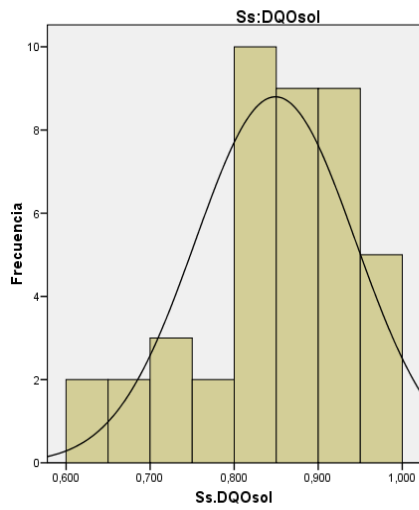
9.3 ANEXO 3. HISTOGRAMAS PRUEBAS DE NORMALIDAD

Los histogramas son utilizados como representaciones graficas para mostrar la frecuencia de los valores. En este estudio los histogramas representados corresponden a las relaciones propuestas donde se pueden observar la distribución normal de los datos para cada relación.

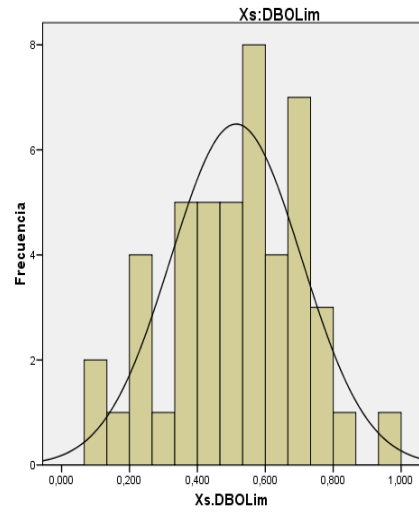




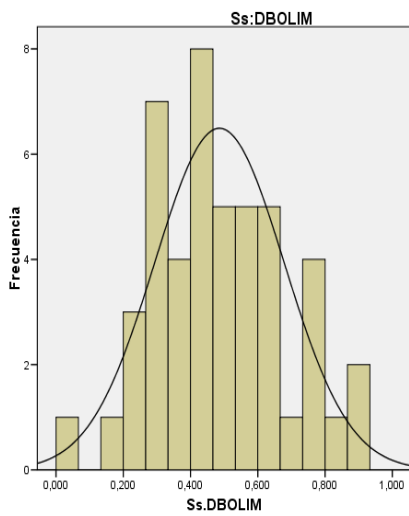




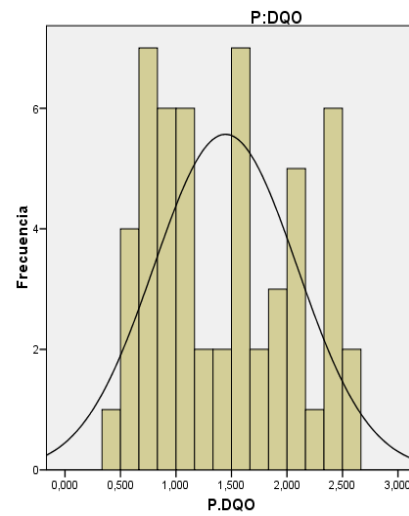
Media =0,849
Desviación típica =0,025
N =42



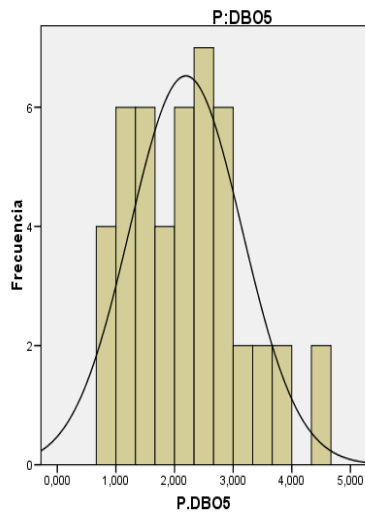
Media =0,514
Desviación típica =0,193
N =47



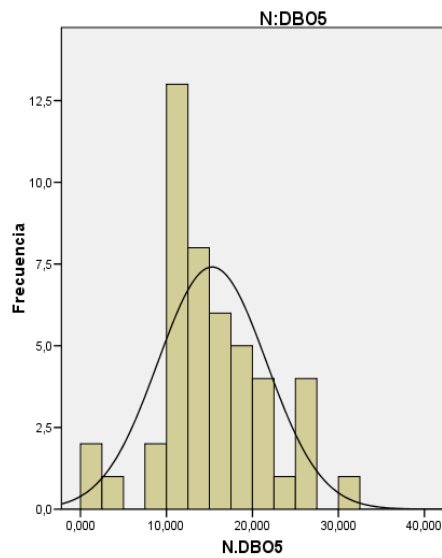
Media =0,486
Desviación típica =0,193
N =47



Media =1,446
Desviación típica =0,645
N =54

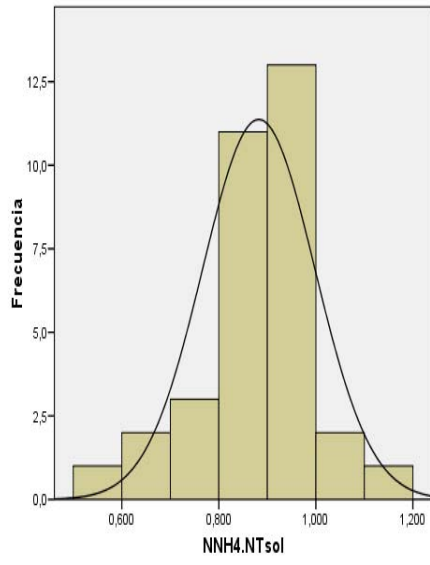


Media =2,193
Desviación típica =0,958
N =47



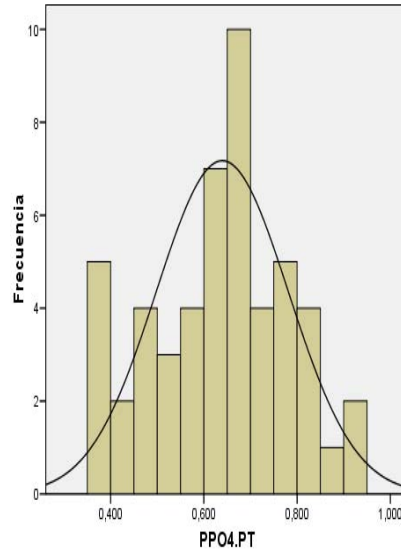
Media =15,317
Desviación típica =6,327
N =47

NNH4.NTsol



Media =0,862
Desviación típica =0,116
N =33

PP04.PT



Media =0,640
Desviación típica =0,142
N =51

9.4 ANEXO 4. PRUEBA T PARA LA COMPARACION ENTRE MEDIAS DE LAS RELACIONES PROPUESTAS

La prueba de Levene y la prueba T mostrada a continuación fueron utilizadas para determinar si existen diferencias significativas entre los valores medios para las categorías (Costera – Interior) y (Calagua - Bibliográficos) utilizadas en este estudio. Para determinar que no existe diferencia significativa entre las muestras los valores de la significancia mostrados en la tabla siguiente deben ser mayores que 0,05 (sig>0,05; sig Bilateral>0,05).

PRUEBA T

Relaciones tipo I		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
	Condición	F	Sig.	t	gl	Sig. bilateral	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		I	S	I	S	I	S	I	S	I
DBO _{LIM} : DQO	varianzas iguales	2,772	,103	-,325	45	,747	-,012358	,038083	-,089	,06434
	No varianzas iguales			-,343	44,566	,733	-,012358	,035988	,0359	,06014
DBO ₅ : DBO _{LIM}	varianzas iguales	1,225	,274	4,075	45	,000	,127663	,031325	,0645	,1907
	No varianzas iguales			3,380	7,295	,011	,127663	,037767	,0390	,2162
DBO ₅ : DQO	varianzas iguales	,006	,937	4,449	59	,000	,164475	,036971	,0904	,2384
	No varianzas iguales			3,901	16,356	,001	,164475	,042165	,0752	,2537
DQO: N	varianzas iguales	6,999	,010	-,152	61	,880	-,18811	1,2380	-2,66	2,2875
	No varianzas iguales			-,205	27,140	,839	-,18811	,918929	-2,07	1,6969
N: DBO ₅	varianzas iguales	,120	,730	-3,16	62	,002	-5,7831	1,8271	-9,43	-2,1307
	No varianzas iguales			-3,05	26,635	,005	-5,7831	1,8927	-9,66	-1,897
P: DBO ₅	varianzas iguales	11,25	,001	-6,46	59	,000	-2,5214	,389940	-3,30	-1,741

	No varianzas iguales			-4,46	14,728	,000	-2,5214	,56523	-3,72	-1,3147
DQO: P	varianzas iguales	15,25	,000	-5,62	50	,000	-44,1258	7,842231	-59,8	-28,37
	No varianzas iguales			-6,77	41,569	,000	-44,1258	6,509278	-57,2	-30,98
DQO: SSV	varianzas iguales	11,00	,002	5,501	61	,000	2,02896	,36886	1,291	2,7665
	No varianzas iguales			7,952	53,201	,000	2,02896	,2551	1,517	2,5406
SSV: SST	varianzas iguales	5,789	,019	3,699	74	,000	,100743	,027233	,0464	,1550
	No varianzas iguales			2,785	23,826	,010	,100743	,036173	,0260	,1754
DQO _{SOL} : DQO	varianzas iguales	13,90	,000	,911	54	,366	,04159	,04565	-,049	,13312
	No varianzas iguales			1,111	52,026	,272	,04159	,03744	-,033	,11672
DBO _{LIMSO} : DBO _{LIM}	varianzas iguales	8,412	,006	,883	46	,382	,04620	,05234	-,059	,15156
	No varianzas iguales			,983	45,375	,331	,04620	,04699	-,048	,14083
DBO _{SSOL} : DBO5	varianzas iguales	4,820	0.001	,955	47	,344	,04959	,05193	-,054	,15406
	No varianzas iguales		0.001	1,207	41,703	,234	,04959	,04109	-,033	,13254
PO ₄ ³⁻ : P	varianzas iguales	11,30	,001	1,393	53	,169	,075343	,054077	-,033	,18380
	No varianzas iguales			1,679	50,827	,099	,075343	,044866	-,014	,16542
NH ₄ ⁺ : NTsol	varianzas iguales	25,98	,000	-2,44	38	,019	-,183468	,074997	-,335	-,0316
	No varianzas iguales			-2,07	17,345	,053	-,183468	,088423	-,369	,00280
NTsol: N	varianzas iguales	6,118	,017	2,911	44	,006	,093392	,032081	,0287	,15804
	No varianzas iguales			3,648	42,043	,001	,093392	,025600	,0417	,14505

RELACIONES TIPO II										
S _s : DQO	varianzas iguales	14,15	,000	3,080	66	,003	,119403	,038771	,0419	,1968
	No varianzas iguales			4,188	64,108	,000	,119403	,028509	,0624	,1763
X _s : DQO	varianzas iguales	3,796	,056	-5,7	65	,000	-,1974	,034275	-,265	-,1289
	No varianzas iguales			-6,62	55,198	,000	-,19740	,029780	-,257	-,1377
X _i : DQO	varianzas iguales	1,950	,168	,727	57	,470	,019458	,026758	-,034	,0730
	No varianzas iguales			,716	31,360	,480	,019458	,027194	-,035	,0748
S _i : DQO	varianzas iguales	1,210	,276	1,294	60	,201	,016780	,012966	-,009	,0427
	No varianzas iguales			1,475	43,135	,147	,016780	,011376	-,006	,0397
S _s : DQO _{sol}	varianzas iguales	48,60	,000	4,136	51	,000	,214550	,051875	,1104	,3186
	No varianzas iguales			2,443	10,582	,033	,214550	,087823	,0203	,4087
S _F : DQO	varianzas iguales	5,295	,026	2,388	44	,021	,115520	,048382	,0180	,21302
	No varianzas iguales			2,557	43,907	,014	,115520	,045174	,0244	,20656
S _a : DQO	varianzas iguales	3,272	,080	-,869	30	,392	-,024888	,028625	-,083	,03357
	No varianzas iguales			-1,07	24,108	,294	-,024888	,023202	-,072	,02298
S _a : DQO _{sol}	varianzas iguales	3,634	,066	-1,86	30	,072	-,103225	,055448	-,216	,01001
	No varianzas iguales			-2,21	22,052	,037	-,103225	,046575	-,199	-,0066
S _F : DQO _{sol}	varianzas iguales	1,212	,277	2,848	45	,007	,171577	,060253	,0502	,29293
	No varianzas iguales			3,047	44,942	,004	,171577	,056314	,0581	,2850

TABLA A1. Prueba T de comparación de medias para las relaciones propuestas.
inferior, S: superior

I:

9.5 ANEXO5. PRUEBAS DE CORRELACION

Para la determinación de la correlación entre datos experimentales y componentes se han utilizado las pruebas de Pearson y Spearman, los datos obtenidos utilizando el software SPSS se muestran en las tablas siguientes para todos los datos y componentes utilizados en este estudio.

Prueba de correlación de Pearson entre datos experimentales y componentes

		DBO _{LIM}	DQO	DBO ₅	N	P	SSV	SST
DBO_{LIM} (mgO/l)	Pearson	1	,928**	,968**	,507**	,490**	,688**	,680**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	48	48	42	48	48	48	48
DQO (mgO/l)	Pearson	,928**	1	,890**	,569**	,555**	,854**	,851**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
DBO₅ (mgO/l)	Pearson	,968**	,890**	1	,497**	,450**	,605**	,597**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,001	,000	,000
	N	42	49	49	49	49	49	49
N (mgN/l)	Pearson	,507**	,569**	,497**	1	,735**	,552**	,528**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
P (mgP/l)	Pearson	,490**	,555**	,450**	,735**	1	,547**	,517**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,001	,000		,000	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
SSV (mg/l)	Pearson	,688**	,854**	,605**	,552**	,547**	1	,986**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
SST (mg/l)	Pearson	,680**	,851**	,597**	,528**	,517**	,986**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	48	56	49	56	56	56	56

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla A2. Prueba de correlación de Pearson para los datos experimentales y componentes.(1/3)

		DQO	DQO _{soL}	S _s	S _F	S _a	X _s	X _I	S _I
DQO (mgO/l)	Pearson	1	,736**	,669**	,321*	,745**	,880**	,413**	,358*
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,028	,000	,000	,004	,013
	N	56	56	47	47	32	47	47	47
DQO _{soL} (mgO/l)	Pearson	,738**	1	,955**	,741**	,880**	,495**	-,121	,413**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000	,417	,004
	N	56	56	47	47	32	47	47	47
S _s (mgO/l)	Pearson	,669**	,955**	1	,837**	,886**	,422**	-,090	,126
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000	,003	,549	,397
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
S _F (mgO/l)	Pearson	,321*	,741**	,837**	1	,497**	-,005	-,090	-,091
	Sig. (bilateral)	,028	,000	,000		,004	,974	,545	,544
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
S _a (mgO/l)	Pearson	,745**	,880**	,886**	,497**	1	,747**	-,315	,442*
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,004		,000	,085	,013
	N	32	32	31	31	32	31	31	31
X _s (mgO/l)	Pearson	,880**	,495**	,422**	-,005	,747**	1	,189	,361*
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,003	,974	,000		,203	,013
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
X _I (mgO/l)	Pearson	,413(**)	-,121	-,090	-,090	-,315	,189	1	-,131
	Sig. (bilateral)	,004	,417	,549	,545	,085	,203		,381
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
S _I (mgO/l)	Pearson	,358*	,413**	,126	-,091	,442*	,361*	-,131	1
	Sig. (bilateral)	,013	,004	,397	,544	,013	,013	,381	
	N	47	47	47	47	31	47	47	47

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla A3. Prueba de correlación de Pearson para los datos experimentales y componentes.
(2/3)

		DQO	DBO_{LIM}	Ss	Xs	N	P	NH₄⁺	PO₄³⁻	DBO₅
DQO (mgO/l)	Pearson	1	,928**	,669**	,880**	,569**	,555**	,334*	,474**	,890**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,000	,000	,019	,000	,000
	N	56	48	47	47	56	56	49	55	49
DBO_{LIM} (mgO/l)	Pearson	,928**	1	,796**	,885**	,507**	,490**	,349*	,446**	,968**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000	,015	,001	,000
	N	48	48	47	47	48	48	48	48	42
Ss (mgO/l)	Pearson	,669**	,796**	1	,422**	,237	,391**	,123	,290*	,695**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,003	,109	,007	,410	,048	,000
	N	47	47	47	47	47	47	47	47	41
Xs (mgO/l)	Pearson	,880**	,885**	,422**	1	,578**	,433**	,430**	,445**	,855**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,003		,000	,002	,003	,002	,000
	N	47	47	47	47	47	47	47	47	41
N (mgN/l)	Pearson	,569**	,507**	,237	,578**	1	,735**	,856**	,654**	,497**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,109	,000		,000	,000	,000	,000
	N	56	48	47	47	56	56	49	55	49
P (mgP/l)	Pearson	,555**	,490**	,391**	,433**	,735**	1	,464**	,913**	,450**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,007	,002	,000		,001	,000	,001
	N	56	48	47	47	56	56	49	55	49
NH₄⁺ (mgN/l)	Pearson	,334*	,349*	,123	,430**	,856**	,464**	1	,535**	,323*
	Sig. (bilateral)	,019	,015	,410	,003	,000	,001		,000	,037
	N	49	48	47	47	49	49	49	49	42
PO₄³⁻ (mgP/l)	Pearson	,474**	,446**	,290*	,445**	,654**	,913**	,535**	1	,395**
	Sig. (bilateral)	,000	,001	,048	,002	,000	,000	,000		,005
	N	55	48	47	47	55	55	49	55	48
DBO₅ (mgO/l)	Pearson	,890**	,968**	,695**	,855**	,497**	,450**	,323*	,395**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,001	,037	,005	
	N	49	42	41	41	49	49	42	48	49

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).
La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla A4. Prueba de correlación de Pearson para los datos experimentales y componentes.
(3/3)

Prueba de correlación de Spearman entre datos experimentales y componentes

		DBO_{LIM}	DQO	DBO₅	N	P	SSV	SST
DBO_{LIM} (mgO/l)	Spearman	1,000	,890**	,958**	,575**	,487**	,724**	,758**
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	48	48	42	48	48	48	48
DQO (mgO/l)	Spearman	,890**	1,000	,816**	,550**	,534**	,903**	,912**
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
DBO₅ (mgO/l)	Spearman	,958**	,816**	1,000	,586**	,413**	,589**	,625**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,003	,000	,000
	N	42	49	49	49	49	49	49
N (mgN/l)	Spearman	,575**	,550**	,586**	1,000	,752**	,483**	,471**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
P (mgP/l)	Spearman	,487**	,534**	,413**	,752**	1,000	,555**	,551**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,003	,000	.	,000	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
SSV (mg/l)	Spearman	,724**	,903**	,589**	,483**	,555**	1,000	,987**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000
	N	48	56	49	56	56	56	56
SST (mg/l)	Spearman	,758**	,912**	,625**	,471**	,551**	,987**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.
	N	48	56	49	56	56	56	56

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla A5. Prueba de correlación de Spearman para los datos experimentales y componentes.
(1/3)

		DQO	DQO _{SO_L}	S _s	S _F	S _a	X _s	X _i	S _i
DQO (mgO/l)	Spearman	1,000	,635**	,619**	,348*	,605**	,849**	,533**	,174
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,016	,000	,000	,000	,243
	N	56	56	47	47	32	47	47	47
DQO _{SO_L} (mgO/l)	Spearman	,635**	1,000	,929**	,763**	,780**	,375**	-,003	,481**
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,000	,009	,982	,001
	N	56	56	47	47	32	47	47	47
S _s (mgO/l)	Spearman	,619**	,929**	1,000	,848**	,880**	,333*	,046	,206
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,000	,022	,760	,164
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
S _F (mgO/l)	Spearman	,348*	,763**	,848**	1,000	,513**	,046	,080	,132
	Sig. (bilateral)	,016	,000	,000	.	,003	,759	,591	,376
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
S _a (mgO/l)	Spearman	,605**	,780**	,880**	,513**	1,000	,560**	-,165	,301
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,003	.	,001	,374	,100
	N	32	32	31	31	32	31	31	31
X _s (mgO/l)	Spearman	,849**	,375**	,333*	,046	,560**	1,000	,369*	,128
	Sig. (bilateral)	,000	,009	,022	,759	,001	.	,011	,393
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
X _i (mgO/l)	Spearman	,533**	-,003	,046	,080	-,165	,369*	1,000	-,191
	Sig. (bilateral)	,000	,982	,760	,591	,374	,011	.	,198
	N	47	47	47	47	31	47	47	47
S _i (mgO/l)	Spearman	,174	,481(**)	,206	,132	,301	,128	-,191	1,000
	Sig. (bilateral)	,243	,001	,164	,376	,100	,393	,198	.
	N	47	47	47	47	31	47	47	47

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla A6. Prueba de correlación de Spearman para los datos experimentales y componentes.
(2/3)

		DQO	DBO _{LIM}	Ss	Xs	N	P	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	DBO ₅
DQO (mgO/l)	Spearman	1,000	,890**	,619**	,849**	,550**	,534**	,307*	,528**	,816**
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,000	,000	,032	,000	,000
	N	56	48	47	47	56	56	49	55	49
DBO _{LIM} (mgO/l)	Spearman	,89**	1,000	,791**	,777**	,575**	,487**	,377**	,486**	,958**
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,000	,000	,008	,000	,000
	N	48	48	47	47	48	48	48	48	42
Ss (mgO/l)	Spearman	,619*	,791**	1,000	,333*	,465**	,378**	,353*	,349*	,681**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,022	,001	,009	,015	,016	,000
	N	47	47	47	47	47	47	47	47	41
Xs (mgO/l)	Spearman	,849*	,777**	,333*	1,000	,625**	,608**	,479**	,572**	,649**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,022	.	,000	,000	,001	,000	,000
	N	47	47	47	47	47	47	47	47	41
N (mgN/l)	Spearman	,55**	,575**	,465**	,625**	1,000	,752**	,812**	,749**	,586**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,001	,000	.	,000	,000	,000	,000
	N	56	48	47	47	56	56	49	55	49
P (mgP/l)	Spearman	,53**	,487**	,378**	,608**	,752**	1,000	,598**	,935**	,413**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,009	,000	,000	.	,000	,000	,003
	N	56	48	47	47	56	56	49	55	49
NH ₄ ⁺ (mgN/l)	Spearman	,307*	,377**	,353*	,479**	,812**	,598**	1,000	,590**	,345**
	Sig. (bilateral)	,032	,008	,015	,001	,000	,000	.	,000	,025
	N	49	48	47	47	49	49	49	49	42
PO ₄ ³⁻ (mgP/l)	Spearman	,528*	,486**	,34*	,572**	,749**	,935**	,590**	1,000	,47**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,016	,000	,000	,000	,000	.	,001
	N	55	48	47	47	55	55	49	55	48
DBO ₅ (mgO/l)	Spearman	,81**	,958**	,681**	,649**	,586**	,413**	,345*	,472**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,003	,025	,001	.
	N	49	42	41	41	49	49	42	48	49

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla A7. Prueba de correlación de Spearman para los datos experimentales y componentes. (3/3)

9.6 ANEXO 6. ANALISIS DE REGRESION LINEAL

En las siguientes tablas, se describe el ajuste entre los datos experimentales y componentes a una línea recta denominado regresión lineal, las relaciones que se muestran corresponden a aquellas cuyas pruebas de Pearson y Spearman presentaban un alto grado de correlación.

9.6.1 DQO: DBO_{LIM}

Variables introducidas/eliminadas (b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	DQO(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: DBO_{LIM}

Resumen del modelo (b)

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,928(a)	,861	,858	106,615661

a Variables redactoras: (Constante), DQO

b Variable dependiente: DBO_{LIM}

ANOVA (b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3240532,12	1	3240532,1	285,085	,000(a)
	Residual	522877,357	46	11366,899		
	Total	3763409,47	47			

a Variables redactoras: (Constante), DQO

b Variable dependiente: DBO_{LIM}

Coefficientes(a)

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		t		Sig.	
		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.			
1	(Constante)	-27,083	33,602		-,806		,424		
	DQO	,795	,047	,928	16,884		,000		

Estadísticos sobre los residuos(a)

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típ.	N
Valor pronosticado	82,60699	1268,536	477,2708	262,578544	48
Residuo bruto	-309,1864	215,5359	,000000	105,475353	48
Valor pronosticado tip.	-1,503	3,013	,000	1,000	48
Residuo tip.	-2,900	2,022	,000	,989	48

9.6.2 DBO₅: DBO_{LIM}

Variables introducidas/eliminadas (b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	DBOLIM(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: DBO₅

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,968(a)	,937	,935	52,062320

a Variables predictoras: (Constante), DBO_{LIM}

ANOVA (b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1610816,59	1	1610816,5	594,291	,000a
	Residual	108419,408	40	2710,485		
	Total	1719236,00	41			

a Variables predictoras: (Constante), DBO_{LIM}

b Variable dependiente: DBO₅

Coefficientes(a)

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		t	Sig.	Correlaciones		
		B	Error típ.	Beta	Orden cero			Parcial	Semiparcial	B
1	(Constante)	17,572	18,101		,971	,337				
	DBOLIM	,748	,031	,968	24,378	,000	,968	,968	,968	

a Variable dependiente: DBO₅

9.6.3 SSV: SST

Variables introducidas/eliminadas (b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	SST(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: SSV

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,986(a)	,972	,971	21,188943

a Variables predictoras: (Constante), SST

ANOVA(b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	826509,903	1	826509,903	1840,897	,000(a)
	Residual	24244,450	54	448,971		
	Total	850754,353	55			

a Variables predictoras: (Constante), SST

b Variable dependiente: SSV

Coefficientes(a)

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Error típ.	Beta	Orden cero	Parcial	Semiparcial	B	Error típ.
1	(Constante)	3,198	5,145		,622	,537			
	SST	,761	,018	,986	42,906	,000	,986	,986	,986

a Variable dependiente: SSV

9.6.4 DQO: SSV

Variables introducidas/eliminadas(b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	SSV(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: DQO

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,854(a)	,730	,725	173,805273

a Variables predictoras: (Constante), SSV

ANOVA (b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4404286,69	1	4404286,6	145,797	,000a
	Residual	1631246,73	54	30208,273		
	Total	6035533,42	55			

a Variables predictoras: (Constante), SSV

b Variable dependiente: DQO

Coefficientes(a)

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Error típ.	Beta	Orden cero	Parcial	Semiparcial	B	Error típ.
1	(Constante)	229,155	42,283		5,420	,000			
	SSV	2,275	,188	,854	12,075	,000	,854	,854	,854

a Variable dependiente: DQO

9.6.5 DQO: SST

Variables introducidas/eliminadas (b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	SST(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: DQO

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,851(a)	,724	,719	175,535568

a Variables redactoras: (Constante), SST

ANOVA (b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4371645,71	1	4371645,7	141,878	,000(a)
	Residual	1663887,71	54	30812,735		
	Total	6035533,42	55			

a Variables redactoras: (Constante), SST

b Variable dependiente: DQO

Coefficientes(a)

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Error típ.	Beta			Parcial	Semiparcial	B
1	Cte	231,90	42,622		5,441	,000			
	SST	1,750	,147	,851	11,911	,000	,851	,851	,851

a Variable dependiente: DQO

9.6.6 DQO_{sol}: Ss

Variables introducidas/eliminadas (b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Ss(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: DQO_{sol}

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,955(a)	,913	,911	47,7926108

a Variables reductoras: (Constante), Ss

ANOVA (b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1077353,068	1	1077353,068	471,668	,000(a)
	Residual	102786,014	45	2284,134		
	Total	1180139,083	46			

a Variables reductoras: (Constante), Ss

b Variable dependiente: DQO_{sol}

Coefficientes(a)

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Error típ.	Beta	Orden cero	Parcial	Semiparcial	B	Error típ.
1	Cte	38,223	12,865		2,971	,005			
	Ss	1,041	,048	,955	21,718	,000	,955	,955	,955

a Variable dependiente: DQO_{sol}

9.6.7 PO₄³⁻: P

Variables introducidas/eliminadas (b)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	P(a)	.	Introducir

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: PO₄³⁻

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,913(a)	,833	,830	1,439736

a Variables predictoras: (Constante), P

ANOVA (b)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	547,393	1	547,393	264,079	,000(a)
	Residual	109,860	53	2,073		
	Total	657,253	54			

a Variables predictoras: (Constante), P

b Variable dependiente: PO₄³⁻

Coefficientes(a)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Correlaciones		
		B	Error típ.	Beta	Orden cero	Parcial	Semiparcial	B	Error típ.
1	Cte	,228	,378		,604	,548			
	P	,593	,036	,913	16,251	,000	,913	,913	,913

a Variable dependiente: PO₄³⁻

9.7 ANEXO 7. Comparación entre resultados y datos bibliográficos

Parámetros convencionales (mg/l)						
DQO	DBO ₅	SST	SSV	N	P	Autor
500	-	252	217	-	6,4	(pretorius,1971)
288	163	118	98	-	3	(Kobayashi y col., 1983)
627	357	376	297	54	9,9	(Barbosa y Sant´, 1989)
475	325	190	155	30	25	(Sanz y fdz- Polanco, 1990)
160	480	285	230	43	44	(Sanz & Polanco, 1990)
585	-	321	238	88	10,3	(Garuti y col., 1992)
-	259	-	-	-	5,9	(Andreadakis, 1992)
-	226	-	-	-	5,65	(Andreadakis, 1992)
-	198	-	-	-	4,95	(Andreadakis, 1992)
500	200	150	75	55	-	(Chudoba y Pannier, 1994)
635	201	356	249	43	-	(Eliosov y Argaman, 1995)
416	149	155	67	57,4	9,3	(Jiménez y Chávez ,1996)
410	180	210	195	43	7,2	(Orhon y col.,1996)
655	430	242	187	59,6	8,83	Este Estudio

Tabla A8. Comparación de valores medios entre datos bibliográficos y experimentales.

Fracciones típicas según el grupo de modelación matemática en aguas residuales IWA (Henze y col.,2000)		Este Estudio
Símbolo	% total de la DQO	% total de la DQO
S_F	10-20%	28%
S_a	2-10%	12%
S_i	5-10%	14%
X_i	10-15%	15%
X_s	30-60%	37%
X_H	5-15%	-
X_{PAO}	0-1%	-
X_{PHA}	0-1%	-
X_{AUT}	0-1%	-

Tabla A9. Fracciones típicas según la IWA para los componentes del modelo.

Referencia bibliográfica	Componentes del modelo				
	S _i (%)	S _s (%)	X _s (%)	X _I (%)	X _H (%)
Ekama y Marais, 1986	5	20	62		13
Henze y col., 1987	11	32	45		11
Henze y col., 1987	9	29	43		20
Henze y col., 1987	8	24	49		19
Henze y col., 1992	2	20	40	20	18
Gujer y Kappeler, 1992	20	11	53	7	9
Gujer y Kappeler, 1992	10	7	60	15	8
Gujer y Kappeler, 1992	12	8	55	15	10
Orhon y col., 1997	4	9	77		10
Orhon y col., 2002	2	26	62	10	-
Gross, 2005	4	21	67	8	-
Gross, 2005	7	30	48	15	-
Gross, 2005	4	28	61	7	-
Gross, 2005	5	19	63	13	-
Orhon y col., 2002	4	30	55	10	-
Petersen y col., 2002	12	16	22	50	-
Este Estudio	14	37	37	15	-

Tabla A10. Fracciones típicas de los componentes del modelo citados por diferentes autores y comparados con los resultados de este estudio.

Índice de Biodegradabilidad para Agua Residual Urbana		
Referencia bibliográfica	DBO ₅ : DQO	Intervalo
Ferrer y Seco, 1997	0,2	<0,2
Ferrer y Seco, 1997	0,4	0,2-0,4
Ferrer y Seco, 1997	0,4	>0,4
Orhon y col., 1999	0,5	0,4-0,5
Rozano y Dapena, 1995	0,8	0,4-0,8
Orhon y col., 1996	0,49	0,41-0,63
Orhon y Cokgor, 1997	0,48	0,42-0,57
Orhon y col., 1998	0,45	0,18-0,55
Orhon y col., 1999	0,47	0,18-0,63
Orhon y col., 2000	0,26	0,138-0,37
Orhon y col., 2001	0,44	0,16-0,7
Orhon y col., 2002	0,44	0,39-0,54
Eliosov y Argaman, 1995	0,51	
Este Estudio	0.61	0,5 – 0,72

Tabla A11. Índice de biodegradabilidad

Referencia bibliográfica	DBO ₅ : DBO _{LIM}	Intervalo
Rozano y Dapena,1995	0,65	
Rozano y Dapena,1995	0,684	
Rozano y Dapena,1995	0,62	0,52-0,62
Orhon y col.,1996	0,49	0,3-0,7
Ramalho y col.,1996	0,77	
Ramalho y col.,1996	0,75	0,75-0,85
Henze y col., 1996	0,6	0,6-0,7
Este estudio	0.779	0,70-0,85

Tabla A12. Valores bibliográficos para la relación DBO₅: DBO_{LIM}.

Henze y col., 1996				
Parámetro	BAJA	TIPICA	ALTA	Este Estudio
DQO : DBO _{LIM}	1,5 -2	2 -2,5	2,5 - 3,5	1,2 - 1,44
DQO: N	6 - 8	8 -12	12 - 16	6,3 - 14,3
DQO: P	20 - 35	35 - 45	45 - 60	41,3 - 110
DBO: N	3 - 4	4 - 6	6 - 8	4,6 - 8,9
DBO: P	10 -15	15 - 20	20 - 30	27,1 - 73,1
DQO: SSV	1,2 - 1,4	1,4 - 1,6	1,6 - 2,0	2,6 - 5,4
SSV: SST	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 0,9	0,71 -0,86

Tabla A13. Valores propuestos por Henze para las relaciones propuestas.

RELACION DE NUTRIENTES DBO ₅ : N y DBO ₅ :P				
Referencia Bibliográfica	N:DBO ₅	Intervalo	P:DBO ₅	Intervalo
Metcalf y Eddy ,1995	0,225		0,06	
Ekama y Marais,1986	0,14	0,14-0,2	0,03	0,03-0,05
EPA	0,25		0,05	
Metcalf y Eddy ,1995	0,2	0,2-0,28	0,05	0,05-0,07
Metcalf y Eddy ,1995	0,21	0,21-0,25	0,044	0,037-0,044
Gujer y Kappeler, 1992			0,04	
Orhon y col.,1996	0,22	0,166-0,322		
Orhon y col.,1996	0,238	0,172-0,383		
Orhon y col.,1996	0,232	0,19-0,264		
Orhon y col.,1996	0,217	0,163-0,32		
Kobayashi y col .,1983			0,018	
Barbosa y Sant´, 1989	0,151		0,027	

Sanz y Polanco, 1990	0,089		0,091	
Andreadakis, 1992			0,022	
Chudoba y Pannier, 1994	0,275			
Eliosov y Argaman, 1995	0,21			
Jiménez y Chávez ,1996	0,38		0,062	
Orhon y Cokgor ,1997	0,238		0,04	
Este Estudio	0.15	0.089 – 0.21	0.021	0,012 – 0,031

TABLA A14. Comparación de datos para la relaciones entre la DBO₅ y los nutrientes (N, P).

RELACION DE NUTRIENTES DQO: N		
Referencia bibliográfica	DQO:N	Intervalo
Orhon y cokgor, 1997	9	6,3 -31,8
Orhon y col.,1998	9,8	7,2 -15,4
Orhon y col., 1996	9	7,78 -10,3
Orhon y col., 1996	9,2	6,3-31,8
Orhon y col., 2001	10,5	6,85 -21
Orhon y col.,2002	9,8	6,67 -14,4
Barbosa y Sant`, 1989	11,61	
Sanz y Polanco, 1990	15,83	
Chudoba y Pannier, 1994	9,09	
Eliosov y Argaman, 1995	14,7	
Chávez-mejia y Cisneros 1996	7,24	
Orhon y cokgor ,1997	9,53	
Este Estudio	10.25	6,25 – 14,25

Referencia Bibliográfica	SSV:SST	Intervalo
Henze y col.,1996	0,6	0,6-0,8
Orhon y cokgor, 1997	0,68	0,32-0,93
Orhon y cokgor, 1997	0,8	0,75-0,9
Orhon y cokgor, 1997	0,48	0,48-0,5
Orhon y cokgor, 1997	0,7	0,32-0,93
Orhon y cokgor, 1997	0,175	0,15-0,19
Orhon y cokgor, 1997	0,84	0,68-0,91
Orhon y cokgor, 1997	0,74	0,86-0,9
Ashland .,1994	0,9	
Orhon y col .,2001	0,69	
Orhon y col., 2002	0,62	
Ekama y col.,2007	0,861	
García, Mª, 2002	0,65	0,65-0,87
Orhon y col., 2004	0,69	0,69-0,72
Orhon y col .,2001	0,84	
Petersen y col., 2002	0,7	
Ekama y col.,2007	0,71	0,62-0,71
IWA (Henze y col.,2000)	0,75	
Orhon y col .,1997	0,51	
Este Estudio	0.79	0,71-0,86

TABLA A15. Datos bibliográficos SSV: SST.

Referencia bibliográfica	DQO : SSV	Intervalo
Henze y col., 1996	1,4	1,4-1,6
Orhon y col., 1998	1,42	
Ashland 1994	2,36	
Orhon y col., 2001	2,82	
Orhon y col., 2002	2,83	
Orhon y cokgor, 1997	2,72	
Orhon y cokgor, 1997	2,82	
Ekama y col.,2007	1,510	
Orhon y col.,2004	1,04	1,04-1,19
Orhon y col., 2001	1,89	
Petersen y col., 2002	1,98	
IWA (Henze y col.,2000)	1,6	1,6-1,8
Ekama y Marais, 1976	1,48	1,43-1,48
Este Estudio	3,98	2,6 – 5,4

TABLA A15. Datos bibliográficos para la relación DQO: SSV

9.8 ANEXO 8.

Componentes del modelo ASM1, ASM2 y Asm2d

ASM1		
componentes	Descripción	Procesos biológicos (8)
S _s	Materia orgánica rápidamente biodegradable	crecimiento aerobio X _H
S _i	Materia orgánica inerte soluble	crecimiento anòxico X _H
X _s	Materia orgánica lentamente biodegradable	crecimiento aerobio AUT
X _i	Materia orgánica particulada inerte	lisis X _{BH}
S _{ND}	Nitrógeno orgánico soluble	lisis X _{BA}
S _{NH4}	Amonio	Amonificación
X _{ND}	Nitrógeno orgánico particulado	hidrólisis X _S
S _{NI}	Nitrógeno orgánico soluble inerte	hidrólisis SND
S _{NO}	Nitritos y nitratos	
X _P	Materia orgánica particulada inerte	
X _{BH}	Biomasa heterótrofa	
X _{BA}	Biomasa autotrofo	
S _{ALK}	Alcalinidad	

ASM2		
componentes	Descripción	Procesos biológicos (19)
S _{O2}	Oxígeno disuelto	crecimiento de X _H a partir de S _F
S _F	Sustrato rápidamente biodegradable	crecimiento de X _H a partir de S _a
S _a	Productos de fermentación	desnitrificación utilizando S _F
S _{NH4}	Amonio	desnitrificación de X _H mediante S _a
S _{NO3}	Nitritos	desnitrificación de X _H mediante S _F
S _{PO4}	Fosfatos	fermentación por X _H
S _i	Materia orgánica soluble inerte	almacenamiento de X _{PP}
S _{ALK}	Alcalinidad	almacenamiento de X _{PHA}
S _{N2}	Nitrógeno orgánico	crecimiento aerobio X _{PAO}
X _i	Materia orgánica particulada inerte	lisis de X _{PAO}
X _s	Materia orgánica lentamente biodegradable	lisis de X _{PP}
X _H	Biomasa heterótrofa	lisis de X _{PHA}
X _{PAO}	Biomasa acumuladora de fósforo	crecimiento de X _A
X _{PP}	Poli fosfato	lisis de X _A
X _{PHA}		precipitación de P
X _{AUT}	Biomasa autótrofa	redisolución de P
X _{SST}	Sólidos totales	hidrólisis aerobia
X _{MEOH}		hidrólisis anoxica
X _{MEP}		hidrólisis anaerobia

Asm2d		
componentes	Descripción	Procesos biológicos (21)
S_{O_2}	Oxígeno disuelto	crecimiento de X_H a partir de S_F
S_F	Sustrato rápidamente biodegradable	crecimiento de X_H a partir de S_a
S_a	Productos de fermentación	desnitrificación utilizando S_F
S_{NH_4}	Amonio	desnitrificación de X_H mediante S_a
S_{NO_3}	Nitritos	desnitrificación de X_H mediante S_F
S_{PO_4}	Fosfatos	fermentación por X_H
S_I	Materia orgánica soluble inerte	almacenamiento aerobio de X_{PP}
S_{ALK}	Alcalinidad	almacenamiento anoxico de X_{PP}
S_{N_2}	Nitrógeno orgánico	crecimiento aerobio X_{PAO}
X_I	Materia orgánica particulada inerte	lisis de X_{PAO}
X_S	Materia orgánica lentamente biodegradable	lisis de X_{PP}
X_H	Biomasa heterótrofa	lisis de X_{PHA}
X_{PAO}	Biomasa acumuladora de fósforo	crecimiento de X_A
X_{PP}	Poli fosfato	lisis de X_A
X_{PHA}		precipitación de P
X_{AUT}	Biomasa autótrofa	redisolución de P
X_{SST}	Sólidos totales	hidrólisis aerobia
X_{MEOH}		hidrólisis anoxica
X_{MEP}		hidrólisis anaerobia
		crecimiento aerobio de X_{PHA}
		crecimiento anoxico de X_{PP}

9.9 ANEXO 9.

Coordenadas UTM depuradoras de la Comunidad Valenciana.

DEPURADORA	CATEGORIA	PROVINCIA	ZONA	X	Y	Z
Abaran	Interior	Murcia	Abaran	641209	4229133	50
Alcantarilla	Interior	Murcia	Alcantarilla	654729	4199300	50
Alcoi	Interior	Valencia	Alcoy	722242	4288580	450
Alfondeguilla	Costera	Castellón	Alfondenguilla	738572	4410206	68
B-alborache	Interior	Valencia	Buñol	692793	4362662	284
C. del carraixet	Costera	Valencia	Alboraya	729360	4375866	3
Canals	Interior	Valencia	Canals	710171	4315518	147
Cincotorres	Interior	Castellón	Cincotorres	736140	4496177	886
E-Alogoros	Costera	Alicante	Elche	701047	4235520	63
Elda	Interior	Alicante	Elda	691912	4258443	328
Figueroles	Interior	Castellón	Figueroles	735581	4444296	332
Forcall	Interior	Castellón	Forcall	737304	4503686	700
IBI	Interior	Valencia	Ibi	709257	4275107	633
Ont-agullent	Interior	Valencia	Ontinyet	709150	4301470	315
Orihuela	Costera	Valencia	Orihuela	681236	4217263	23
Pinedo	Costera	Valencia	Pinedo	728618	4368262	5
Rincón de león	Interior	Alicante	R. de león	716583	4246189	17
S. Engarceran	Interior	Castellón	S. engarceran	753573	4462324	710
Sagunto	Costera	Valencia	Sagunto	737048	4393406	10
V. Alcolea	Interior	Castellón	V. de alcolea	761277	4457660	318
Villa real	Costera	Valencia	Villarreal	746747	4423766	39
Vistabella	Interior	Castellón	V. Maestrazgo	730333	4463716	1131

9.10 ANEXO 10.

Valores medios obtenidos para los datos experimentales de las depuradoras utilizadas en este estudio

Depuradora		N	PARAMETROS mg/l								
			DQO	DBO5	NT	NO3	NH4	PT	PO4	SST	SSV
Abaran	Rango	6	628-847	276-451	49-61	0	33,76-44,94	6-9,3	5,0 - 7,0	322-538	168-380
	Media		724,5	383	54	0	39,78	8	6	392	282
Alcantarilla	Rango	7	1030-1630	501-1073	75-134	0,2-0,8	51-80	9,8-16,4	6,8-10,9	366-624	272-494
	Media		1170	777	82	<0,8	61	13,2	8,6	476	362
Alcoi	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Valor		551	298	39,1	0	30,7	4,2	1,6	110	86
Alfondenguilla	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		1279	870	104	-	-	20,2	9,09	397	317,6
Buiol alborache	Rango	3	529-692	383-476	2,5-14	0	0,2-1,8	3,2-3,6	0,2-0,6	102-217	63-130
	Media		681	445	8,53	0	1	3,5	0,3	179	112
Canals	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		827	360	49,4	0,2	32,3	3,2	0,4	404	298
Cincotorres	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		1275	680	179	-	-	25	9,75	605	453,75
Cuenca Carraixet	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		290	151	49,5	0	32,4	6,9	4,5	115	97
Elche algorros	Rango	3	764-1012	365-578	69-73	-	21,2-26,8	15,2-20,2	9,5-13,5	335-431	343-260
	Media		879,6	467,6	71,6	0,2	24,7	17,9	11,5	383,6	303
Elda	Rango	4	582-668	411-485	69-85	-	59-63,9	6,03-8,77	3,01-7,01	117-141	96-126
	Media		625,5	448	77,6	0,2	61,9	7,05	5,1	129	111
Figueroles	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		722	470	55	-	-	5,3	2,5	229	176,3
Forcall	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Media		539	380	50	-	-	5,8	-	200	158
Ibi	Rango	3	310-440	202-322	49,3-61,3	-	38,2-46,2	4,86-8,86	2,01-5,9	67-89	55-85
	Media		375	262	55,3	-	42,2	6,86	4	78,6	70
Ontiyent agullen	Rango	4	599-919	264-330	30,17-38,17	0,3-6,3	21,18	4,9-6,54	1,61-4,79	258-360	210-314
	Media		759,5	297,5	34,17	3,3	19,42	5,72	3,2	309,5	262,5
Orihuela	Rango	3	371-529	265,9-318	53,4-58,6	-	43,6-69,6	7,05-8,15	4,85-5,95	69,6-127,6	51-93
	Media		450,3	292,6	56	-	56,6	7,6	5,4	98,6	72
Pinedo	Rango	10	146-368	175-287	25,7-51,7	-	17,92-3352	4,43-6,44	2,9-4,1	49-119	44-99
	Media		257,8	231	38,7	<0,2	25,72	5,44	3,5	87,1	70,3
Rincon de leon	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		694	436	83	0	68,4	27,5	18,7	171	152
Sagunto	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		377	217	48,6	0	41,4	9,6	6,6	136	115
Sierra engarceran	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		738	500	97	0	-	14,1	9,16	198	158
Villanova alcolea	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		361	255	65	-	-	8,7	3,48	117	101
Villa Real	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	valor		422	259	56	0	40,8	9,9	5,9	143	117
Vistabella	Rango	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Media		691	585	65	-	-	6,8	3,67	230	172

TABLA 1. Caracterizacion del agua residual, parametros convencionales.