

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE
AGUAS RESIDUALES CON *EICHHORNIA CRASSIPES*, PARA EL
POSTRATAMIENTO DEL EFLUENTE DEL REACTOR ANAEROBIO A FLUJO
PISTÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE
BUCARAMANGA**

**JONNATHAN ALEXIS CAMACHO PINTO
LUSWIN JAIR ORDOÑEZ NIÑO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2008**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE
AGUAS RESIDUALES CON *EICHHORNIA CRASSIPES*, PARA EL
POSTRATAMIENTO DEL EFLUENTE DEL REACTOR ANAEROBIO A FLUJO
PISTÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE
BUCARAMANGA**

**JONNATHAN ALEXIS CAMACHO PINTO
LUSWIN JAIR ORDOÑEZ NIÑO**

**Director:
MARTHA ROCIO MANTILLA ARDILA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2008**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Piedecuesta, _____ de 2008

Jonnathan Camacho Pinto

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de cumplir mis metas, culminar mi carrera profesional y hacer feliz mi existencia con todo aquello que día a día se presenta en mi vida.

A mis padres Julio Cesar Camacho y Martha Cecilia Pinto, a mi novia Vanessa Calderón y toda mi hermosa familia quienes con su optimismo y fe me dan el valor para asumir con responsabilidad y fortaleza los retos que a lo largo de mi vida se presentan.

A todos los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana por el tiempo dedicado a nuestro aprendizaje, por sus esfuerzos y enseñanzas y por ser los forjadores de las bases de nuestra vida profesional.

A mi directora de proyecto Martha Roció Mantilla ya que su colaboración fue de vital importancia para la realización de este proyecto.

A mis compañeros amigos y a todas aquellas personas que de una u otra manera con su apoyo contribuyeron para cumplir este proyecto.

Luswin Jair Ordoñez

Agradezco a Dios, a mis padres y en especial a mi nona por su apoyo incondicional paciencia y comprensión.

Al laboratorio de análisis de agua de la universidad por su servicio y cooperación; a los operarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UPB por su esmero y disponibilidad.

*A las memorias de mi tío
Alirio Camacho
y mi primo
Darwin Camacho
por su grandioso legado
(q.e.p.d.)
La sangre nunca muere.*

*A la niña que más quiero
y amo, a mi hija
Maria Valentina Ordoñez*

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. JUSTIFICACIÓN	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 GENERAL	20
2.2 ESPECÍFICOS	20
3. MARCO REFERENCIAL	21
3.1 ANTECEDENTES	21
3.2 MARCO GEOGRAFICO	24
3.3 MARCO TEORICO	25
3.3.1 Aguas residuales	25
3.3.2 Características de las aguas residuales	25
3.3.3 Características físicas del agua residual	26
3.3.4 Características químicas inorgánicas	28
3.3.5 Características químicas orgánicas	29
3.3.6 Características biológicas del agua residual	30
3.3.7 Caracterización del agua residual	30
3.3.8 Tratamiento primario	31
3.3.9 Tratamiento secundario	32
3.3.10 Tratamiento biológico	32
3.3.11 Tratamiento acuático	33
3.3.12 Tratamiento con jacintos	43
3.3.13 Compostaje con Jacinto	46
4. METODOLOGÍA	49
4.1 ETAPA 1: ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	49
4.2 ETAPA 2: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON JACINTO DE AGUA	49

4.2.1 muestreo y análisis de laboratorio	50
4.2.2 Determinación de crecimiento de las plantas de jacinto de agua	52
4.2.3 Evaluación de resultados de los análisis físico-químicos y biológicos del tratamiento con jacinto de agua	55
4.3 ETAPA 3: DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS SUBPRODUCTOS GENERADOS DEL PROCESO	56
4.3.1 Montaje de compostaje con el jacinto de agua	56
4.3.2 Registro de temperaturas y tasa de aireación.	60
4.3.3 Muestreo y análisis de laboratorio	61
5. RESULTADOS Y ANALISIS	63
5.1 ETAPA 1: ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	63
5.2 ETAPA 2: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON JACINTO DE AGUA	65
5.2.1 Muestreo y análisis de laboratorio	65
5.2.2 Determinación de crecimiento de las plantas de jacinto de agua	77
5.2.3 Evaluación de resultados de los análisis físico-químicos y biológicos del tratamiento con jacinto de agua	83
5.3 ETAPA 4: DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS SUBPRODUCTOS GENERADOS DEL PROCESO.	125
5.3.1 Montaje de compostaje con el jacinto de agua	125
5.3.2 Registro de temperaturas y tasa de aireación	126
5.3.3 muestreo y análisis de laboratorio	129
6. CONCLUSIONES	134
7. RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFÍA	138
ANEXOS	140

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales constituyentes de interés en el tratamiento de aguas	26
Tabla 2. Procesos naturales de un humedal artificial	36
Tabla 3. Características de la especie	40
Tabla 4. Parámetros evaluados	52
Tabla 5. Caudales de aforo del 27/08/07 al 30/10/07	66
Tabla 6. Tiempos de retención hidráulica	67
Tabla 7. Parámetros exigidos por la normatividad	72
Tabla 8. Crecimiento del jacinto de agua	79
Tabla 9. Valores de nitrógeno total para afluente y efluente del sistema	84
Tabla 10. Cargas contaminantes para Nitrógeno	86
Tabla 11. Valores de fósforo total para afluente y efluente del sistema	92
Tabla 12. Cargas contaminantes para fósforo	93
Tabla 13. Valores de SST para afluente y efluente del sistema	99
Tabla 14. Cargas contaminantes para SST	100
Tabla 15. Valores de DBO ₅ para afluente y efluente del sistema	106
Tabla 16. Cargas contaminantes para DBO ₅	107
Tabla 17. Valores de DQO para afluente y efluente del sistema	113
Tabla 18. Cargas contaminantes de DQO	115
Tabla 19. Valores de detergentes para afluente y efluente del sistema	119
Tabla 20. Cagar para contaminantes de detergentes	121
Tabla 21. Valores de humedad y temperatura para el compostaje	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Toma de muestra del afluente del sistema	50
Figura 2. Toma de muestra del efluente del sistema	50
Figura 3. Recolección de la muestra	51
Figura 4. Medida del crecimiento del jacinto de agua	53
Figura 5. Toma de peso húmedo final	54
Figura 6. Primer día de secado del jacinto de agua. Octubre 23 de 2007	54
Figura 7. Día 15 de secado del jacinto de agua. Noviembre 6 de 2007	55
Figura 8. Plantas recolectadas	56
Figura 9. Picadora	57
Figura 10. jacinto de agua picado	57
Figura 11. Dimensiones de las pilas	58
Figura 12. Orificios para drenaje en las pilas	58
Figura 13. Pilas de compostaje	58
Figura 14. Manto impermeable (plástico)	59
Figura 15. Pila J (solo jacinto)	59
Figura 16. Pila JA (jacinto mezclado con aserrín)	60
Figura 17. Termocupla	60
Figura 18. Volteo	61
Figura 19. Riego	61
Figura 20. Horno	62
Figura 21. Desecador	62
Figura 22. Limpieza de lodos en el sistema de tratamiento	64
Figura 23. Aforos afluente	67
Figura 24. Aforos afluente por horas	68
Figura 25. Aforos efluente	69
Figura 26. Taponamiento con hojas secas	70
Figura 27. Aforo efluente por horas	70

Figura 28. Conductividad afluente	73
Figura 29. Conductividad efluente	74
Figura 30. PH afluente	75
Figura 31. PH efluente	76
Figura 32. Primer día de prueba. Octubre 09 de 2007	78
Figura 33. Ultimo día de prueba. Octubre 23 de 2007	78
Figura 34. Ultimo día de prueba. Octubre 23 de 2007	78
Figura 35. Crecimiento del jacinto	81
Figura 36. Peso del jacinto	81
Figura 37. Toma de peso seco	82
Figura 38. Fotos extraída la planta y después de 14 días	83
Figura 39. Tendencia del nitrógeno	85
Figura 40. Análisis estadístico en la entrada del sistema	87
Figura 41. Análisis estadístico en la salida del sistema	88
Figura 42. Porcentaje de remoción de nitrógeno	89
Figura 43. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema	91
Figura 44. Tendencia del fósforo	92
Figura 45. Análisis estadístico en la entrada del sistema	94
Figura 46. Análisis estadístico en la salida del sistema	95
Figura 47. Porcentaje de remoción del fósforo	96
Figura 48. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema	98
Figura 49. Tendencia de los sólidos suspendidos totales	99
Figura 50. Análisis estadístico en la entrada del sistema	101
Figura 51. Análisis estadístico en la salida del sistema	102
Figura 52. Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales	103
Figura 53. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema	105
Figura 54. Tendencia de la DBO ₅	106
Figura 55. Análisis estadístico en la entrada del sistema	108
Figura 56. Análisis estadístico en la salida del sistema	109
Figura 57. Porcentaje de remoción de DBO ₅	110

Figura 58. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema	111
Figura 59. Tendencia de la DQO	114
Figura 60. Análisis estadístico en la entrada del sistema	115
Figura 61. Análisis estadístico en la salida del sistema	116
Figura 62. Porcentaje de remoción de la DQO	117
Figura 63. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema	118
Figura 64. Tendencia de los detergentes	120
Figura 65. Análisis estadístico en la entrada del sistema	121
Figura 66. Análisis estadístico en la salida del sistema	122
Figura 67. Porcentaje de remoción detergentes	123
Figura 68. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema	124
Figura 69. Temperaturas de la pila J (jacinto)	127
Figura 70. Temperaturas de la pila JA (jacinto - aserrín)	128
Figura 71. Porcentajes de humedad pila J (jacinto)	129
Figura 72. Porcentajes de humedad pila JA (jacinto - aserrín)	131
Figura 73. Color final pila (J)	132
Figura 74. Color final pila (JA)	133

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tablas de aforo del sistema terciario con jacinto de agua	141
Anexo B. Tabla de datos (conductividad)	150
Anexo C. Tabla de datos (pH)	151
Anexo D. Análisis fisicoquímicos de aguas residuales del sistema de recuperación con <i>Eichhornia crassipes</i>	152
Anexo E. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales con jacinto de agua.	167
Anexo F. Análisis de resultados para compostaje	168

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON *EICHHORNIA CRASSIPES*, PARA EL POSTRATAMIENTO DEL EFLUENTE DEL REACTOR ANAEROBIO A FLUJO PISTÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA

Autores: Jonnathan Alexis Camacho Pinto
Luswin Jair Ordoñez Niño
Facultad Ingeniería Ambiental
Martha Rocío Mantilla Ardila

El tratamiento con *Eichhornia Crassipes* es una alternativa eficaz para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón, poseen un sistema de raíces que pueden tener microorganismos asociados a ellas ayudando la acción depuradora de las plantas acuáticas.

A fin de evaluar la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales, para el postratamiento del efluente del Reactor, se realizó la caracterización del efluente del sistema realizando pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, adicionalmente se evaluó el crecimiento de la *Eichhornia Crassipes* en el sistema bajo condiciones normales de operación, y se diseñó una alternativa de tratamiento para los subproductos generados en el proceso.

Los resultados confirmaron que los parámetros que reportaron mayores eficiencias de remoción fueron la Demanda Biológica de Oxígeno con un 86.78% y los sólidos suspendidos totales con un 83.69%, permitiendo comprobar su eficiencia y dar cumplimiento al decreto 1594 de 1984, se comprobó que la planta puede doblar su peso cada 15 días, lo cual afirma su rapidez reproductiva, obteniendo una mayor altura y peso húmedo final.

Por otro lado los resultados obtenidos en la pila con solo *Eichhornia Crassipes* reportando una relación Carbono : Nitrógeno - 4:1 la cual se mantuvo en un rango adecuado según (Goyal. 2004, relación Carbono : Nitrógeno -18:1).

Se concluye que un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia Crassipes* es eficiente y complementa de manera óptima el efluente proveniente del reactor anaerobio de flujo a pistón, lográndose altas remociones de nitrógeno, fósforo, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química Oxígeno.

Palabras Claves: *Eichhornia Crassipes*, reactor anaerobio flujo a pistón, eficiencia, efluente, remoción.

GRADE WORK GENERAL RESUME

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF A WASTE-WATER RECOVERING SYSTEM WITH EICHHORNIA CRASSIPES, FOR THE EFFLUENT AFTERCARE FROM THE EFFLUENT FROM THE ANAEROBIC PISTON REACTOR FLOW UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA (BUCARAMANGA)

Author: Jonnathan Alexis Camacho Pinto
Luswin Jair Ordoñez Niño
Facultad Ingeniería Ambiental
Martha Rocío Mantilla Ardila

Treatment with *Eichhornia crassipes* is an effective alternative for the effluent aftercare from anaerobic piston reactors. These plants have a root system that may have associated microorganisms that improve aquatic plants purifying capabilities.

To evaluate the efficiency of a waste-water recovering system for the reactor effluent aftercare, a characterization of the effluent was carried out by physicochemical and microbiological tests. In addition, *Eichhornia crassipes* growth was tested, all this under normal operation conditions. Additionally, an alternative treatment for the sub products generated in the process was designed.

The results confirmed that the parameters that reported greater removal efficiencies were biological oxygen demand (86.78%) and total suspended solids (83.69%). This allowed the verification of their efficiency and ensured compliance to 1594 decree, 1984. It was found that the plants can double its weight every 15 days, which affirms its reproductive speed, gaining greater height and final wet weight.

Besides, the final results at the pond with only *Eichhornia crassipes* reported a relationship Carbon:Nitrogen - 4:1 which remained in an appropriate level according to Goyal, 2004 (Carbon : Nitrogen -18:1).

It has been concluded that a waste-water recovering system with *Eichhornia crassipes* is efficient and optimally complements the effluent from the anaerobic piston flow reactor. High removal of nitrogen, phosphorus, total suspended solids, biological and chemical oxygen demand was achieved.

Key Words: *Eichhornia crassipes*, anaerobic piston flow reactor, efficiency, effluent, removal.

INTRODUCCIÓN

Cada día se presta más atención a la degradación que sufre el medio ambiente y en especial al problema de la contaminación de las aguas superficiales y a la posible fuente de infecciones que este medio supone.

Debido a que las descargas de aguas residuales, domésticas e industriales, en cursos naturales de agua (arroyos, ríos, humedales), es una práctica antigua, surgida de la necesidad de evacuar dichas aguas de los núcleos urbanos; la recuperación de estas aguas es una necesidad imperiosa de la sociedad moderna debido al peligro que significan estas aguas.

El impacto ambiental que tales descargas causan, obligó a considerar que la recuperación previa, era imprescindible, tanto para núcleos urbanos de gran población como para los ecosistemas que los rodean.

De igual forma, los organismos gubernamentales de control ambiental, se vieron en la obligación de implantar normatividades y regulaciones que permitan minimizar el fuerte impacto de las descargas de desechos.

Hoy en día existen varias alternativas para la recuperación de las aguas degradadas. Sin embargo, en muchos casos, la utilización de un sistema de tratamiento eficaz se encuentra restringido a aquellas poblaciones que pueden soportar los elevados costes de mantenimiento y explotación de los sistemas convencionales de recuperación.

En los últimos años se han promovido alternativas de sistemas de descontaminación menos costosos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Estos sistemas aunque son de bajo costo son tendidos en cuenta

fundamentalmente en países desarrollados debido a la calidad de los efluentes obtenidos.

Una de estas alternativas lo constituyen las plantas acuáticas que por su alta productividad, valor nutritivo y capacidad de extracción de nutrientes las convierten en un potencial descontaminante y de producción de biomasa. Tal material puede usarse como parte del suplemento proteico de la ración de animales de granja o como abono verde. Mediante este sistema de tratamiento de aguas residuales basado en plantas acuáticas se logra el reciclaje y rescate de recursos renovables.

Entre los mecanismos de eliminación de nutrientes del agua residual, en los sistemas de macrófitos acuáticos, se pueden destacar dos: por un lado la asimilación de nutrientes por la planta; por otro el papel de las raíces como sustrato de crecimiento de una biopelícula capaz de degradar o asimilar nutrientes y carbono orgánico estando este proceso favorecido por el suministro de oxígeno, desde las partes aéreas de la planta a la rizosfera, y por la excreción de exudados de las plantas que favorezcan la desnitrificación.

Existe sin embargo controversia sobre la importancia relativa de ambos mecanismos. Algunos investigadores han mostrado la existencia de altos rendimientos de eliminación de N y P debidos al uso de macrófitos, mientras que otros no han encontrado diferencias significativas en dichos rendimientos entre sistemas con y sin plantas. Sin embargo la comparación entre los distintos estudios es difícil debido a las diferentes especies y condiciones de flujo usadas.

Actualmente se está estudiando una tecnología específica de tratamiento de aguas residuales, a través del cultivo de especies vegetales como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), planta que se encarga de recuperar el agua residual, es decir, de disminuir el contenido de contaminantes, para poder ser reutilizada.

El propósito de este trabajo es evaluar la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia Crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga.

1. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso escaso pero fundamental para los seres vivos y la actividad económica de cualquier región, pero sobre todo, cada vez es más deficiente su calidad. Por ello se hace necesaria la gestión de todas las aguas disponibles, buscando conservar o mejorar la calidad.

La gestión del agua debe abarcar todo su ciclo, pero de todas las medidas protectoras quizá sea la depuración la más importante porque permite dar nuevos usos a grandes masas de agua, impidiendo además que se degrade el cauce receptor.

El tratamiento con *Eichhornia Crassipes* es una alternativa eficaz para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación, especialmente en regiones tropicales y subtropicales, ya que las macrófitas obtienen del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Además poseen un sistema de raíces que pueden tener microorganismos asociados a ellas ayudando la acción depuradora de las plantas acuáticas; al mismo tiempo reduce los costos de un tratamiento secundario o terciario convencional y puede ser aprovechada para la producción de abono orgánico, biogás y utilizada como fuente de alimento animal.

Las plantas acuáticas (Macrófitas) son usadas para asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica. Presentan, desde luego, una serie de ventajas en su implementación que dependerán del tipo de efluente a tratar y de las condiciones de operación; por tal motivo estas condiciones se deben

monitorear continuamente con el fin de garantizar la eficiencia del proceso y determinar los parámetros que afectan directamente su eficiencia.

Los estudios sobre la capacidad de estas plantas para extraer impurezas de las aguas residuales han mostrado resultados asombrosos. Por ejemplo, redujeron la DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) más del 97%, los sólidos totales suspendidos 95%, el nitrógeno y el potasio 99%, el sílice 87%, y el fosfato de 60 a 65%. Y la pérdida de agua a través de la transpiración puede ser superior al 50% del volumen aplicado, lo cual, reduce significativamente el volumen de aguas residuales que se tienen que tratar¹.

Como es apenas obvio, esta alternativa de solución se extendería a una población más amplia dadas las facilidades, posibilidades y metodologías que el equipo investigador pondría al servicio de la comunidad.

¹ CHICA, C Yolanda, et al 2003.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Evaluar la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia Crassipes*, para el postratamiento del efluente del Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar el efluente del sistema de depuración de aguas residuales con *Eichhornia Crassipes* realizando pruebas fisicoquímicas y microbiológicas.
- Analizar los resultados de las pruebas fisicoquímicas para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento para aguas residuales con *Eichhornia Crassipes*.
- Evaluar el crecimiento de la *Eichhornia Crassipes* en el sistema, bajo condiciones normales de operación.
- Diseñar alternativas de tratamiento para los subproductos generados en el proceso.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 ANTECEDENTES

Las aguas residuales tienen un alto contenido de nutrientes y materia orgánica, los cuales no siempre pueden ser eliminados mediante tratamientos convencionales (Cano et al., 1.998), y es aquí donde sistemas biológicos juegan un papel importante.

En este sentido, se comienza a estudiar en profundidad fenómenos como la eutrofización; la cual esta siendo fuertemente acelerada por la acción del hombre debido a un aporte creciente de nutrientes en las aguas residuales domesticas²; para reducir la eutrofización se han estado seleccionando técnicas innovadoras en base a las macrófitas flotantes³. Esto se debe a que en sistemas de tratamientos biológicos de aguas residuales, en los cuales son utilizadas lagunas artificiales con plantas acuáticas se destaca su fácil operación, construcción y ausencia de equipos mecánicos para mantenerlos⁴.

Además algunos investigadores han mostrado la existencia de altos rendimientos de eliminación de N y P debido al uso de macrófitas; resultados de estudios realizados por la Universidad de León, España, determinan la importancia de la función de los macrófitos en la eliminación de nutrientes en sistemas acuáticos, tratando agua residual urbana. La comparación entre condiciones experimentales

² TOJA Juliana, ALVAREZ Esteban, PIDRE Ramón. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Eliminación biológica del fósforo en aguas residuales. Año XIX –num. 186 -Marzo 1999- ISSN: 211/8173. Pág. 33.

³ TOMAS Ricard, ILLA Joseph, ROVIRA Miguel. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Reducción de materia orgánica y nutrientes de aguas prepotables mediante lecho flotante de macrófitas. experiencia en el lago de la laguna de Manresa. Año XXIV –num. 254 –Noviembre 2004 –ISSN: 211/8173. Pág. 38.

⁴ OROZCO J., Op., p. 315.

ensayadas, muestran diferencias significativas entre tratamientos con y sin plantas⁵.

En las últimas décadas se han desarrollado una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de aguas residuales. Cada uno de ellos se caracteriza por una serie de limitaciones relativas a su grado de aplicabilidad, eficiencia y costos económicos.

Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible; numerosos estudios mencionan que tienen mayores rendimientos con menores costos económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen naturalmente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas⁶.

Sin embargo, poco se sabe de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas, quizás más por desconocimiento que por su factibilidad. Estos sistemas de purificación pueden ser naturales o bien diseñados y construidos por el hombre (artificiales), y se han estado utilizando en todo el mundo, especialmente en Europa⁷.

El valor de la función de depuración es apreciable: hace poco la ciudad de Nueva York comprobó que podía evitar gastar de 3.000 a 8.000 millones de dólares en EE.UU. por concepto de nuevas plantas de tratamiento de aguas (con gastos de funcionamiento anuales de 700 millones de dólares) invirtiendo apenas 1.500 millones de dólares en la adquisición de tierras adyacentes a los embalses del

⁵ GARCIA Mercedes, BECARES Eloy, SOTO Félix. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Macrófitos en la depuración de aguas residuales. Su función en la eliminación de nutrientes. Año XIX –num. 185 –Febrero 1999 –ISSN: 211/8173. Pág. 64 y 68.

⁶ ARNAIZ Carmen, ISAC Laura, LEBRATO Julián. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Tratamiento biológico de aguas residuales. Año XX –num. 198 –Marzo 2000 –ISSN: 211/8173. Pág. 20.

⁷ <http://omega.fdomay.ubiobio.cl/th/v/v14/a2.pdf>; Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas.

norte del Estado y tomando otras medidas de protección de la cuenca que purificarán las reservas de agua sin costo alguno.

Calcuta ha sido el primer lugar en que esta capacidad de depuración ha sido aprovechada en un sistema de eliminación de aguas residuales a la vez eficiente e inocuo para el medio ambiente. En la ciudad, construida para alojar a un millón de personas, viven actualmente más de 10 millones de seres humanos, muchos de ellos en barrios miserables, lo que se traduce en una pesadilla de saneamiento. No obstante, con la ayuda de 20.000 personas, las 8.000 hectáreas de pantanos del este de Calcuta, la movilización de la gente y los humedales en este lugar permiten prescindir de costosos sistemas de alcantarillado, reportan beneficios a muchos lugareños y resuelven, al menos en parte, el problema de saneamiento de la ciudad⁸.

En los últimos años se han venido utilizando las plantas acuáticas para el tratamiento de las aguas residuales y ha recibido especial atención el jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*)⁹.

El jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) es una de las especies acuáticas más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación, especialmente en regiones tropicales y subtropicales, que incluyen las áreas comprendidas entre San Francisco (Estados Unidos) y Lebu (Chile)¹⁰.

Las potencialidades de esta planta fueron descubiertas por Sir Albert Howard en 1920. Este brillante científico especializado en agricultura, realizó estudios sobre la planta en India y publicó artículos relacionados con el aprovechamiento de ésta en

⁸ http://www.ramsar.org/info/values_waterpurification_s.htm

⁹ DIAZ Miguel, RODRIGUEZ Celia, DIAZ Francisco. REVISTA ACODAL. Tecnología e investigación. remoción de metales pesados por el jacinto de agua. N° 152. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1992

¹⁰ <http://omega.fdomay.ubiobio.cl/th/v/v14/a2.pdf>; Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas.

la depuración de aguas residuales, usos derivados como abono orgánico y alimento para ganado porcino¹¹.

3.2 MARCO GEOGRAFICO

El campus universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga esta ubicado en el kilómetro 7 autopista vía Piedecuesta.

Datos de registro del segundo semestre de 2007 reporta 3500 estudiantes¹² en sus diferentes carreras de pregrado y postgrado, y 506 entre directivas, docentes, administrativo, servicios generales y otros¹³ para un gran total de 4006 personas.

Debido a que el campus universitario se encuentra fuera del área metropolitana de Bucaramanga, no cuenta con cubrimiento de red de alcantarillado por lo cual se vio en la labor de implementar su propio sistema de tratamiento de aguas residuales, con el fin de disponer adecuadamente sus desechos líquidos y al mismo tiempo dar cumplimiento a especificaciones legales y ambientales.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana, se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la institución y esta dividida en dos secciones:

- La primera se encuentra en la entrada física del campus y en esta se realiza el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales a través de un Reactor anaerobio de flujo a pistón.

¹¹ www.infojardin.com/fichas/acuaticas/eichhornia-crassipes-jacinto-de-agua-camalote-camalotes.htm.

¹² Departamento de admisiones, registro y control académico. Universidad Pontificia Bolivariana. 2.007.

¹³ Departamento de Relaciones Laborales y Desarrollo de Personal. Universidad Pontificia Bolivariana. 2.007.

- La segunda, en la cual se desarrolla un sistema terciario de tratamiento con plantas flotantes de la especie *Eichhornia Crassipes*, se encuentra ubicada en el parqueadero para estudiantes y forma parte del sendero ecológico de la universidad.

3.3 MARCO TEORICO

3.3.1 Aguas residuales. Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado.

En general, se consideran *aguas residuales domésticas* (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan *aguas residuales municipales* los residuos líquidos transportado por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman *aguas residuales industriales* las aguas residuales provenientes de las descargas e industrias de manufactura.

3.3.2 Características de las aguas residuales. Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su remoción¹⁴.

Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud de los resultados. En general, un programa de muestreo para

¹⁴ CRITES & TCHOBANOGLOUS. Op. Cit. 2001 P. 46

caracterización y control de calidad de aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben analizar.

La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por lo que las cargas equivalentes o contribuciones per cápita por día varían de una ciudad a otra y de un país a otro¹⁵.

Tabla 1. Principales constituyentes de interés en el tratamiento de aguas Residuales

CONSTITUYENTES	RAZONES DE INTERES
Sólidos suspendidos totales	Formación de depósitos de lodos y condiciones anaerobias
Compuestos orgánicos biodegradables	Agotamiento del oxígeno en fuentes naturales y desarrollo de condiciones sépticas
Constituyentes inorgánicas disueltas	Constituyentes inorgánicos adicionales por el uso. Aplicaciones en el reciclaje y en la reutilización de aguas residuales.
Metales pesados	Constituyentes metálicos adicionados por el uso. Muchos metales se clasifican como polutantes de prioridad.
Nutrientes	Crecimiento excesivo de la vida acuática indeseable, eutrofización, concentración de nitratos en agua para consumo.
Patógenos	Transmisión de enfermedades.
Polutantes orgánicos prioritarios	Sospechosos de ser carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos o de toxicidad aguda alta. Muchos polutantes prioritarios son resistentes a los métodos de tratamiento convencionales (conocidos como compuestos orgánicos refractarios)

Fuente: CRITES & TCHOBANOGLIOUS. Op. Cit. 2001 P. 25.

3.3.3 Características físicas del agua residual. Las principales características de un agua residual, son su contenido de sólidos, distribución de partículas por

¹⁵ ROMERO, Op. Cit., p. 19 y 23.

tamaño, turbiedad, color, transmitancia/absorbancia, olor, temperatura, densidad y conductividad.

❖ **Temperatura.** Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua; afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacterial. La tasa de sedimentación de sólidos en aguas calidas es menor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua. Los tiempos de retención para tratamiento biológico disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella¹⁶.

❖ **Sólidos.** El contenido de sólidos de un agua residual afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición¹⁷. El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. La caracterización de los diferentes tipos de sólidos es la siguiente¹⁸: Sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), sólidos fijos totales (SFT), sólidos suspendidos totales o no disueltos (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos fijos (SDF) y sólidos sedimentables.

❖ **Conductividad.** Esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de

¹⁶ ROMERO, Op. Cit. P. 70.

¹⁷ ROMERO, Op. Cit. P. 68.

¹⁸ CRITES & TCHOBANOGLOUS. Op. Cit. 2001 P. 46.

impurezas y más concretamente de sales disueltas¹⁹. En la actualidad es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de agua para riego y es expresada en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) en unidades del sistema ingles y como mili siemens por metro (mS/m) en unidades del SI²⁰.

3.3.4 Características químicas inorgánicas Los inorgánicos incluyen 1) elementos individuales como calcio (Ca), cloruro (Cl), hierro (Fe), cromo (Cr) y zinc (Zn) y 2) una amplia variedad de compuestos como nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4); los constituyentes químicos inorgánicos de interés comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases.

❖ **Ph.** El pH es la medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua. Aguas residuales en concentraciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias, a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH_3), la cual es tóxica. Para descarga en efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,5²¹.

❖ **Nitrógeno.** Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos; un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir la adición de

¹⁹ Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y Medio Ambiente. Op. Cit. P. 19.

²⁰ (CRITES & TCHOBANOGLOUS. Op. Cit. 2001 P. 48.).

²¹ ROMERO, Op. Cit. P. 66.

nitrógeno para su adecuada biodescomposición. En otros casos, cuando se exige control de eutrofización de las fuentes receptoras, la remoción de nitrógeno, en el agua residual, puede ser una condición del tratamiento²².

❖ **Fósforo.** Tanto el fósforo como el nitrógeno, son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas. Debido a los crecimientos indeseables de algas que ocurren en aguas superficiales, existe marcado interés en removerlos de las aguas residuales. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico.

3.3.5 Características químicas orgánicas. Los constituyentes orgánicos de mayor interés en las aguas residuales se clasifican como agregados e individuales. Los constituyentes orgánicos agregados comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada (DBO, DQO, Grasas y aceites, COT y tensoactivos); de gran interés en el tratamiento, vertimiento y reutilización de aguas residuales al igual que los constituyentes orgánicos específicos.

❖ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras; El tiempo de incubación de la DBO generalmente es de 5 días²³.

²² ROMERO, Op. Cit. P. 61-62.

²³ ROMERO, Op. Cit. P. 38.

❖ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica²⁴.

Es una prueba más rápida que la DBO. Oxida casi todos los compuestos orgánicos, en consecuencia es mayor que la DBO.

❖ **Tensoactivos.** Los agentes tensoactivos, detergentes o agentes superficiales activos, son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. Los detergentes son ampliamente usados y existen en las aguas residuales. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espumas, aun en bajas concentraciones, cuando se acumula en la interfaz aire-agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas. Además inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del oxígeno. Por otra parte, los detergentes son fuente principal de fósforo en las aguas residuales y causantes de la eutrofización en lagos²⁵.

3.3.6 Características biológicas del agua residual. Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.3.7 Caracterización del agua residual. Una caracterización acertada de un agua requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados

²⁴ ROMERO, Op. Cit. P. 54.

²⁵ ROMERO, Op. Cit. P. 57.

representativos del caudal global de aguas residuales y no solamente del caudal que circula en el instante del muestreo.

Para que la muestra sea representativa, se prefieren sitios de muestreo con flujo muy turbulento donde el agua residual esté bien mezclada; sin embargo, el sitio de muestreo debe seleccionarse de acuerdo con cada problema individual de estudio. Los periodos de muestreo dependen del régimen de variación de caudal, de la disponibilidad de recursos económicos y de los propósitos del programa de muestreo.

Muestras compuestas o mezclas de muestras simples o instantáneas: Son muestras que aseguran representatividad y detectan defectos de la descarga variable de los diferentes contaminantes; estas muestras son preferibles cuando desean conocerse resultados promedio.

La muestra compuesta preferida es una mezcla de muestras individuales proporcionales al caudal instantáneo; para el efecto se toman muestras simples a intervalos constantes de tiempo, por lo regular una hora, se almacenan apropiadamente en un refrigerador y, al final del periodo de muestreo, se mezclan en proporción directa al caudal aforado en cada instante del muestreo. Todo frasco o recipiente de muestreo debe identificarse con una etiqueta que indique fecha de muestreo, nombre de la fuente, sitio de muestreo, tipo de muestra, hora de muestreo y preservativo usado.

3.3.8 Tratamiento primario. El tratamiento primario es un simple tratamiento físico, una separación de los elementos sólidos que contiene el agua. Las aguas residuales que entran en una planta de tratamiento contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales²⁶.

²⁶ HERNANDEZ, Op. Cit. 1998. P. 178.

3.3.9 Tratamiento secundario. Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO₅ por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto.

El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor²⁷.

3.3.10 Tratamiento biológico. Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costos económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas como el dióxido de carbono, el metano, el nitrógeno molecular, y el agua²⁸.

El tratamiento biológico convencional de aguas residuales está dirigido habitualmente a la eliminación, estabilización o transformación de la materia orgánica presente en las aguas, esto se logra mediante la actuación de microorganismos, bien realizando una acción metabólica transformando la materia orgánica en materia viva, o bien realizando una acción físico-química de coagulación, decantación y arrastre de bacterias. Sin embargo, en algunos casos se requiere que la concentración de nitrógeno y fósforo en el efluente de la planta de tratamiento sea baja, bien para proteger los ecosistemas acuáticos de la

²⁷ HERNANDEZ, Op. Cit. 1998. P. 179²⁷

²⁸ TECNOLOGIA DEL AGUA. Artículos técnicos. Tratamiento biológico de aguas residuales. Año XX –num. 198 –Marzo 2000 –ISSN: 211/8173. Pág. 20.

eutrofización, bien para proteger las masas de aguas destinadas a la obtención de agua potable²⁹.

3.3.11 Tratamiento acuático. Un sistema de tratamiento acuático es aquel en el cual se aplican aguas residuales sobre terrenos húmedos naturales o artificiales con el propósito de remover sus contaminantes. La mayor parte de los sistemas de tratamiento acuático están constituidos por pantanos, ciénagas, turberas y una o más lagunas de poca profundidad, en las cuales una o más especies de plantas acuáticas (plantas tolerantes al agua como la espadaña, la enea, los juncos, la vellorita o primavera y el jacinto de agua) crecen y se desarrollan.

Un sistema de tratamiento acuático se puede visualizar como un filtro percolador de tasa baja, de flujo horizontal con sedimentación propia, en la cual las plantas reemplazan la piedra o el medio sintético como estructura de soporte del crecimiento bacterial.

A diferencia de las lagunas de estabilización convencionales donde el tratamiento depende de la población algal, en los sistemas de tratamiento acuático las plantas acuáticas reemplazan las algas y permiten hacer la remoción de los contaminantes del agua residual cruda³⁰.

❖ **Humedales artificiales.** Estos sistemas consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrófitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un tratamiento primario, pasa a través del humedal durante un tiempo adecuado (tiempo de retención), donde es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos es suministrado principalmente por las propias

²⁹TECNOLOGIA DEL AGUA. Artículos técnicos. Tratamiento biológico de aguas residuales. Año XX –num. 199 –Abril 2000 –ISSN: 211/8173. Pág. 32.

³⁰ ROMERO, Op. Cit. P. 885-886.

plantas del humedal, que lo producen por fotosíntesis o lo toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas favorece también el crecimiento de bacterias nitrificantes. Por estar el agua en continuo movimiento no se producen malos olores ni se generan lodos en cuantía apreciable, ya que son autoasimilados por el propio sistema³¹.

Los humedales artificiales se han utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario y avanzado, en el tratamiento de aguas de irrigación, para tratar lixiviados de rellenos sanitarios, en el tratamiento de residuos de tanque sépticos y para otros propósitos como desarrollar hábitats para crecimientos de valor ambiental.

Tipos de humedales artificiales. En esencia, hay tres líneas de desarrollo tecnológico de humedales artificiales, cuyo modo de actuación, aun basándose en los mismos principios biológicos, es diferente. Se trata de los denominados humedales de flujo superficial (en inglés, *Surface Flow Wetlands* o *Free Water Surface wetlands*, FWS), los humedales de flujo sub-superficial (en inglés, *Sub-surface Flow Wetlands* o *Vegetated Submerged Bed*, VSB, o también *Subsurface Flow*, SsF) y los humedales con las plantas flotando sobre la superficie del agua.

A este último tipo de sistemas pertenecen los que utilizan plantas naturalmente flotantes, tales como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) o la lenteja de agua (*Lemna* spp.) y las que utilizan especies emergentes a las que se les hace flotar³².

³¹ (La fitodepuración mediante humedales artificiales. Jesús Fernández González (Catedrático de la UPM. E.T.S.I. Agrónomos). www.madrimasd.org).

³² FERNÁNDEZ González J., DE MIGUEL Beascoechea E., DE MIGUEL Muñoz J., FERNÁNDEZ DE LA MORA Curt D. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en flotación. España: Universidad Politécnica de Madrid. Capítulo 6. p 80.

Características hidrológicas fundamentales. Todo lo que se ha indicado sobre humedales en general referente a la hidrología, la vegetación, la evolución de agua en el suelo y a las transformaciones de la materia orgánica y de otros materiales en la relación agua-suelo-vegetación, es válido para los humedales artificiales.

Naturalmente, un humedal artificial tiene unas características propias en lo que se refiere a su propia condición de artificial:

- Sustrato (suelo) casi siempre artificial o muy modificado.
- Vegetación implantada.
- Especies vegetales elegidas según el tipo y función del humedal.
- Afluentes líquido contaminados con diversos productos (asumibles por el humedal, previo estudio correspondiente).
- Gestión de la vegetación (cortas periódicas, extracción y cambio de pies más o menos frecuente, etc.)
- Gestión del sustrato (limpieza más o menos frecuente, a veces adición de fertilizantes, adición de componentes del sustrato para renovación, etc.)

Desde el punto de vista hidrológico, una característica fundamental de los humedales es que el medio esencial, aparte del sustrato, es el agua presente como masa, de tipo léntico, en la que sus desplazamientos son lentos, lo que permite que se realice una serie de procesos físicos (sedimentación), químicos (reducción) y biológicos (fotosíntesis y crecimiento de la plantas) que en aguas lóxicas serían inviables.

Factores incidentes. En un humedal artificial se deben tener en cuenta los siguientes factores incidentes:

- Caudal del líquido a recibir.

- Características de ese líquido (composición, etc.).
- Objetivos de la instalación del humedal.
- Sustrato apropiado.
- Selección de la vegetación a implantar.
- condiciones ecológicas de la zona (temperatura, humedad, topografía, etc.).
- Parámetros de diseño:
 - Tiempo de retención hidráulica.
 - Profundidad.
 - Figura geométrica.
 - Dimensiones.
 - Carga admisible de DBO₅.
 - Carga admisible de otros contaminantes.
 - Fluctuaciones de la carga hidráulica.

Tabla 2. Procesos naturales de un humedal artificial

Fase	Proceso
Acción bacteriana	Conversión y transformación de contaminantes. En la transformación aerobia de los residuos orgánicos se consume oxígeno. Se realizan también transformaciones de productos orgánicos tóxicos. Siempre se reduce la DBO.
Absorción de oxígeno	Si la lámina líquida del humedal no está en saturación de oxígeno disuelto, lo toma de la atmósfera, en una aireación natural.
Desorción de oxígeno	Es la situación contraria.
Sedimentación	Se debe al movimiento lento del líquido, que hace que los sólidos en suspensión se depositen en el fondo. En ciertos casos se produce una floculación. En otros se producen turbulencias (en la entrada) que hace que estos sólidos se distribuyan uniformemente por todo el humedal.

Degradación natural	La supervivencia de muchos organismos tiene un plazo limitado, por lo que gran parte de ellos muere pasado un período de tiempo en el humedal. Por otra parte, la acción fotoquímica provoca la oxidación de muchos componentes orgánicos.
Adsorción	Muchos contaminantes químicos tienden a unirse por adsorción con diversos sólidos, lo que dependerá, en gran parte, de la cantidad y composición de estos presentes en la fase líquida en forma de suspensión. Esta adsorción se complementa después casi siempre con la posterior sedimentación.
Volatilización	Los contaminantes volátiles presentes en el líquido se transfieren a la atmósfera.
Reacciones químicas	Aparte de las reacciones fotoquímicas en la degradación natural, en el humedal existen fenómenos de hidrólisis, oxidaciones diversas, reducciones, etc.
Evaporación	Aparte de la volatilización y de la deserción de oxígeno, muchos gases que se pueden aportar con el efluente se pueden evaporar, y lo mismo ocurre con parte de la masa del humedal, que puede ver reducido así su volumen.

❖ **Humedales con espejo de agua.** El humedal con espejo de agua es un pantano o ciénaga en el que la vegetación emergente está inundada hasta una profundidad de 10 a 45 cm. La vegetación incluye juncos, cañas, espadaña y anea. Algunos humedales artificiales se construyen con revestimientos en material impermeable para impedir la percolación, otros para retención completa del afluente y pérdida por percolación y evapotranspiración.

La vegetación con sus tallos, hojas sumergidas y raíces sirve como medio de soporte de crecimiento bacteriano, reduce el potencial de crecimiento de algas y oxígeno. Para mantener una reacción apropiada se recomiendan cargas de DBO

de máximo 112 Kg. DBO/ha.d. Un humedal con espejo de agua permite remociones altas de DBO, SST, nitrógeno, metales y patógenos. La remoción aumenta con el tiempo de retención y con la temperatura. La remoción de DBO puede ser del 60 al 80% y de SST del 50 al 90%.

El afluente debe distribuirse uniformemente a lo ancho del extremo de entrada, mediante compuertas, vertederos o tubería perforada de distribución. La unidad de salida debe permitir control de la profundidad del agua en el humedal. Además, el humedal artificial debe estar dotado de drenaje y pendiente de 0,4 a 0,5% para facilitar su desagüe.

Macrófitas flotantes. Estas plantas conocidas como macrófitas o macrófitos son aquellas que pueden encontrarse en terrenos inundados e inundables con láminas de agua de poca altura o humedales que soportan aportes de origen fluvial y con una dinámica de inundaciones de origen pluvial, que aporten importantes cantidades de materia orgánica e inorgánica, (es normal encontrarlas a las salidas de los efluentes de las depuradoras o en corrientes establecidas de aguas no tratadas del tipo urbano o ganadero)³³.

Además, son plantas en las que sus órganos asimiladores están flotando en la superficie del agua. Este grupo comprende plantas de libre flotación, que son aquellas que presentan raíces suspendidas en el agua. Entre las plantas flotantes de aplicación a los sistemas acuáticos de tratamiento de aguas, hay que mencionar el jacinto de agua, (*Eichhornia crassipes*), de muy alta productividad. La función principal de estas plantas es la de proporcionar sombreo para dificultar el crecimiento de las algas, además de actuar extrayendo nutrientes³⁴.

³³ La depuración y regeneración de las aguas mediante el filtro de macrofitas en flotación. Vicente Juan Torres Junco. Julio 2004. <http://www.macrophytas.com/articulo3n.htm>.

³⁴ FERNANDEZ González J., DE MIGUEL Beascochea E., DE MIGUEL Muñoz J., FERNÁNDEZ DE LA MORA Curt D. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en flotación. España: Universidad Politécnica de Madrid. Capítulo 5. p 65.

Algunos investigadores han mostrado la existencia de altos rendimientos de eliminación de N y P debido al uso de macrófitas, mientras que otros no han encontrado diferencias significativas en dicho rendimientos entre sistemas con y sin plantas. Sin embargo la comprobación entre los distintos estudios es difícil debido a las diferentes especies y condiciones de flujo usadas³⁵.

Los inconvenientes relacionados con la presencia de macrófitas son:

- Pueden actuar como fuente de vectores propagadores de enfermedades y plagas.
- Favorecen la ausencia de oxígeno en el cuerpo de agua (en grandes coberturas de macrófitas flotantes).
- Grandes masas de macrófitas en descomposición acumulan materia orgánica en general en el sedimento, volviéndolo anóxico (es decir, sin oxígeno).
- Taponamiento de canales de riego y de navegación.

Los beneficios que aportan las macrófitas son:

- Pueden utilizarse para alimentación del ganado, de peces y otros animales acuáticos.
- Pueden ser utilizadas como fertilizantes.
- Pueden usarse para purificación del agua.
- Como fuente de producción de bio-gas.

³⁵ TECNOLOGIA DEL AGUA. Artículos técnicos. Macrófitas en la depuración de aguas residuales. Su función en la eliminación de nutrientes. Año XIX –num. 185 –Febrero 1999 –ISSN: 211/8173. Pág. 64 y 68.

Eichhornia crassipes

Tabla 3. Características de la especie

NOMBRE CIENTÍFICO O LATINO	<i>EICHHORNIA CRASSIPES</i>
Nombre común o vulgar	Jacinto de agua, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya, Lirio de agua, lechuga de agua, lechuguín.
Familia	Pontederiaceae (Pontederiáceas).
Descripción	<p>El jacinto de agua es una macrofita acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce. La planta crece muy rápido³⁶.</p> <p>Muy común en ambientes acuáticos de climas tropicales, en donde llega a considerarse como planta invasiva; está catalogada como una de las malas hierbas más dañinas a nivel mundial. Se la considera originaria de la amazonia, y actualmente está extendida en prácticamente todas las zonas tropicales acuáticas del planeta. Se distingue muy fácilmente de otras plantas flotantes por poseer hojas relucientes con peciolo hinchados y vistosas flores azuladas-lilas.</p> <p>Las plantas individuales oscilan entre 50 a 117.5 cm desde la punta de sus flores color azul-lila hasta el extremo opuesto de sus raíces³⁷. Cada flor dura abierta sólo un día; se abre individualmente al poco de la salida del sol, y se sierra por la noche. La hoja es muy característica: el peciolo tiene apariencia de estar hinchado, es de consistencia esponjosa a razón de que</p>

³⁶ CRITES Ron, TCHOBANOIOUS George. Sistema de Manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill. 2.000. p. 610

³⁷ CRITES Ron, TCHOBANOIOUS George. Sistema de Manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill. 2.000. p. 610

	<p>contiene gran espacio aéreo, a fin de contribuir a la flotabilidad de la planta; la planta desarrolla un tallo floral erecto.</p> <p>El fruto es una cápsula alargada, que contiene un número variable de semillas (una cápsula puede llegar a contener 450 semillas) de pequeño tamaño. En la parte sumergida de la planta se sitúan las raíces, que son de aspecto plumoso, muy densas, y de color negro-púrpura por los pigmentos que contienen, y que sirven de protección frente a herbívoros³⁸.</p>
<p>Ciclo de desarrollo</p>	<p>En su hábitat natural el jacinto de agua es una planta de rápido desarrollo, que se extiende lateralmente mediante el desarrollo de estolones y formación de renuevos, hasta cubrir toda la superficie del agua formando una densa cubierta vegetal muy vistosa de coloración verde brillante salpicado del azul de las flores. Las características de rápido crecimiento y alta productividad hacen que en cursos de agua naturales y en determinadas circunstancias, pueda llegar a ser un grave problema. Sin embargo, estas características son muy ventajosas cuando se utiliza en ambientes controlados para el tratamiento de aguas residuales.</p> <p>La planta se reproduce principalmente por propagación vegetativa, esto es, mediante estolones que radian desde la base de la planta y desarrollan renuevos. También puede reproducirse mediante semilla, y de hecho la semilla constituye una fuente de re-infestación cuando se erradica la población. En climas tropicales la producción de estolones y renuevos es constante; Normalmente, en una población densa de plantas de jacinto de agua sólo</p>

³⁸ ESPAÑA Obando J. Universidad del Valle. Facultad de ingenierías. Escuela de ingeniería química. Santiago de Cali, abril 19 de 2006

	desarrollan estolones las plantas que están en los límites externos de la agrupación.
Aplicación	<p>En los climas tropicales, la especie muestra una gran adaptabilidad ecológica, desarrollándose bien en estanques temporales, zonas húmedas, aguas contaminadas, lagos, pantanos y ríos. Puede tolerar fluctuaciones grandes con respecto a altura de la capa de agua, velocidad del flujo, disponibilidad de nutrientes, pH, contaminación y salinidad. El crecimiento es rápido en el entorno de 20-30°C de temperaturas medias, pero se estanca en el intervalo de 8-15°C.</p> <p>Puede aplicarse como tratamiento terciario para la remoción de nitrógeno y fósforo. Su eficacia dependerá del grado de cobertura alcanzado, es decir, de su rendimiento en biomasa. También es eficaz para la remoción de sólidos en suspensión, y es utilizado para corregir los problemas derivados del desarrollo incontrolado de algas de las lagunas de oxidación.</p>
Usos	<p>Puede mejorar la calidad del agua³⁹.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios. • Proveen alimento, estructura, cobertura y albergue para diferentes especies animales acuáticas.
Luz	<ul style="list-style-type: none"> • Sol o semisombra. Requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa.
Temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> • En invierno la planta debe ser protegida en invernadero frío en climas con heladas, manteniéndola siempre en agua. • El principal limitante para el desarrollo del jacinto de agua es la temperatura, que debe mantenerse dentro

³⁹ ROMERO, Op. Cit. P. 885.

	<p>de los límites usuales del régimen tropical o subtropical.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El crecimiento es rápido en el entorno de 20-30°C de temperaturas medias, pero se estanca en el intervalo de 8-15°C
<p>Características generales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Puede tolerar fluctuaciones grandes con respecto a altura de la capa de agua, velocidad del flujo, disponibilidad de nutrientes, pH, contaminación y salinidad. • El jacinto de agua se utiliza en sistemas acuáticos de tratamiento de aguas residuales domésticas, siendo el principal parámetro de diseño la carga orgánica. • Su eficacia dependerá del grado de cobertura alcanzado, es decir, de su rendimiento en biomasa. • Es una planta muy productiva, que en condiciones apropiadas alcanza rendimientos medios cercanos a 100 ton/ha/año de materia seca. • También es eficaz para la remoción de sólidos en suspensión, y es utilizado para corregir los problemas derivados del desarrollo incontrolado de algas de las lagunas de oxidación⁴⁰.

3.3.12 Tratamiento con jacintos. En los últimos años se han venido utilizando las plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales y ha recibido especial atención el jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*).

El tratamiento de efluentes industriales utilizando el jacinto de agua puede ser muy simple y económico ya que pudiera obtenerse como subproducto, el material de

⁴⁰ FERNANDEZ González J., DE MIGUEL Beascochea E., DE MIGUEL Muñoz J., FERNÁNDEZ DE LA MORA Curt D. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en flotación. España: Universidad Politécnica de Madrid. Capítulo 7. p 102-103.

las plantas de las cuales se puede producir biogás y recuperar parte de los metales⁴¹.

De igual forma el tratamiento de aguas residuales con jacintos se a empleado para aguas residuales crudas, así como para efluentes primarios y secundarios; con todo, el método mas usado a sido el de lagunas de estabilización combinados con lagunas de jacintos, en fase activa de crecimiento, permite remover metales pesados, nutrientes, pesticidas y otro contaminantes orgánicos.

Las raíces de los jacintos soportan una masa activa de microorganismos que descomponen y ayudan a la remoción de contaminantes del agua residual. En lagunas de jacintos se controla, también, el crecimiento de algas, debido al efecto físico de impedir la penetración de la luz solar y a la remoción de nutrientes.

Para asegurar una eficiencia adecuada se debe promover una profundidad apropiada de penetración de las raíces de la planta que asegure un contacto completo del agua residual con el jacinto. Una laguna de jacintos que trate un efluente secundario permite obtener concentraciones de DBO < 10mg/L; SS < 10mg/L; NTK < 5mg/L y P < 5mg/L. planta⁴².

Para mantener el jacinto en fase activa de crecimiento es necesario cosechar la planta frecuentemente. Además, si existe acumulación de lodo, la laguna debe drenarse y limpiarse a menudo. La frecuencia de limpieza y de cosecha de jacintos depende de las características del afluente y de la tasa de crecimiento de

⁴¹ REVISTA ACODAL. Tecnología e investigación. Remoción de metales pesados por el jacinto de agua. N° 152. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1992.

⁴² ROMERO, op. cit., p.890, 891.

la planta⁴³; A modo de indicación se señala que en climas cálidos debe realizarse la cosecha parcial de las plantas cada 3 o 4 semanas⁴⁴.

❖ **Mecanismos de depuración.** Los principales mecanismos de depuración del jacinto de agua que actúan sobre las aguas residuales son los siguientes:

Eliminación de sólidos en suspensión: Sólidos suspendidos: Los sólidos suspendidos del agua se eliminan por sedimentación, potenciada por las reducidas velocidades de circulación y por la escasa profundidad, y por filtración a través de las formas vivas y de los desechos vegetales. En la interfase suelo se produce una eliminación adicional⁴⁵.

Eliminación de materia orgánica: La materia orgánica degradable presente en el agua, ya sea soluble o insoluble, se elimina por degradación microbiana. Los microbios responsables de esta degradación suelen estar asociados a películas que se desarrollan sobre la superficie de las partículas del suelo, vegetación y desechos vegetales. En general, éstos sistemas se diseñan y explotan de modo que resulte posible mantener condiciones aeróbicas, con la intención de que la degradación de la materia orgánica se realice, principalmente, gracias a la acción de microorganismos aeróbicos, ya que la descomposición aeróbica tiende a ser mas rápida y completa que la anaerobia y por lo tanto, se consiguen evitar los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia⁴⁶.

Eliminación de Nitrógeno: La nitrificación-denitrificación biológica es el principal mecanismo que participa en la remoción de nitrógeno. Una parte del nitrógeno

⁴³ ROMERO, op. cit., p.890, 891.

⁴⁴ FERNANDEZ González J., DE MIGUEL Beascochea E., DE MIGUEL Muñoz J., FERNÁNDEZ DE LA MORA Curt D. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en flotación. España: Universidad Politécnica de Madrid. p 102-103

⁴⁵ CRITES Ron, TCHOBANOGIOUS George. Sistema de Manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill. 2.000. p. 611.

⁴⁶ ESPAÑA Obando J. Universidad del Valle. Facultad de ingenierías. Escuela de ingeniería química. Santiago de Cali, abril 19 de 2006

orgánico se retira por sedimentación. Las plantas en crecimiento también dan cuenta de parte del nitrógeno que toman para su crecimiento, el cual se retira cuando las plantas se cosechan, aunque no es muy efectivo. Una parte del nitrógeno se pierde por volatilización, en donde se suministra aireación. Por tanto, es muy importante que el agua residual, que contiene formas diferentes de nitrógeno, fluya hacia delante de las raíces de los jacintos de agua hacia donde se localizan las bacterias responsables de la conversión del nitrógeno.

Eliminación de fósforo: La adsorción de sólidos de agua residual y materia vegetal, la adsorción de materia orgánica en la capa de lodo y la asimilación vegetal son los medios principales para remover el fósforo de las aguas residuales⁴⁷.

Eliminación de microorganismos patógenos: Por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en los rayos solares.

3.3.13 Compostaje con Jacinto. El compostaje es la descomposición y estabilización biológica de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable, libre de patógenos, malezas y que puede ser aplicable a la tierra. Es un proceso que depende de unos rangos óptimos de humedad y suministro de oxígeno para lograr su desarrollo. Una vez se ha aglomerado el sustrato a compostar, se da inicio a la degradación de la materia orgánica fresca, que por causa de la acción oxidativa de los microorganismos aerobios se incrementa la temperatura, y se da una eliminación de patógenos, obteniéndose humus con condiciones estables.

⁴⁷ CRITES Ron, TCHOBANOGLIOUS George. Sistema de Manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill. 2.000. p. 611

Para elegir el tratamiento mas apropiado, deben considerarse dos tipos de factores:

1- Factores que tengan en cuenta las restricciones impuestas por el residuo, como:

- a) Tipo y cantidad de residuo.
- b) Composición de la materia orgánica tratada por el tratamiento elegido.
- c) Disponibilidad, tipo y cantidad de otros residuos orgánicos en los alrededores.
- d) Localización de otro tipo de residuos similares.
- e) Disponibilidad de mercados para los productos.
- f) Localización de la red de gas natural.

Así, por ejemplo el origen del residuo, el contenido en agua (o sólidos totales, ST) y el contenido en nutrientes pueden determinar que un tratamiento dado sea factible, mientras que otros tratamientos puedan resultar inadecuados.

2- Factores que tengan en cuenta el destino final, es decir, su aplicación al suelo:

- g) Tipo de suelo donde va a aplicarse el residuo establecido.
- h) Tipo de plantaciones existentes en dicho suelo.
- i) Localización geográfica, incluyendo el clima y la meteorología.
- j) Reglamentación.
- k) Otros.

El jacinto de agua es una planta que abunda en los cuerpos de agua eutroficados y se ha convertido en un indicador de contaminación ambiental, una alternativa de gestión de esta macrófita se encuentra en el proceso de compostaje⁴⁸.

⁴⁸ Cruz Farak L.O. Compostaje del buchón de agua como alternativa de gestión. Primeros resultados. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.

Después del compostaje, la materia orgánica queda estabilizada en un grado elevado y, cuando se aplica al suelo, puede experimentar un proceso de humificación si permanecen las condiciones aerobias. La humificación involucra la descomposición de las plantas de alto y bajo peso molecular, así como constituyentes celulares y productos sintetizados por microorganismos del suelo. Este proceso es lento si el compostaje se lleva a cabo adecuadamente.

El compostaje es una tecnología más sencilla que la digestión anaerobia (DA). Puede llevarse a cabo en una gran variedad de sistemas, desde pilas hasta los túneles más sofisticados. Los costos de inversión son menores que los de la DA, pero los costos operacionales son mayores⁴⁹.

Propiedades del compostaje

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece a la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y la permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido de macronutrientes N,P,K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensa del humus y contribuyen a su mineralización.
- La población microbiana es un indicador de la calidad del suelo⁵⁰.

⁴⁹ RESIDUOS ORGANICOS. Tecnologías para el tratamiento de los residuos orgánicos y su adecuación técnica. N° 60. Departamento de ingeniería química. Universidad de Barcelona.

⁵⁰ GESTIÓN AMBIENTAL. El compostaje. Corporación Autónoma Regional del Guavio. CORPOGUAVIO. Gachalá. 2002.

4. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló en 3 etapas que permiten aclarar y explicar detalladamente cada uno de los procedimientos y actividades propias de la investigación.

4.1 ETAPA 1: ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Durante un mes se realizaron visitas oculares que permitieron determinar aspectos generales y particulares del funcionamiento del sistema de tratamiento con jacinto de agua, con el fin de concordar con la información obtenida a partir de los resultados de los sistemas anteriores y cerciorar el buen funcionamiento del sistema con jacinto de agua.

Se programaron actividades diarias, semanales, sabatinas y mensuales a realizar en el sistema de tratamiento con jacinto de agua, así como también se elaboró un listado de los materiales y equipos que fueron necesarios para realizar estas labores.

4.2 ETAPA 2: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON JACINTO DE AGUA

Esta etapa tuvo una duración de tres meses aproximadamente y se divide en las siguientes sub-etapas: muestreos y análisis de laboratorios, determinación de crecimiento de la planta y evaluación de resultados del tratamiento con jacinto de agua.

4.2.1 Muestreo y análisis de laboratorio. Las muestras de agua residual se tomaron según (Standard Methods, 1996) en dos puntos del sistema. El primero se ubico bajo la válvula principal del canal de entrada al sistema de tratamiento con jacinto de agua (figura 1) y a este se le dio el nombre de afluente del tratamiento terciario. El segundo se ubico en el último tramo del canal de salida del sistema (figura 2) y este se denomino efluente del tratamiento terciario.

Figura 1. Toma de muestra del afluente del sistema



Figura 2. Toma de muestra del efluente del sistema



Se ejecutaron muestras compuestas para el caudal correspondiente de cada uno de los dos puntos (afluente y efluente) durante 10 horas al día, tres veces por semana, inició el día 27 de agosto y finalizó el día 30 de octubre del 2007.

Con base a la siguiente formula se determino el volumen de muestra simple (alícuota) y se mezclo obteniéndose una muestra compuesta con un volumen de 1 litro.

$$V_i = (V / (n * Q_p)) * Q_i$$

Donde:

V_i = Volumen de cada alícuota

V= Volumen total a componer (2 litros)

Q_p= Caudal promedio durante la jornada aforo

Q_i= Caudal instantáneo de cada muestra simple

n= Numero de muestras tomadas

Para la recolección de cada muestra se utilizaron dos recipientes plásticos uno para el afluente y uno para el efluente de capacidad de 1 litro cada uno como lo muestra la figura 3.

Figura 3. Recolección de la muestra



En la tabla 4 se muestran todos los parámetros que se evaluaron en cada uno de los muestreos realizados.

Tabla 4. Parámetros evaluados

PARAMETRO	FRECUENCIA DE DETERMINACIÓN
pH	Diaria
Conductividad	Diaria
Nitrógeno Total	3 veces por semana
Fósforo Total	3 veces por semana
DBO	3 veces por semana
DQO	3 veces por semana
SST	3 veces por semana
Detergentes	3 veces por semana

Todas las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de análisis químico de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana.

El pH y la conductividad, fueron parámetros medidos por quienes realizaron los muestreos. Se utilizó un pH metro Handylab 1, marca Schott y un conductímetro.

4.2.2 Determinación de crecimiento de las plantas de jacinto de agua. Para evaluar el crecimiento del jacinto de agua, se aislaron 20 plantas, en un biorreactor elaborado con malla (anexo plástico) y varillas de hierro; las plantas tenían que cumplir con una serie de características como: no estar infectadas por ácaros, ser plantas jóvenes, estar sanas y tener un tamaño uniforme.

De igual forma a este biorreactor se le suministro diariamente 10 litros de agua residual proveniente del reactor a flujo pistón, con el fin de proporcionar los nutrientes necesarios para su óptimo crecimiento.

En la figura 4 se observa el método utilizado para medir el crecimiento del jacinto de agua, tomando las medidas desde la punta de las hojas, hasta el comienzo de la raíz. Igualmente se observa el biorreactor con sus respectivas plantas, previamente seleccionadas y pesadas; este biorreactor tiene un volumen de 0,21 m³.

Figura 4. Medida del crecimiento del jacinto de agua



Para conocer la biomasa húmeda total de las plantas de jacinto de agua se determinó su peso húmedo inicial, su peso a los 7 días y su peso húmedo final a los 15 días de encontrarse en el biorreactor, como se muestra en la figura 5, y cada uno de estos se dividió en la superficie cubierta.

$$\text{Biomasa producida} = \text{peso húmedo (Kg.)} / \text{superficie cubierta (m}^2\text{)}$$

Figura 5. Toma de peso húmedo final



También se determinó la masa de peso seco de las plantas. Esta se obtuvo dejando la totalidad de las plantas tal como se extrajeron del biorreactor a los 15 días (figura 6), inmediatamente se ubicaron en una zona al aire libre, bajo techo y encima de una lámina de aluminio, hasta eliminar por completo el contenido de agua de las mismas.

Figura 6. Primer día de secado del jacinto de agua. Octubre 23 de 2007



En la figura 7 se observa el estado final de las plantas, después del periodo de secado; esto se realizó para estipular la densidad de biomasa seca de las plantas

ya que esto será de gran importancia para la producción del compostaje con jacinto de agua como alternativa de tratamiento para los subproductos generados del proceso. Se cálculo mediante la siguiente formula:

$$\text{Biomasa seca} = \text{peso seco (Kg)} / \text{área cubierta (m}^2\text{)}$$

Figura 7. Día 15 de secado del jacinto de agua. Noviembre 6 de 2007



Para determinar el peso de las plantas durante todas las etapas (peso húmedo y peso seco) se utilizó una balanza Adventur TM OHAUS Max. Con lectura de 0,001 gramos y capacidad de 310 gramos.

4.2.3 Evaluación de resultados de los análisis físico-químicos y biológicos del tratamiento con jacinto de agua. Para evaluar los resultados de los análisis del tratamiento con jacinto de agua se trabajaron estadísticamente los datos en hoja de cálculo electrónica (Microsoft Office Excel 2003), determinando la eficiencia en remoción, valores promedios, mínimos y máximos de DBO, DQO, SST, nutrientes y detergentes utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{Parámetro Afluente} - \text{Parámetro Efluente}}{\text{Parámetro Afluente}} \times 100$$

Conforme a los datos se graficaron los resultados de los parámetros físico-químicos y biológicos determinados en el laboratorio, tanto del afluente como del efluente y se hicieron comparaciones entre las diferentes características evaluadas.

4.3 ETAPA 3: DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS SUBPRODUCTOS GENERADOS EN EL PROCESO

Esta etapa tuvo una duración de 1 mes aproximadamente y se divide en las siguientes sub-etapas: Montaje de compostaje con el jacinto de agua; registro de temperaturas y tasa de aireación; muestreo y análisis de laboratorio.

4.3.1 Montaje de compostaje con el jacinto de agua. En este procedimiento del compostaje se utilizaron plantas de edad adulta recolectadas en el cosechamiento. Figura 8.

Figura 8. Plantas recolectadas



Las plantas inicialmente fueron pasadas por una picadora TPRR, TRR 300 Brasileira, Figura 9; dando como resultado trozos de jacinto de diferentes tamaños, oscilando entre los 0.5 y 1.5 cm de longitud. figura 10.

Figura 9. Picadora



Figura 10. Jacinto de agua picado



Configuración de las pilas. Luego de haber obtenido este producto se introdujo en dos pilas: una de solo jacinto (J) y otra con aserrín como material abultante hechas en madera, de igual tamaño, con las siguientes medidas: 1.80 m. de largo,

0.60 m. de ancho, 0.15 m. de altura, para un volumen total de 0.162 m^3 , como se ilustra en la figura 11; en las cuales se hicieron pequeños orificios con el fin de obtener un buen drenaje. Figura 12. Igualmente se proporcionó un recubrimiento en plástico negro, con el objetivo de evitar que los lixiviados contaminaran las zonas aledañas, como lo pueden observar en la figura 13.

Figura 11. Dimensiones de las pilas

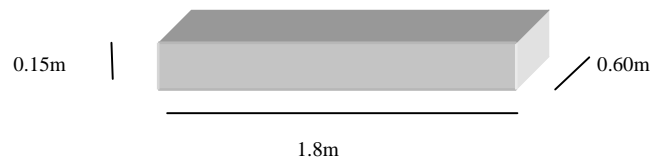


Figura 12. Orificios para drenaje en las pilas



Figura 13. Pilas de compostaje



También este plástico hacia de manto impermeable, siendo necesario para asegurar que el oxígeno, la humedad y el calor se mantuvieran en la pilas, de tal forma que se creara un microclima en ella con el propósito de disminuir la duración del proceso de compost. Figura 14.

Figura 14. Manto impermeable (plástico)



Una vez picado, se introdujeron 40 KG en la primera pila compuesta solamente por jacinto de agua (J), Figura 15.

Figura 15. Pila J (solo jacinto)



En la segunda pila (JA), figura 16, se mezclaron residuos de madera (aserrín), con una relación de mezcla Madera: Jacinto de 1:1.

Figura 16. Pila JA (jacinto mezclado con aserrín)



4.3.2 Registro de temperaturas y tasa de aireación. Se instaló un sensor de temperatura (termocupla Brixco Germany) con el fin de establecer las temperaturas de las pilas durante el tiempo de análisis. Figura 17.

Figura 17. Termocupla



La aireación juega un papel importante en el comportamiento de las temperaturas de las pilas de compostaje. Para ajustar la tasa de aireación fue indispensable

efectuar volteos cada tres días, además se añadió agua para mantener la humedad en las pilas. Figuras 18 y 19.

Figura 18. Volteo



Figura 19. Riego



4.3.3 Muestreo y análisis de laboratorio. A cada una de estas pilas se le hizo un muestreo durante un periodo de 30 días, este consistió en tomar muestras diariamente en la parte central de las pilas. Las muestras de cada pila fueron depositadas en una capsula de porcelana y pesadas determinando de este modo su peso húmedo, posteriormente fueron sometidas a un proceso de secado

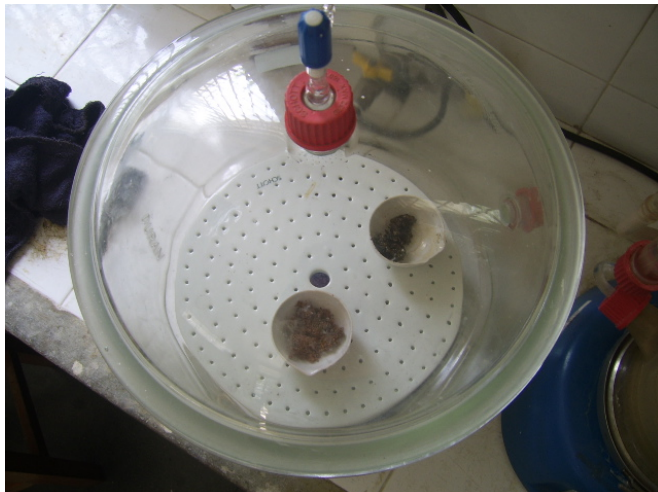
durante 1 hora a 105 grados centígrados en el horno. Figura 20, y luego situado en el desecador 30 minutos con el fin de trabajar con la base seca (peso seco). Figura 21; y posteriormente determinar la humedad en los laboratorios de la UPB utilizando la siguiente formula.

$$\% \text{de humedad} = \frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Húmedo}} * 100$$

Figura 20. Horno



Figura 21. Desecador



5. RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 ETAPA 1: ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Se desarrollaron actividades diarias como fueron: la toma de muestras en dos puntos (afluente-efluente) del sistema de tratamiento con jacinto de agua, las muestras se tomaron en el horario de las 8:00 AM; de estas se obtuvo un caudal y se le determinaron parámetros tales como: pH y conductividad.

Se estableció hacer un cosechamiento mensualmente; el cual consistió en la extracción manual del jacinto adulto (mayor tamaño) y distribución de las plantas jóvenes en los espacios vacíos que quedan después de la recolección, con la intención de mantener el sistema en óptimas condiciones de remoción. Estas plantas se retiraron en carretillas y baldes generando un peso total de plantas recolectadas de 1710 kg aproximadamente en cada cosechamiento; Esta actividad puede tardar de 2 a 3 horas aproximadamente según la cantidad de personal (4 y 3 personas). Las plantas retiradas del sistema son llevadas a un sitio en el cual se lleva acabo el proceso de compostaje.

La fumigación es una actividad adicional realizada cada mes con un bioinsecticida; permitiendo mantener las plantas en buen estado y libres de su plaga habitual, debido al control y eliminación de la población de ácaros presentes en estas.

El insecticida natural que se usa para el control de los ácaros, está hecho a base de ajo y ají.

Como en todo el sistema de lagunaje la sedimentación de lodos es inevitable; se hace indispensable su extracción periódica para evitar la colmatación por exceso de estos. En consecuencia, se efectuaron actividades de limpieza de lodos en los tabiques del tratamiento con jacinto de agua mensualmente, con el fin de no afectar la eficiencia y funcionamiento hidráulico del sistema.

Los lodos generados dentro del sistema de tratamiento con jacinto de agua, cada mes debieron ser extraídos manualmente como se muestra en la figura 22 y disponerlos finalmente en los lechos de secado o pilas de compostaje.

Figura 22. Limpieza de lodos en el sistema de tratamiento



También se establecieron nuevas acciones complementarias a las señaladas anteriormente así como los materiales y equipos necesarios para su realización. Una de las actividades complementarias fue verificar los niveles de encendido y apagado de los flotadores de los tanques elevados y así mantener su óptimo funcionamiento; debido a que en ocasiones se apagaban los flotadores impidiendo alimentar el sistema de recuperación con jacinto de agua. Esta actividad fue hecha manualmente cada semana.

Además diariamente la extracción manual de otros elementos como hojas secas que caen de los árboles, las cuales pueden causar taponamientos en las válvulas del sistema o en el punto efluente que pueden obstruir el flujo normal de agua y generar una variación significativa del caudal.

Son de uso obligatorio para la realización de las diferentes actividades de operación y mantenimiento los siguientes elementos de protección:

- Guantes de nitrilo.
- Botas de caucho.
- Anteojos de protección
- Colador.
- Baldes.
- Carretilla.

5.2 ETAPA 2: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON JACINTO DE AGUA

Teniendo en cuenta que el volumen del sistema es de 91.63 m³ y el caudal promedio de 0.84 L/seg, se determinó el tiempo de retención promedio en el sistema como se muestra en la tabla 6.

5.2.1 Muestreo y análisis de laboratorio. Los muestreos iniciaron el día 27 de agosto y finalizaron el día 30 de octubre del segundo semestre del 2007, con una duración aproximada de dos meses y tres días.

Se optó por realizar muestras compuestas durante 10 horas, debido a que se busca evaluar la eficiencia del sistema y este tipo de muestra es la recomendada por la norma (Standard Methods, 1-37); además es importante que la muestra

contenga concentraciones equivalentes de contaminantes que se ajusten al tiempo de funcionamiento del sistema de tratamiento; es decir las 10 horas del día durante las cuales hay actividad en la UPB.

Al realizarse muestras compuestas, fue necesaria una serie de aforos en la entrada y salida del sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, debido a que el caudal de entrada al sistema no es constante como lo muestra la tabla 5, donde se observan las variaciones del caudal promedio diario (afluente-efluente) (Anexo A).

Tabla 5. Caudales de aforo del 27/08/07 al 30/10/07

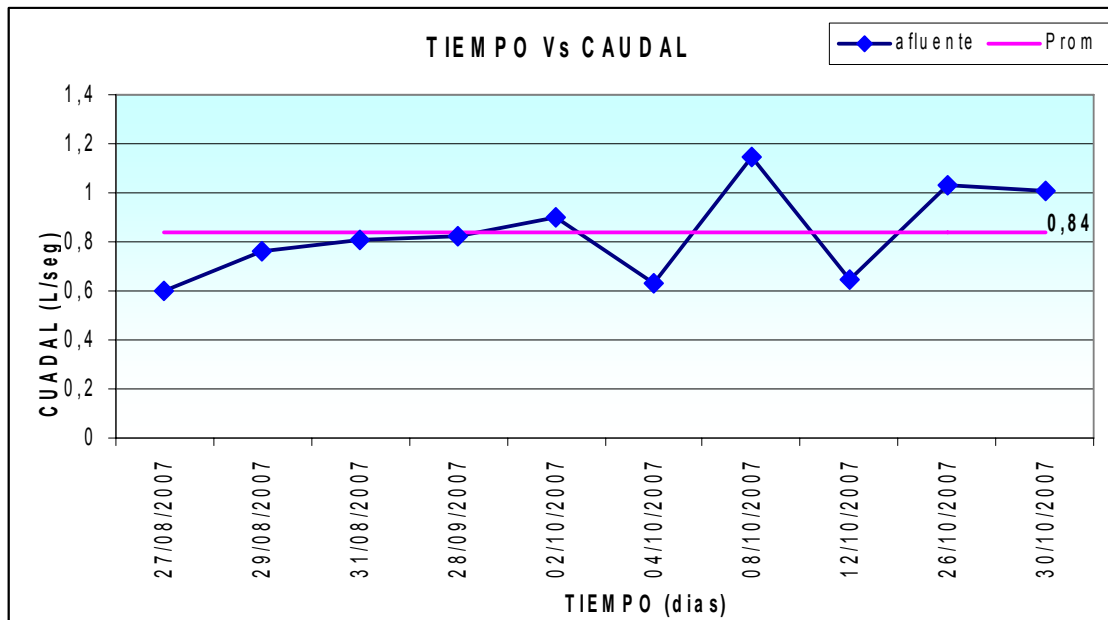
DIA	Q(L/SEG) a	Q(L/SEG) e
27/08/07	0.6	0.36
29/08/07	0.76	0.41
31/08/07	0.81	0.29
29/09/07	0.82	0.46
02/10/07	0.9	0.67
04/10/07	0.63	0.36
08/10/07	1.15	0.52
12/10/07	0.65	0.53
26/10/07	1.03	0.51
30/10/07	1.01	0.35
PROMEDIO	0.84	0.45

En la figura 23, se muestran los diferentes caudales promedio obtenidos en el afluente, en los respectivos días de aforo.

Tabla 6. Tiempos de retención hidráulica

DIA	TRH(horas)
27/08/07	42.42
29/08/07	33.49
31/08/07	31.42
29/09/07	31.04
02/10/07	28.28
04/10/07	40.40
08/10/07	22.13
12/10/07	39.16
26/10/07	24.7
30/10/07	25.2
PROMEDIO	31.82

Figura 23. Aforo afluente



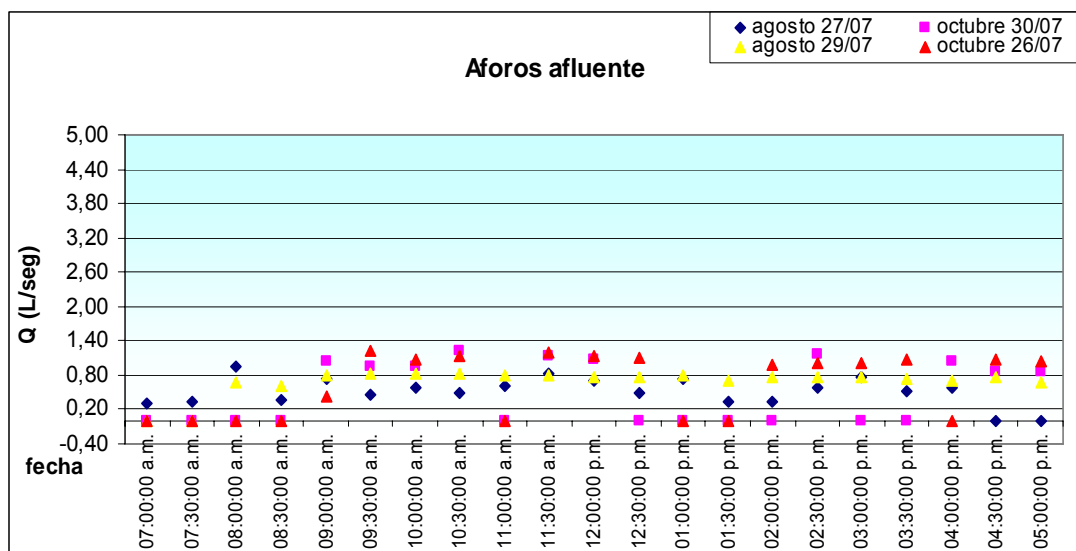
Se aprecia con claridad una variación del caudal en el sistema. En esta grafica se observa que el caudal del afluente esta en un rango de [0.6 - 1.15] L/seg.

La variación de caudal más alta en el afluente se presentó el lunes 08 de octubre; este resultado puede atribuirse a un taponamiento en la válvula de los tanques elevados del sistema el fin de semana anterior.

También se observaron caudales afluentes máximos los días viernes 26 y martes 30 de octubre; debido a que en estos días la institución presenta el mayor numero de estudiantes; además todo el personal administrativo y de servicios generales. (Departamento de admisiones, registro y control académico. Universidad Pontificia Bolivariana. 2.007; Departamento de Relaciones Laborales y Desarrollo de Personal. Universidad Pontificia Bolivariana. 2.007).

En la figura 24 se muestra la grafica con los diferentes aforos realizados en el afluente durante el presente estudio, donde se aprecia con mayor claridad la variación del caudal del sistema.

Figura 24. Aforo afluente por horas

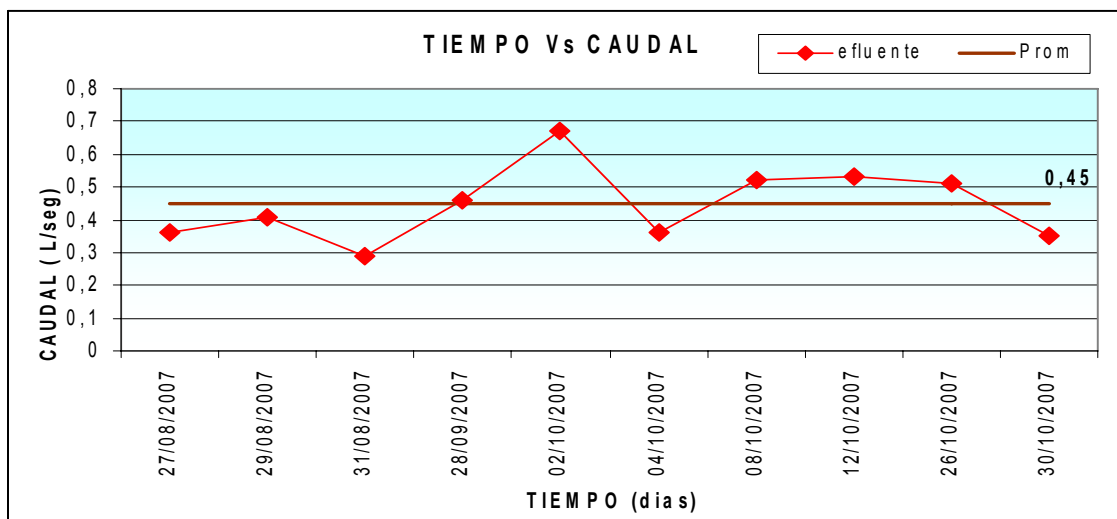


En esta grafica se observa que el caudal con mayor variación corresponde al aforo realizado el 26 de octubre; este resultado puede atribuirse a que en este día la universidad presenta una variación notable de estudiantes en diferentes horas del día; presentando valores extremos en el caudal afluyente.

Se pudo observar que el caudal se presenta en los días 26 y 30 de octubre a las 8:30 a.m. En el punto afluyente, y en horas del medio día (12:30 - 2:00 p.m.) no se presenta caudal; ya que no hay un suficiente volumen de agua en el pozo de succión para bombear al sistema del tratamiento, se presume que la presencia de estudiantes en los sanitarios es mínima en estas horas del día.

En la figura 25, se muestran los diferentes caudales promedio obtenidos en el efluente, en los respectivos días de aforo.

Figura 25. Aforo efluente



El caudal efluente presento un rango de [0.29 - 0.67] L/seg. Las variaciones de caudal más altas en el efluente con respecto al caudal promedio de 0.45 L/seg se presentaron los días martes y viernes.

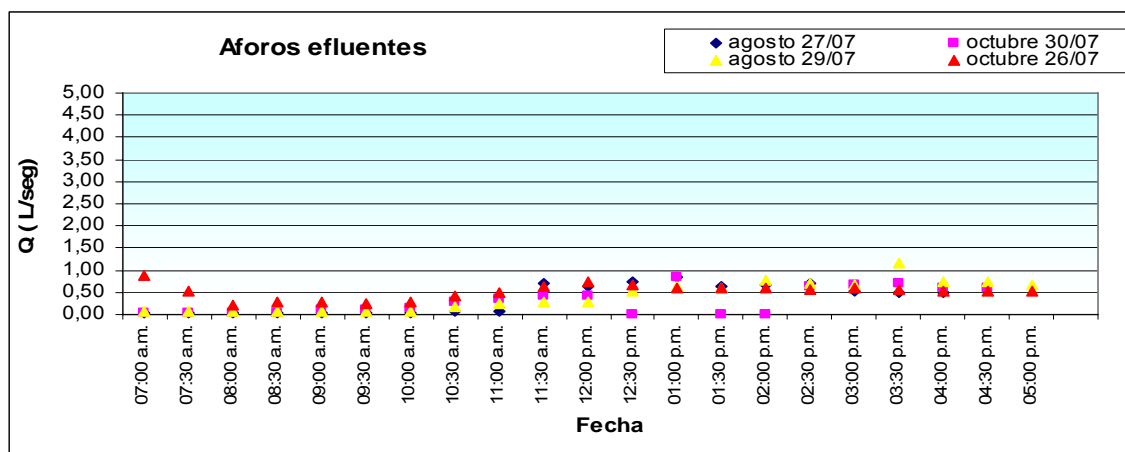
El caudal efluente máximo se presentó el día martes 2 de octubre, atribuido a una fuerte lluvia en horas de la tarde, la cual alteró significativamente el promedio registrado, y por falta de mantenimiento el caudal mínimo se presentó el día viernes 31 de agosto, debido a un taponamiento con hojas secas en el efluente del sistema; como se observa en la figura 26.

Figura 26. Taponamiento con hojas secas



En la figura 27, se presentan variaciones del caudal en el efluente del sistema a partir de los datos obtenidos en los aforos.

Figura 27. Aforo efluente por horas



Se observa un valor elevado en los primeros muestreos del caudal efluente el 26 de octubre; debido a una fuerte lluvia en la madrugada, la cual aumentó el volumen de agua en el sistema presentando un incremento notable del caudal en este punto.

El día 30 de octubre no se presentó caudal de 1:30 a 2:00 p.m, atribuido al taponamiento en una válvula del sistema que pudo obstruir el flujo normal de agua, generando una reducción significativa en el caudal efluente.

Parámetros de evaluación del sistema: N, P, SST y DBO₅. Los parámetros a analizar de mayor importancia en este sistema fueron los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, ya que el propósito del tratamiento terciario es la remoción de estos; esto es importante para prevenir la eutrofización aguas abajo, proceso que trae consigo un rápido crecimiento de plantas y algas, seguido del agotamiento del oxígeno, lo que afecta a otras especies. Puede ser importante también en lo que atañe a evitar que altas concentraciones de estos nutrientes lleguen a las aguas subterráneas u otras fuentes de agua susceptibles de ser utilizada para consumo humano.

Además de estos parámetros se analizaron otros como lo fueron el DBO₅ y sólidos suspendidos; éstos permiten evaluar la carga orgánica presente en el agua residual y además estos datos obtenidos dan respuesta a los requerimientos legales (decreto 1594 de 1.984) exigidos por la autoridad ambiental (CDMB), en cuanto a vertimientos en cuerpos de agua superficiales.

En la tabla 7 se presentan los valores exigidos en el decreto 1594 de 1.984 en cuanto a vertimientos a un cuerpo de agua.

Tabla 7. Parámetros exigidos por la normatividad

Parámetro	valor exigido	
	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5-9 Unidades de pH	5-9 Unidades de pH
Temperatura	<40 ⁰ C	<40 ⁰ C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción >80% en carga	Remoción >80% en carga
sólidos suspendidos	Remoción >50% en carga	Remoción >80% en carga
DBO ₅	Remoción >30 % en carga	Remoción >80 % en carga

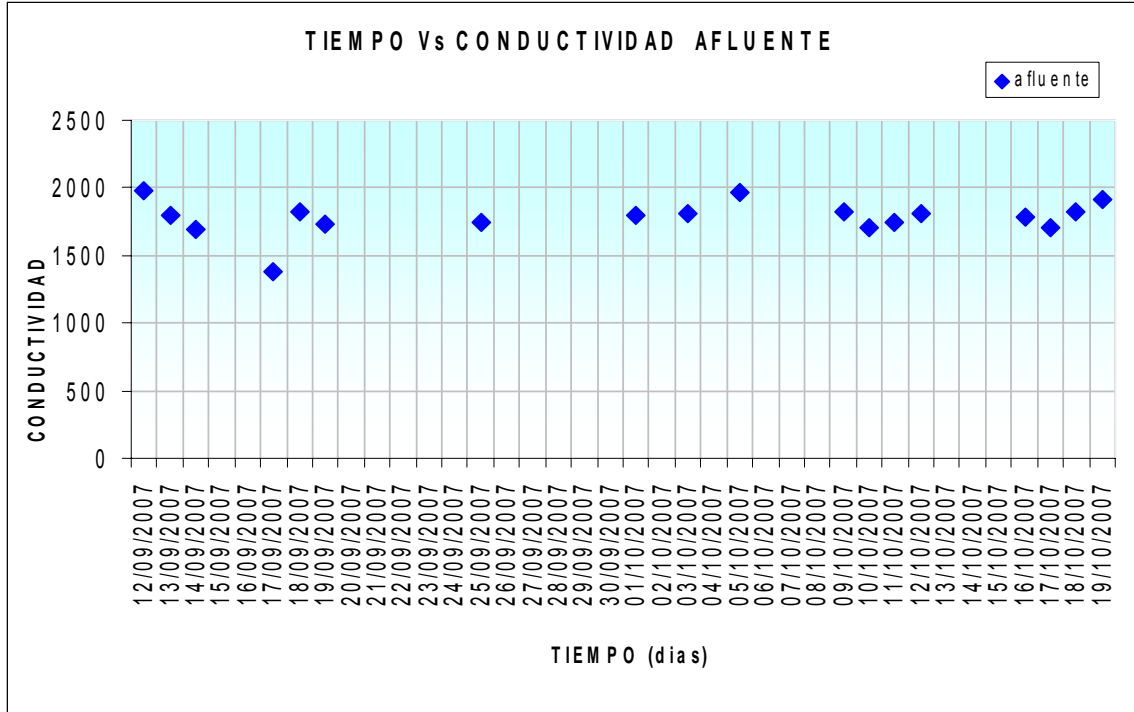
Fuente: Decreto 1594 de 1984, artículo 72.

Parámetros de control: pH y conductividad. Estos parámetros sirven de control para el sistema de recuperación de aguas residuales de la planta de tratamiento, se evaluó desde el 12 de septiembre hasta el 19 de octubre en los cuales se tomó la muestra a las 8:00 a.m; de allí se adquirieron los resultados de PH y conductividad.

Conductividad. La conductividad se determinó diariamente durante un periodo de muestreo, con el fin de demostrar cuanta corriente eléctrica conducía el agua residual a la entrada y salida del tratamiento. Esta corriente eléctrica se debe al aumento en las concentraciones de Cl⁻, NO₃⁻ y SO₄. (Ver datos anexo B).

En la figura 28 es posible observar la tendencia que presentan los valores en el afluente del sistema.

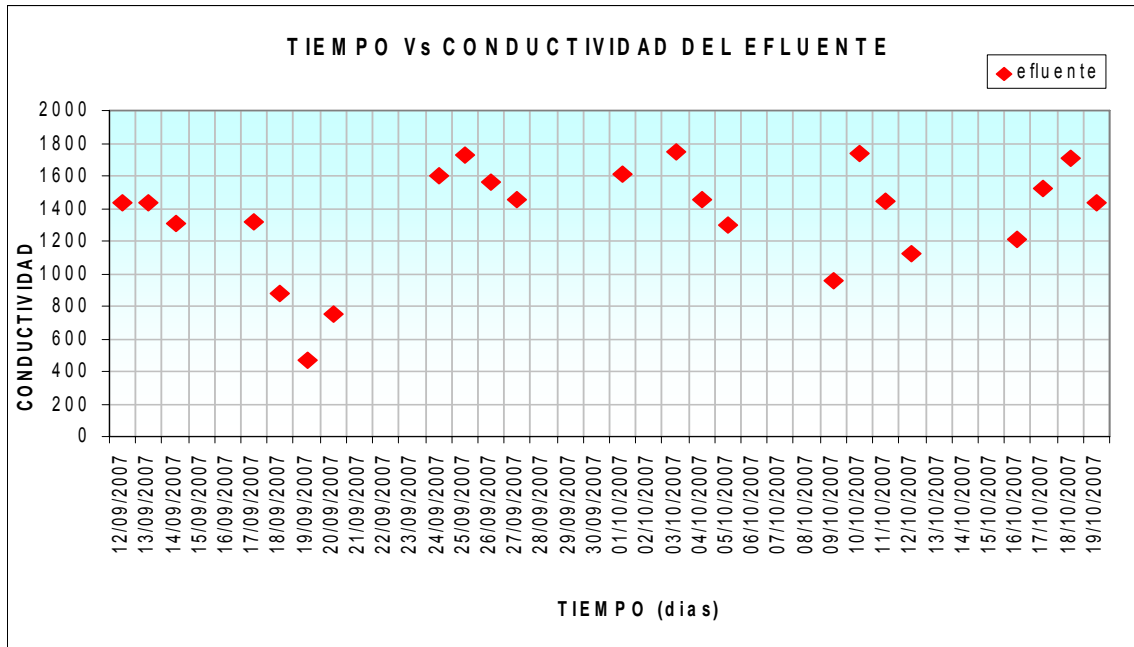
Figura 28. Conductividad afluente



La conductividad del afluente se encuentra en un rango de [1380 - 1977] $\mu\text{S}/\text{cm}$. A la entrada del tratamiento la conductividad es más alta que a la salida, esto debido a que el agua tiene más iones de sales disueltas.

En la figura 29 se pueden ver los valores de conductividad para el afluente del sistema.

Figura 29. Conductividad efluente



El efluente se mantuvo en un rango de [465 - 1755] $\mu\text{S/cm}$. Lo cual indica que al pasar el agua residual por el tratamiento con jacinto de agua se removi3 una conductividad del 23.68 %, por tanto se deduce que algunos iones de estas sales se juntan a las plantas y otros son extra3idos por estas.

De los datos anteriores se puede concluir que la conductividad con que sale el agua no es apta para el riego de plantas debido a que no cumple con la escala recomendada (100 – 1000) $\mu\text{S/cm}$. Y tampoco es apta para pozos de pescados⁵¹.

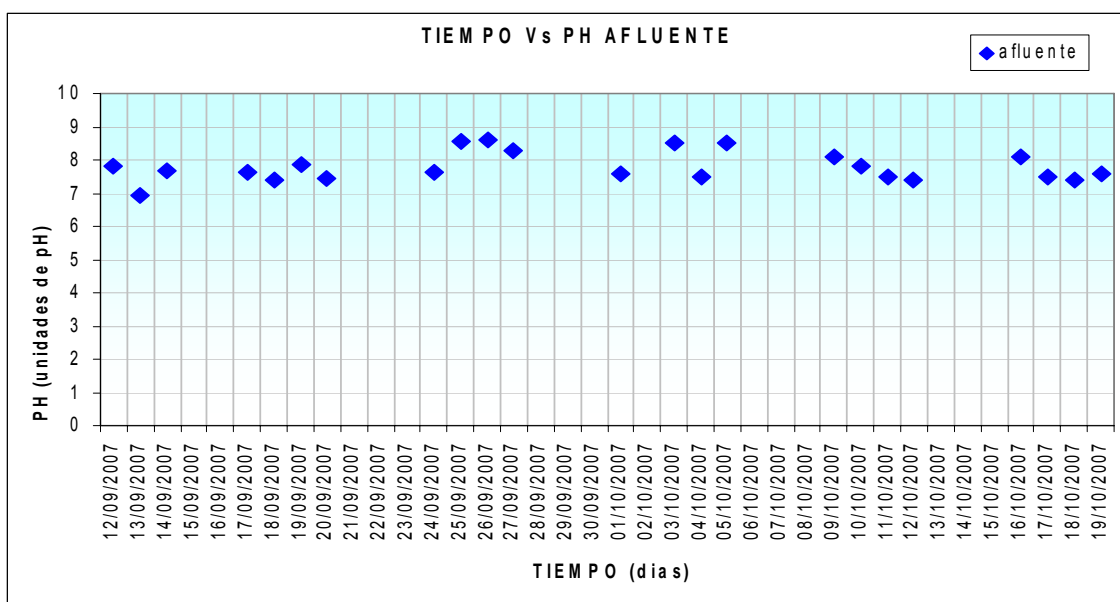
- **pH.** El pH se debe medir de forma constante con el objetivo de monitorear de manera continua el comportamiento del sistema y detectar cualquier alteraci3n de caracter3sticas f3sicas o qu3micas del agua residual que se esta generando en el tratamiento con jacinto de agua y a la salida de este, para as3 poder desarrollar

⁵¹ <http://www.epa.gov/owow/monitoring/volunteer/stream/>.

medidas preventivas y/o correctivas evitando consecuencias en el desarrollo normal del tratamiento o afectaciones en el crecimiento de las plantas. (ver datos anexo C).

En la figura 30 se puede apreciar la tendencia de los valores de pH para afluente presentada en el sistema.

Figura 30. PH afluente



Según los datos contenidos en el anexo C, se pudo observar que el jacinto de agua tiene un pH promedio en el afluente de 7,87 unidades de pH y en el efluente 8,15 unidades de pH.

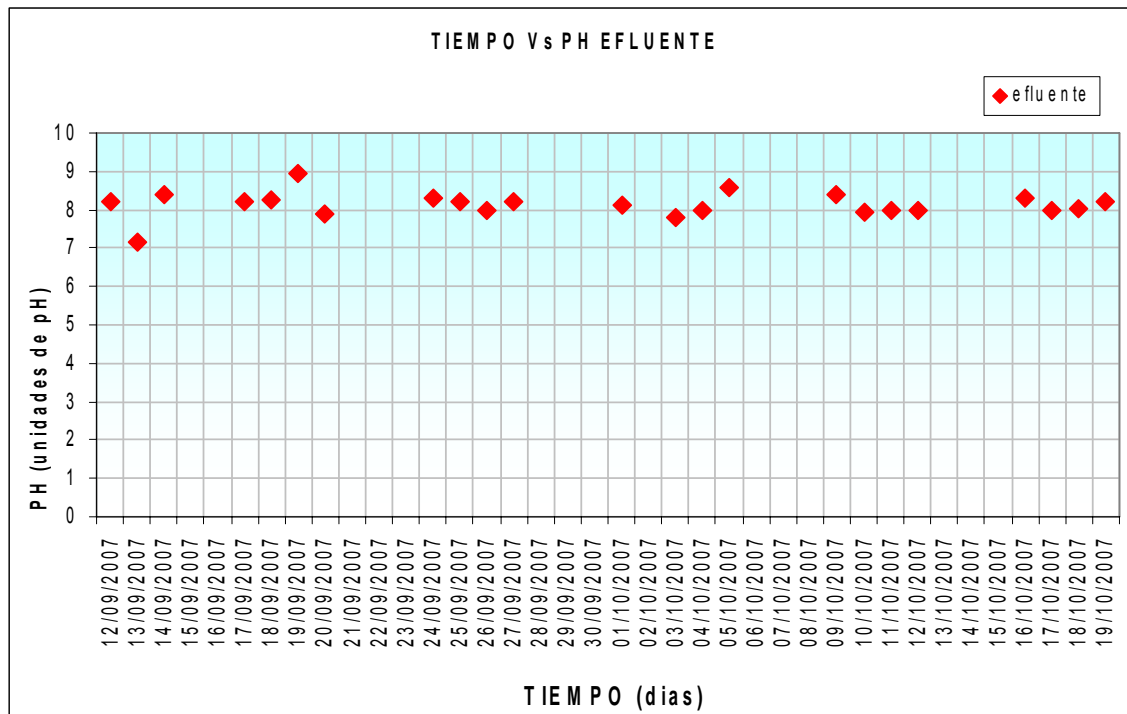
En la figura 30 se observa que el pH afluente oscila entre [6.94 – 8.6] unidades de pH; este rango concuerda con el estipulado para descarga de efluentes de tratamiento secundario el cual se encuentra entre 6,0 a 9,0 unidades de pH; igualmente sirve para procesos biológicos de nitrificación, en los cuales se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 (Romero, Op. Cit. P. 66).

Se encontraron algunos picos durante el periodo de muestreo, con valores máximos de pH a la entrada de 8.5 y 8.6; por tanto se puede afirmar que el pH en la entrada del sistema con jacinto de agua muestra una tendencia hacia la alcalinidad.

Además se hallaron valores mínimos de pH a la entrada de 6.94 y 7.4 unidades de pH; por tanto se logra afirmar que en la entrada del sistema se facilitará el proceso de desnitrificación, ya que en los sistemas acuáticos la desnitrificación biológica es el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno y para que este proceso se produzca adecuadamente debe estar en un rango entre 6.5 y 7.5.

En la figura 31 se puede apreciar la tendencia de los valores de pH para efluente presentada en el sistema.

Figura 31. PH efluente



En la figura 31 se observa que el pH efluente oscila entre [7.14 - 8.94] unidades de pH; asimismo este rango de pH en la salida del tratamiento con jacinto de agua es el mas apto para procesos biológicos de nitrificación, en los cuales se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 (Romero, Op. Cit. P. 66).

Se puede afirmar que el pH en el efluente del sistema con jacinto de agua muestra una tendencia hacia la alcalinidad. Estos datos se pudieron presentar por la presencia de algas en este punto, ya que estas hacen que el pH sea más alcalino debido a la producción de CO₂; ya que en esta figura se encontraron algunos picos con valores máximos a la salida del sistema de 8.56 y 8.94 unidades de pH.

De las figuras anteriores podemos deducir que se presento un pH superior en el punto efluente, debido a que se encuentran muchos microorganismos por la falta limpieza en esta zona del tratamiento⁵². Además se puede concluir que el pH del sistema con jacinto de agua se encuentra dentro del rango (5 - 9) exigido por la norma actual sobre vertimientos (Decreto 1594 del 1984, Art. 72.). Además los resultados no se presentaron superiores a 8,9 lo que permite deducir que el pH no afecto su crecimiento.

5.2.2 Determinación de crecimiento de las plantas de jacinto de agua. Al tener una cantidad exacta de plantas con las características mencionadas en la metodología, iniciamos el proceso de evaluación del crecimiento, en el cual logramos apreciar visualmente la evolución que estas tuvieron con el paso de los días.

En las figuras 32, 33 y 34 se aprecia la secuencia de crecimiento del jacinto de agua durante las pruebas.

⁵² Brock, Biología de los microorganismos, Pearson Prentice Hall, México 2004, 151 – 165 pp.

Figura 32. Primer día de prueba. Octubre 09 de 2007



Figura 33. Séptimo día de prueba. Octubre 15 de 2007



Figura 34. Último día de prueba. Octubre 23 de 2007



En la siguiente tabla podemos observar el crecimiento del jacinto de agua en un periodo de 15 días.

Tabla 8. Resultado del crecimiento de las plantas

ESTADO	DÍA	PESO Total (Kg.)	ALTURA Promedio(cm.)
INICIAL	09/10/2007	1,87	18
INTERMEDIO	15/10/2007	2.34	23
FINAL	23/10/2007	4,05	26

Aumento del peso a los 7 días = 0.47 Kg

Aumento del peso a los 15 día = 2.18 Kg

Biomasa producida = Peso (Kg) / Superficie cubierta (m²)

Biomasa producida en la etapa intermedia el día 15/10/2007.

Biomasa producida = 0.47 Kg / 0,45 m²

Biomasa producida = 1.04 Kg / m²

Biomasa producida en la etapa final el día 23/10/2007

Biomasa producida = 2,18 Kg / 0,45 m²

Biomasa producida = 4.84 Kg / m²

El sistema de tratamiento tiene un área total de 152,72 m² y asumiendo que la densidad final es de 4,84 Kg / m², el peso aproximado de las plantas en todo el sistema después de un cosechamiento sería de 739,84 Kg; recolectando alrededor de un 70% del total de las plantas en el sistema, quedando en el sistema un 30% equivalente al peso anteriormente calculado.

Se logró observar que el crecimiento promedio del jacinto de agua a los 7 días de estar en los biorreactores fue de 5 cm. y a los 15 días fue de 8 cm. de altura y el aumento de su peso en cada planta fue aproximadamente de 23.5 gramos a los 7 días y 109 gramos a los 15 días.

Con base a estos resultados se demuestra que el jacinto de agua, esta doblando su peso aproximadamente cada 15 días, lo cual afirma su rapidez reproductiva ya que además de aumentar su tamaño, la planta en la parte sumergida se extiende lateralmente mediante el desarrollo de estolones y formación de renuevos que sirven para la propagación vegetativa de la especie.

Las características de rápido crecimiento y alta productividad hacen que en cursos de agua naturales y en determinadas circunstancias, pueda llegar a ser un grave problema. Sin embargo, estas características son muy ventajosas cuando se utiliza en ambientes controlados para el tratamiento de aguas residuales como es nuestro caso.

El principal limitante para el desarrollo del jacinto de agua es la temperatura, que debe mantenerse dentro de los límites usuales del régimen tropical o subtropical. Según esto podemos observar que el crecimiento es rápido en los biorreactores; ya que en el entorno las temperaturas oscilan entre 20 - 30°C; temperaturas medias que son óptimas para el jacinto en las cuales se puede obtener una gran eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas viéndose reflejada en su peso y altura.

Con base en esto podríamos decir que su eficacia dependerá del grado de cobertura alcanzado, es decir, de su rendimiento en biomasa; ya que es una planta muy productiva, que en condiciones apropiadas alcanza rendimientos medios cercanos a 100 toneladas de materia seca por hectárea y año, pero hay citas de incluso a 154 t/ha/año en Colombia.

Debido a que los índices de nitrógeno y fósforo son tan elevados en el sistema; se debe realizar el cosechamiento con más frecuencia para evitar la proliferación de la planta, mantener constante la extracción de nutrientes y obtener así elevados porcentajes de remoción de los mismos.

En las siguientes figuras podemos observar el crecimiento en peso y altura de las plantas de jacinto de agua en un periodo de 15 días.

Figura 35. Crecimiento del jacinto

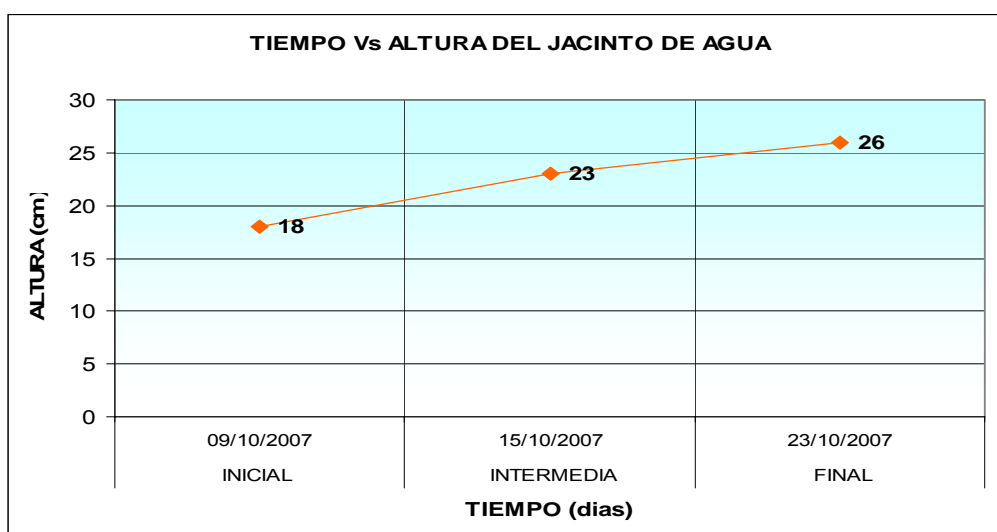
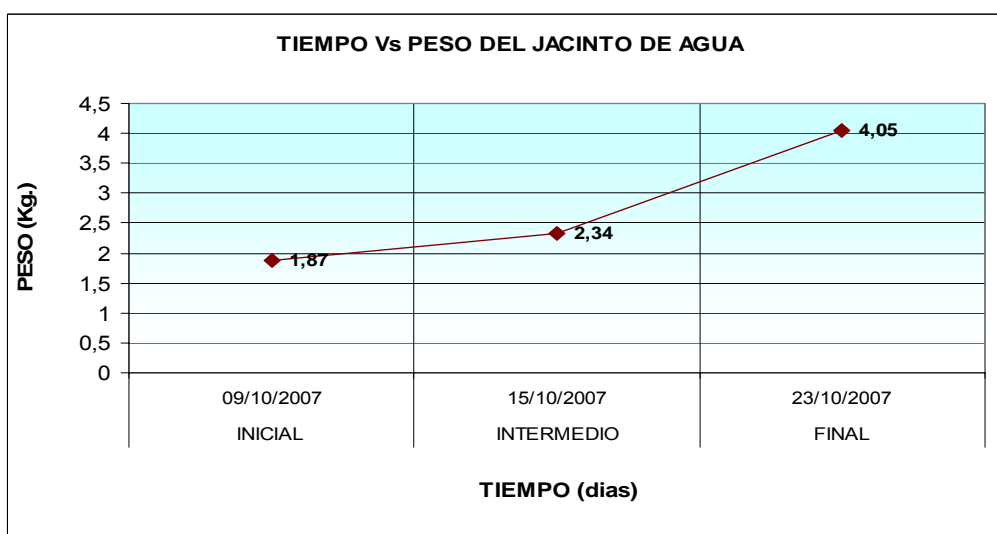


Figura 36. Peso del jacinto



Por otro lado se realizo la extracción total de la humedad presente en las plantas de jacinto de agua evaluadas, dejándolas a la intemperie sobre una lámina de acero durante dos semanas y posteriormente se determino su peso de masa seca.

El peso total de estas plantas después de los 15 días de secado es de 0,24 Kg. (12 gr.) por planta, con este dato se puede calcular el contenido de humedad de la siguiente manera:

Contenido de humedad = Peso húmedo - Peso seco

Contenido de humedad = 4,05 - 0,24

Contenido de agua de la planta = 3,81 Kg.

Con base a los resultados se obtiene que el 94,07% del peso de la planta es de agua y el 5,93% son fibra y nutrientes.

Figura 37. Toma de peso seco



La importancia de determinar el peso seco de la planta reside en el posterior uso que se le dé a estas después de realizar el cosechamiento, debido a que pueden usarse como parte del suplemento proteico de la ración de animales de granja o como abono verde, el cual serviría para abonar las plantas de la institución.

Además permite dar una base para determinar cantidades requeridas en el proceso de compostaje a realizar en la planta con este subproducto del sistema.

En la figura 38 se muestra una planta de jacinto de agua recién extraída del sistema, en capacidad de asimilación de nutrientes y en mejores condiciones ambientales frente a la misma planta después del proceso de secado, donde se aprecia el cambio físico que sufre al no estar extrayendo nutrientes y exponerse a condiciones ambientales extremas.

Figura 38. Fotos extraída la planta y después de 14 días



5.2.3 Evaluación de resultados de los análisis físico-químicos y biológicos del tratamiento con jacinto de agua. A continuación se presentan los resultados procesados en la hoja electrónica (Microsoft Office Excel 2003), los gráficos y tablas correspondientes a los resultados de las remociones obtenidas y los respectivos análisis de los parámetros evaluados en el sistema:

Parámetros de evaluación

✚ **Nitrógeno total.** La remoción de nitrógeno se evaluó para el nitrógeno total, ya que éste abarca todas las formas del nitrógeno en la naturaleza.

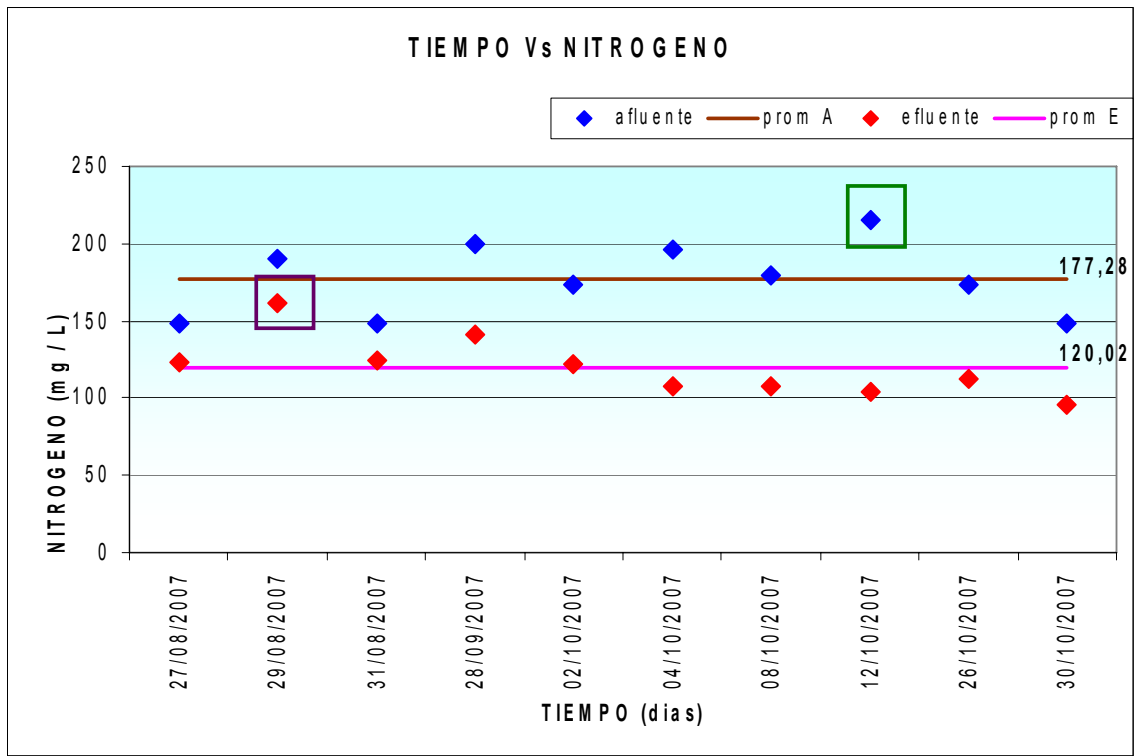
En la tabla 9 se observan los datos de laboratorio para el nitrógeno total, con los cuales se diseñaron las respectivas graficas de tendencia y remoción.

Tabla 9. Valores de nitrógeno total para afluente y efluente del sistema

NITROGENO			
FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCION
	(mg Norg/L)	(mg Norg/L)	(%)
27/08/07	148.4	123.2	17
29/08/07	190.4	161	15.44
31/08/07	148.4	124.6	16.03
29/09/07	200.2	141.4	29.37
02/10/07	173.4	122.4	29.41
04/10/07	196	107.8	45
08/10/07	179.2	107.8	39.84
12/10/07	215.2	104.5	51.44
26/10/07	173.2	112.3	35.16
30/10/07	148.4	95.2	35.84
Remoción promedio: 31.45			

En la figura 39 se puede apreciar la tendencia de los valores de nitrógeno total tanto para afluente como para efluente presentada en el sistema.

Figura 39. Tendencia del nitrógeno



Los valores del nitrógeno total para el efluente como se muestra en la figura 39, varían en el rango de [95,2 – 161] mg/L, con un valor máximo de 161 mg/L como se aprecia en el recuadro color violeta.

Así se identificó que hubo en cada uno de los muestreos una reducción del nitrógeno afluente respecto al efluente de [23,8 - 110,7] mg/L. esto es debido a que el tratamiento con jacinto de agua funciona en buenas condiciones lo cual está reduciendo un gran porcentaje de nitrógeno.

El nitrógeno a la entrada del tratamiento se mantuvo en un promedio de 177,28 mg / L N y a la salida se conservó en un promedio de 120,02 mg/ L N, de lo cual se pudo deducir que después de haber pasado por el tratamiento se está reduciendo un 31.45% de nitrógeno.

Como se mencionó anteriormente, la entrada de nitrógeno total a la planta presenta un valor máximo de 215,2 mg/L y un valor máximo a la salida de 161 mg/L. Estos valores son significativamente altos si se tiene en cuenta que los valores de nitrógeno total para aguas residuales domesticas no sobrepasan los 100mg/L (Romero, J., 2002). Este valor tan elevado de nitrógeno no influye en el desarrollo normal de la planta ni disminuye la eficiencia del sistema, al contrario; lo que se puede comprobar el día 12 de octubre, donde se presentaron los valores mas altos de nitrógeno total en el afluente del sistema y al mismo tiempo se ve que la eficiencia presentada es la mas alta reportada durante el periodo de evaluación.

También es posible observar que los datos del afluente permanecen constantes de manera relativa hasta el día 12 de octubre, Antes de este día no existen variaciones extremas las cuales no indican una alteración o disminución en la concentración de nitrógeno. En los primeros muestreos se nota que el nitrógeno se encuentra en un rango de [148.4 - 190.4] mg/L.

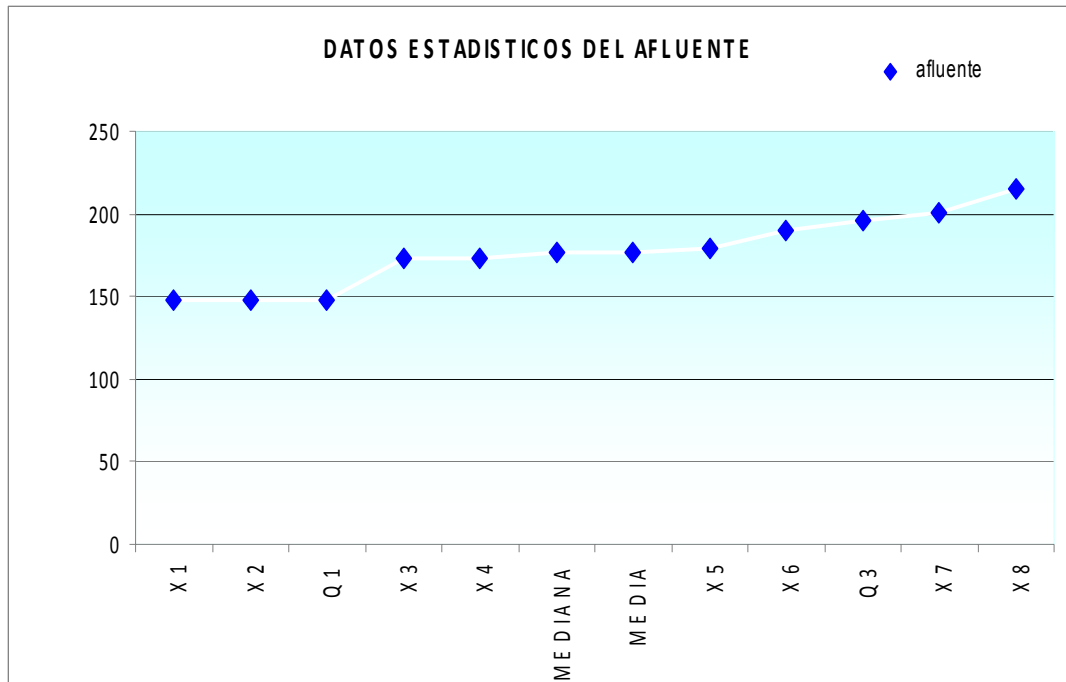
Tabla 10. Cargas contaminantes para Nitrógeno

Especie	Concentración media Afluente (mg/L)	Concentración media Efluente (mg/L)	Carga media contaminante Afluente (Kg/d)	Carga media contaminante Efluente (Kg/d)	Remoción media en carga (%)
N total	177.28	120.02	12.71	4.616	63.68

El promedio afluente del nitrógeno es de 177.28 mg/L N como se aprecia en la línea de color marrón de la figura 39; además la desviación estándar es pequeña, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 23.62 mg/L N.

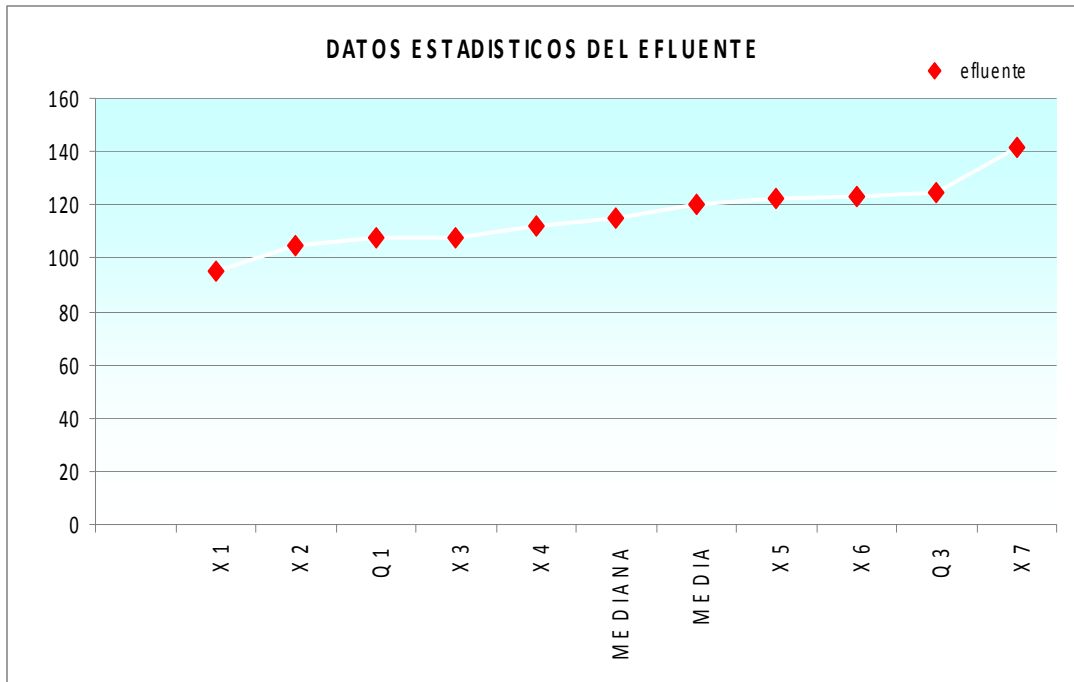
El promedio efluente del nitrógeno es de 120.02 mg/L N como se aprecia en la línea de color fucsia de la figura 39; asimismo la desviación estándar es de 19.40 mg/L N, lo que indica que los datos están lejos de la media.

Figura 40. Análisis estadístico en la entrada del sistema



En la figura anterior se indican los datos en la entrada del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de igual forma se aprecia el primer cuartil $Q1 = 148.4$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 177.28$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 196$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 176.3 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Figura 41. Análisis estadístico en la salida del sistema

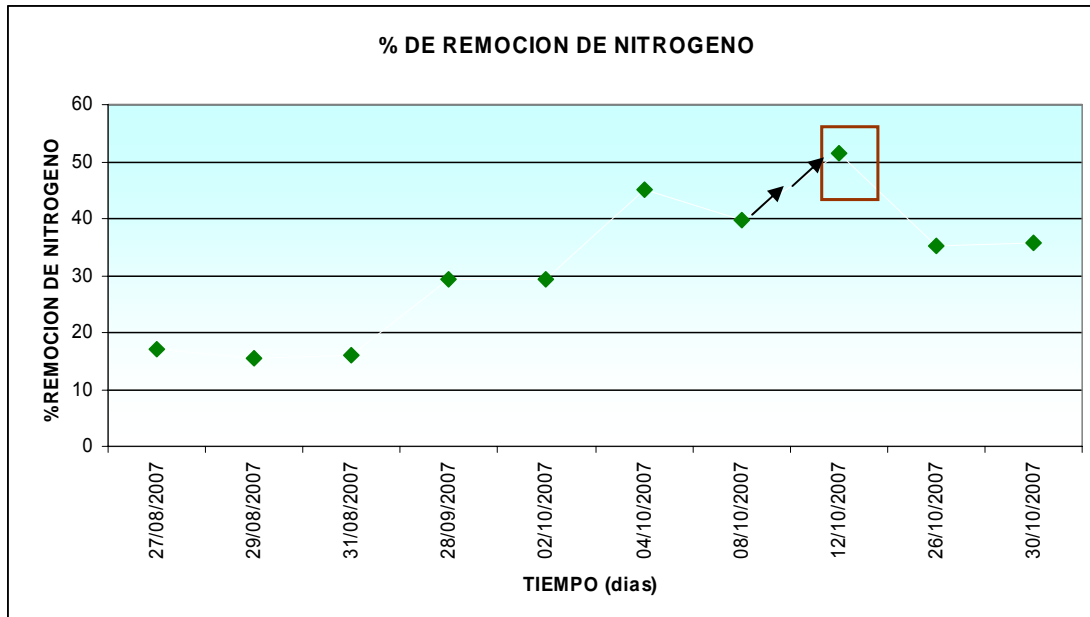


En la figura anterior se indican los datos a la salida del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q_1 = 107.8$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q_2 = 120.02$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q_3 = 124.6$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 115.1 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Porcentaje de remoción del nitrógeno total

En la figura 42, se puede observar los datos de porcentaje de remoción del nitrógeno total en el sistema.

Figura 42. Porcentaje de remoción de nitrógeno



En la figura 42, es posible observar que los porcentajes mas bajos se presentaron los tres primeros días de muestreos estos estaban en un rango de [15.44 - 17] %; ya que en días anteriores no se realizó cosechamiento. Lo que ocasionó porcentajes de remoción bajos. Después tuvo un aumento los siguientes días, resaltado en la figura 42 mediante flechas de color negro hasta llegar a tener una remoción del 51,44 % como se aprecia en el recuadro de color marrón, esto fue el día 12 de octubre, acá se observo la remoción mas alta de los muestreos debido a que tres días antes hubo recolección de plantas adultas, por tanto hay un mínimo de estas y mayor cantidad de plantas jóvenes las cuales son la que remueven gran cantidad de contaminantes debido a su capacidad de absorción; pero ello solo se produce en las proximidades de las raíces durante los periodos de crecimiento activo, la que posteriormente se debería recoger y retirar de sistema (cosechamiento). En los casos donde se presentaron las más bajas remociones corresponden a los días en que el cosechamiento no se estaba realizando constantemente.

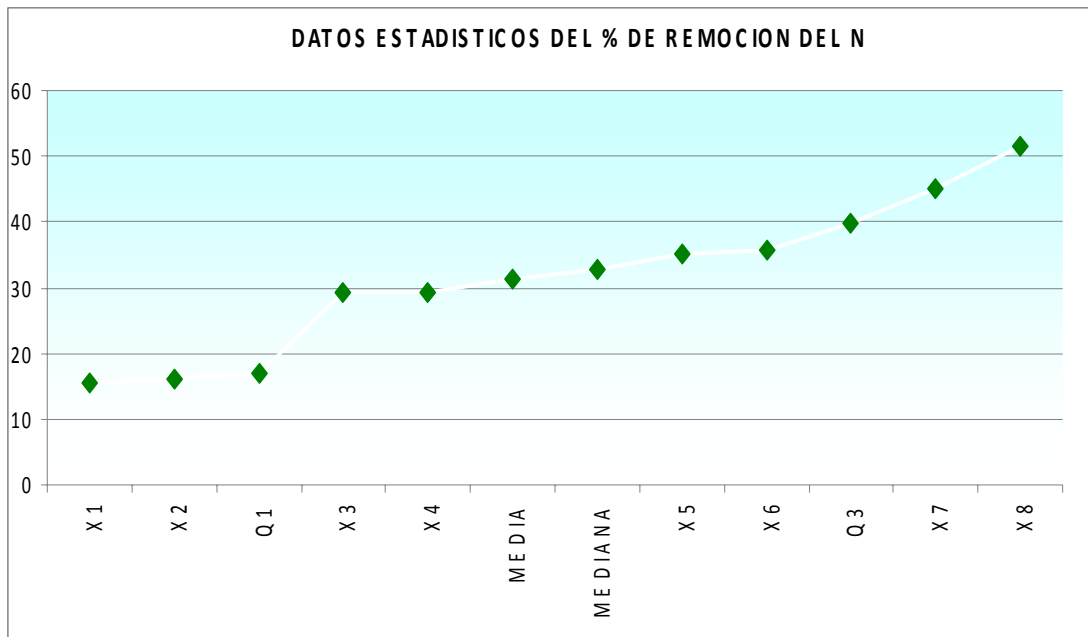
Después de este día los porcentajes de remoción retornaron a su promedio. El día 12 de octubre se puede observar que hubo una alta remoción debido al aumento constante que se presentó en los niveles de nitrógeno en el afluente, se puede observar que la respuesta del sistema fue de un notable aumento de la remoción, con lo cual se presume que el sistema tolera altas concentraciones de nitrógeno aproximadamente mayores a 170 mg/L.

También se puede determinar que el tiempo de retención hidráulico (TRH) en el sistema este día fue cercano a 39.2 horas (Tabla 6), el cual influye en la remoción de nitrógeno, puesto que a mayor TRH el nitrógeno presente en el agua residual tendrá más contacto con la zona radicular de las plantas donde se localizan las bacterias responsables de la conversión de este nutriente.

Las fuentes de nitrógeno en el sistema de tratamiento con jacinto de agua incluyen principalmente nitrógeno atmosférico (N_2) y productos de descomposición provenientes de materias orgánicas presentes en el sistema. Básicamente la remoción de nitrógeno en el sistema de tratamiento con jacinto de agua es atribuida a diversos procesos de nitrificación-desnitrificación realizados por bacterias en la zona radicular del jacinto, y en menor medida por absorción directa de las plantas que lo toma para su crecimiento.

La remoción promedio del nitrógeno es de 31.453 %; de igual forma la desviación estándar es grande, lo que indica que los datos están lejos de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 12.46 %.

Figura 43. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema



En la figura anterior se indican los datos del porcentaje de remoción en el sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q1 = 17$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 31.45$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 39.84$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 32.85 mg/L, que para este caso es superior a la mitad de todos los datos.

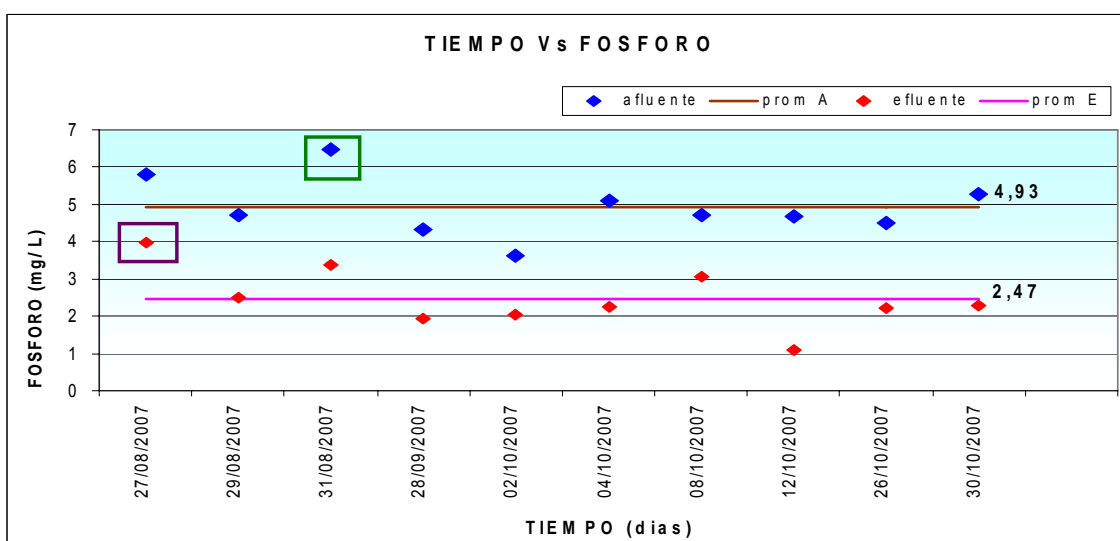
🚧 **Fósforo.** En la tabla 11 se observan los datos de laboratorio para el fósforo con los cuales se diseñaron las respectivas gráficas de tendencias y remoción.

Tabla 11. Valores de fósforo total para afluente y efluente del sistema

FOSFORO			
FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCION
	(mg P/L)	(mg P/L)	(%)
27/08/07	5.82	3.96	31,96
29/08/07	4.7	2.51	46,6
31/08/07	6,47	3,37	47,91
29/09/07	4,33	1.935	55,31
02/10/07	3,64	2.04	43,96
04/10/07	5,11	2,25	55,97
08/10/07	4,73	3.06	35,31
12/10/07	4,69	1.09	76,76
26/10/07	4,5	2.22	50,66
30/10/07	5,28	2.28	56,81
Remoción promedio:50.13			

En la figura 44 se muestra la tendencia que tuvieron los resultados de los análisis para fósforo.

Figura 44. Tendencia del fósforo



En la figura 44, se puede observar que los datos de fósforo para el afluente del sistema varían en un rango de [3.64 - 6.47] mg /L, el valor máximo en los resultados es de 6.47 mg/L como se indica con el recuadro verde; producto de que en este día hubo una mayor presencia de personal en la institución presentando un aumento en el caudal y por tanto en el fósforo total del sistema. Y para el efluente los rangos varían de [1,09 – 3,96] mg/L con una concentración máxima de 3,96 mg/L como se indica en el recuadro violeta lo que implica que la concentración del nutriente no supera los rangos normales de fósforo para aguas residuales domesticas que oscilan entre 6 – 20 mg/L (Romero., J. 2000).

En la figura 44, también se observa que el dato mas alto de fósforo en el afluente fue en uno de los primeros muestreos; que fue realizado el día viernes 31 de agosto, seguido a esto la concentración de fósforo baja relativamente y luego se mantiene en un rango de [3.64 - 5.28] mg/L. También podemos observar en el punto efluente que el día viernes 12 de octubre se obtuvo el menor valor en la concentración de fósforo; se supone que es a causa de la asimilación vegetal ya que el sistema se encuentra en etapa vegetativa, es decir, que a menor cantidad de plantas adultas en el sistema, se absorben mayores concentraciones de fósforo, debido a que estas plantas se encuentran altamente saturadas, por tanto su actividad descontaminante se ve reducida.

Tabla 12. Cargas contaminantes para fósforo

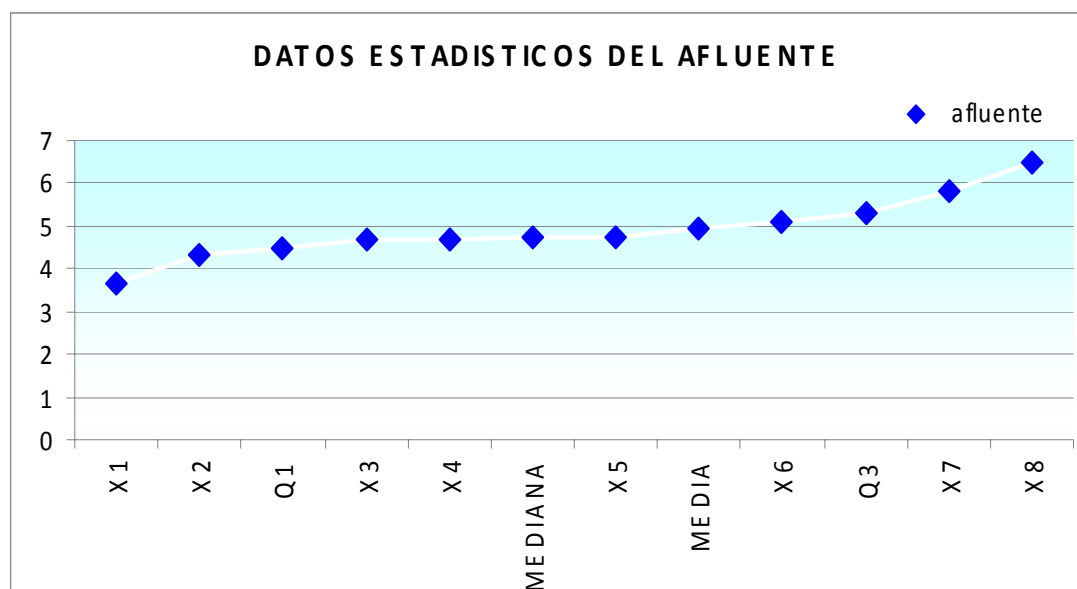
Especie	Concentración media Afluente (mg/L)	Concentración media Efluente (mg/L)	Carga media contaminante Afluente (Kg/d)	Carga media contaminante Efluente (Kg/d)	Remoción media en carga (%)
P total	4.93	2.47	3.68	0.916	75.13

La carga contaminante promedio de fósforo aplicada al sistema corresponde a 3.68 Kg/d y presenta una remoción en carga del 75.13%.

El promedio afluente del fósforo es de 4.93 mg/L como se aprecia en la línea de color marrón de la figura 44; además la desviación estándar es pequeña, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia debajo de 0.79 mg/L N.

El promedio efluente del fósforo es de 2.47 mg/L como se aprecia en la línea de color fucsia de la figura 44; asimismo la desviación estándar es de 0.81 mg/L, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media.

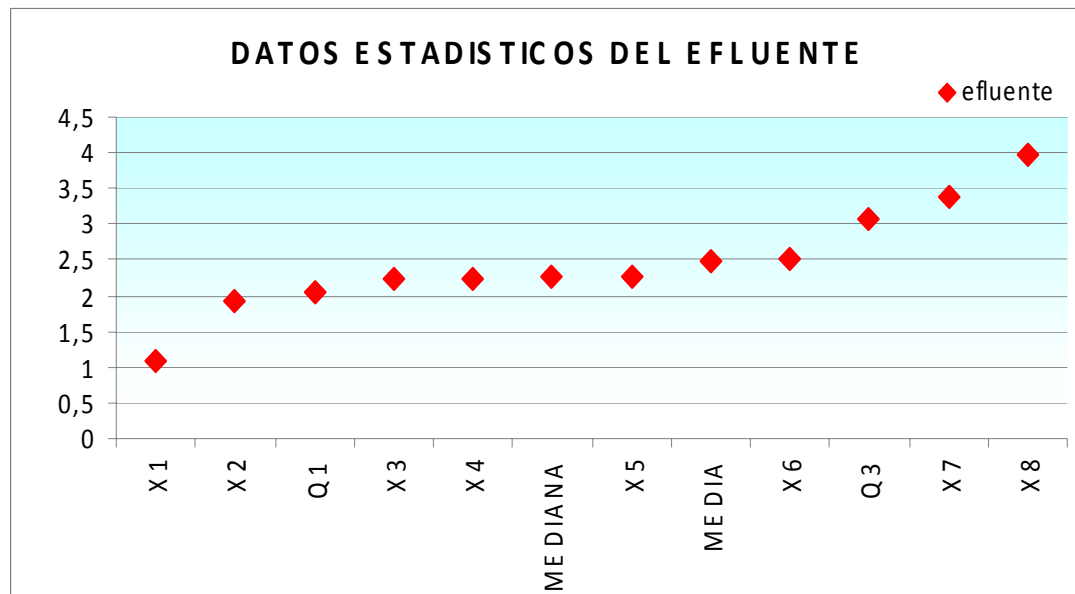
Figura 45. Análisis estadístico en la entrada del sistema



En la figura anterior se indican los datos en la entrada del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de igual forma se aprecian el primer cuartil $Q1 = 4.5$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 4.93$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 5.28$ mg/L que separa el tercer cuarto de la

distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 4.715 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Figura 46. Análisis estadístico en la salida del sistema

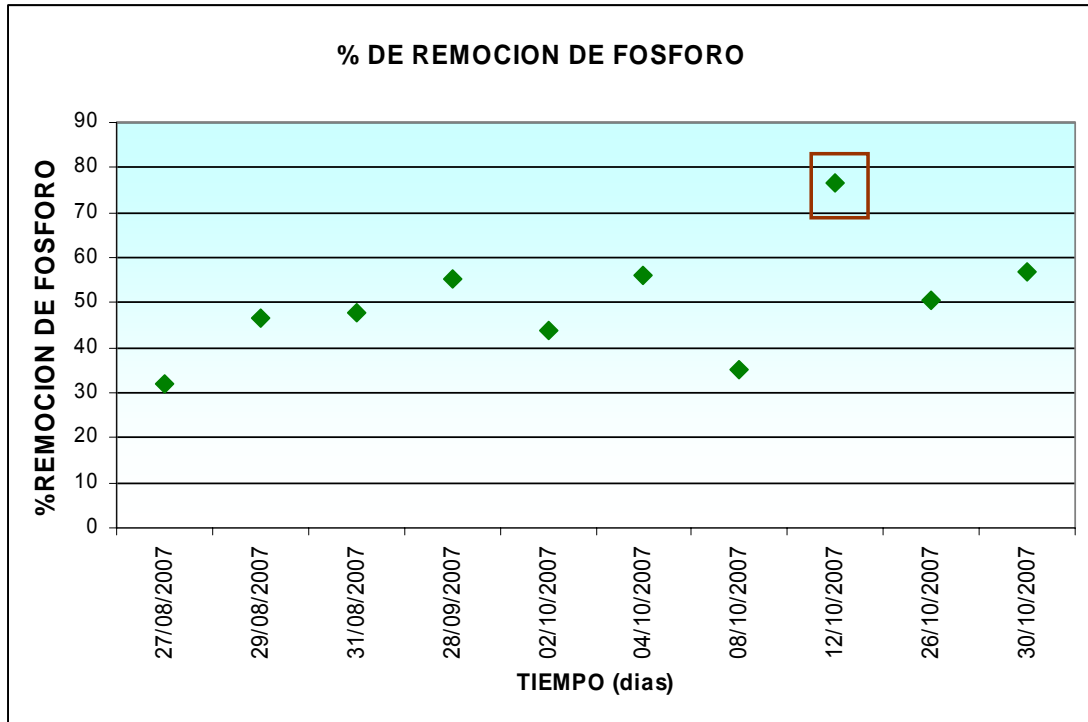


En la figura anterior se indican los datos a la salida del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q_1 = 2.4$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q_2 = 2.5$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q_3 = 3.06$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 2.26 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Porcentaje de remoción del fósforo

En la figura 47 se presentan los porcentajes de remoción para el fósforo en el sistema de recuperación con jacinto de agua.

Figura 47. Porcentaje de remoción del fósforo



En la figura 47, es posible observar que los porcentajes oscilaron en un rango de [31.96 - 76.76] %; siendo el 27 de agosto el día de remoción mas bajo ya que las plantas no se recolectaron, cumpliendo su ciclo de crecimiento activo y entrando a una etapa de vejez en la cual liberan el fósforo. Igualmente el sistema tiende a presentar una baja remoción de fósforo el 8 de agosto, se presume que es por el corto tiempo de retención que presenta el sistema en este día; ya que es el más bajo presentado durante los muestreos. Ver tabla 6. (TRH=22.13 horas).

El día 12 de octubre hubo mas remoción de fósforo como se aprecia en el recuadro color marrón, lo cual indica que el tratamiento con jacinto de agua es eficaz siempre y cuando las plantas que se encuentren en el sistema sean jóvenes, puesto que estas tienden a remover mayor cantidad de contaminantes, además el tiempo de retención que presenta el sistema en este día es uno de los mayores con 39.16 horas, lo que permite que se realice una serie de procesos de

eliminación de fósforo que se producen son por adsorción por minerales arcillosos, precipitación química y las plantas que los consumen. Además es de importancia mencionar que estos sistemas acuáticos, presentan un potencial de eliminación de fósforo limitado.

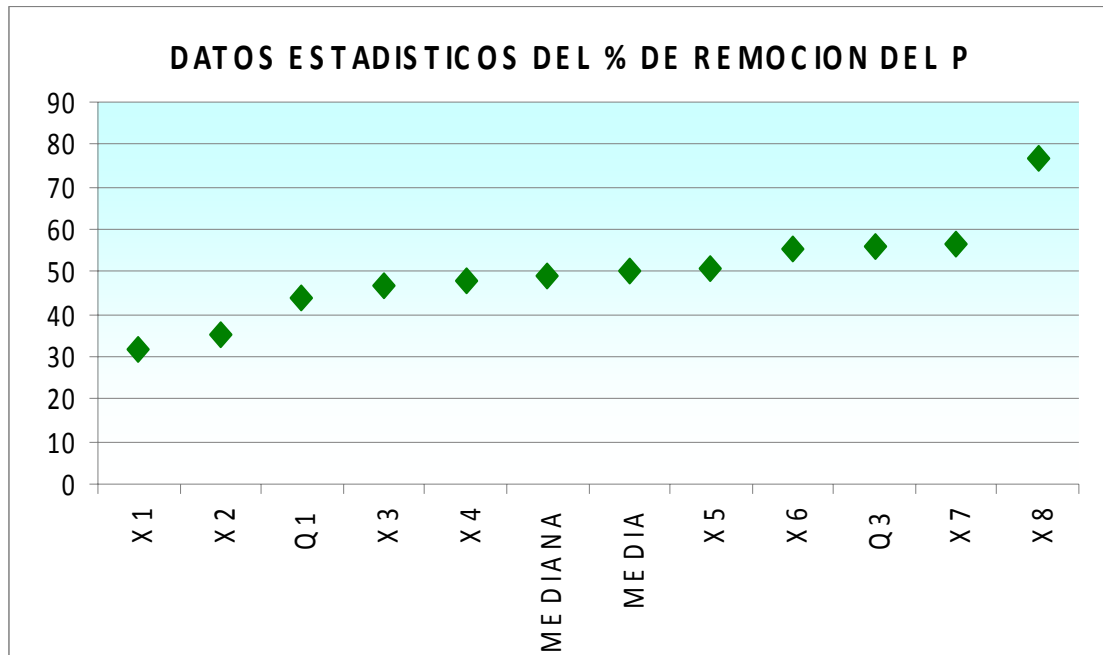
Seguido a esta muestreo se dejaron 14 días para la siguiente toma de muestras y el porcentaje de remoción bajó por exceso de plantas, ya que muchas de estas se encontraban demasiado grandes, lo cual indica que se encontraban en un alto grado de saturación.

La remoción promedio de fósforo presentada en el sistema es del 50,13%, la cual es bastante alta comparada con los resultados del estudio del sistema integrado con *Spirodela* sp implementado previamente en la universidad en el año 2005; quien reportó remociones promedio del 42,25%. Los principales procesos de eliminación de fósforo que se producen son por adsorción, precipitación química y las plantas que los consumen. El fósforo, normalmente presente en forma de ortofosfatos, es adsorbido por minerales arcillosos y determinadas fracciones orgánicas de la matriz del suelo. Además es de importancia mencionar que estos sistemas acuáticos, presentan un potencial de eliminación de fósforo limitado.

Cabe destacar que el viernes 12 de octubre, el sistema de tratamiento con jacinto de agua presentó las más altas eficiencias tanto para nitrógeno como para fósforo, gracias al cosechamiento realizado el 9 de octubre; lo que permite demostrar el óptimo comportamiento del sistema en cuanto a mecanismos de remoción de nutrientes, si se tiene en cuenta un mantenimiento adecuado.

La remoción promedio del fósforo es de 50.13 %; con una desviación estándar pequeña, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 12.56 %.

Figura 48. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema



En la figura anterior se indican los datos del porcentaje de remoción en el sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil Q1= 43.96 mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil Q2 = 50.12 mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil Q3 = 55.97 mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 50.66 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

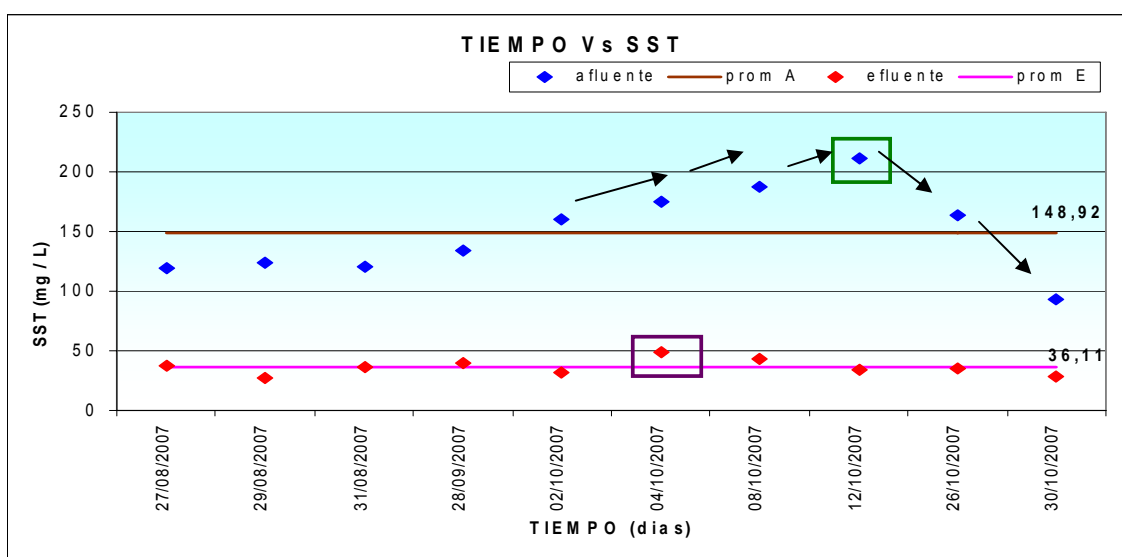
🚧 **Sólidos suspendidos totales.** En la tabla 13 aprecian los datos de laboratorio para los SST con los cuales se diseñaron las respectivas graficas de tendencias y remoción.

Tabla 13. Valores de SST para afluente y efluente del sistema

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES			
FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCION
	(mg SST/L)	(mg SST/L)	(%)
27/08/07	118,8	37,2	68,68
29/08/07	124,4	27	78,29
31/08/07	121	36	70,24
29/09/07	134,3	39,5	70,58
02/10/07	159,8	31,9	80,03
04/10/07	175,2	48,6	72,26
08/10/07	187,3	42,8	77,15
12/10/07	211	34,4	83,69
26/10/07	163,7	35,5	78,31
30/10/07	93,7	28,2	69,9
Remoción promedio:75			

En la figura 49 se aprecia la tendencia de los resultados obtenidos para sólidos suspendidos totales.

Figura 49. Tendencia de los sólidos suspendidos totales



De la figura 49, se puede deducir que los datos de sólidos suspendidos totales para el afluente esta en un rango de [93.7 - 211] mg/L, con un valor máximo de 211 mg/L el día viernes 12 de octubre como se indica en el recuadro de color verde; debido a la gran cantidad de sólidos (materia orgánica) que se encontraron en el agua residual de la universidad, y una concentración mínima de 93,7 mg/L el día martes 30 de octubre.

Seguido a esto también se observa que en el punto efluente los sólidos suspendidos totales se encuentran en el rango de [27-48,6] mg/L, con un valor máximo de 48,6 mg/L el día jueves 04 de octubre como se indica en el recuadro de color violeta.

En la figura 49, se pudo identificar que en los primeros muestreos no varía demasiado la concentración de SST en el afluente; llegan en el día 29 de septiembre a un punto en el que empieza a ascender hasta que llega al punto más alto que es el día 12 de octubre; y seguido a esto la concentración de SST en el ultimo día de muestreo baja debido a la finalizaciones de clases (disminuye la presencia de población) como lo indican las flechas de color negro.

También se puede observar que en el efluente no se encuentran variaciones de SST tomando como punto de referencia el promedio de SST 36.11 mg/L y en cambio en el afluente se puede notar las variaciones en todos los puntos ya sean bajas o altas, esto es debido a que no hay una continuidad definida del personal de la institución para el uso de los sanitarios en la universidad.

Tabla 14. Cargas contaminantes para SST.

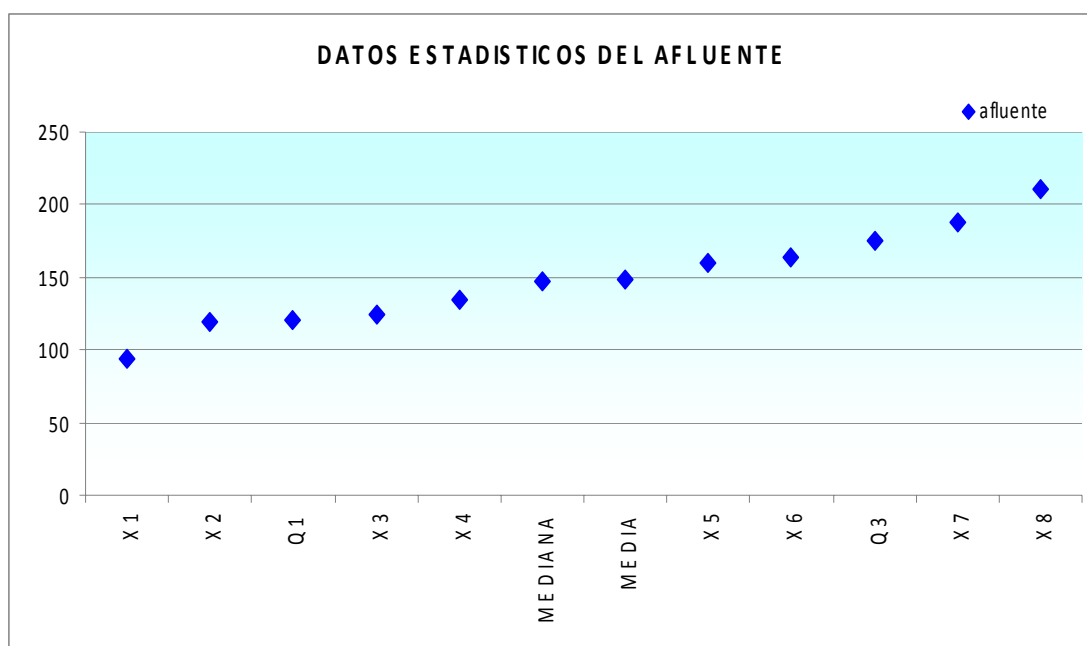
Especie	Concentración media Afluente (mg/L)	Concentración media Efluente (mg/L)	Carga media contaminante Afluente (Kg/d)	Carga media contaminante Efluente (Kg/d)	Remoción media en carga (%)
SST	148.92	36.11	10.80	1.39	87.12

El promedio afluente de SST es de 148.92 mg/L como se aprecia en la línea de color marrón de la figura 53; además la desviación estándar es grande, lo que

indica que los datos están lejos de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 36.37 mg/L.

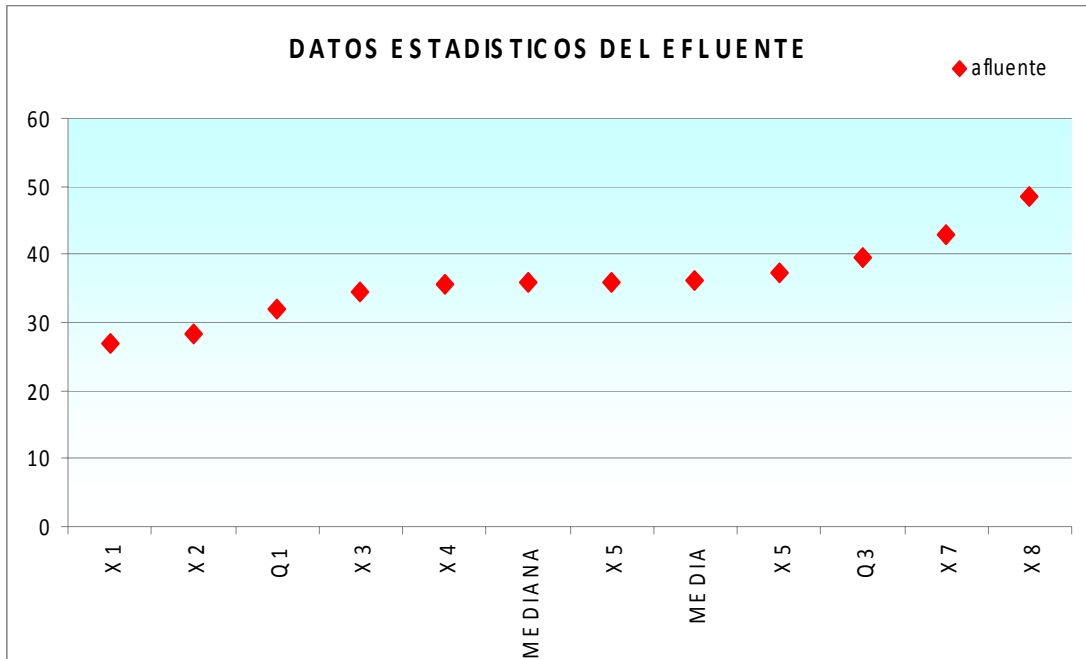
El promedio efluente del SST es de 36.11 mg/L como se aprecia en la línea de color fucsia de la figura 49; asimismo la desviación estándar es de 6.5 mg/L, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media.

Figura 50. Análisis estadístico en la entrada del sistema



En la figura anterior se indican los datos en la entrada del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de igual forma se aprecian el primer cuartil $Q1 = 121$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 148.92$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 175.2$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 147.5 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

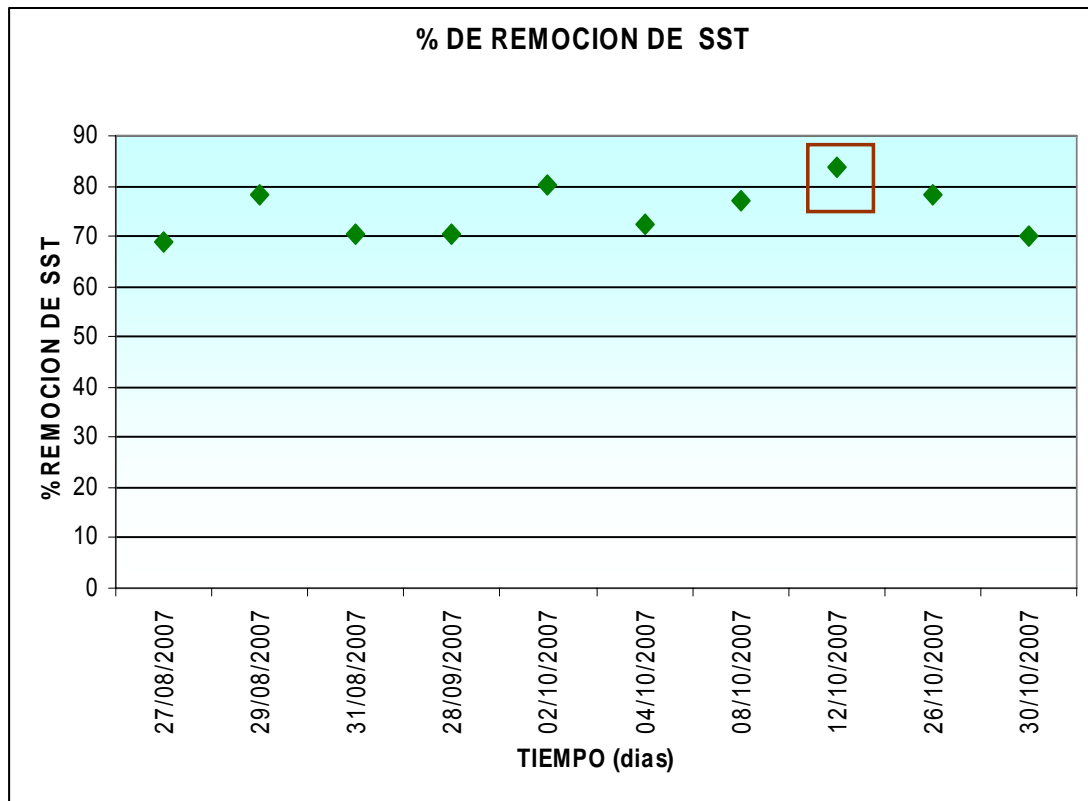
Figura 51. Análisis estadístico en la salida del sistema



En la figura anterior se indican los datos a la salida del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q1 = 31.9$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 36.11$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 39.5$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 35.75 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Porcentaje de remoción de los SST. En la figura 56 se muestran los porcentajes de remoción del análisis de sólidos suspendidos totales.

Figura 52. Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales



En la figura 52 es posible observar que los porcentajes permanecieron en un rango de [68.68 - 83.69] %; el 12 de octubre señalado con el recuadro de color marrón, fue el día donde se removi6 mas s6lidos suspendidos, se supone es debido al cosechamiento y al tiempo de retenci6n hidr6ulico del sistema el cual se aproxima a 39.2 horas (tabla 6), influyendo directamente en la remoci6n de s6lidos suspendidos totales, puesto que a mayor TRH el transporte de s6lidos suspendidos entre la zona radicular del jacinto ser6 mas lento y los s6lidos tendr6n m6s tiempo para sedimentarse aumentando la remoci6n del sistema.

En la figura anterior se muestran remociones de SST hasta un 83.69%, lo que indica que la profundidad del agua en el sistema es adecuada, ya que el agua

residual tratada entra en contacto con las raíces de la planta en donde se ubican las bacterias encargadas de llevar a cabo el tratamiento.

Se nota en la grafica que los datos de remoción no aumentan ni disminuyen en cantidades grandes por lo tanto es constante en su nivel de medida.

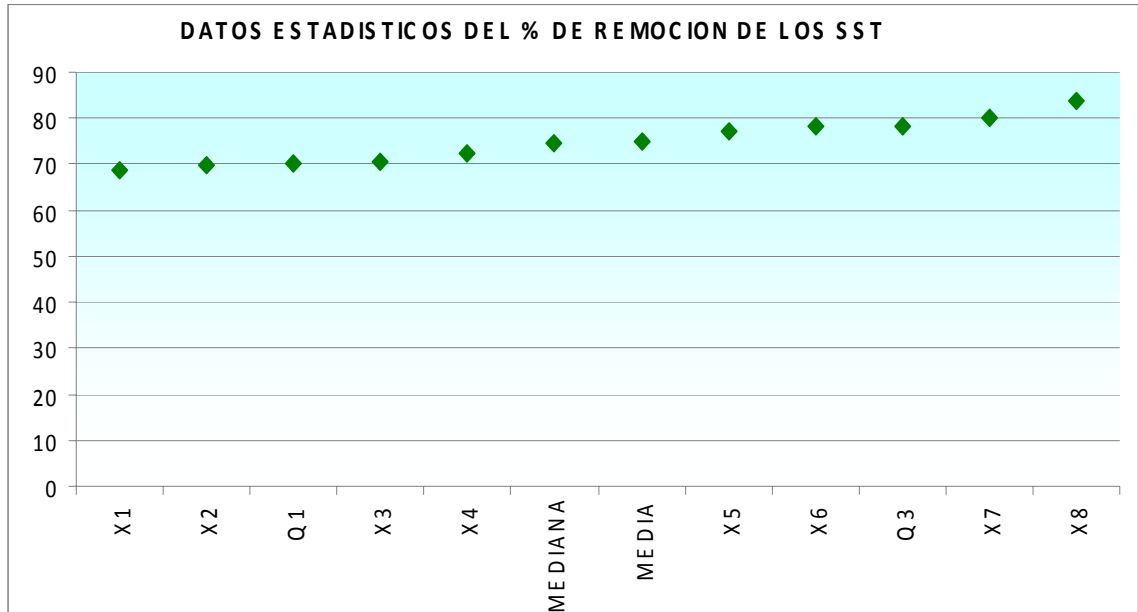
Desde el punto de remoción de sólidos suspendidos el tratamiento terciario crea un impacto positivo que permitirá reducir la carga contaminante, ya que este porcentaje de remoción en carga no tiene en cuenta la remoción que se presenta en el tratamiento secundario.

Según el decreto 1594 de 1984, legislación ambiental actual sobre vertimientos a cuerpos de agua; la remoción en carga en cuanto a SST, exigida para usuarios nuevos, como es el caso de la UPB, debe ser mayor al 80%. Como se muestra en la tabla 12, la remoción en carga para SST es hasta de un 83,69%; lo que implica que al completar el tratamiento secundario de aguas residuales de la UPB con el sistema de tratamiento con jacinto de agua se logra dar cumplimiento a la legislación vigente sobre vertimientos y al mismo tiempo mitigar el impacto que genera la descarga sobre la quebrada menzulí.

Los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y degradación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas del jacinto de agua.

La remoción promedio de SST es de 75 %; con una desviación estándar pequeña, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 5.19 %.

Figura 53. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema



En la figura anterior se indican los datos del porcentaje de remoción en el sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil Q1= 70.24 mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil Q2 = 74.91 mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil Q3 = 78.29 mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 74.70 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

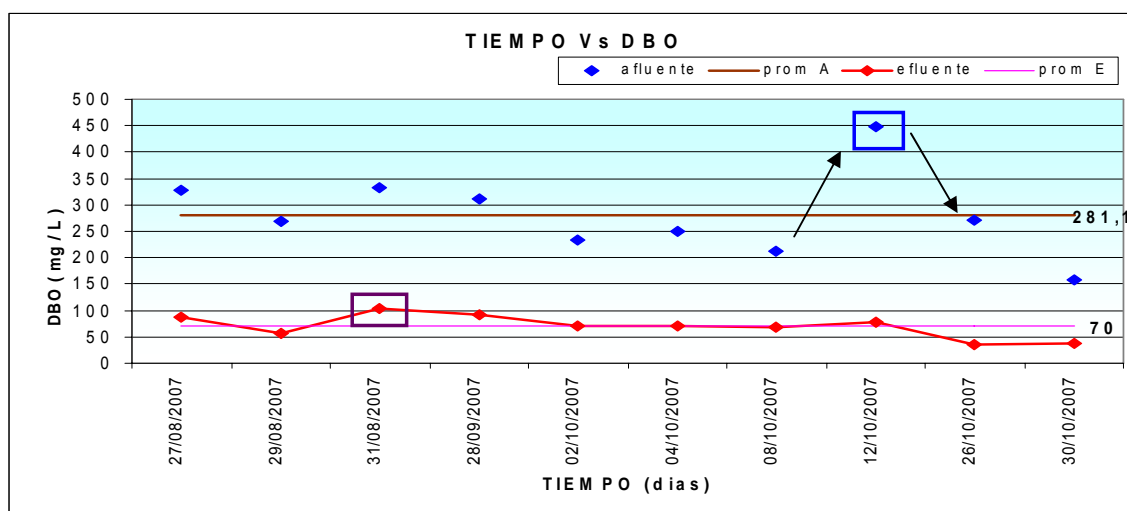
✚ **DBO₅**. En la tabla 15 se observan los datos de laboratorio para DBO₅ a la entrada y a la salida del sistema con los cuales se diseñaron las respectivas graficas de tendencias y remoción.

Tabla 15. Valores de DBO₅ para afluente y efluente del sistema

DBO ₅			
FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCION
	(mg /L)	(mg /L)	%
27/08/07	327,1	86,4	73,59
29/08/07	269,95	56,95	78,89
31/08/07	331,55	103,65	68,74
29/09/07	310,35	92,25	70,27
02/10/07	234,4	70,05	70,11
04/10/07	250,1	70,5	71,81
08/10/07	211,25	69,15	67,27
12/10/07	448,4	77	82,82
26/10/07	270,85	35,8	72,36
30/10/07	157,1	38,45	86,78
Remoción promedio: 74.3			

En la figura 54 se muestra la tendencia de los análisis de DBO₅ realizados durante el periodo de evaluación del sistema.

Figura 54. Tendencia de DBO₅



En la figura 54 se puede apreciar que los datos de DBO₅ para el afluente están en un rango de [157,1 - 448,4] mg/L O₂, con un valor máximo de 448,4 mg/L O₂ como se indica en el recuadro verde; este resultado es debido a la presencia en forma simultánea de materia orgánica, bacterias aerobias y oxígeno disuelto (O. D.) en el sistema, además el sistema de tratamiento con jacinto al estar saturado su actividad se notó afectada.

La concentración de DBO₅ en el efluente varía en un rango de [35,8 – 103,65] mg/L O₂ con un valor máximo de 103,65 mg/L O₂ como se aprecia en el recuadro de color violeta.

En la figura 54, además se puede observar en los datos del afluente, que los primeros muestreos no varían en mayor cantidad, pero alcanza un punto máximo el día 12 de octubre, aquí se notó el mayor porcentaje de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica que se presenta en el tratamiento. En cambio en los siguientes muestreos la concentración de DBO₅ empieza a bajar constantemente, esto es debido a que los siguientes muestras se toman al final de semestre donde ya no se presentan el mismo personal estudiantil. El aumento y descenso respectivo de la tendencia se han resaltado en la figura 58 mediante flechas de color negro.

Tabla 16. Cargas contaminantes para DBO₅

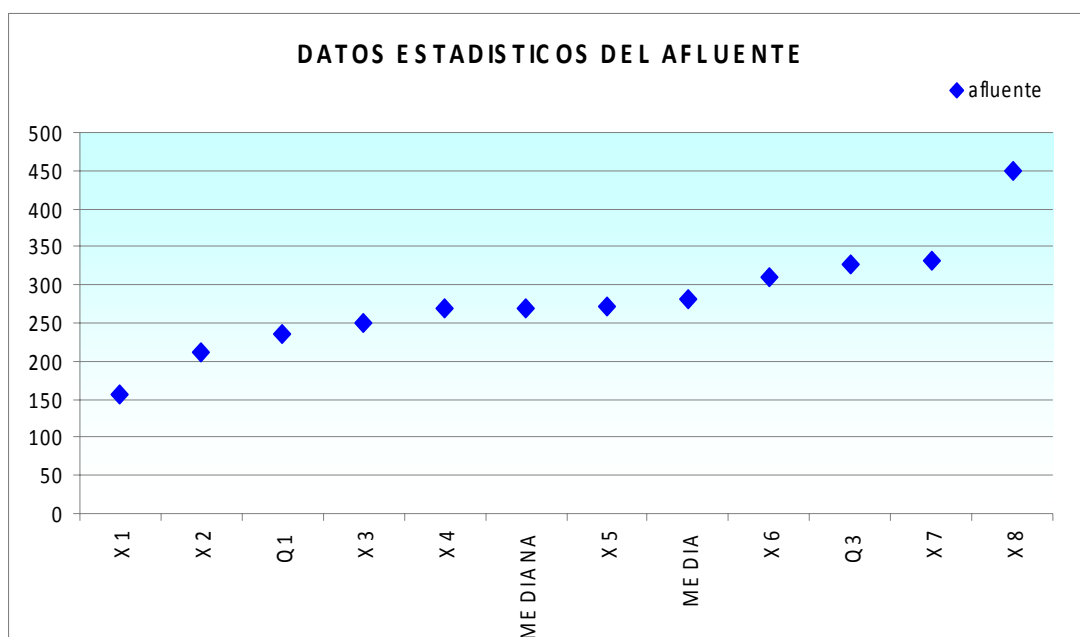
Especie	Concentración media Afluente (mg/L)	Concentración media Efluente (mg/L)	Carga media contaminante Afluente (Kg/d)	Carga media contaminante Efluente (Kg/d)	Remoción media en carga (%)
DBO ₅	281.1	70	20.40	2.72	86.7

El promedio afluente de DBO₅ es de 281.1 mg/L O₂ como se aprecia en la línea de color marrón de la figura 58; el resultado de la desviación estándar es grande, lo

que indica que los datos están lejos de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 79.67 mg/L O₂.

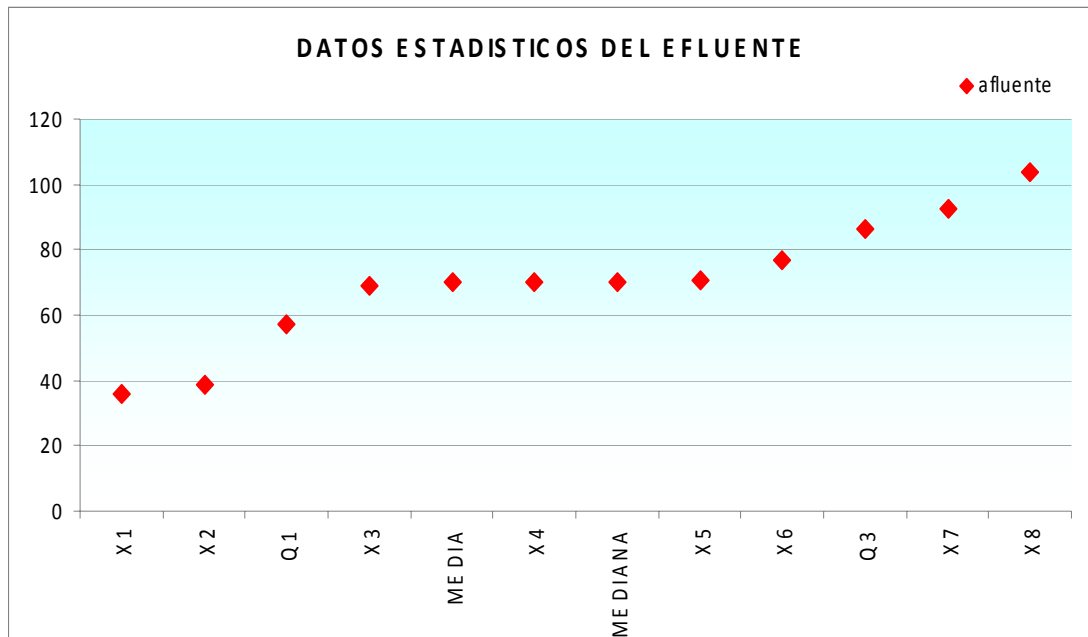
El promedio efluente de DBO₅ es de 70 mg/L O₂ como se aprecia en la línea de color fucsia de la figura 58; asimismo la desviación estándar es de 21.81 mg/L O₂, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media.

Figura 55. Análisis estadístico en la entrada del sistema



En la figura anterior se indican los datos en la entrada del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de igual forma se aprecian el primer cuartil Q1= 234.4 mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil Q2 = 281.1 mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil Q3 = 327.1 mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 240.4 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Figura 56. Análisis estadístico en la salida del sistema

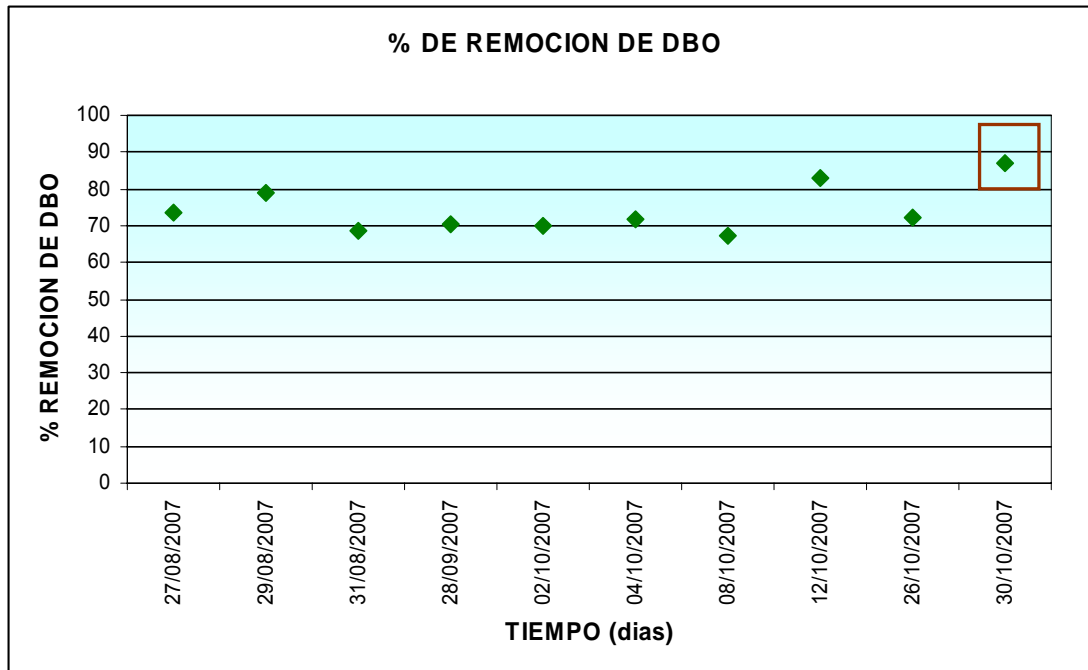


En la figura anterior se indican los datos a la salida del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q1 = 56.95$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 70.02$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 86.4$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 70.275 mg/L, que para este caso es superior a la mitad de todos los datos.

Porcentaje de remoción del DBO_5

En la figura 57 se muestran los porcentajes de remoción del análisis de DBO_5 .

Figura 57. Porcentaje de remoción de DBO₅



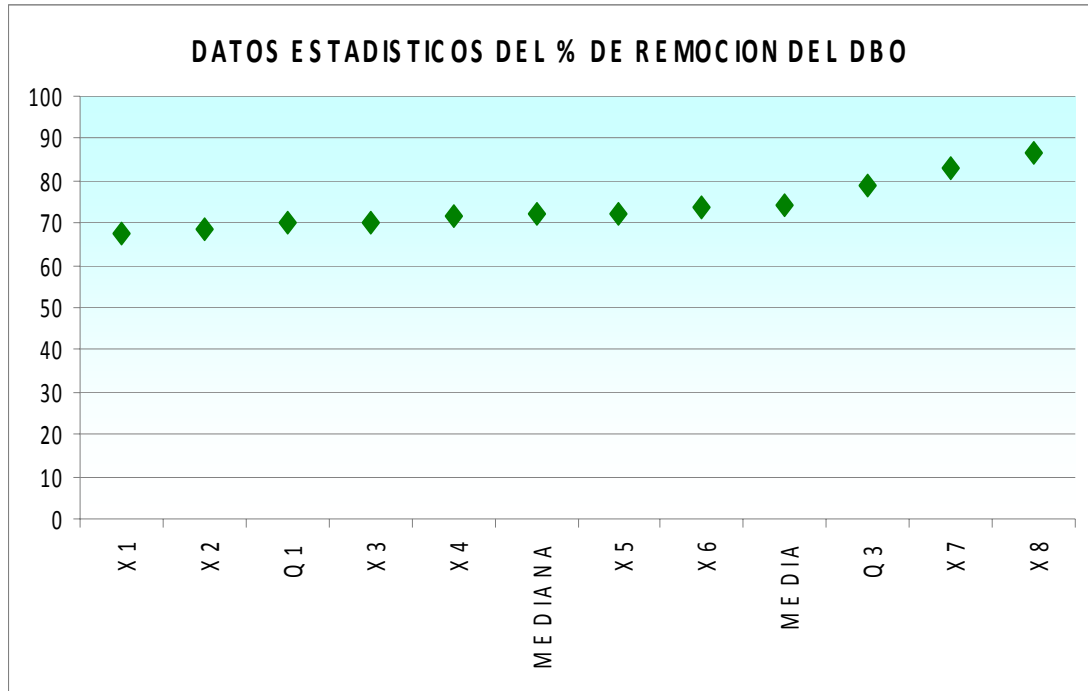
En la figura 57, es posible observar que los porcentajes varían en un rango de [70.11-86.78] %. El día en que más DBO₅ se removió fue el 30 de octubre como se aprecia en el recuadro de color marrón, del cual se puede concluir que el sistema está funcionando normalmente respecto al decreto 1594 de 1984 artículo 72 que exige la autoridad ambiental.

Se nota en la gráfica que los datos más altos en remoción de DBO₅ fueron después de la realización de un cosechamiento el día 09 de octubre. La remoción presentada el día 12 de octubre puede atribuirse al tiempo de retención hidráulico del sistema que para este día fue de 39.2 horas, lo que permite que una parte de la DBO de agua residual afluyente se remueva junto con los sólidos suspendidos por sedimentación a medida que el agua residual fluye a través del sistema de tratamiento, y que parte de la DBO asociada con los sólidos suspendidos que no se sedimentan por gravedad se remueva por medio de filtración a medida que el agua residual fluye por entre las raíces del jacinto.

En la figura anterior se muestran remociones de DBO hasta un 86.78%, lo que indica que la profundidad del agua en el sistema es adecuada, ya que el agua residual tratada entra en contacto con las raíces de la planta en donde se ubican las bacterias encargadas de llevar a cabo el tratamiento; tal como ocurre con la remoción de los SST, el transporte del agua residual hacia la zona radicular es una consideración de diseño muy importante respecto a la remoción de DBO soluble en los sistemas de tratamiento con jacintos de agua.

Como se mencionó anteriormente la remoción promedio de DBO_5 es de 74.3 %; con una desviación estándar pequeña, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 6.45 %.

Figura 58. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema



En la figura anterior se indican los datos del porcentaje de remoción en el sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil Q1= 70.11 mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil Q2 = 72.08 mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil Q3 = 78.89 mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 70.085 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Relación entre remociones de N, P, SST y DBO₅. Se observa que todos estos parámetros tienen sus picos máximos de remoción el día viernes 12 de octubre, debido a que dos días antes se realizó el cosechamiento al sistema, lo que favorece a que las plantas jóvenes puedan asimilar mejor los contaminantes durante su periodo de crecimiento activo. Igualmente las relaciones de remoción mas bajas se presentaron el día lunes 27 de agosto, fecha en la que se dio inicio a los muestreos; ya que el ultimo cosechamiento se hizo a mediados de junio lo cual fue el factor limitante para la remoción debido a la saturación del sistema.

PARÁMETROS COMPARATIVOS

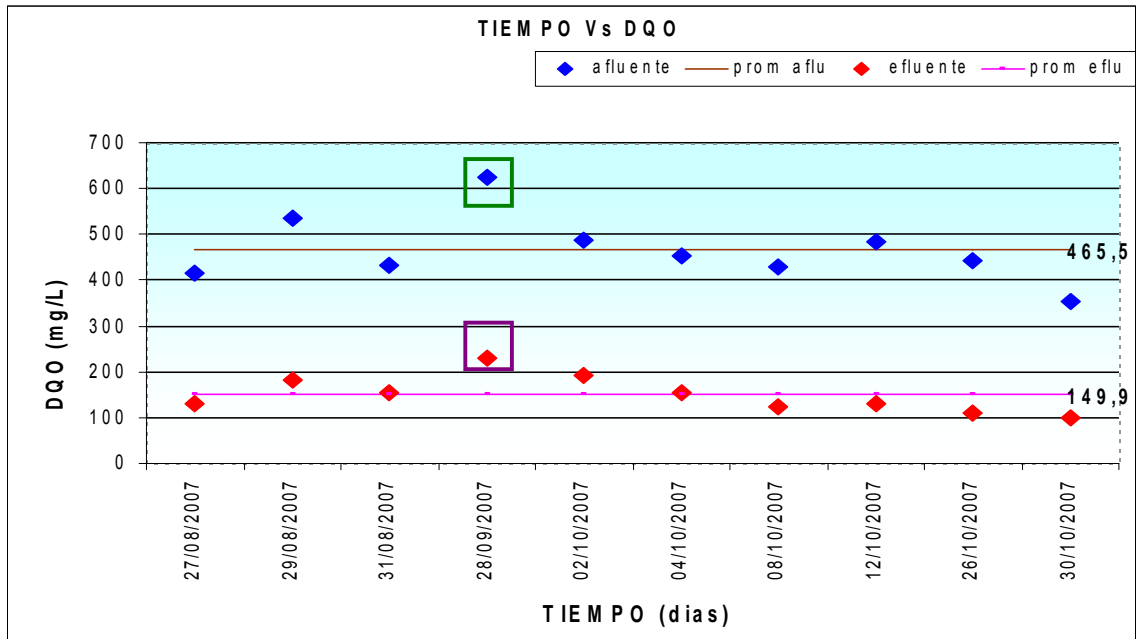
✚ **DQO.** En la tabla 17 se observan los datos de laboratorio para DQO con los cuales se diseñaron las respectivas graficas de tendencias y remoción.

Tabla 17. Valores de DQO para afluente y efluente del sistema

DQO			
FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCION
	(mg /L)	(mg /L)	%
27/08/07	414,7	130,6	68,5
29/08/07	534,8	180,45	66,1
31/08/07	433,9	153,6	64,6
29/09/07	625,1	228,4	63,46
02/10/07	488,85	191,75	60,77
04/10/07	451,35	153,2	66,05
08/10/07	428,6	122,2	71,48
12/10/07	482,47	131,6	72,72
26/10/07	441,75	108,1	75,52
30/10/07	353,46	98,7	70,07
Remoción promedio: 70			

En la figura 59 se muestra la tendencia que tuvieron los resultados de los análisis para DQO.

Figura 59. Tendencia de la DQO



En la figura 59, se puede notar que los datos de DQO para el afluente están en un rango de [353.46 - 625.1] mg/L. En el cual el punto mayor de DQO en la entrada fue de 625,1 mg/L como lo indica el recuadro de color verde, esto indica que los microorganismos tienen suficiente oxígeno para degradar la materia orgánica que está presente en el agua residual. Por otro lado en la salida del sistema los valores estuvieron entre un rango de [98,7 – 228,4] mg/L, siendo el valor máximo de 228,4 el día sábado 29 de septiembre como se aprecia en el recuadro de color violeta.

Igualmente se pudo identificar que los datos del afluente tienen una variación más o menos mínima entre cada uno de los muestreos como lo ilustra la gráfica. En este parámetro el punto máximo de concentración de DQO se dio el 29 de septiembre, esto debido a que había pasado mucho tiempo después del último cosechamiento y por lo tanto se encontraban un exceso de plantas en el sistema más de lo normal, esto nos muestra que cuando hay menor cantidad de plantas adultas aumenta la remoción de DQO.

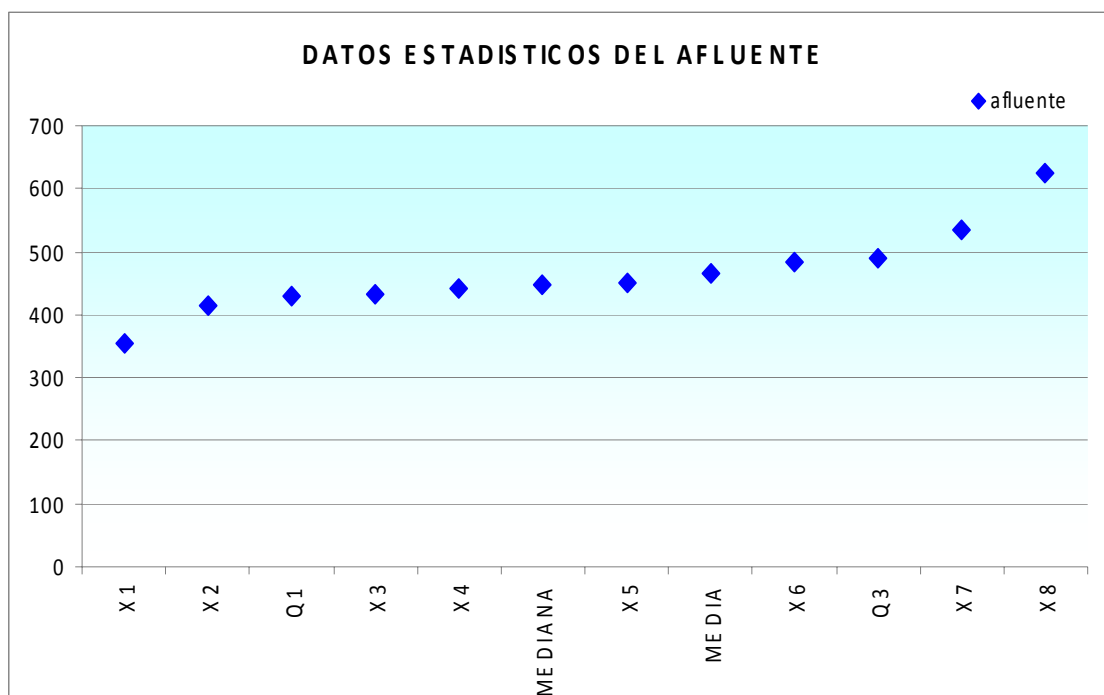
Tabla 18. Cargas contaminantes de DQO

Especie	Concentración media Afluyente (mg/L)	Concentración media Efluente (mg/L)	Carga media contaminante Afluyente (Kg/L)	Carga media contaminante Efluente (Kg/L)	Remoción media en carga (%)
DQO	465.5	149.9	33.78	5.83	82.74

El promedio afluyente de DQO es de 465.5 mg/L como se aprecia en la línea de color marrón de la figura 63; además la desviación estándar es grande, lo que indica que los datos están lejos de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 74.06 mg/L.

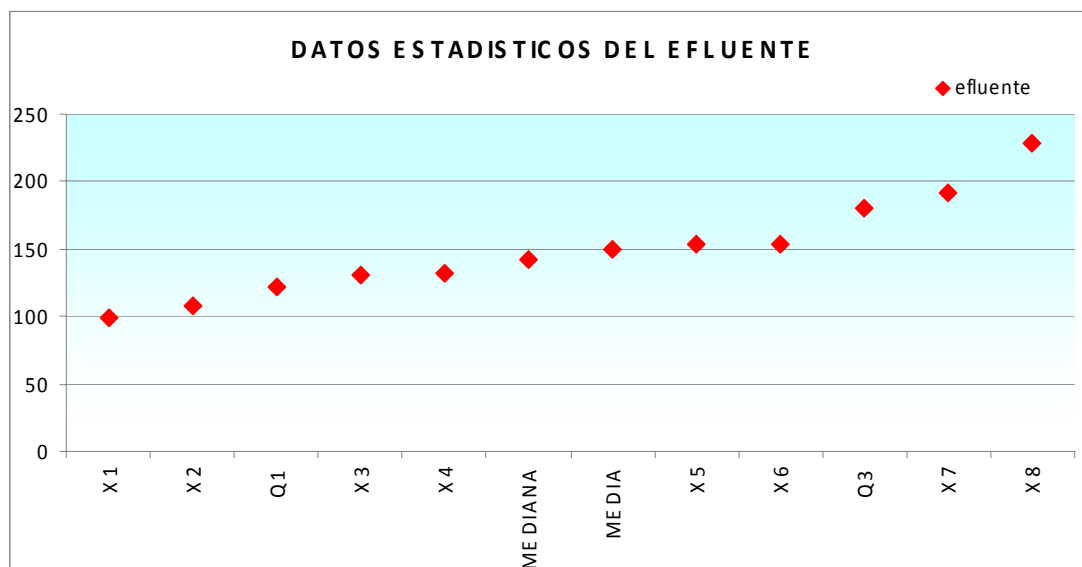
El promedio efluente de DQO es de 149.9 mg/L como se aprecia en la línea de color fucsia de la figura 63; asimismo la desviación estándar es de 40.43 mg/L, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media.

Figura 60. Análisis estadístico en la entrada del sistema



En la figura anterior se indican los datos en la entrada del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de igual forma se aprecian el primer cuartil $Q1 = 428.6$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 465.5$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 488.85$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 446.55 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

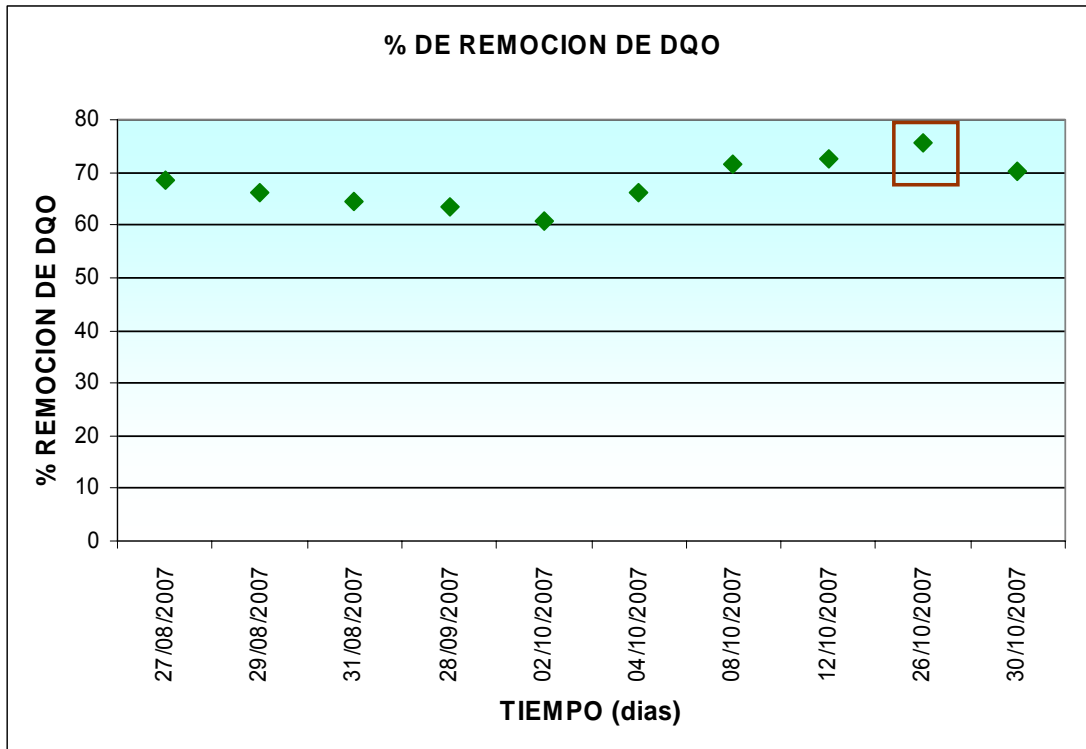
Figura 61. Análisis estadístico en la salida del sistema



En la figura anterior se indican los datos a la salida del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q1 = 122.2$ mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 149.86$ mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 180.45$ mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su último cuarto y con un valor en la mediana de 142.4 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

Porcentaje de remoción de DQO. En la figura 62 se muestran los porcentajes de remoción para DQO en cada una de las fechas para las cuales se realizó la prueba.

Figura 62. Porcentaje de remoción de la DQO

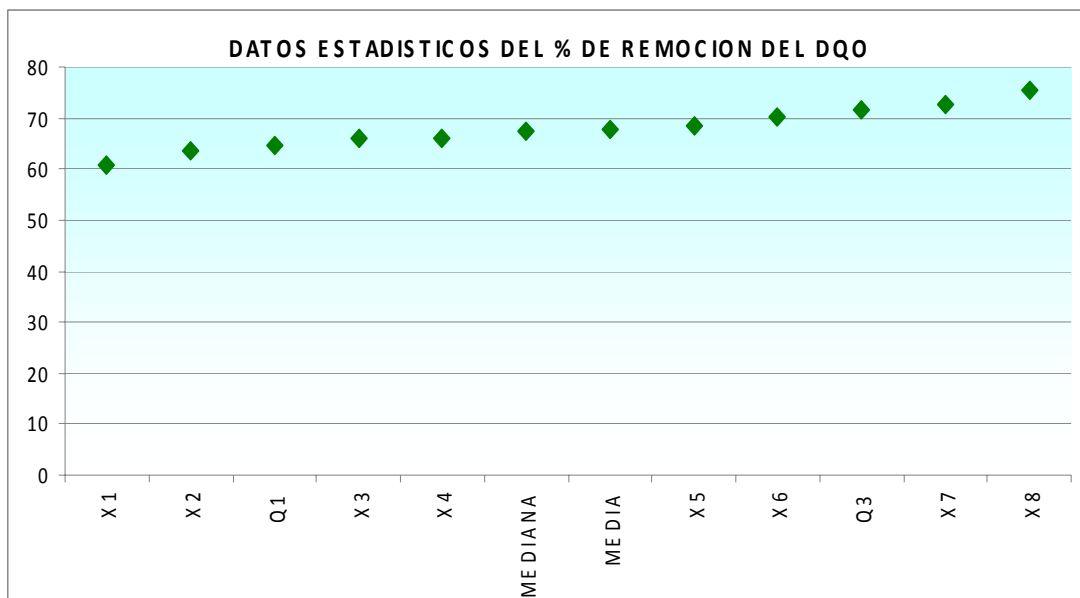


En la figura 62, es posible observar que los resultados de remoción se conservaron en un rango de [60.77 - 75.52] %. El viernes 26 de octubre se presentó el valor máximo de 75.52% como lo muestra la grafica en el recuadro de color marrón. Se aprecia por los valores que arrojaron los muestreos que el sistema tiene una buena eficiencia en la remoción de DQO; ya que la remoción promedio de DQO presentada es del 70%.

Como se mencionó anteriormente la remoción promedio de DQO es del 70 %; con una desviación estándar pequeña, lo que indica que los datos están

agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia abajo de 4.56 %.

Figura 63. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema



En la figura anterior se indican los datos del porcentaje de remoción en el sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil Q1= 64.6 mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil Q2 = 67.927 mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil Q3 = 71.48 mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 67.3 mg/L, que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

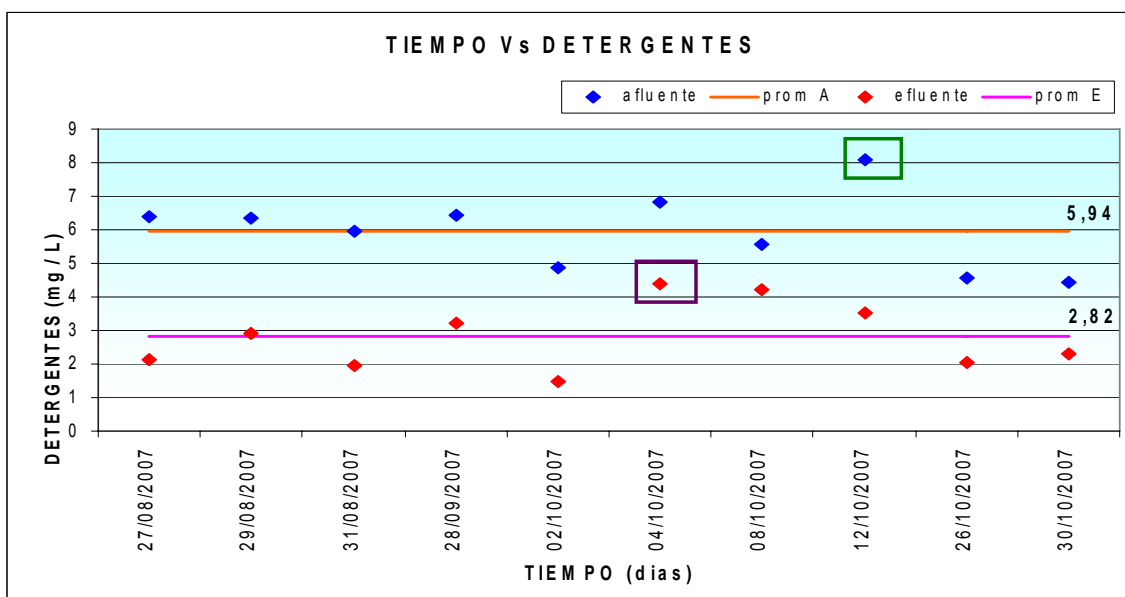
+ Detergentes. En la tabla 19 se observan los datos de laboratorio para detergentes con los cuales se diseñaron las respectivas graficas de tendencias y remoción.

Tabla 19. Valores de detergentes para afluente y efluente del sistema

DETERGENTES			
FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCION
	(mg /L)	(mg /L)	%
27/08/07	6,38	2,12	66,77
29/08/07	6,34	2,92	53,94
31/08/07	5,95	1,93	67,47
28/09/07	6,42	3,2	50,15
02/10/07	4,88	1,47	69,84
04/10/07	6,81	4,41	35,24
08/10/07	5,55	4,22	23,97
12/10/07	8,1	3,53	56,42
26/10/07	4,58	2,03	55,68
30/10/07	4,42	2,32	47,51
Remoción promedio:52.7			

En la figura 64 se puede apreciar la tendencia de los valores de detergentes tanto para afluente como para efluente presentado en el sistema.

Figura 64. Tendencia de los detergentes



En la figura 64 se puede observar que los resultados de detergentes para el afluente están en un rango de [4,42- 8,1] mg /L, deducimos de la grafica que el punto donde se presento mayor concentración de detergentes fue el día 12 de octubre indicado en el recuadro de color verde, debido a que este día hubo en la universidad mas actividades de limpieza por parte del personal de servicios. Por otro lado en la salida hubo una reducción promedio del 3.13 mg/L.

Además se pudo notar en los datos del afluente, que en los tres primeros muestreos no hubo una variación notable y en cambio en los siguientes muestreos hubo una variación apreciable como lo muestra la grafica esto es debido a que algunos días hay mas actividades de aseo o limpieza en la institución que otros.

Por otro lado en la salida del sistema de recuperación los valores oscilaron entre [1,47 – 4.41] mg/L, siendo el valor máximo de 4.41 el día miércoles 4 de octubre como se aprecia en el recuadro de color violeta.

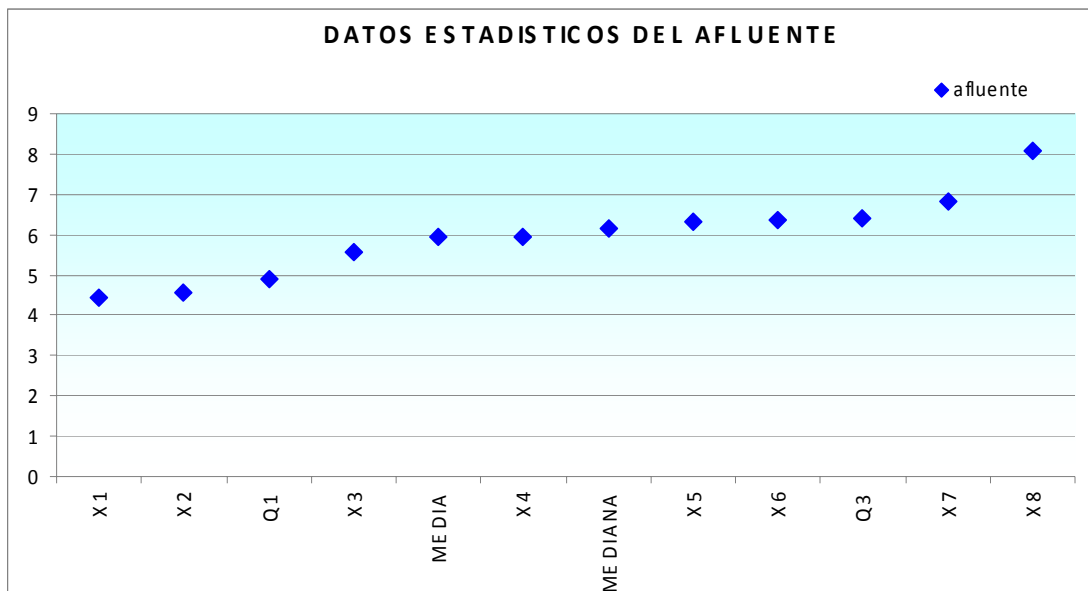
Tabla 20. Cargar para contaminantes de detergentes

Especie	Concentración media Afluyente (mg/L)	Concentración media Efluente (mg/L)	Carga media contaminante Afluyente (Kg/d)	Carga media contaminante Efluente (Kg/d)	Remoción media en carga (%)
Detergentes	5.94	2.82	0.431	0.11	74.58

El promedio afluyente de detergentes es de 5.94 mg/L como se aprecia en la línea de color marrón de la figura 64; además la desviación estándar es pequeña, lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia debajo de 1.13 mg/L N.

El promedio efluente de detergentes es de 2.82 mg/L N como se aprecia en la línea de color fucsia de la figura 64; así mismo la desviación estándar es de 1.01 mg/L N, lo que indica que los datos están lejos de la media.

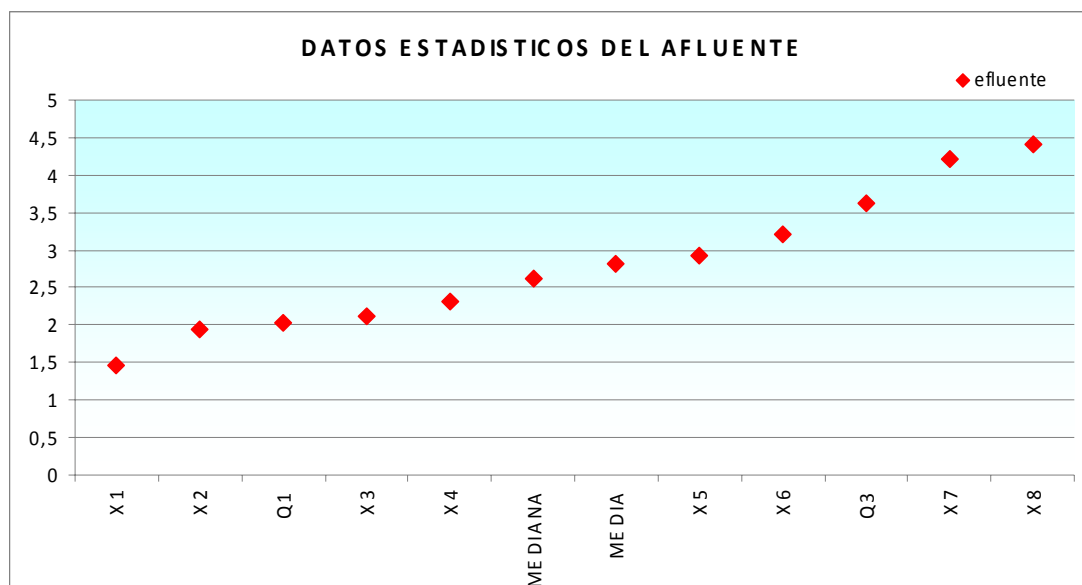
Figura 65. Análisis estadístico en la entrada del sistema



En la figura anterior se indican los datos en la entrada del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato

mayor; de igual forma se aprecian el primer cuartil $Q1 = 4.88 \text{ mg/L}$, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 5.94 \text{ mg/L}$, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 6.42 \text{ mg/L}$ que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 6.145 mg/L , que para este caso es superior a la mitad de todos los datos.

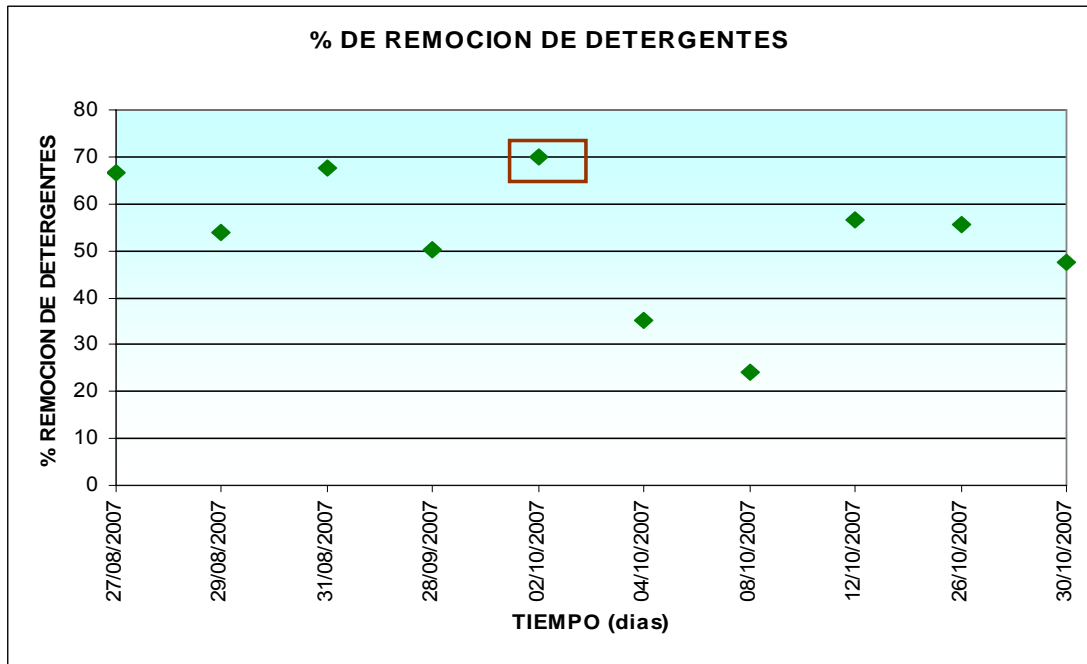
Figura 66. Análisis estadístico en la salida del sistema



En la figura anterior se indican los datos a la salida del sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil $Q1 = 2.03 \text{ mg/L}$, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil $Q2 = 2.82 \text{ mg/L}$, este coincide con la media y el tercer cuartil $Q3 = 3.63 \text{ mg/L}$ que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 2.62 mg/L , que para este caso es inferior a la mitad de todos los datos.

En la figura 67, se puede observar los datos de porcentaje de remoción de detergentes en el sistema.

Figura 67. Porcentaje de remoción de detergentes



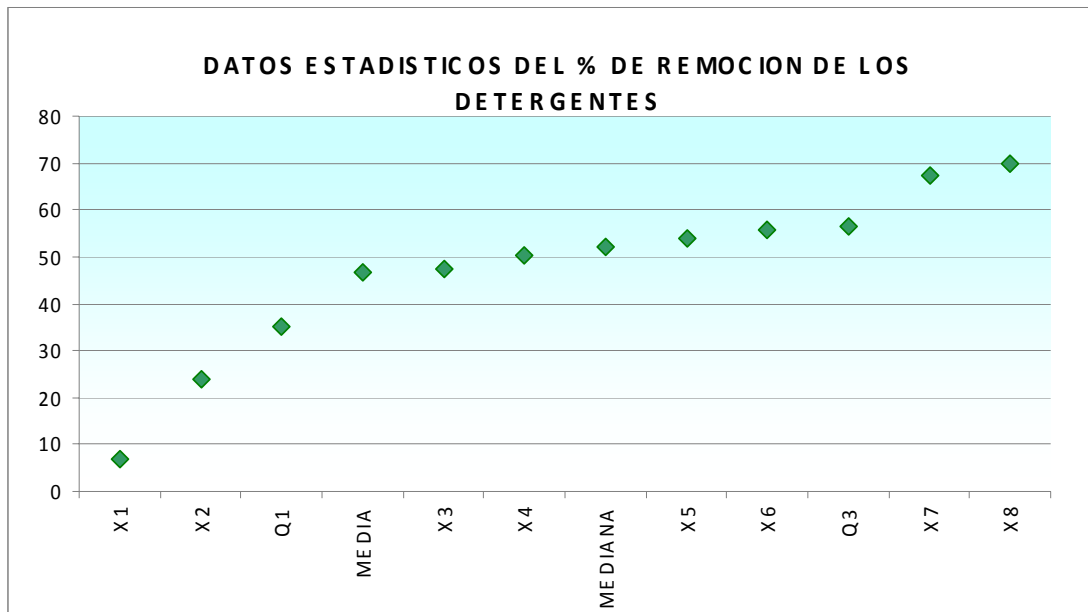
Es posible observar que los datos de remoción se conservaron en un rango entre [23.97 - 69.88] %. El 2 de octubre, indicado en el recuadro de color marrón; fue el donde el tratamiento removió más detergentes porque acá existe mas presencia de plantas en el sistema, lo cual se deduce que a mayor cantidad de plantas en el sistema es mayor la reducción de detergentes.

Se puede apreciar que la concentración de detergentes es alta y que la planta logra remover hasta un 69,84% de estos compuestos, lo que indica que las plantas toman los fosfatos presentes y los asimilan. Estas altas concentraciones deterioran las plantas ubicadas en el canal de entrada del sistema.

De esta figura se puede deducir en base de los promedios graficados; que los detergentes luego de pasar por este sistema de recuperación se han reducido en un 53%.

La remoción promedio de detergentes es de 46.7%; de igual forma la desviación estándar es grande, lo que indica que los datos están lejos de la media con una tendencia a variar hacia arriba y hacia debajo de 14,52%.

Figura 68. Análisis estadístico del porcentaje de remoción en el sistema



En la figura anterior se indican los datos del porcentaje de remoción en el sistema de tratamiento, los cuales se aplicaron de menor a mayor; siendo X1 el dato menor y X8 el dato mayor; de la misma manera se aprecian el primer cuartil Q1= 35.24 mg/L, el cual separa el primer cuarto de la distribución; el segundo cuartil Q2 = 46.70 mg/L, este coincide con la media y el tercer cuartil Q3 = 56.42 mg/L que separa el tercer cuarto de la distribución de su ultimo cuarto y con un valor en la mediana de 52.045 mg/L, que para este caso es superior a la mitad de todos los datos.

5.3 ETAPA 3: DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS SUBPRODUCTOS GENERADOS EN EL PROCESO.

5.3.1 Montaje de compostaje con el jacinto de agua

Análisis y resultados del compostaje con jacinto de agua. En las pilas se midieron dos parámetros principales que fueron la temperatura y la humedad.

En la tabla 21 se presentan los datos para compostaje, con los cuales se desarrollaron las gráficas de humedad y temperatura.

Tabla 21. Valores de humedad y temperatura para el compostaje

FECHA	Pila (J) solo jacinto		Pila (JA) jacinto con aserrín	
	HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (C°)	HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (C°)
29/01/08	4,25	25	3,78	25
30/01/08	5,82	26	3,8	26
31/01/08	5,89	28	4	25
01/02/08	5,9	33	4,6	30
02/02/08	4,51	33	3,9	32
04/02/08	5,49	35	3,49	32
05/02/08	5,9	35	3,4	34
06/02/08	5,93	34	3,5	33
07/02/08	5,98	35	3,57	30
08/02/08	4,3	32	3,5	32
09/02/08	4,91	34	3,5	33
10/02/08	4,8	34	3,77	31
11/02/08	5,29	34	4,24	31
12/02/08	5,71	32	4,5	32
13/02/08	6,1	33	4,6	32

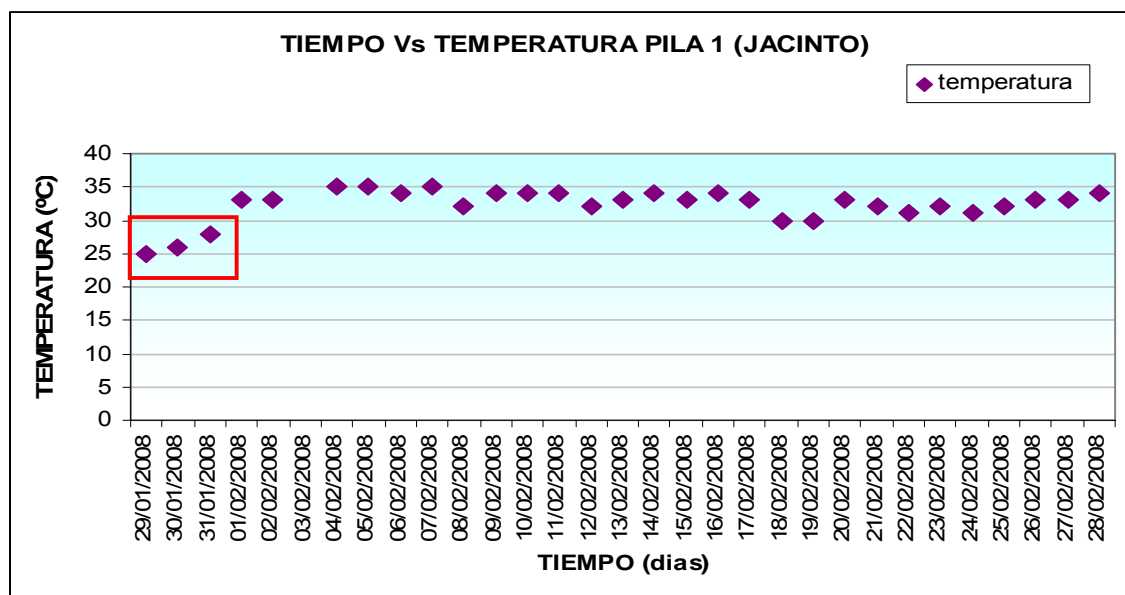
14/02/08	5,64	34	4,44	30
15/02/08	6,26	33	4,9	32
16/02/08	6,34	34	5	30
17/02/08	6,5	33	5,18	31
18/02/08	6,8	30	5,4	29
19/02/08	7	30	5,69	29
20/02/08	7,1	33	5,7	31
21/02/08	7,15	32	5,76	30
22/02/08	7,5	31	5,9	30
23/02/08	7,64	32	5,91	29
24/02/08	7,8	31	6	30
25/02/08	7,825	32	6,05	30
26/02/08	7,9	33	6	32
27/02/08	7,915	33	6,2	31
28/02/08	7,95	34	6,37	33
Promedio	6,20	32,26	4.75	30.5

5.3.2 Registro de temperaturas y tasa de aireación. Las temperaturas registradas por las dos pilas no sobrepasaron los 35° C, quedándose el proceso de compostaje en una etapa mesofílica comprendida entre los 20 y 50°C. Ya que las pilas pequeñas generan bajas temperaturas y las pilas grandes generan altas temperaturas debido a que entre mas grande sea la pila mas calor produce.

Debido a que los tres primeros días se tomo la temperatura en horas de la mañana y la semana posterior las muestras se tomaron en horas de la tarde (1:00 p. m.), las temperaturas se mantuvieron en rango de [30 - 35] C°. Estas después de la primer semana se volvieron aproximadamente constantes debido a la baja actividad biológica que se presentaba.

La figura 69 muestra las temperaturas registradas en el proceso de compostaje para la pila con solo jacinto.

Figura 69. Temperaturas de la pila J (jacinto)



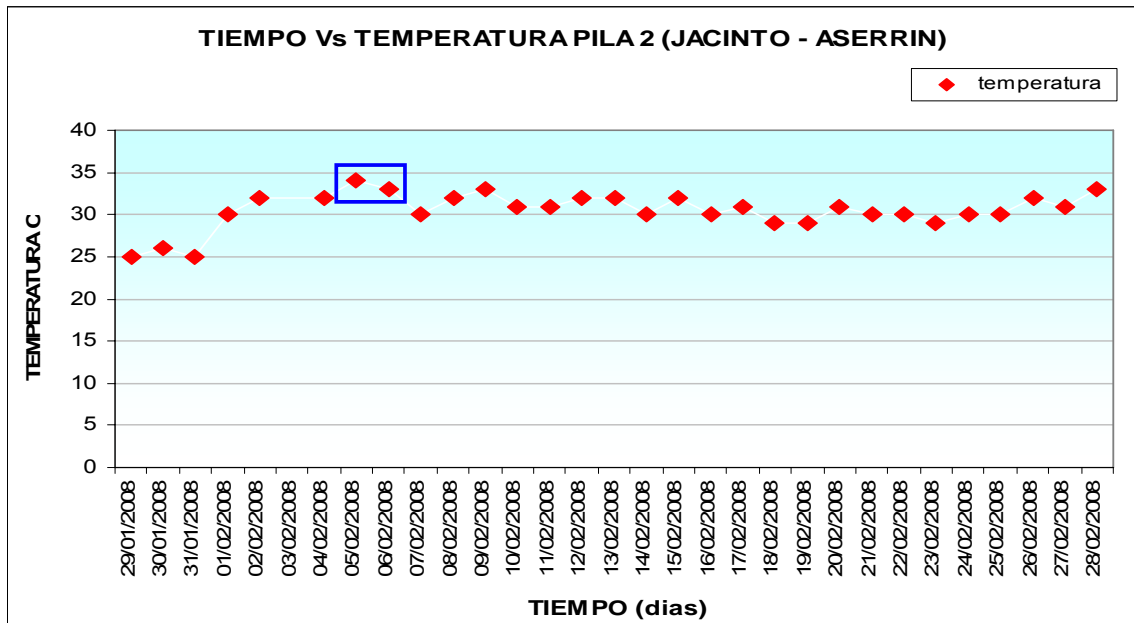
En la figura 69 se logra observar que las temperaturas oscilaron entre $[25 - 35]^{\circ}\text{C}$ en el transcurso del mes de muestreo.

La pila J empezó registrando temperaturas de 25°C a 28°C en los tres primeros días de la primer semana y en las siguientes semanas aumentaron hasta llegar a los 35°C aproximadamente como se aprecia en el recuadro de color rojo.

El factor limitante de temperatura en las pilas fue el insuficiente volumen de estas, que a su vez hizo posible el paso del aire a través de las pilas de tal forma que llegara suficiente oxígeno a los microorganismos y estos pudieran liberar energía durante la asimilación de la materia orgánica. La termocupla localizada en el centro de la pilas, fue la que registró la temperaturas.

La figura 70 muestra las temperaturas registradas en el proceso de compostaje para la pila con jacinto y aserrín.

Figura 70. Temperaturas de la pila JA (jacinto - aserrín)



En la figura 70 se puede observar que las temperaturas oscilaron entre [25 - 34] °C en el transcurso del mes de muestreo.

En la pila (JA) se alcanzaron temperaturas hasta de 32 y 34° C como se indica en el recuadro azul. Posteriormente las temperaturas fueron bajando hasta llegar a un rango constante entre los 30 y 32 °C. El incremento en la temperatura de esta pila se dio posteriormente al aumento de la tasa de aireación impuesta después de la primer semana, lo que demuestra que hubo un aumento en la actividad microbiana presente en la pila.

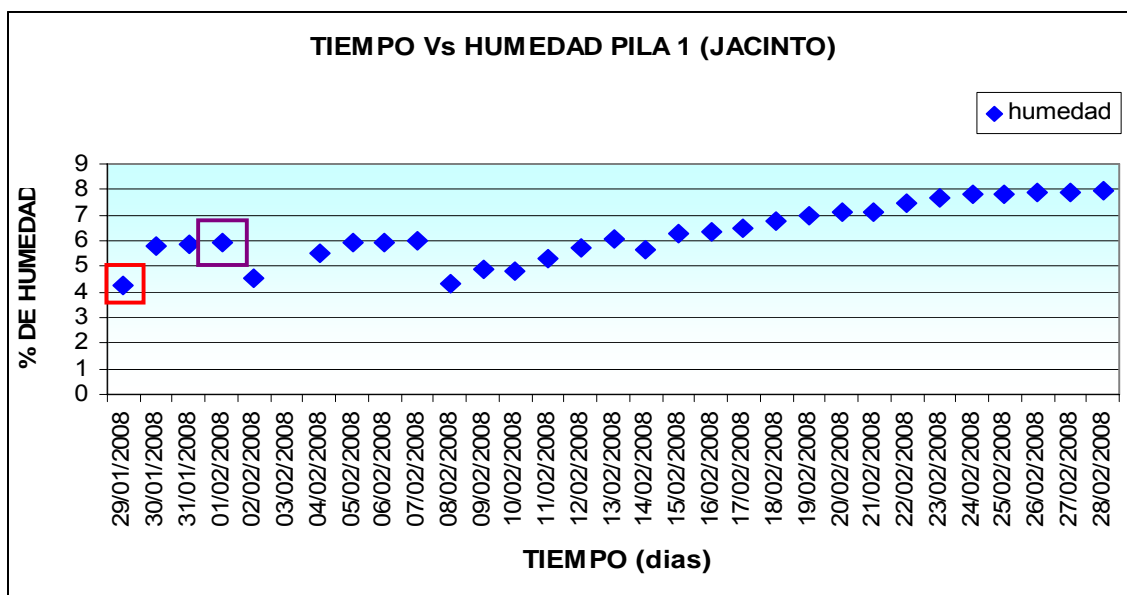
En la anterior grafica podemos ver que las temperaturas de la pila (JA) oscilaron en un rango de [25 – 34] C° y se puede observar que estas temperaturas son menores a las de la pila (J), esta diferencia es de uno y dos grados centígrados en todos los días de muestreos. Igualmente se puede identificar que la temperatura

después de los valores máximos indicados en el recuadro de color azul se mantuvo aproximadamente en 31 C°, lo que demuestra que la pila con jacinto y aserrín asimiló el aumento en el suministro de aire.

Comparando las dos graficas anteriores se pudo deducir que la pila (J) presento mayores temperaturas, debido a que en esta pila se encontraba una mayor tasa de aireación y por tanto una mayor actividad biológica por parte de los microorganismos; esto se pudo deber al poco o nulo espacio que había entre los pedazos de jacinto que conformaban la pila y el aserrín, lo cual hizo difícil el paso del aire a través de esta de tal forma que llegara suficiente oxígeno a los microorganismos y estos pudieran liberar energía durante la asimilación de la materia orgánica.

5.3.3 muestreo y análisis de laboratorio. La figura 71 muestra los porcentajes de humedad presentados en el proceso de compostaje para la pila con solo jacinto.

Figura 71. Porcentajes de humedad pila J (jacinto)



La pila (J) presento una humedad promedio de 6.20%, en esta pila se encontraron humedades bajas a pesar de no haber un agente abultante. En los primeros días hubo una baja en la humedad como se indica en el recuadro rojo, porque no se le suministro la cantidad suficiente de agua a las pilas.

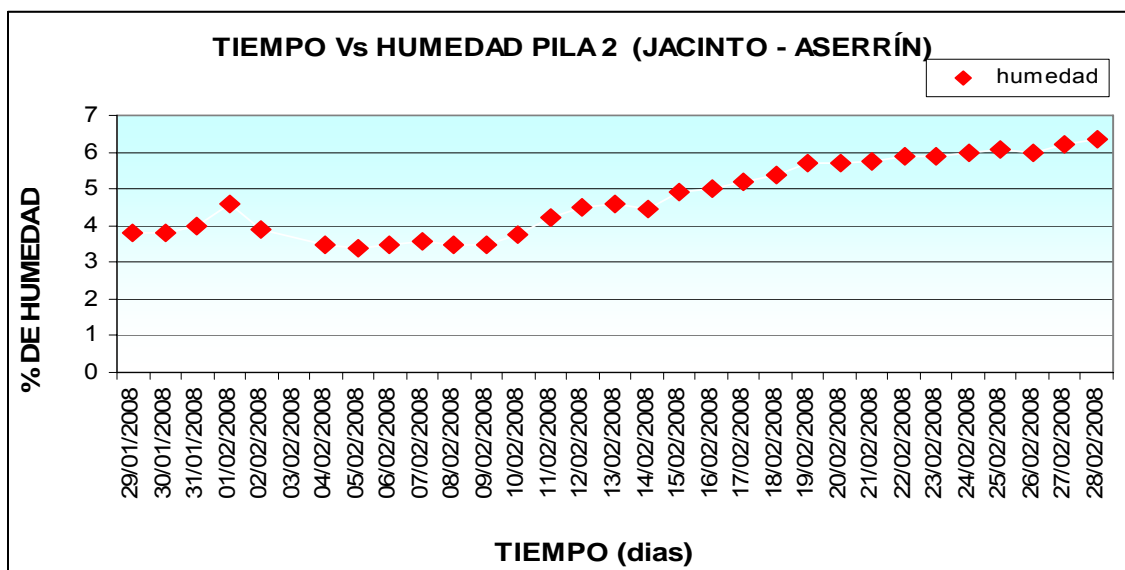
En las últimas dos semanas y media se noto un asenso debido al agua suministrada día por medio. En estos días la humedad aumento casi el doble por ciento de lo normal.

Al inicio del montaje el jacinto de agua presentó una humedad del 4,25%, considerada relativamente baja. Además se registraron bajas en la humedad de la pila (J), en la primer semana, llegando a un 5,9% de humedad debido al aumento de la tasa de aireación a partir de la primer semana de montaje. Si embargo fue la pila con la humedad más alta debido a que no se utilizó un material abultante que ayude a absorber la humedad, presentando este una variación de 4,25% al 7,95% al final del proceso.

La pila (J) que no tuvo abultante presentó una humedad promedio del 6,20% (las mas alta) y tuvo una disminución hasta el 4,25%. Además esta pila presentó un asentamiento desde 0.15 m de alto hasta 0.05 m.

La figura 72 muestra los porcentajes de humedad presentados en el proceso de compostaje para la pila con jacinto y aserrín.

Figura 72. Porcentajes de humedad pila JA (jacinto - aserrín)



La pila (JA) alcanzó una humedad promedio de 4,75 % siendo esta la humedad mas baja debido no solamente al aumento de la tasa de aireación sino también a la absorción de humedad por parte del la aserrín adicionado como agente abultante, ya que materiales fibrosos como paja o astillas de madera pueden absorber relativamente grandes cantidades de agua, manteniendo su estabilidad estructural y porosidad. El aserrín presentó una apariencia húmeda, registrando estos al principio una humedad del 3,78% y al final del 6,37%.

Además estos brindaron una estructura de soporte a la pila, quedando demostrado con el tamaño de esta, ya que al principio se montó con una altura de 0.15 m hasta llegar a 0.135 m de altura. De esto se puede concluir que el agente abultante también brinda una excelente estructura de soporte a la pila (JA) debido a que no se nota la disminución de compostaje en grandes cantidades como lo es en la pila (J).

Viéndose reflejada la efectividad del sistema de aireación, se observó una humedad máxima del 7,95% durante 30 días de compostaje en la pila (J).

También se logra ver que en las últimas dos semanas un asenso mínimo de humedad en todos los días de muestreo, esto se debe a que se hicieron riegos día por medio y por lo tanto se aumento esta.

Debido a que presentaban bajos grados de humedad observados al principio (primer semana), se compensó la falta de humedad en las pilas haciendo riegos día por medio, lo cual se vio reflejado en el aumento en porcentajes de humedad de ambas pilas.

Se notó que la parte exterior de las pilas, aproximadamente 5 cm. presentaban un aspecto seco. Las dos pilas fueron volteadas una vez por semana con el fin de lograr una disminución de la humedad de una forma acelerada y evitar que se formaran zonas anaerobias. La aireación también evitará que el compostaje se apesté.

Además la pila (J) presentó un color oscuro, con una textura desmenuzable y olores terrosos, lo cual indica que se ha acabado el compost, que ha estabilizado y que se ha convertido el material orgánico original (jacinto de agua) en humus. Figura 73.

Figura 73. Color final pila (J).



La pila (J) presento los siguientes porcentajes: nitrógeno 1.04 %; de fósforo 0.23 % y un carbono orgánico oxidable total 4.26 % (Anexo F)

Los resultados obtenidos arrojaron una relación C:N -4:1 la cual se mantuvo en un rango adecuado según (Goyal. 2004, relación C:N -18:1).

La pila (JA) presentó un color rojizo, igualmente con una textura desmenuzable y olor a tierra húmeda, lo cual muestra que ha estabilizado el compost y que se ha convertido el jacinto de agua junto con el aserrín en humus. Figura 74.

Esta pila presento los siguientes porcentajes: nitrógeno de 0.21 %, de fósforo 0.12% y un carbono orgánico oxidable total de 17.0 %. (Anexo F)

Los resultados obtenidos arrojaron una relación C: N demasiado grande, debido al alto porcentaje de carbono con respecto al nitrógeno en esta pila.

Figura 74. Color final pila (JA)



Se debe tener en cuenta que para producir un mejor abono aplicable a la tierra y libre de patógenos y malezas es necesario hacer un análisis microbiológico; ya que la temperaturas alcanzadas no fueron tan elevadas como para eliminarlos completamente del compost..

6. CONCLUSIONES

- El sistema con jacinto de agua mostró remociones de nitrógeno hasta un 51,44 % lo que significó un mayor aporte al tratamiento de aguas residuales con lagunas de macrofitas.
- La remoción promedio de fósforo total en el sistema con jacinto de agua es de un 56.84 % lo que demuestra la gran capacidad de la planta para extraer este nutriente del agua residual.
- Se identificó que las grandes remociones que presentan el sistema con jacinto de agua en cuanto a sólidos suspendidos totales permiten comprobar su eficiencia y dar cumplimiento a la norma.
- Los parámetros que reportaron mayores eficiencias en remoción fueron la DBO₅ con un 86.78 % y los sólidos suspendidos totales con un 83.69 %.
- Gracias a las altas remociones de DBO₅ que se identificaron en el tratamiento con jacinto de agua, se puede deducir que está trabajando en óptimas condiciones, puesto que cumple con los requisitos adscritos al decreto 1594 de 1984.
- Una de las actividades que influyen directamente en la remoción de nutrientes, DBO₅ y sólidos suspendidos totales, es el cosechamiento; debido a que la remoción parcial de la población del jacinto de agua, con una cierta periodicidad, es necesaria no sólo para eliminar del sistema los nutrientes captados por las plantas sino también que cuando sucede la cobertura total de la lámina de agua desciende mucho el oxígeno disuelto en el agua, se

interrumpe el paso de la luz y la cantidad de materia orgánica en el agua aumenta rápidamente por la pudrición de la biomasa vegetal.

- Se puede concluir que un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhoria crassipes* es eficiente y complementa de manera óptima el efluente proveniente del reactor anaerobio de flujo a pistón, lográndose altas remociones de nitrógeno, fósforo, SST, DBO₅, DQO y puede llegar a tener un gran futuro en países que tengan climas tropicales o subtropicales como el nuestro, donde las condiciones económicas de estos proyectos, pueden ser determinantes a la hora de emprender o no la depuración de los efluentes.
- Con base en los resultados obtenidos se comprobó experimentalmente que el jacinto de agua puede doblar su peso cada 15 días, lo cual afirma su rapidez reproductiva.
- Una mayor altura y peso húmedo final de plantas en un sistema de recuperación de aguas residuales como este, se correlaciona con una mejor remoción de nutrientes.
- La producción de biomasa en comparación con otro tipo de técnicas de depuración de plantas flotantes fue mucho mayor. El sistema radicular de *E. crassipes* retuvo grandes cantidades de biomasa fitoplanctónica, sólidos en suspensión y los nutrientes asociados a estas fracciones.
- En los procesos de compostaje de pilas con humedades como el jacinto de agua, es indispensable la adición de un material abultante que brinde soporte estructural, con el fin de preservar la estructura de las pilas y se pueda posibilitar el acceso de aire a través de estas, permitiendo que los microorganismos encargados de la descomposición del jacinto tengan el

oxígeno necesario para llevar a cabo sus funciones metabólicas y además se pueda disminuir la humedad.

- El tamaño de picado y el insuficiente tamaño de las pilas de compostaje con jacineto de agua indujo a que los microorganismos tuvieran menor área de interacción con el sustrato y afectó su degradación, haciéndola lenta, lo que se vio reflejado en las bajas temperaturas.
- La cobertura con un plástico de la superficie permitió que no se perdiera humedad y se conservaran constantes las temperaturas internas de las pilas durante más tiempo.
- Los resultados obtenidos en la pila (J) arrojaron una relación C:N -4:1 la cual se mantuvo en un rango adecuado según (Goyal. 2004, relación C:N -18:1).

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer monitoreo periódico en el sistema de recuperación con jacinto para renovar constantemente la información obtenida en este estudio.
- Se recomienda realizar una investigación para determinar la procedencia de los compuestos químicos que aumentan la DQO en el afluente del sistema.
- Para mantenimiento adecuado del humedal, promover crecimiento activo y evitar la proliferación de mosquitos, se sugiere cosechar periódicamente la vegetación emergente cada 3 o 4 semanas.
- Se recomienda aumentar el tiempo de retención hidráulica en el sistema con *Eichhornia crassipes* para mejorar la eficiencia en remoción del sistema.
- Para un mejor resultado en el compostaje, se recomienda aumentar el tamaño de las pilas, para originar más calor y de este modo cumplir más rápido el proceso y producir un mejor abono aplicable a la tierra originando un producto final estable, libre de patógenos y malezas.

BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA & WEF. 1.998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Ed. Washington D.C.

ARNAIZ Carmen, ISAC Laura, LEBRATO Julián. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Tratamiento biológico de aguas residuales. Año XX –num. 198 –Marzo 2000 –ISSN: 211/8173. Pág. 20.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Normatividad nacional vigente.

CRITES Ron, TCHOBANOGLIOUS George. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá. Mc-Graw Hill Interamericana, S.A. Colombia. 2000.

CRITES Ron, TCHOBANOGLIOUS George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Santafé de Bogotá. Mc-Graw Hill Interamericana, S.A. Colombia. 2001.

DIAZ Miguel, RODRIGUEZ Celia, DIAZ Francisco. REVISTA ACODAL. Tecnología e investigación. remoción de metales pesados por el jacinto de agua. N° 152. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1992.

El filtro de macrofitas en flotación para la depuración de las aguas residuales y la regeneración de lagos y lagunas.

GARCIA Mercedes, BECARES Eloy, SOTO Félix. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Macrófitas en la depuración de aguas residuales. Su función en la eliminación de nutrientes. Año XIX –num. 185 –Febrero 1999 –ISSN: 211/8173. Pág. 64 y 68.

HERNANDEZ, Aurelio. Depuración de aguas residuales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Cuarta Edición. Madrid. 1998.

HERNANDEZ, Aurelio. SANEAMIENTO Y ALCANTARILLADO. Vertidos Residuales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Quinta Edición. Madrid. 1997.

MORENO, Maria. LUQUE, Juan. MONOGRAFÍAS DE LA SECRETARÍA DE ESTADO PARA LAS POLÍTICAS DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE.

Depuración por lagunaje de aguas residuales, Manual de operadores. Madrid 1991.

OROZCO, A et al. Tratamiento Biológico de las aguas residuales. Acodal.

ROMERO, J. Acuitratamiento por lagunas de Estabilización. Escuela de Ingeniería Colombiana. Colombia. 1994.

ROMERO, J. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y Principios de Diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería. Segunda Edición. Bogotá. Colombia. 2002.

SEOANEZ CALVO, M. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ediciones Mudi Prensa. Madrid. España.1999.

TOJA Juliana, ALVAREZ Esteban, PIDRE Ramón. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Eliminación biológica del fósforo en aguas residuales. Año XIX –num. 186 -Marzo 1999- ISSN: 211/8173. Pág. 33.

TOMAS Ricard, ILLA Joseph, ROVIRA Miguel. Tecnología del agua. Artículos técnicos. Reducción de materia orgánica y nutrientes de aguas prepotables mediante lecho flotante de macrófitas. experiencia en el lago de la laguna de Manresa. Año XXIV –num. 254 –Noviembre 2004 –ISSN: 211/8173. Pág. 38.

ANEXOS

Anexo A. Tablas de aforo del sistema terciario con jacinto de agua

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA						
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDIALES						
FECHA	AFLUENTE			EFLUENTE		
08/27/2007						
HORA	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)
8:00:00	0,96	3,12	0,31	0,61	14,74	0,04
8:30:00	0,93	2,83	0,33	0,57	15,63	0,04
9:00:00	1,06	1,11	0,95	0,58	16,08	0,04
9:30:00	0,76	2,14	0,36	0,51	14,88	0,03
10:00:00	1,08	1,48	0,73	0,65	19,21	0,03
10:30:00	0,88	1,95	0,45	0,81	20,46	0,04
11:00:00	1,29	2,18	0,59	0,53	11,78	0,04
11:30:00	0,91	1,81	0,50	0,61	11,27	0,05
12:00:00	1,10	1,76	0,63	0,60	10,76	0,06
12:30:00	1,07	1,30	0,82	0,88	1,26	0,70
13:00:00	1,09	1,53	0,71	0,76	1,18	0,64
13:30:00	0,79	1,66	0,48	0,72	0,97	0,74
14:00:00	1,23	1,66	0,74	0,83	0,98	0,85
14:30:00	0,88	2,62	0,34	0,70	1,09	0,64
15:00:00	0,61	1,81	0,34	0,72	1,09	0,66
15:30:00	1,09	1,87	0,58	0,82	1,19	0,69
16:00:00	1,19	1,54	0,77	0,64	1,20	0,53
16:30:00	0,96	1,81	0,53	0,58	1,16	0,50
17:00:00	0,91	1,60	0,57	0,59	1,17	0,50
		PROMEDIO =	0,59		PROMEDIO =	0,36
OBSERVACIONES:						

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA										
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										
FECHA	AFLUENTE No 1			AEFLUENTE No 2			EFLUENTE			
08/29/2007	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)	
7:00:00	0,73	3,47	0,21	N	N	N	0,60	8,86	0,07	
7:30:00	0,63	2	0,32	N	N	N	0,65	9,95	0,07	
8:00:00	0,84	1,56	0,54	0,85	1,26	0,67	0,56	8,79	0,06	
8:30:00	0,76	1,68	0,45	0,9	1,46	0,62	0,52	8,04	0,06	
9:00:00	0,50	1,72	0,29	1,58	1,95	0,81	0,53	8,20	0,06	
9:30:00	0,87	1,71	0,51	1,43	1,75	0,82	0,63	10,03	0,06	
10:00:00	1,27	1,35	0,94	1,43	1,75	0,82	0,63	9,95	0,06	
10:30:00	1,06	1,67	0,63	1,13	1,37	0,82	0,76	4,61	0,16	
11:00:00	0,94	1,73	0,54	1,35	1,71	0,79	0,74	2,93	0,25	
11:30:00	2,00	1,92	1,04	1,11	1,37	0,81	0,71	2,39	0,30	
12:00:00	1,00	1,69	0,59	0,99	1,3	0,76	0,65	2,18	0,30	
12:30:00	1,03	1,33	0,77	0,95	1,23	0,77	0,80	1,49	0,54	
1:00:00	1,36	1,75	0,78	1,14	1,44	0,79	0,75	1,19	0,63	
1:30:00	0,98	1,55	0,63	0,85	1,23	0,69	0,74	1,21	0,61	
2:00:00	1,30	1,26	1,03	1,12	1,44	0,78	0,93	1,22	0,76	
2:30:00	1,18	2,67	0,44	1,06	1,38	0,77	0,79	1,11	0,71	
3:00:00	1,18	1,50	0,79	1,1	1,46	0,75	0,78	1,17	0,67	
3:30:00	1,32	2,09	0,63	1,08	1,45	0,74	0,77	0,67	1,15	
4:00:00	1,38	1,83	0,75	1,17	1,67	0,70	0,69	0,92	0,75	
4:30:00	1	1,44	0,69	0,96	1,27	0,76	0,73	0,99	0,74	
5:00:00	0,82	1,58	0,52	0,99	1,47	0,67	0,66	0,98	0,67	
	PROMEDIO =		0,67	PROMEDIO =		0,76	PROMEDIO =		0,41	
OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA									
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES									
FECHA	AFLUENTE No 1			AEFLUENTE No 2			EFLUENTE		
08/31/2007	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)
7:00:00	0,68	3,13	0,22	1,03	1,19	0,87	0,57	6,37	0,09
7:30:00	0,66	3,17	0,21	0,76	0,94	0,8	0,56	6,34	0,09
8:00:00	0,90	1,49	0,60	N	N	N	0,62	7,23	0,09
8:30:00	1,12	2,99	0,37	0,79	1	0,79	0,54	5,96	0,09
9:00:00	1,05	1,42	0,74	0,9	1,1	0,82	0,62	7,23	0,09
9:30:00	0,81	2,23	0,36	N	N	N	0,65	6,64	0,10
10:00:00	0,91	1,54	0,59	0,97	1,2	0,81	0,65	5,91	0,11
10:30:00	0,76	1,25	0,61	0,72	0,83	0,87	0,67	5,68	0,12
11:00:00	0,93	1,68	0,55	0,69	0,78	0,88	0,76	5,57	0,14
11:30:00	0,84	1,42	0,59	0,68	0,81	0,84	0,77	3,62	0,21
12:00:00	0,76	1,28	0,59	0,89	1,1	0,81	0,58	2,40	0,24
12:30:00	0,68	1,46	0,47	0,83	1,08	0,78	0,85	1,23	0,69
1:00:00	1,27	1,65	0,77	0,81	1,22	0,66	0,82	1,04	0,79
1:30:00	1,07	1,55	0,69	N	N	N	0,90	1,27	0,71
2:00:00	0,95	1,38	0,69	0,86	1,09	0,79	0,67	1,43	0,47
2:30:00	0,74	2,20	0,34	0,97	1,19	0,83	0,60	1,86	0,32
3:00:00	0,68	1,59	0,43	0,76	0,98	0,78	0,76	1,44	0,53
3:30:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4:00:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4:30:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N
5:00:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	PROMEDIO =		0,56	PROMEDIO =		0,81	PROMEDIO =		0,29
OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:			
SE PRESENTARON LLUVIAS A LAS 3:30 PM POR									
LO TANTO SE SUSPENDIO EL MONITOREO									
POR QUE CONTINUO LA LLUVIA									

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA											
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES											
FECHA	AFLUENTE No 1			AEFLUENTE No 2			EFLUENTE				
09/28/2007	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)		
HORA											
7:00:00	0,81	2,74	0,30	N	N	N	0,21	18,41	0,011		
7:30:00	1,95	1,98	0,98	N	N	N	0,18	23,40	0,008		
8:00:00	0,87	3,13	0,28	N	N	N	0,48	1,39	0,35		
8:30:00	0,77	2,05	0,38	0,72	0,84	0,86	0,36	1,55	0,23		
9:00:00	0,96	1,75	0,55	N	N	N	0,56	2,63	0,21		
9:30:00	0,91	2,57	0,35	N	N	N	0,84	1,66	0,51		
10:00:00	1,29	1,98	0,65	0,68	0,82	0,83	0,47	1,64	0,29		
10:30:00	1,54	1,57	0,98	0,77	0,9	0,86	0,48	2,27	0,21		
11:00:00	1,19	1,59	0,75	N	N	N	0,68	0,86	0,79		
11:30:00	1,62	1,78	0,91	0,7	0,83	0,84	0,92	1,43	0,64		
12:00:00	0,85	1,81	0,47	0,75	0,89	0,84	0,79	1,33	0,59		
12:30:00	0,75	0,69	1,09	N	N	N	0,84	0,79	1,06		
1:00:00	1,32	1,49	0,89	0,68	0,8	0,85	0,71	1,23	0,58		
1:30:00	0,79	2,65	0,30	0,3	1,84	0,16	0,61	0,98	0,62		
2:00:00	1,10	1,59	0,69	N	N	N	0,91	1,09	0,83		
2:30:00	0,77	1,76	0,44	0,71	0,78	0,91	0,54	1,27	0,43		
3:00:00	0,84	1,93	0,44	N	N	N	0,53	1,28	0,41		
3:30:00	0,83	1,58	0,53	0,75	0,87	0,86	0,66	1,08	0,61		
4:00:00	0,75	1,58	0,47	0,66	0,61	1,08	0,59	1,47	0,40		
4:30:00	0,99	1,49	0,66	N	N	N	0,57	1,19	0,48		
5:00:00	0,88	1,31	0,67	0,73	0,81	0,9	0,61	1,38	0,44		
PROMEDIO =			0,71	PROMEDIO =			0,83	PROMEDIO =			0,46
OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:			

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA										
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										
FECHA	AFLUENTE No 1		AEFLUENTE No 2				EFLUENTE			
10/02/07	HORA	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL	CAUDAL (E)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)
	7:00:00	2,39	0,41	N	N	N		0,37	8,03	0,05
	7:30:00	2,01	0,53	N	N	N		0,40	9,10	0,04
	8:00:00	2,36	0,37	N	N	N		0,37	8,71	0,04
	8:30:00	1,99	0,34	0,72	0,81	0,88		0,55	11,64	0,05
	9:00:00	2,02	0,38	N	N	N		0,58	3,44	0,17
	9:30:00	1,94	0,48	N	N	N		0,60	1,47	0,41
	10:00:00	1,49	0,74	0,72	0,71	1,01		0,49	1,72	0,28
	10:30:00	1,48	0,71	0,69	0,74	0,94		0,50	1,91	0,26
	11:00:00	1,76	0,45	N	N	N		0,81	0,90	0,90
	11:30:00	1,61	0,56	0,69	0,77	0,89		0,82	0,76	1,08
	12:00:00	1,59	0,48	0,61	0,66	0,92		0,76	0,79	0,96
	12:30:00	1,26	0,87	N	N	N		0,79	0,90	0,88
	1:00:00	1,26	0,63	0,61	0,66	0,92		0,77	1,06	0,73
	1:30:00	1,57	0,75	0,55	0,7	0,79		0,65	0,83	0,78
	2:00:00	1,61	0,83	0,70	0,74	0,95		0,78	1,00	0,78
	2:30:00	1,44	0,81	N	N	N		0,89	0,59	1,51
	3:00:00	2,38	0,39	0,62	0,73	0,85		0,94	0,56	1,68
	3:30:00	1,44	0,69	0,66	0,74	0,89		0,74	0,64	1,16
	4:00:00	1,24	0,96	N	N	N		0,67	0,73	0,92
	4:30:00									
	5:00:00									
	PROMEDIO =	0,60		PROMEDIO =	0,90	#;DIV/0!		PROMEDIO =	0,67	
OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:			
SE SUSPENDIO POR MOTIVO DE LLUVIA			SE SUSPENDIO POR MOTIVO DE LLUVIA				SE SUSPENDIO POR MOTIVO DE LLUVIA			

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA										
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										
FECHA	AFLUENTE No 1			AEFLUENTE No 2				EFLUENTE		
10/04/07	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL	CAUDAL (E)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)
7:00:00	0,97	4,07	0,24	N	N	N		0,59	6,10	0,10
7:30:00	0,60	2,65	0,23	N	N	N		0,54	5,65	0,10
8:00:00	1,03	2,49	0,41	N	N	N		0,51	5,65	0,09
8:30:00	0,93	2,06	0,45	0,51	0,72	0,71		0,53	6,09	0,09
9:00:00	0,87	2,35	0,37	N	N	N		0,52	5,87	0,09
9:30:00	0,95	1,95	0,49	0,55	0,72	0,76		0,51	5,93	0,09
10:00:00	1,18	1,27	0,93	0,54	0,76	0,71		0,53	4,23	0,13
10:30:00	1,07	1,19	0,90	0,58	0,59	0,53		0,51	2,57	0,20
11:00:00	0,91	1,38	0,66	0,48	0,62	0,77		0,68	1,48	0,46
11:30:00	1,11	1,43	0,78	N	N	N		0,71	1,13	0,63
12:00:00	1,13	1,22	0,93	N	N	N		0,72	1,15	0,63
12:30:00	1,09	1,07	1,02	0,25	6,43	0,04		0,90	1,51	0,60
1:00:00	0,83	1,28	0,65	0,47	8,18	0,06		0,88	1,90	0,46
1:30:00	1,04	1,32	0,79	N	N	N		0,91	2,16	0,42
2:00:00	N	N	N	N	N	N		N	N	N
2:30:00	0,80	1,89	0,42	0,34	9,2	0,04		0,55	1,27	0,43
3:00:00	0,94	1,31	0,72	0,62	0,67	0,93		0,57	1,49	0,38
3:30:00	1,26	2,15	0,59	0,79	0,83	0,98		0,91	2,42	0,38
4:00:00	1,12	1,13	0,99	0,63	0,68	0,92		0,60	1,14	0,53
4:30:00	1,03	1,38	0,75	0,58	0,51	1,14		0,66	0,96	0,69
5:00:00	0,75	1,47	0,51					0,65	0,95	0,68
	PROMEDIO =		0,64	PROMEDIO =		0,63	#;DIV/0!	PROMEDIO =		0,36
OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:			
se suprimio el aforo y el muestreo de las 2:00 por motivo de lluvia			se suprimio el aforo y el muestreo de las 2:00 por motivo de lluvia				se suprimio el aforo y el muestreo de las 2:00 por motivo de lluvia			

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA										
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										
FECHA	AFLUENTE No 1			AEFLUENTE No 2				EFLUENTE		
10/08/07	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL	CAUDAL (E)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)
7:00:00	0,63	1,55	0,41	N	N	N		N	N	N
7:30:00	2,04	2,04	1,00	N	N	N		N	N	N
8:00:00	0,82	1,62	0,51	0,65	0,51	1,27		N	N	N
8:30:00	0,77	2,05	0,38	N	N	N		N	N	N
9:00:00	0,94	1,93	0,49	0,59	0,55	1,07		0,57	5,14	0,11
9:30:00	0,98	1,57	0,62	N	N	N		0,67	4,26	0,16
10:00:00	1,00	1,27	0,79	0,68	0,61	1,11		0,50	1,62	0,31
10:30:00	0,80	1,35	0,59	0,5	0,63	1,01		0,56	2,04	0,27
11:00:00	0,82	1,51	0,54	0,52	0,4	1,3		0,73	1,55	0,47
11:30:00	0,97	1,25	0,78	0,63	0,53	1,2		0,70	1,41	0,50
12:00:00	0,74	0,98	0,76	0,57	0,54	1,06		0,57	1,09	0,52
12:30:00	0,87	1,00	0,87	0,55	0,42	1,3		0,61	0,88	0,69
1:00:00	0,69	1,08	0,64	0,46	0,43	0,90		0,73	0,95	0,77
1:30:00	0,69	0,97	0,71	N	N	N		0,73	0,99	0,74
2:00:00	1,09	1,16	0,94	N	N	N		0,66	0,90	0,73
2:30:00	0,52	2,01	0,26	N	N	N		0,62	0,99	0,63
3:00:00	0,80	1,19	0,67	0,59	0,5	1,18		0,68	1,08	0,63
3:30:00	0,59	1,91	0,31	N	N	N		0,64	0,98	0,65
4:00:00	0,85	1,05	0,81	0,6	0,5	1,2		0,59	0,97	0,61
4:30:00	0,73	1,16	0,63	N	N	N		0,68	1,27	0,54
5:00:00	0,71	1,18	0,60	N	N	N		0,66	1,25	0,53
	PROMEDIO =		0,63	PROMEDIO =		1,15	#;DIV/0!	PROMEDIO =		0,52
OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:		

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDIALES

FECHA	AFLUENTE No 1			EFLUENTE			
10/12/07	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)	
HORA							
7:00:00	0,88	3,20	0,28	0,55	7,01	0,08	
7:30:00	0,77	2,30	0,33	0,66	8,57	0,08	
8:00:00	0,98	2,22	0,44	0,58	8,82	0,07	
8:30:00	0,96	1,33	0,72	0,45	7,99	0,06	
9:00:00	0,92	1,12	0,82	0,77	3,90	0,20	
9:30:00	0,95	3,10	0,31	0,55	3,18	0,17	
10:00:00	1,12	1,36	0,82	0,90	1,40	0,64	
10:30:00	0,71	0,96	0,74	0,74	1,46	0,51	
11:00:00	0,81	1,20	0,68	0,78	1,22	0,64	
11:30:00	0,71	1,50	0,47	0,88	1,14	0,77	
12:00:00	1,12	0,94	1,19				
12:30:00							
1:00:00	1,07	1,07	1,00	0,95	1,20	0,79	
1:30:00	0,75	1,10	0,68	0,89	1,13	0,79	
2:00:00	0,83	1,36	0,61	0,79	1,03	0,77	
2:30:00	1,15	1,39	0,83	0,75	1,01	0,74	
3:00:00	0,76	1,61	0,47	0,84	0,99	0,85	
3:30:00	0,86	1,27	0,68	0,85	0,96	0,89	
4:00:00	0,87	1,39	0,63	0,69	0,92	0,75	
4:30:00	0,96	1,18	0,81	0,65	0,96	0,68	
5:00:00	0,83	1,68	0,49	0,67	1,00	0,67	
PROMEDIO =			0,65	PROMEDIO =			0,53
OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:			
se suprimio el aforo de las				se suprimio el aforo de las			
12:30 por motivo de lluvia				12:30 por motivo de lluvia			

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA										
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										
FECHA	AFLUENTE No 1			AFLUENTE No 2			EFLUENTE			
10/30/2007	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (A)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (E)	
7:00:00	1,05	5,47	0,19	N	N	N	0,45	12,60	0,04	
7:30:00	0,83	2,96	0,28	N	N	N	0,40	11,77	0,03	
8:00:00	0,95	3,07	0,31	N	N	N	0,34	11,79	0,03	
8:30:00	0,98	1,78	0,55	N	N	N	0,39	10,92	0,04	
9:00:00	0,87	1,66	0,52	0,64	0,61	1,05	0,49	5,09	0,10	
9:30:00	1,02	1,36	0,75	0,54	0,57	0,95	0,48	4,45	0,11	
10:00:00	1,12	1,47	0,76	0,53	0,55	0,96	0,53	3,78	0,14	
10:30:00	0,95	1,23	0,77	0,77	0,63	1,22	0,51	1,81	0,28	
11:00:00	0,96	1,39	0,69	N	N	N	0,54	1,54	0,35	
11:30:00	0,88	1,24	0,71	0,82	0,73	1,12	0,61	1,46	0,42	
12:00:00	0,88	1,39	0,63	0,73	0,69	1,06	0,59	1,39	0,42	
12:30:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
1:00:00	0,85	1,33	0,64	N	N	N	0,63	0,76	0,83	
1:30:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
2:00:00	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
2:30:00	0,71	1,21	0,59	0,72	0,65	1,16	0,73	1,13	0,65	
3:00:00	1,06	1,20	0,88	N	N	N	0,78	1,19	0,66	
3:30:00	0,81	2,88	0,28	N	N	N	0,80	1,16	0,69	
4:00:00	0,89	1,18	0,75	0,62	0,59	1,05	0,67	1,13	0,59	
4:30:00	0,67	1,35	0,50	0,59	0,67	0,87	0,71	1,20	0,59	
5:00:00	0,86	1,21	0,71	0,63	0,72	0,86				
	PROMEDIO =		0,58	PROMEDIO =		1,0303666	PROMEDIO =		0,35	
OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:				OBSERVACIONES:		

Anexo B. Tabla de datos (conductividad)

CONDUCTIVIDAD			
FECHA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA
	Unid. De Cond.	Unid. De Cond.	(%)
12/09/07	1977	1439	27.2
13/09/07	1802	1433	20.5
14/09/07	1691	1312	22.41
17/09/07	1380	1320	4.35
18/09/07	1825	874	52.1
19/09/07	1734	465	73.20
20/09/07	0	750	0
24/09/07	0	1604	0
25/09/07	1744	1730	0.80
26/09/07	0	1562	0
27/09/07	0	1452	0
01/10/07	1799	1605	10.8
03/10/07	1804	1749	3.058
04/10/07	0	1455	0
05/10/07	1968	1299	34
09/10/07	1820	952	47.7
10/10/07	1702	1740	-2.2
11/10/07	1750	1444	17.49
12/10/07	1812	1125	37.9
16/10/07	1785	1206	34.44
17/10/07	1705	1520	10.85
18/10/07	1820	1710	6.04
19/10/07	1920	1430	25.52
PROMEDIO : 23.68 %			

Anexo C. Tabla de datos (pH)

PH		
FECHA	ENTRADA	SALIDA
	Unid. De PH	Unid. De PH
14/09/07	7,81	8,23
17/09/07	6,94	7,14
18/09/07	7,69	8,38
19/09/07	N	N
20/09/07	N	N
24/09/07	7,63	8,2
25/09/07	7,4	8,24
26//09/07	7,88	8,94
27/09/07	7,44	7,87
01/10/07	N	N
03/10/07	N	N
04/10/07	N	N
05/10/07	7,63	8,3
09/10/07	8,55	8,2
10/10/07	8,6	8
11/10/07	8,3	8,2
12/10/07	7,6	8,1
16/10/07	N	N
17/10/07	8,5	7,8
18/10/07	7,49	8
19/10/07	8,5	8,56
18/10/07	8,1	8,4
19/10/07	7,8	7,95
PROMEDIO	7,87	8,15

Anexo D. Análisis fisicoquímicos de aguas residuales del sistema de recuperación con *Eichhornia crassipes*



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 275	CODIGO: 276	CODIGO: 277
FUENTE: 46	FUENTE: 47	FUENTE: 48
FECHA DE INGRESO: 29-08-07	FECHA DE INGRESO: 29-08-07	FECHA DE INGRESO: 29-08-07
FECHA DE REPORTE: 28-09-07	FECHA DE REPORTE: 28-09-07	FECHA DE REPORTE: 28-09-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR					METODO
		275	276	277	incertidumbre	Limite máximo Decreto 1594/84	
DQO	mg O ₂ / L	1181.0	701.0	249.5	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	408.0	285.5	61.1	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	455.2	120.4	26.4	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	210.0	182.0	193.2	---	----	4500-Ntotal
Fosforo	mg/L Ptotal	5.02	4.76	2.86	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	7.82	6.44	3.52	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
BUCARAMANGA
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
DE AGUAS RESIDUALES
ACREDITADO ISO 17025

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
“ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 278	CODIGO: 279	CODIGO: 280
FUENTE: 49	FUENTE: 50	FUENTE: 51
FECHA DE INGRESO: 29-08-07	FECHA DE INGRESO: 29-08-07	FECHA DE INGRESO: 29-08-07
FECHA DE REPORTE: 28-09-07	FECHA DE REPORTE: 28-09-07	FECHA DE REPORTE: 28-09-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Límite máximo Decreto 1594/84	METODO
		278	279	280			
DQO	mg O ₂ / L	618.2	368.6	111.4	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	428.3	254.2	52.8	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	190.0	128.4	27.6	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	226.8	198.8	128.8	---	----	4500-Ntotal
Fosforo	mg/L Ptotal	5.82	4.64	2.16	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	7.56	6.24	2.32	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 BUCARAMANGA
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
 DE AGUAS RESIDUALES
 ACREDITADO ISO 17025

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01


DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 292	CODIGO: 293	CODIGO: 294
FUENTE: 52	FUENTE: 53	FUENTE: 54
FECHA DE INGRESO:	FECHA DE INGRESO:	FECHA DE INGRESO:
FECHA DE REPORTE: 26-07-07	FECHA DE REPORTE : 26-07-07	FECHA DE REPORTE : 26-07-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite maximo Decreto 1594/84	METODO
		292	293	294			
DQO	mg O ₂ / L	683.5	414.7	130.6	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	408.0	327.1	86.4	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	155.0	118.8	37.2	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	179.2	148.4	123.2	---	----	4500-Ntotal
Fosforo	mg/L Ptotal	7.36	5.82	3.96	---	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	8.56	6.38	2.12	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 BUCARAMANGA

 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
 DE AGUAS RESIDUALES
 ACREDITADO ISO 17025

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 295	CODIGO: 296	CODIGO: 297
FUENTE: 55	FUENTE: 56	FUENTE: 57
FECHA DE INGRESO: 31-08-07	FECHA DE INGRESO: 31-08-07	FECHA DE INGRESO: 31-08-07
FECHA DE REPORTE: 03-10-07	FECHA DE REPORTE: 03-10-07	FECHA DE REPORTE: 03-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Límite máximo Decreto 1594/84	METODO
		295	296	297			
DQO	mg O ₂ / L	737.3	453.1	176.6	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	456.0	336.0	120.9	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	176.0	123.2	34.8	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	226.8	148.4	126.0	----	----	4500-Ntotal
Fosforo	mg/L Ptotal	8.45	7.12	2.78	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	9.12	5.52	1.75	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


 CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 342	CODIGO: 343	CODIGO: 344
FUENTE: 58	FUENTE: 59	FUENTE: 60
FECHA DE INGRESO: 28-09-07	FECHA DE INGRESO: 28-09-07	FECHA DE INGRESO: 28-09-07
FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		342	343	344			
DQO	mg O ₂ / L	1188.2	626.0	235.0	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	586.6	298.2	96.0	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	205.0	96.0	36.4	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	215.6	207.2	151.2	----	----	4500-Ntotal
Nitrogeno Amoniacal	mg/L Ntotal	176.2	145.6	82.4	----	----	4500-NH ₃ -C
Fosforo	mg/L Ptotal	7.36	4.86	2.12	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	8.04	6.42	3.80	----	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
BUCARAMANGA
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
DE AGUAS RESIDUALES
ACREDITADO ISO 17025

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
“ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



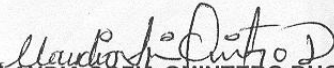
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUA S RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 345	CODIGO: 346	CODIGO: 347
FUENTE: 61	FUENTE: 62	FUENTE: 63
FECHA DE INGRESO: 28-09-07	FECHA DE INGRESO: 28-09-07	FECHA DE INGRESO: 28-09-07
FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		345	346	347			
DQO	mg O ₂ / L	1097.9	624.2	221.8	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	482.2	322.5	88.5	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	202.0	172.6	42.6	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	207.2	193.2	131.6	---	----	4500-Ntotal
Nitrogeno Amoniacal	mg/L Ntotal	154.2	106.4	68.5	---	----	4500-NH ₃ -C
Fosforo	mg/L Ptotal	5.24	3.80	1.75	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	7.54	6.42	2.60	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 BUCARAMANGA
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
 DE AGUAS RESIDUALES
 ACREDITADO ISO 17025

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 348	CODIGO: 349	CODIGO: 350
FUENTE: 64	FUENTE: 65	FUENTE: 66
FECHA DE INGRESO: 02-10-07	FECHA DE INGRESO: 02-10-07	FECHA DE INGRESO: 02-10-07
FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		348	349	350			
DQO	mg O ₂ / L	1112.9	519.0	206.8	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	722.2	216.0	77.7	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	196.4	187.0	35.4	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	224.0	201.6	126.0	---	----	4500-Ntotal
Nitrogeno Amoniacal	mg/L Ntotal	144.2	134.8	92.4	---	----	4500-NH ₃ -C
Fosforo	mg/L Ptotal	5.82	2.96	2.06	---	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	9.60	6.24	2.08	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 BUCARAMANGA
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
 DE AGUAS RESIDUALES
 ACREDITADO ISO 17025

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 351	CODIGO: 352	CODIGO: 353
FUENTE: 67	FUENTE: 68	FUENTE: 69
FECHA DE INGRESO: 02-10-07	FECHA DE INGRESO: 02-10-07	FECHA DE INGRESO: 02-10-07
FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07	FECHA DE REPORTE: 17-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		351	352	353			
DQO	mg O ₂ / L	902.4	458.7	176.7	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	411.8	252.8	62.4	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	218.4	132.6	28.4	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	192.4	145.2	118.8	---	----	4500-Ntotal
Nitrogeno Amoniacal	mg/L Ntotal	146.4	112.6	78.6	---	----	4500-NH ₃ -C
Fosforo	mg/L Ptotal	6.12	4.32	2.02	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	5.96	3.52	0.86	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 BUCARAMANGA
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
 DE AGUAS RESIDUALES
 ACREDITADO ISO 17025

Claudia Sofia Quintero Duque
CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 354	CODIGO: 355	CODIGO: 356
FUENTE: 70	FUENTE: 71	FUENTE: 72
FECHA DEINGRESO: 04-10-07	FECHA DEINGRESO: 04-10-07	FECHA DEINGRESO: 04-10-07
FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		354	355	356			
DQO	mg O ₂ / L	767.0	443.7	159.8	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	372.0	254.2	74.4	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	195.2	168.4	52.6	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	210.0	193.2	103.6	---	----	4500-Ntotal
Nitrogeno amoniacal	mg/L NH ₃ I	176.4	125.6	68.4	---	----	4500-NH3I
Fosforo	mg/L Ptotal	6.82	5.48	2.64	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	8.42	6.22	3.86	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 SECCIONAL BUCARAMANGA
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES

CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.

LABORATORIO DE ANALISIS QUIOMICO DE AGUA S RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 357	CODIGO: 358	CODIGO: 359
FUENTE: 73	FUENTE: 74	FUENTE: 75
FECHA DEINGRESO: 04-10-07	FECHA DEINGRESO: 04-10-07	FECHA DEINGRESO: 04-10-07
FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		357	358	359			
DQO	mg O ₂ / L	733.2	459.0	146.6	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	355.5	246.0	66.6	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	244.8	182.0	44.6	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	232.4	198.8	112.0	---	----	4500-Ntotal
Nitrogeno amoniacal	mg/L NH ₃ l	182.8	164.6	88.6	---	----	4500-NH3l
Fosforo	mg/L Ptotal	6.62	4.74	1.86	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	9.26	7.40	4.96	---	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.

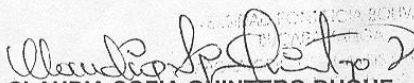
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUA S RESIDUALES
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 376	CODIGO: 377	CODIGO: 378
FUENTE: 76	FUENTE: 77	FUENTE: 78
FECHA DEINGRESO: 04-10-07	FECHA DEINGRESO: 04-10-07	FECHA DEINGRESO: 04-10-07
FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		376	377	378			
DQO	mg O ₂ / L	1064.1	462.4	129.7	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	449.0	244.0	78.6	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	298.4	212.6	56.8	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	243.6	176.4	98.0	----	----	4500-Ntotal
Nitrogeno amoniacal	mg/L NH ₃ l	202.6	154.6	72.6	----	----	4500-NH3l
Fosforo	mg/L Ptotal	5.26	3.86	2.26	----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	6.98	4.56	3.32	----	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
 “ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.




LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB	CLIENTE: PTAR UPB
CODIGO: 380	CODIGO: 381	CODIGO: 382
FUENTE: 79	FUENTE: 80	FUENTE: 81
FECHA DEINGRESO: 08-10-07	FECHA DEINGRESO: 08-10-07	FECHA DEINGRESO: 08-10-07
FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				Limite máximo Decreto 1594/84	METODO
		380	381	382			
DQO	mg O ₂ / L	1041.5	394.8	114.7	0.95	-----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	528.7	178.5	59.7	3.5	-----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	198.4	162.4	28.8	5	-----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	204.4	182.0	117.6	---	-----	4500-Ntotal
Nitrogeno amoniacal	mg/L NH ₃ l	182.4	156.8	86.4	---	-----	4500-NH3l
Fosforo	mg/L Ptotal	7.86	5.60	3.86	---	-----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	8.60	6.54	5.12	---	-----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


SECCIONAL BUCARAMANGA
CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
“ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO UPB	CLIENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO UPB
CODIGO: 387	CODIGO: 388
FUENTE: 82	FUENTE: 83
FECHA DE INGRESO: 12-10-07	FECHA DE INGRESO: 12-10-07
FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		387	388	Incertidumbre	Limite máximo Decreto 1594/84	
DQO	mg O ₂ / L	887.4	137.2	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	424.7	82.5	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	302.8	45.2	5	----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	232.0	116.4	-----	----	4500-Ntotal
Nitrogeno Amoniacal	mg/L NH3l	202.4	86.5	-----	----	4500-NH3
Fosforo	mg/L Ptotal	5.26	1.32	-----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	8.64	4.20	----	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
“ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.



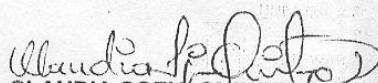
LABORATORIO DE ANALISIS QUIOMICO DE AGUA S RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO UPB	CLIENTE: PLANTA DE TRATAMIENTO UPB
CODIGO: 393	CODIGO: 394
FUENTE: 84	FUENTE: 85
FECHA DE INGRESO: 12-10-07	FECHA DE INGRESO: 12-10-07
FECHA DE REPORTE: 29-10-07	FECHA DE REPORTE: 29-10-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		393	394	Incertidumbre	Límite máximo Decreto 1594/84	
DQO	mg O ₂ / L	831.0	126.0	0.95	----	5220-B
DBO	mg O ₂ / L	472.1	71.5	3.5	----	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	119.2	23.6	5	-----	2540-D
Nitrogeno Total	mg/L Ntotal	198.4	92.6	-----	----	4500-Ntotal
Nitrogeno Amoniacal	mg/L NH3I	152.8	66.2	-----	----	4500-NH3
Fosforo	mg/L Ptotal	4.12	0.86	-----	----	4500-E-P
Detergentes	mg/L LAS	7.56	2.86	-----	----	5540-C

DQO: Demanda Química de Oxígeno DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno


CLAUDIA SOFÍA QUINTERO DUQUE
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

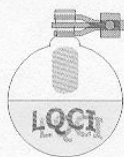
“Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas “
“ El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales”.

Anexo E. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales con jacinto de agua.

Criterio	Valor		Calidad esperada del efluente	
	Diseño	Real	Diseño	Real
Efluente secundario				
Tiempo de retención (días)	> 6	31.82		
Carga hidráulica (m ³ /ha.d)	800		SS ≤ 10 mg/L	SS = 36.11 mg/L
Profundidad (metros)	< 0,9	0.6		
Área de la laguna (ha)	0,4	0.005	DBO ≤ 10 mg/L	DBO ₅ = 70 mg/L
Carga orgánica (Kg DBO/ha.d)	≤ 50	20.4		
Longitud/ancho	> 3/1	611/1	P ≤ 5 mg/L	P = 2.47 mg/L
Temperatura del agua (°C)	> 20	25		
Número de lagunas	> 2	1	N ≤ 5 mg/L	N = 120 mg/L
Carga de N (Kg NTK/ha.d)	≤ 15	12.7		
Control de mosquitos	Esencial	NO		

Fuente: ROMERO, op. cit., p. 891.

Anexo F. Análisis de resultados para compostaje



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS
INDUSTRIALES



REPORTE DE RESULTADOS

FECHA: Abril 08 de 2008

SOLICITUD No 077

NOMBRE DEL SOLICITANTE: MARTHA MANTILLA

No DE MUESTRAS: 2

MUESTRAS TOMADAS POR: El Solicitante

FECHA DE LLEGADA AL LABORATORIO Abril 02 de 2008

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICO

Muestras Identificadas como:

No.1 JACINTO

No.2 JACINTO ACERRIN

PARAMETRO	No.1	No.2	MÉTODO
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)*	4.26	17.0	Titrimétrico NTC 5167
Nitrógeno (%N)	1.04	0.21	Kjeldahl NTC 5167
Fósforo (%P)	0.23	0.12	Gravimétrico - Titrimétrico NTC 5167

* Resultado expresado en base seca.


Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora Laboratorio Químico
de Consultas Industriales
Matrícula Profesional PQ.1144

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 3: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración. COPIA DE RESULTADO ORIGINAL.