



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CÁTEDRA DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO II



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
BIOLÓGICO PARA LA REMOCIÓN DE FÓSFORO DE LOS
EFLUENTES PROVENIENTES DE LA P.T.A.R. DE
CORPORACIÓN INLACA, C.A.**

Autores:

DUARTE, Carla.

QUINTERO, Chardeliz.

Valencia, Julio de 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: “*IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA LA REMOCIÓN DE FÓSFORO DE LOS EFLUENTES PROVENIENTES DE LA P.T.A.R. DE CORPORACIÓN INLACA, C.A.*”, realizado por las bachilleres **Duarte E., Carla A.**, C.I.: 19.562.251 y **Quintero A., Chardeliz V.**, C.I.: 18.163.864, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Víctor Guanipa
Presidente

Prof. Auxilia Mallia
Jurado

Prof. Olga Martínez
Jurado

Valencia, 02 de Julio 2012



RESUMEN

El presente trabajo se orienta a la remoción de fósforo, ya que los valores obtenidos en la caracterización del agua residual proveniente de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A., superaban el valor máximo permitido por el Decreto N° 3219. Para llevar a cabo la caracterización, se emplearon los métodos correspondientes para analizar el P y PO_4^{-3} , P_2O_5 , Cl^- , DQO, los cuales también son parámetros contaminantes del agua residual. Para solucionar este problema, se procedió a realizar un estudio preliminar mediante investigaciones y consultas con distintos profesionales y así formar criterios que permitieran comparar entre todas las alternativas, cual era la más adecuada. Se seleccionó la técnica de fitorremediación empleando las especies Bora y Typha como opción a implementar. El valor más bajo que alcanzó el fósforo fue de 0,5 mg/L después de dicha implementación y la relación costo – beneficio resultó de 1,25.

Palabras claves: Caracterizar, fitorremediación, parámetros.



ÍNDICE GENERAL

	Páginas
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Situación Actual	5
1.2.2. Situación Deseada	6
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
1.4. Justificación del problema	6
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	
2.1. Antecedentes	8
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Aguas residuales	10
2.2.1.1. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales	11
2.2.1.2. Purificación	11
2.2.1.3. Sistemas de aguas	11
2.2.1.4. Sistemas de aguas residuales	11
2.2.2. Microorganismos en aguas residuales	12
2.2.2.1. Los microorganismos en los procesos de tratamiento biológico	12
2.2.2.2. Función de los microorganismos	12
2.2.2.3. Bacterias	13
2.2.2.4. Origen y variedad de las bacterias aisladas del agua	14
2.2.3. Lodos activados	15
2.2.3.1. Funcionamiento de los lodos activados	15
2.2.4. Compuestos de fósforo	16
2.2.5. Sistema de tratamiento biológico con biomasa fija	19
2.2.6. <i>Azospirillum brasilense</i> , microalga <i>Chlorella</i> y alginato	20
2.2.7. Fitorremediación	20
2.2.8.1. Fitorremediación acuática	21
2.2.8.2. Plantas acuáticas vasculares	22
2.2.8.3. Typhaceae	23
2.2.8.4. Bora (<i>Eicchornea crassipes</i>)	24
2.2.8.5. Laguna de Zuata	25



2.2.9. Polución ambiental	25
2.2.10. Sistemas de plantas acuáticas flotantes	26

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación	28
3.2. Fases metodológicas para la investigación	28
3.3. Equipos utilizados	29
3.4. Reactivos empleados en los análisis	30
3.4.1. Reactivos empleados para el análisis de P, PO_4^{-3} y P_2O_5	30
3.4.2. Reactivos empleados para el análisis de DQO	30
3.4.3. Reactivos empleados para el análisis de Cl^-	31
3.5. Operacionalización de los objetivos	31
3.5.1. Identificación y caracterización de los parámetros contaminantes del agua residual	31
3.5.2. Estudio preliminar de posibles soluciones	33
3.5.3. Matriz de ponderación de los criterios aplicados en la selección de la alternativa a emplear	34
3.5.4. Selección de la alternativa a implementar	36
3.5.5. Caracterización del agua residual después de la implementación de la alternativa seleccionada	37
3.5.6. Estimación de la relación costo - beneficio de la solución implementada	38

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evaluación de la alternativas planteadas	41
4.1.1. Presentación de las alternativas	41
4.1.1.1. Alternativa 1: Azospirillum brasilense, microalga Chlorella y Alginato	41
4.1.1.2. Alternativa 2: Técnica de la Fitorremediación empleando Bora y Typha.	42
4.1.1.3. Reparación de los reactores biológicos de biomasa adherida	43
4.1.2. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas	43
4.2. Selección de alternativa	45
4.3. Diseño de la alternativa	49
4.3.1. Ubicación geográfica y recolección	49
4.3.2. Traslado de las plantas	49
4.3.3. Implementación de Técnica de la Fitorremediación empleando Bora y Typha en la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A.	49
4.3.3.1. Reproducción, crecimiento y tiempo de cosecha de la Bora y la Typha	50
4.4. Caracterización	50
4.4.1. Registros de la caracterización de los parámetros Cl^- , DQO, PO_4^{3-} , P y P_2O_5 correspondientes a los datos experimentales obtenidos	51



durante la investigación y comparación con el Decreto N° 3219	
4.5. Costos y beneficios	57
4.5.1. Costos	57
4.5.2. Beneficios	62

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	65
Recomendaciones	65

Referencias Bibliográficas	67
-----------------------------------	----

Apéndice A	70
Apéndice B	74
Apéndice C	90
Apéndice D	94
Apéndice E	106

Anexos	110
Anexo 1: "Espectrofotómetro multiparámetro"	111
Anexo 2: "Phosporous Reagent B"	111
Anexo 3: "Cubeta contenida de agua residual, Phosporous Reagent A y Phosporous Reagent B"	112
Anexo 4: "Búsqueda de las especies Bora y Typha en la Laguna de Zuata"	112
Anexo 5: "Especie Bora recolectada"	113
Anexo 6: "Laguna de Zuata"	113
Anexo 7: "Reactores Biológicos de Corporación Inlaca C.A."	114
Anexo 8: "Reactores Biológicos antes de la implementación de las plantas acuáticas vasculares"	114
Anexo 9: "Especie Bora colocada en los Reactores Biológicos"	115
Anexo 10: "Especie Bora colocada en los Reactores Biológicos"	115
Anexo 11: "Raíces de Typha"	116
Anexo 12: "Tanque de igualación donde se colocaron las raíces de la Typha"	116
Anexo 13: "Tanque de igualación"	117
Anexo 14: "Selector biológico"	117
Anexo 15: "Tamiz rotatorio"	118



INDICE DE TABLAS

Tablas N°	Páginas
3.1. Modelo de registro de valores de cada parámetro antes y después de la implementación de la alternativa seleccionada	32
3.2. Modelo de datos informativos para la evaluación de los criterios a utilizar para la selección de la alternativa a implementar	34
3.3. Valores aplicados en la matriz de ponderación y su relevancia	35
3.4. Modelo de matriz de ponderación	36
3.5. Modelo de matriz de Moody	37
3.6. Valor del cumplimiento de exigencia	37
4.1. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas	43
4.2. Datos informativos para la evaluación de los criterios a utilizar para la selección de la alternativa a implementar	45
4.3. Matriz de ponderación	47
4.4. Matriz de Moody	48
4.5. Valores correspondientes a la caracterización de los parámetros P, PO_4^{3-} , P_2O_5 , DQO y Cl^- antes de la implementación de las plantas acuáticas vasculares.	52
4.6. Valores correspondientes a la caracterización de los parámetros P, PO_4^{3-} , P_2O_5 , DQO y Cl^- después de la implementación de las plantas acuáticas vasculares.	54



INDICE DE FIGURAS

Figuras N°	Páginas
1.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. <i>Corporación Inlaca, C.A.</i>	3
1.2. Tratamiento primario del Agua Residual en la P.T.A.R. <i>Corporación Inlaca, C.A.</i>	4
1.3. Tratamiento secundario del Agua Residual en la P.T.A.R. <i>Corporación Inlaca, C.A.</i>	5
1.4. Tratamiento terciario del Agua Residual en la P.T.A.R. <i>Corporación Inlaca, C.A.</i>	5
4.1. Costos de control de emisiones al ambiente.	61



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es de suma importancia para la disminución de la contaminación de las aguas, específicamente en el tratamiento del agua residual, ya que se presenta la selección e implementación de un sistema de tratamiento biológico que permite disminuir los valores del parámetro fósforo, según lo establecido en el Decreto N° 3.219. Contribuye a proteger los microorganismos acuáticos que habitan el lugar de descarga de dicho efluente, ya que un exceso de nutrientes da origen a la eutrofización, la cual provoca el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, así como el origen a compuestos organoclorados producidos por exceso de cloro y de materia orgánica, siendo un riesgo de toxicidad significativa en plantas o animales; un exceso de cloruro puede matar a la vegetación cercana, es por ello que resulta importante mantener controlados estos parámetros.

En el Capítulo I, se identificará el problema, describiendo los objetivos específicos necesarios para alcanzar la situación deseada. El Capítulo II, sustentará la teoría utilizada para el desarrollo de esta investigación. En el Capítulo III, se explicará la metodología empleada para obtener los valores correspondientes de la concentración de cada parámetro. Se puede observar en el Capítulo IV, la selección e implementación de la mejor alternativa y con un análisis de los resultados obtenidos comparados con los rangos permitidos por Ley, se establecerán las respectivas conclusiones y recomendaciones en el Capítulo V.



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta la descripción del problema, la situación actual, la situación deseada, el objetivo general y los objetivos específicos, justificación del problema y las limitaciones.

1.1. Descripción del problema

La Corporación Inlaca, C.A. es una empresa ubicada en la zona industrial de la ciudad de Valencia, estado Carabobo, Venezuela desde el año 1949; dedicada a la producción de jugos y lácteos y su distribución por todo el país, cumple con las normas ambientales requeridas para prestarle un buen servicio no solo a la comunidad, sino la naturaleza.

Debido a que la Corporación Inlaca C.A. descarga sus efluentes provenientes de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca, C.A en el Lago de Valencia, el control a seguir debe realizarse según lo establecido en el Decreto N° 3219, el cual hace referencia a las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia, específicamente en el artículo 36, donde se fijan los límites máximos de concentraciones permitidas en los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados. A través de un seguimiento en planta, se ha observado que los niveles de fósforo se encuentran fuera de norma.

Por otra parte, haciendo referencia a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R.) de la Corporación Inlaca, C.A., la cual está constituida por un tamiz rotativo, un tanque de igualación, un tanque DAF (Floculación por Aire Disuelto),

polímero (que sirve para sedimentar aquellas partículas que por ningún otro medio pudieron depositarse), reactores biológicos, sedimentador n° 1, filtro prensa y laboratorio, (señalados en la Figura 1.1), aplica el tratamiento físico-químico, tratamiento biológico y tratamiento de lodos, cumpliendo así con los requerimientos primarios, secundarios y terciarios necesarios para tratar el agua.



Figura 1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales. Corporación Inlaca, C.A.

1.2. Formulación del problema

En la Zona Industrial del Estado Carabobo, se encuentra funcionando desde el año

1949 la empresa Corporación Inlaca C.A, la cual suministra en el país jugos y lácteos a la población venezolana.

Cabe destacar que en los efluentes de esta empresa existen parámetros dentro de los cuales se encuentran el P, Cl⁻ y DQO que necesitan regularse para cumplir con el Decreto N° 3219.

Las Figuras 1.2, 1.3 y 1.4 describen el proceso de tratamiento empleando diagramas de bloques que facilitan de manera gráfica el funcionamiento del tratamiento secundario y terciario de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca, C.A.

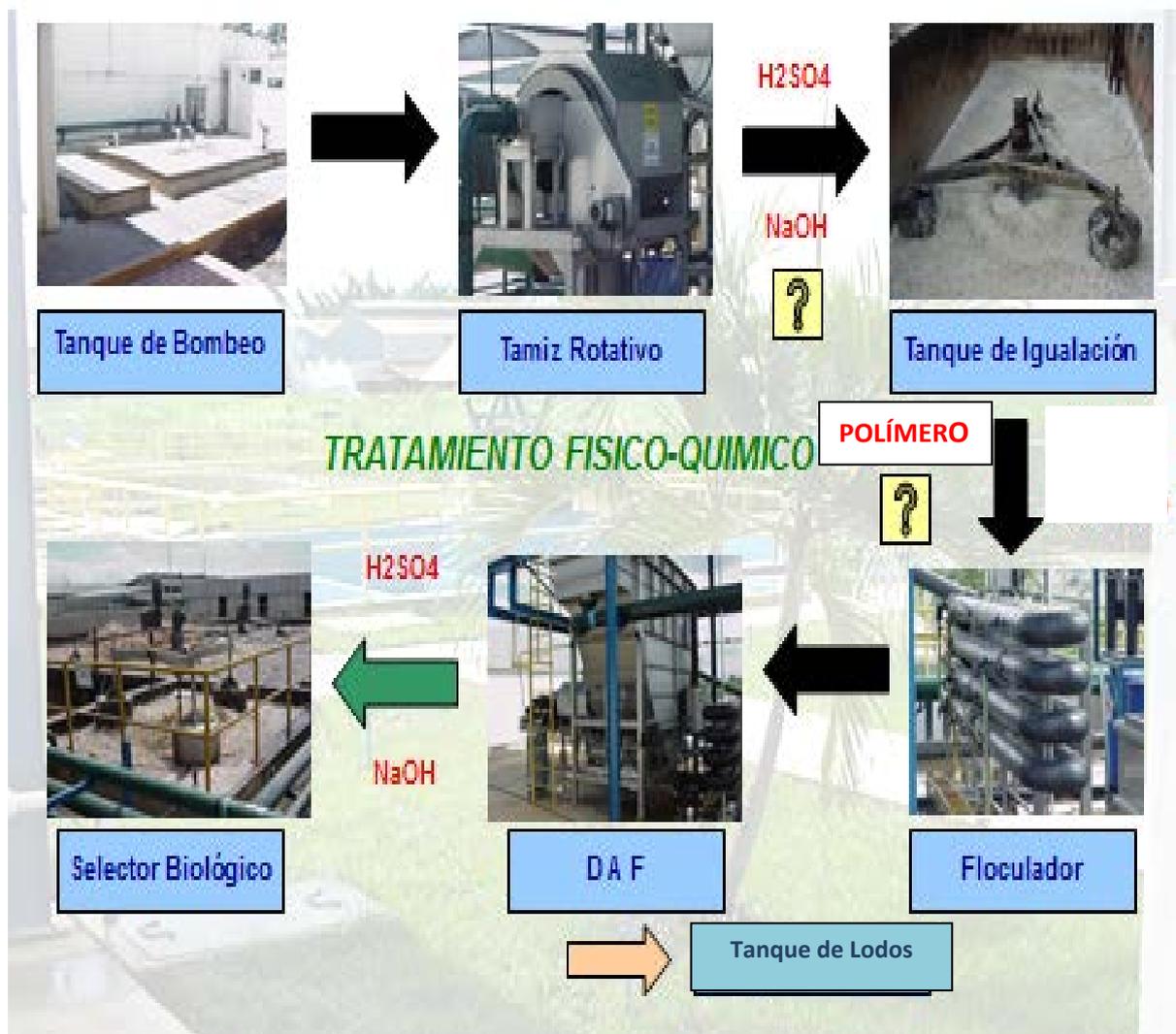


Figura 1.2. Tratamiento primario del agua residual en la P.T.A.R. Corporación Inlaca, C.A.

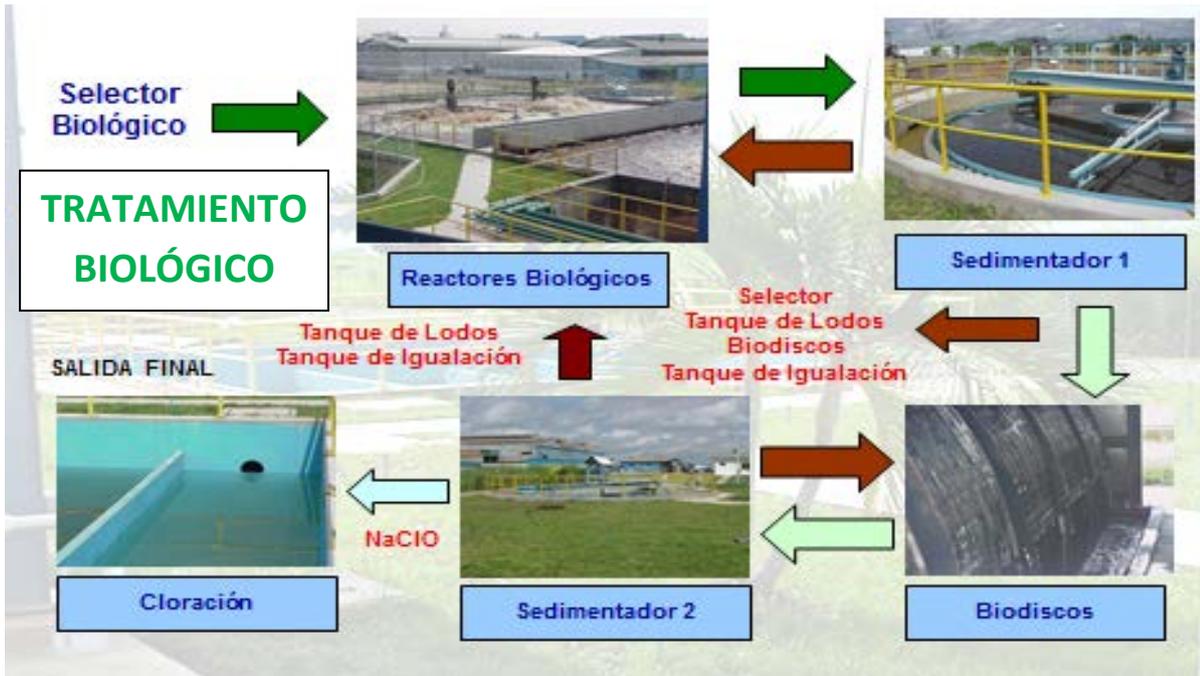


Figura 1.3. Tratamiento secundario del agua residual en la P.T.A.R. *Corporación Inlaca, C.A.*



Figura 1.4. Tratamiento terciario del agua residual en la P.T.A.R. *Corporación Inlaca, C.A.*

1.2.1. Situación actual

Los valores del parámetro fósforo superan al valor máximo permitido en el Decreto



Nº 3219, porque actualmente los reactores biológicos de biomasa adherida de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A., no están en funcionamiento.

1.2.2. Situación deseada

Disponer de un proceso de tratamiento biológico adicional que disminuya los valores de los parámetros de los efluentes de la P.T.A.R de la Corporación Inlaca, C.A. a los límites permitidos por el Decreto Nº 3219.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema de tratamiento biológico para la remoción de fósforo de los efluentes de la P.T.A.R de Corporación Inlaca C.A.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar los efluentes de la P.T.A.R. de Corporación Inlaca C.A. con la finalidad de conocer la calidad del agua residual tratada.
2. Plantear distintas alternativas para la remoción de fósforo.
3. Seleccionar la mejor alternativa para la eliminación del fósforo.
4. Implementar la alternativa seleccionada con la finalidad de cumplir con lo establecido en las normas técnicas ambientales.
5. Determinar la eficiencia de remoción de fósforo una vez implementada la alternativa seleccionada.
6. Estimar la relación costo-beneficio de la implementación del nuevo sistema con la finalidad de compararlo con el proceso actual.

1.4. Justificación del problema

Esta investigación se realiza con la finalidad de encontrar una alternativa que, al ser



implementada en la P.T.A.R., logre mantener dentro de la normativa establecida en el Decreto N° 3219, las concentraciones de los parámetros P, Cl⁻ y DQO.

La realización de este trabajo permite reforzar los conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria en el área de conservación ambiental y tratamiento de aguas. Este trabajo nos permite integrar la Universidad de Carabobo con la industria y el ambiente, participando en los complejos desafíos del mañana, aportando a nuestra casa de estudios información acerca de una alternativa que logre alcanzar el objetivo general.

Actualmente lo establecido por las leyes ambientales nos obliga a tener conocimiento sobre el control del proceso que se lleve a cabo durante nuestra labor. Un tema tan importante como lo es el agua, debe tratarse con cuidado y sobre todo a nivel personal representa un reto ante el actual crecimiento de la contaminación a nivel mundial.

Este trabajo especial de grado, aporta una solución real inmediata y sugiere el ahorro de costos, beneficiando socialmente a la población que hace uso de sus aguas, además de reducir la contaminación de las mismas, cumplir con los decretos establecidos, esperando conocer la efectividad de la solución para en un futuro generalizar los resultados a situaciones semejantes.

1.5. Limitaciones

No hubo limitaciones.



CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presenta una serie de investigaciones relacionadas a este trabajo especial de grado tanto nacionales, como internacionales y luego las bases teóricas que son fundamentales para llevar a cabo la investigación.

2.1. Antecedentes

A continuación se presentan aquellos trabajos de investigación que preceden al que se está realizando, los cuales aportan información referente al mismo.

Colin- Cruz, A. (2009), en la investigación denominada “*Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*” se presenta la evaluación del porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial. La analogía al presente trabajo de investigación se tiene en el empleo de especies vegetales como alternativas posibles a la solución del problema, aportando así información sustantiva sobre la remoción de la carga orgánica.

Bracho, M. et al. (2008), en su trabajo titulado “*Alternativas de reutilización de aguas residuales regeneradas en sistemas de tratamiento de la Península de Paraguaná*”, se proponen distintas alternativas, las cuales fueron evaluadas mediante estudios y análisis químicos. De acuerdo a los resultados obtenidos, el único sistema cuyo efluente cumple con las condiciones mínimas exigidas para el riego y usos urbanos, fue el sistema integrado de humedales construidos del Parque Metropolitano. Este estudio resulta importante pues es una opción para que los autores de la investigación alcancen el sistema integrado de humedales construidos del Parque Metropolitano. Este estudio



resulta importante pues es una opción para que los autores de la investigación alcancen el objetivo principal de esta investigación.

Pütz, P. (2008), en su investigación científica *“Análítica de laboratorio y sistema de control de proceso, nutrientes fosfato”*, se describe que los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de: Fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza. La carga de fosfato total se compone de ortofosfatos, polifosfatos y compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfatos la más elevada. Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida. Antes de realizar un análisis, por tanto, es importante considerar qué tipo de fosfatos deberán determinarse.

Existen dos modos de llevar esto a cabo: la eliminación biológica de fósforo o la precipitación química de fosfato. Las desventajas asociadas a los métodos de precipitación son el aumento de la salinidad del agua residual (y por tanto también del agua receptora) y el constante aumento del precio de los precipitantes.

Si los valores de P total en una P.T.A.R. son más altos de lo que debieran, habrá que determinar la diferencia entre P total y orto PO_4 -P. Si la diferencia es pequeña, la concentración de orto PO_4 -P es demasiado alta. Este artículo científico resalta la importancia de conocer que tipo de fosfatos deberán determinarse al momento de realizar un análisis del parámetro P (fósforo) en el agua residual, lo que puede servir para llevar a cabo la parte experimental del estudio que realizan estos autores.

Reynolds, K. (2002), indica en su estudio denominado *“Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica”*, editado por la revista mexicana “De la llave”, que como promedio, solamente el 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Una evaluación de las plantas de tratamiento de aguas de alcantarillado en México calcula que solamente 5% de las plantas existentes están siendo operadas de manera satisfactoria. El tratamiento



es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública.

Dicha investigación resulta importante debido a que refleja la misma importancia hacia un buen funcionamiento de las P.T.A.R. que los autores describen en su estudio, donde la necesidad de mejorar o incluso aumentar la cantidad de P.T.A.R., pueda garantizar que las aguas residuales tengan un mejor tratamiento.

Velásquez, J. (1994), en su investigación *“Plantas acuáticas vasculares de Venezuela”* editado por la U.C.V, a través del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. En este libro se destaca que Venezuela es un país donde se localizan los más variados ambientes acuáticos (lagos de Maracaibo y Valencia, lagunas andinas, llanos inundables, cuenca del Orinoco, sistemas de lagunas costeras, etc.) y tipos de vegetación, en donde los humedales ocupan 150.064 Km² superficie del territorio venezolano (16,4 %). Se resalta la importancia de la implementación de plantas acuáticas vasculares en la solución de problemas como el tratamiento de aguas residuales, lo cual representa información muy útil para los autores de esta investigación.

2.2. Bases teóricas

De inmediato se contempla el sustento de la investigación sobre la cual se construye el análisis de los resultados obtenidos.

2.2.1. Aguas residuales

“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias”, (Mara, 1976).



2.2.1.1. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales

El control de calidad del agua puede hacerse mayor mediante el saneamiento del área de captación, drenaje de pantanos, prevención de la erosión del suelo, reforestación y desforestación, prácticas agrícolas apropiadas (arado en contorno), uso metodizado de insecticidas, preparación conveniente de los lugares para depósito antes de llenarlos, control de las plantas acuáticas y el plankton (algas), así como los cambios en las profundidades de la aspiración, (Fair, G. et al., 1999).

2.2.1.2. Purificación

Independientemente de la calidad del agua cruda, pueden producirse efluentes con la seguridad, claridad y composición química deseadas mediante métodos adecuados de tratamiento. Sin embargo, los ingenieros deben recordar siempre que el hombre es fundamentalmente afín al agua que ha sido destilada por el sol. Como aún existen incertidumbres sobre los posibles efectos adversos de los poluyentes, será una medida sabia buscar agua naturalmente limpia, siempre que sea practicable y mantenerla limpia para el consumo humano. Las consideraciones económicas deberán ser secundarias a los requerimientos higiénicos y estéticos, (Fair, G. et al., 1999).

2.2.1.3. Sistemas de aguas

Las fuentes de abastecimiento pueden provenir de:

- 1) Aguas de lluvia: techados (cisternas), cuencas mayores (depósitos)
- 2) Agua superficial: lagos
- 3) Aguas subterráneas: manantiales, pozos, estanques, embalses.

El agua dulce se puede formar por evaporación del agua de mar (útil en barcos y tierras áridas), (Fair, G. et al., 1999).

2.2.1.4. Sistemas de aguas residuales

En las regiones de la tierra bien abastecidas con agua, las aguas residuales colectadas normalmente se descargan a las corrientes acuáticas cercanas después de recibir un tratamiento conveniente. Esto se denomina evacuación por dilución, aún cuando entraña tanto una purificación natural como la de dilución física. En regiones semiáridas



o bajo otras circunstancias ventajosas, la descarga final puede hacerse sobre la tierra por irrigación. El tratamiento anterior a la disposición remueve las materias desagradables a la vista y putrescibles, estabiliza las sustancias degradables y remueve o destruye los organismos causantes de enfermedades a un grado conveniente. La consideración de importancia en este caso es la conservación de los recursos acuáticos y terrestres, (Fair, G. et al., 1999).

2.2.2. Microorganismos en aguas residuales

“La purificación biológica del agua se lleva a cabo para disminuir la carga de compuestos orgánicos disueltos donde los microorganismos, principalmente las bacterias, realizan la descomposición de estos compuestos”, (Fair, G. et al., 1999).

2.2.2.1 Los microorganismos en los procesos de tratamiento biológico

Para garantizar un adecuado control del medio ambiente, la mayoría de las aguas residuales, pueden ser depuradas biológicamente. Un componente importante de estos procesos son los microorganismos, es por ello que se dedica especial interés en entender la función que los mismos desempeñan en estos procesos, (Brock, T. et al., 1993).

El tratamiento biológico es un proceso mediante el cual los líquidos residuales son sometidos a la actividad biológica, para que la materia orgánica biodegradable (en especial la materia orgánica disuelta), sea transformada a estados inofensivos, estables que permitan la disposición final de las aguas sin que ellas ocasionen situaciones objetables, (Brock, T. et al., 1993).

2.2.2.2. Función de los microorganismos

La remoción de la DBO carbonácea, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la materia orgánica se logra biológicamente usando una gran variedad de microorganismos, principalmente bacterias, (Brock, T. et



al., 1993).

Los microorganismos se usan para transformar la materia orgánica soluble y coloidal en diferentes gases y nuevas células. Debido a que las nuevas células tienen una gravedad específica ligeramente menor a la del agua, las células resultantes pueden ser removidas por sedimentación a través de la fuerza de la gravedad. Si las nuevas células no se remueven de la solución, éstas constituyen materia orgánica que será medida como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el efluente, (Brock, T. et al., 1993).

2.2.2.3. Bacterias (Brock, T. et al.1993).

Son esencialmente los organismos responsables en las transformaciones de los sustratos biodegradables presentes en el agua residual bajo tratamiento.

Las bacterias pertenecen al reino de los protistas inferiores, organismos unicelulares, que se producen generalmente por fisión binaria o sea que cada célula al momento de su reproducción se divide en dos nuevas células, teniendo éstas la misma capacidad de metabolizar que la progenitora, es decir las nuevas células serán capaces de reproducirse también por fisión binaria, por lo que debemos entender que éste es un proceso de reproducción asexual; el tiempo para cada fisión varía de días a menos de treinta minutos de acuerdo al tiempo de generación, el cual no es más que el tiempo necesario, para que el número de bacterias que se reproduzcan por sí mismas o sea que se dupliquen, el mismo generalmente va de veinte minutos a un día, muchos tienen como promedio una hora.

Las bacterias se presentan en varias formas y tamaños, las más comunes son aquellas de forma alargadas (bacilos); la mayoría obtiene la energía requerida para su crecimiento mediante la oxidación de compuestos orgánicos que sirven como fuente de carbono, el cual es utilizado en la síntesis de nuevas células durante la fase de crecimiento. La presencia de oxígeno es imprescindible para las bacterias aerobias estrictas (mínimo 1 a 2 mg/L), sin embargo es tóxico para las anaerobias estrictas y las



bacterias facultativas se pueden desarrollar tanto en un medio aerobio como en uno anaerobio, siendo necesario para todas la presencia de nutrientes a su disposición.

Las bacterias requieren, como todos los seres vivos, alimento, oxígeno, y agua. Como resultado de sus procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez, a productos de desecho. Solo pueden existir cuando el medio ambiente satisface estas necesidades. El pH del medio es un factor clave en el crecimiento de estos microorganismos, la mayoría de las bacterias no pueden tolerar niveles de pH por encima de 9,5 o por debajo de 4,0 en general, el pH óptimo para el crecimiento de las bacterias oscila entre 6,5 y 7,5.

2.2.2.4. Origen y variedad de las bacterias aisladas del agua (Guinea, J., et al, 1979).

Los grupos más importantes de bacterias mejor adaptadas al suelo y al agua, no serán difícil de aislar por métodos microbiológicos convencionales como las numerosas especies de bacterias esporuladas del género *Bacillus* y bacterias productoras de pigmentos fluorescentes pertenecientes al grupo *Pseudomonas*. En ocasiones estas bacterias pueden resistir tratamientos de cloración permaneciendo viables en aguas almacenadas.

En el agua existen bacterias del grupo coliforme teóricamente enterobacterias, como *Citrobacter* y *Enterobacter*, con hábitat natural sobre restos vegetales y suelo, desde allí pueden alcanzar el agua sin que ello signifique necesariamente una contaminación fecal, una pequeña fracción de materia orgánica en el agua les permite multiplicarse constituyendo de este modo una flora microbiana exóctona prácticamente constante.

Todos los coliformes se caracterizan por el potente metabolismo fermentativo de los azúcares. Son facultativamente aeróbicos pero bajo las condiciones normales de cultivo en el laboratorio, su activo metabolismo determina el rápido agotamiento del oxígeno disponible y con ello la utilización de materia orgánica como aceptor terminal de electrones, eventualmente en conjunción con otros sistemas de respiración anaeróbica.

Escherichia coli es el biotipo característico del grupo. Para el estudio del agua residual



deben utilizarse los datos aportados por dos especialidades distintas: química y microbiología. Si un agua residual aporta materia orgánica abundante, la flora bacteriana aeróbica, capaz de oxidarla, convertirá gradualmente un ambiente aeróbico o microaerófilo hasta unas condiciones de anaerobiosis, con ello se favorece el desarrollo de la flora anaeróbica, desapareciendo varios componentes de la cadena trófica dependiente del oxígeno. Esta situación puede agravarse hasta tal extremo que las especies animales y vegetales pobladores de estas aguas mueran por falta de oxígeno. La cantidad de oxígeno que se ha consumido durante este proceso se define como DBO.

2.2.3. Lodos activados

A continuación se presenta un tratamiento biológico que consiste básicamente en la agitación y aireación de una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos seleccionados para oxidar la materia orgánica presente en el agua de desecho y transformarla a una forma más estable, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante.

2.2.3.1. Funcionamiento de los lodos activados (Guinea, J., et al, 1979).

El uso de microorganismos, se emplea para oxidar la materia orgánica presente en el agua residual y transformarla a una forma más estable, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante. Para llevar a cabo lo anterior, los microorganismos requieren de un medio adecuado que les proporcione oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo.

Bajo estas condiciones dichos microorganismos se multiplican rápidamente formando la llamada “*Biomasa*”, que oxida los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales y completan de esta forma el tratamiento biológico.

En una planta convencional de lodo activado, las aguas residuales pasan primero por un tanque de sedimentación primaria. Luego, se añade lodo activado (biomasa) al



efluente del tanque, y la mezcla pasa a un tanque de aireación. Ya en el tanque, el aire se mezcla con el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos, generalmente se utilizan “difusores”, también se usan placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores y chorros.

Empleando cualquiera de los métodos, se pone a las aguas residuales en íntimo contacto con los microorganismos contenidos en el lodo. En los primeros 15 a 45 minutos, el lodo absorbe los sólidos en suspensión y los coloides. Según se absorbe la materia orgánica, tiene lugar la “oxidación” biológica. Los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos. El proceso avanza rápidamente al principio y luego decae gradualmente en las próximas 2 a 5 horas. Después continúa con un ritmo casi uniforme durante varias horas; en general el periodo de aireación dura de 6 a 8 horas más.

2.2.4. Compuestos de fósforo (Metcalf et al., 1996)

Los compuestos de fósforo pueden ser clasificados desde los puntos de vista químicos y analíticos como se muestra a continuación:

Clasificación química:

- Ortofosfatos
- Polifosfatos
- Fósforo orgánico

Clasificación analítica:

- Filtración
 1. Soluble
 2. Fósforo articulado
- Reactividad
 1. Reactivo
 2. Ácido hidrolizable

Los compuestos de fósforo que se encuentran en las aguas residuales son de tres tipos



principales: ortofosfatos, polifosfatos y compuestos orgánicos de fósforo.

Los ortofosfatos se presentan en tres formas diferentes, en equilibrio unas con otras: fosfatos (PO_4^{3-}), fosfato monoácido (HPO_4^{2-}) y ácido fosfórico no ionizado (H_3PO_4). Para valores de pH cercanos a la neutralidad predominan los iones de fosfato monoácido (HPO_4^{2-}). Procede fundamentalmente del uso de fertilizantes agrícolas. Su concentración típica en un agua residual urbana está en el intervalo de 3-7 mg/L.

Los polifosfatos o fosfatos “condensados” se pueden considerar como polímeros de condensación del fosfato e incluyen formas tales $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, y $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$. Los polifosfatos forman ortofosfatos cuando se hidrolizan completamente y los compuestos de fósforo orgánico también se descomponen para formar ortofosfatos. Su concentración típica en un agua residual doméstica está entre 2-4 mg/L apareciendo en el agua residual debido a su presencia en algunos productos de limpieza.

Las tres formas del fósforo están presentes en las aguas domésticas y como quiera que la eliminación de fosfatos en las plantas con depuración biológica tradicionales sea incompleta, la eliminación de fosfatos presenta gran interés cuando el vertido de un agua residual “depurada” se efectúa a un lago o a un cauce muy lento. Estos fosfatos desempeñan un papel muy importante en el desarrollo de algas y plancton. Además, la acción bacteriana favorece la transformación de los polifosfatos en ortofosfatos directamente asimilables. La síntesis bacteriana de polifosfatos es el mecanismo clave en los procesos de eliminación biológica de los fosfatos. Durante el tratamiento biológico los compuestos orgánicos de fósforo y parte de los polifosfatos son retenidos por los lodos, convirtiéndose en ortofosfatos los restantes componentes de fósforo presentes como polifosfatos. Por ello, la composición de un agua residual bruta es tal que dos tercios del fósforo total corresponden generalmente, a polifosfatos, y un tercio a ortofosfatos. En un agua depurada biológicamente se invierte la proporción.

El fósforo orgánico tiene poca importancia en aguas residuales urbanas, siendo su concentración típica en un agua residual del orden de 1 mg/L. Su presencia se debe a



residuos tanto de origen animal como alimenticio.

Analíticamente existe una equivalencia entre el fósforo reactivo y los ortofosfatos y el fósforo ácido hidrolizable y los polifosfatos. Sin embargo en la determinación del fósforo reactivo se mide una pequeña proporción de los polifosfatos y en la determinación del fósforo ácido hidrolizable, también se mide una pequeña proporción de fósforo orgánico.

Para todas las formas de fósforo descritas es posible distinguir una fracción soluble y una particulada.

Los polifosfatos los sintetizan los organismos vivos y, además se utilizan en los detergentes.

En efecto los compuestos de fósforo son componentes característicos de los organismos vivientes y son liberados por la descomposición de las células, de manera que los residuos humanos y animales, así como las aguas procedentes de las industrias que procesan materiales biológicos, como la industria alimentaria, constituyen las fuentes principales de los compuestos de fósforo. Los detergentes, tanto para uso doméstico como industrial, contienen frecuentemente fosfatos (para aumentar la efectividad del producto), y se puede admitir que la cantidad de fósforo en las aguas residuales domésticas se origina a partir de los residuos humanos y de los detergentes en proporciones aproximadamente iguales.

Otras fuentes de aguas residuales conteniendo fósforo son las de operaciones industriales de fabricación de fosfatos y de ácido fosfórico.

Durante los últimos años se ha incrementado el interés por los procesos para la eliminación de fósforo, debido a que el mismo es el nutriente más crítico, y a que los procesos de eliminación del nitrógeno son menos eficaces y más costosos.



Las plantas acuáticas flotantes son de algún modo más fáciles de cosechar; más del 80% de la remoción de fósforo total ha sido alcanzado por la Bora, (Kadlec, R., et al., 1996).

2.2.5. Sistema de tratamiento biológico con biomasa adherida (Hernández, J., 1996).

El tratamiento de aguas residuales se puede efectuar en reactores de película biológica (o Biodiscos), poniendo en contacto dichas aguas con una población microbiana mixta, en forma de película blanda, gelatinosa y pegajosa de microorganismos, conocida como lama, adherida a la superficie de un medio sólido de soporte.

En cualquier superficie en contacto con un medio nutriente que contenga microorganismos se desarrollará una capa biológicamente activa, y en consecuencia, las películas biológicas adheridas constituyen una característica de este tipo de reactor biológico. La tecnología de biorremediación in situ debe explotar organismos biodegradativos en elevada densidad y/o con actividades favorecidas en los lugares contaminados, uno de los modos de concentrar organismos biodegradadores para la descontaminación de aguas y/o suelos es su inmovilización sobre soportes apropiados.

Se han descrito varios métodos y soportes para la inmovilización de bacterias y a menudo su atrapamiento físico en matrices poliméricas ha sido el método elegido con éxito. Se ha estudiado una amplia gama de soportes (orgánicos e inorgánicos) para dar la mejor inmovilización de las células pseudomonas. Se han evaluado los métodos de inmovilización mediante crecimiento de biopelículas, atrapamiento físico de las células y su unión química sobre soportes inorgánicos (sinalización/glutaraldehído). Se ha comprobado que la espuma reticulada de poliuretano proporciona una elevada capacidad de carga celular, pequeña o nula disminución de su actividad enzimática biodegradativa y actividad biodegradativa satisfactoria, así como estabilidad operacional, durante la operación del biorreactor.

El mecanismo implicado en la unión de microorganismos sobre superficies solidas no se



ha llegado a elucidar del todo. Sin embargo, parece que algunos microorganismos secretan macromoléculas que inician interacción microorganismo-superficie y este puede ser el caso de las pseudomonas que crece fácilmente como biopelícula unida a un soporte sólido.

Cuando la capa de agua residual fluye sobre el medio de empaque cubierto de biomasa, el oxígeno y los otros nutrientes se consumen según se difunden dentro de la biopelícula, desde la interfase entre biomasa y el líquido. Los microorganismos presentes en la biopelícula se multiplican, y según engruesa la biopelícula, sus regiones cercanas a la superficie sólida de soporte y más alejadas de la biopelícula de líquido se vuelven anaeróbicas.

2.2.6. Azospirillum brasilense, microalga Chlorella y alginato (Ramírez et al., 2009)

La bacteria *Azospirillum brasilense* se caracteriza por ser un factor importante en biofertilización y su uso sobre semillas y cultivos. El alga *Chlorella* es una microalga verde de forma esférica y alrededor de 2 a 10 micras de diámetro. El alginato es un polisacárido aniónico distribuido ampliamente en las paredes celulares de las algas marinas pardas.

Con respecto a los cambios morfológicos y fisiológicos producidos en las raíces de plantas asociadas con *Azospirillum*, favorecen la absorción de agua y minerales del suelo que, sumado a la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, puede promover el crecimiento radicular, conjuntamente con la microalga que se encuentra en el agua residual y el alginato que permite la inoculación de esta bacteria. Se puede obtener resultados favorables para la disminución de carga orgánica.

2.2.7. Fitorremediación (Núñez, R., et. al, 2004)

La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para



limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire.

Se compone de dos palabras, *fito* que en griego significa planta o vegetal, y *remediar* (del latín *remediare*), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales.

De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

2.2.8.1. Fitorremediación acuática (Nuñez, R., et. al, 2004)

Tradicionalmente, las plantas vasculares acuáticas han sido consideradas como una plaga en sistemas enriquecidos con nutrientes. Su rápida proliferación puede dificultar la navegación y amenazar el balance de la biota en los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, en la actualidad se considera que estas plantas también pueden ser manejadas adecuadamente y volverse útiles, debido a su capacidad para remover y acumular diversos tipos de contaminantes. Además, su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía, forraje y fibra.

Los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de plantas se implementaron en los países europeos a principios de 1960, utilizando juncos o carrizos. Desde entonces, los sistemas de fitorremediación acuática se han perfeccionado y diversificado, y su aceptación y aplicación cada vez es mayor. La fitorremediación acuática tiene la ventaja de que se pueden remover, in situ, diferentes tipos de metales que se hallen con bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua. Entre las ventajas de esta técnica, se pueden nombrar las siguientes: es una tecnología sustentable, eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ, aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas, es



de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía, es poco perjudicial para el ambiente, no produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho, tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable, evita la excavación y el tráfico pesado, tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos, se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales).

Entre las desventajas asociadas a la técnica se pueden mencionar las siguientes: es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos), dependiente de las estaciones; el crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental; los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes); los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión; no todas las plantas son tolerantes o acumuladoras; la solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes, se requieren áreas relativamente grandes; se pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos).

2.2.8.2. Plantas acuáticas vasculares (Velásquez, J. 1994).

Las plantas acuáticas vasculares han sido estudiadas por numerosos autores, sin embargo al ser precisos en su definición han restringido su alcance dejando de incluir plantas que sin lugar a duda son acuáticas, debido a la existencia de formas intermedias que son consecuencia de su gran plasticidad fenotípica; por lo tanto cualquier intento de definición y/o clasificación incluirá algunas plantas que podrían considerarse como terrestres.

No obstante, para el ecólogo es más importante estudiar la adaptación del cuerpo vegetativo al ambiente lo cual se reflejara en la forma y estructura que adoptan. Se tiene como criterio básico para la inclusión de una especie como planta acuática vascular su capacidad para permanecer y tolerar un largo periodo sumergida (o al menos su sistema radical); así ellas comprenderán formas taloides, herbáceas o



leñosas, adheridas, arraigadas, flotantes o sumergidas; creciendo en el agua, en suelos saturados o cubiertos de agua,

2.2.8.3. Typhaceae (Velásquez, J., 1994).

Las *Typhaceae* forman una familia de plantas distribuidas por todo el mundo, características de hábitats acuáticos y humedales. Las hojas son lineales y muchas veces esponjosas. Poseen inflorescencias determinadas, terminales, altamente modificadas con numerosas flores pequeñas densamente agrupadas, las inflorescencias como resultado tienen aspecto de espigas elongadas o aglomeraciones globosas, las flores masculinas posicionadas arriba de las femeninas. Son polinizadas por el viento. Hojas envainadoras, flores unisexuales en una espiga densa, cilíndrica en la parte terminal del tallo, flores estaminadas cubriendo la parte terminal de la espiga y constituidas por estambres insertos directamente sobre el eje y mezclado con largos pelos o brácteas delgadas.

La familia comprende solamente el género *Typha*, con aproximadamente 10 especies cosmopolitas y sobre el cual existe una extensa literatura. En cuanto a su ubicación se distribuye desde aguas salobres hasta dulces, las especies del género *Typha* constituyen uno de los Helogeofito de mayor producción de biomasa (200-300g/m²/año), de ahí su importancia como productores primarios; sin embargo es una maleza de erradicación difícil por su capacidad de repoblación a partir de rizomas que se extienden desde la zona litoral hasta penetrar a las zonas abiertas (aproximadamente tres metros de profundidad), constituyendo verdaderos cinturones de vegetación mono específica.

Esta planta tiene importancia para la industria en la región zuliana; en la laguna de Sinamaica se fabrican con ella muchos productos (sombreros, cinturones, muebles, etc.).

Los rizomas son ricos en almidón y sirven de alimento a muchos mamíferos silvestres. Aves acuáticas y mamíferos semiacuáticos dependen de sus comunidades, por lo cual



deben ser conservados.

2.2.8.4. Bora (*Eichhornia crassipes*) (Velásquez, J., 1994).

Su nombre científico o latino es *Eichhornia crassipes* y vulgarmente se conoce como Jacinto de agua, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya, Lirio de agua, lechuga de agua, lechuguín. Proviene de la familia Pontederiaceae (Pontederiáceas). Su origen se remonta a los cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en Suramérica. Esta planta se ha distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos.

Son consideradas malas hierbas, que pueden obstruir en poco tiempo una vía fluvial o lacustre.

Es una especie flotante de raíces sumergidas, carece de tallo aparente, provista de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.

Contiene pleustofitos libres o algunas veces fijos al sustrato. Su inflorescencia es variable. Se reproduce por semillas y vegetativamente a través de rizomas. Se caracteriza por presentar los pecíolos muy hinchados. Su inflorescencia es muy vistosa de color azul morado a morado claro. Tolerancia a índices elevados de acidez.

Las hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas, provistas de pequeñas hinchazones, facilitan la flotación. En verano produce espigas de flores lilas y azuladas.

Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes y negras violáceas cuando son adultas. Constituyen un excelente soporte para el desove de las especies ovíparas (carasisus, carpas, etc.), incluso aquellos



aficionados que críen a sus peces en acuario, en época de fresa les sería muy útil hacerse de algún ejemplar joven de esta planta para el acuario de cría donde desovaran sus peces. Las raíces de la Bora no sólo le servirán de soporte para los huevos, si no que son un refugio para los alevines, e incluso en ellas se desarrolla una micro flora que sirve como alimento inicial para los mismos.

La Bora se usa para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios. Ofrecen un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo. Necesita de aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación,

2.2.8.5. Laguna de Zuata

Esta laguna está localizada en la población de Zuata ubicada en el Estado Aragua. No existen colecciones de referencia que permitan orientaciones sobre la vegetación original de la Laguna de Zuata, pero a través de estudios botánicos se ha podido demostrar que es similar a la vegetación del Lago de Valencia; en la actualidad se observa una avanzada eutrofización y perturbación ocasionadas por el desagüe en su cuenca de aguas provenientes de las granjas y poblaciones cercanas, lo cual ha ocasionado la desaparición de numerosas especies sumergidas como *Vallisneria americana* y sólo crecen reducidas poblaciones de *Potamogeton pectinactus*. Las comunidades litorales de helófitos e hidrófitos, están dominadas por *Amaranthus australis* (Pirota), *Gynerium sagittatum* (Caña Brava), *Typha dominguesis* (Enea, nata), *Ludwigia octovalvis*, *L. hyssopifolia*, *Panicum elephantipes*, *Luziolas pruceana*, *Paspalum repens*, *Polygonum acuminatum*, *Sesbania exasperata*, *Pacourina edulis*, *Paspalum virgatum*, *Eichhornia crassipes*, *Limnobium laevigatum*, *Lemna perpusilla*, *Wolffiasp.*, *Wolffio psissp.*, *Pistia stratiotes*, *Spirodela intermedia*, (Velásquez, J., 1994).

2.2.9. Polución ambiental (Kadlec, R. et al., 1996).

La polución ambiental es una consecuencia de la sociedad en la que vivimos. El aumento de la densidad de población, combinada con el consumo excesivo de recursos aceite-fósil almacenado, resulta en excedentes extendidos de la capacidad natural



asimilativa de ambientes naturales restantes. Así como estos procesos beneficiosos están excedidos, las poblaciones humanas están limitadas por el avanzado crecimiento y prosperidad por la contaminación de recursos naturales renovables y la salud pública.

El control de la contaminación se ha vuelto una prioridad en muchas naciones. Puede ser efectivo a través de prevención o tratamiento. Prevenir la polución es preferible como una “primera línea de defensa” y prácticas como el reciclaje y la conservación de la energía, crear conciencia en tiempos de crisis de energía y de decrecimiento económico. Pero, en resumen, el tratamiento de la contaminación es más fácil y trae mejores beneficios en una economía expandida.

Aunque existen muchos contaminantes comúnmente encontrados en variadas corrientes de desperdicios, fuentes diferentes de polución tienen algunas diferencias importantes en la composición química, en concentraciones y en la periodicidad de los flujos.

Los métodos químicos también son empleados para la remoción de fósforo y para el tratamiento de algunos desperdicios industriales que contengan niveles en exceso de metales.

2.2.10. Sistemas de plantas acuáticas flotantes (Kadlec, R., et al., 1996).

Los sistemas estancados pueden ser propositadamente inoculados con especies de plantas acuáticas flotantes que proporcionan el tratamiento de las aguas residuales. Las especies de plantas que se han usado a gran escala son la Bora (*Eicchornea crassipes*) y las Lentejas de agua (*Lemne Spirodela* y *Wolffiella*). Los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes son diferentes funcionalmente de estanques facultativos debido a que el componente fotosintético se encuentra desprendiendo oxígeno sobre la superficie de agua, reduciendo efectivamente la difusión de oxígeno atmosférico.

Consecuentemente, los sistemas de plantas acuáticas flotantes son deficientes de oxígenos y los procesos aeróbicos están restringidos en buena parte a la zona de de la



raíz de la planta. La mayor parte de la columna de agua en sistemas de plantas acuáticas flotantes es generalmente anaeróbico, con el grado de disminución de oxígeno dependiendo de la tasa de carga orgánica.

El tratamiento ocurre en los sistemas de plantas acuáticas flotantes a través de tres mecanismos primarios, en primer lugar el metabolismo, a través de la mezcla de microbios en las raíces de la planta, suspendidos en la columna de agua y en los desechos en el fondo del estanque, en segundo lugar la sedimentación de los sólidos de las aguas residuales y de la biomasa producida internamente (plantas muertas y microbios), en tercer lugar la incorporación de nutrientes en plantas vivas y la cosecha posterior.

Los sistemas de plantas acuáticas flotantes son típicamente efectivos para la reducción de concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno y de sólidos suspendidos. El nitrato y el nitrógeno pueden ser removidos efectivamente por desnitrificación. El nitrógeno total y la remoción de fósforo se pueden conseguir si hay cosechas rutinarias de las plantas.



CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se explica la metodología empleada para la elaboración de la investigación a la par del desarrollo de los objetivos específicos.

3.1. Tipo de investigación

Según los objetivos planteados, el tipo de investigación realizada es Investigación descriptiva, ya que permite identificar las características de las variables en estudio; se pueden seleccionar las características del fenómeno en estudio y realizar una descripción detallada o medir en forma independiente los conceptos o variables involucradas, asimismo de campo ya que los datos de interés son recogidos de forma directa en la realidad, en este sentido se trata de una investigación partiendo de datos originales o primarios de índole evaluativa, ya que la misma permite indagar sobre el cumplimiento de objetivo de un determinado programa o modelo. Se miden los resultados en función de los objetivos alcanzados por el programa o sistema (De Smith, 2008).

Se propondrán mejoras factibles en las situaciones suscitadas a través del estudio de los hechos, puesto que se lleva a cabo un proceso sistemático de obtención y análisis de información, destinado a generar alternativas para la toma de decisiones.

3.2. Fases metodológicas para la investigación

Enseguida se describen las fases metodológicas de esta investigación.

1. Caracterizar los efluentes de la P.T.A.R. de Corporación Inlaca C.A. con la finalidad de conocer la calidad del agua residual tratada.
2. Plantear distintas alternativas para la remoción de fósforo.



3. Seleccionar la mejor alternativa para la eliminación del fósforo.
4. Implementar la alternativa seleccionada con la finalidad de cumplir con lo establecido en las normas técnicas ambientales.
5. Determinar la eficiencia de remoción de fósforo una vez implementada la alternativa seleccionada.
6. Estimar la relación costo-beneficio de la implementación del nuevo sistema con la finalidad de compararlo con el proceso actual.

3.3. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para realizar los análisis de cada parámetro se presentan a continuación.

Para los análisis de fósforo, DQO y Cl libre se utilizaron equipos de la marca Hanna Instruments (HI)

- *HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer:* es un fotómetro multiparámetro con el cual se analizan los parámetros contaminantes y el DQO, siguiendo un procedimiento basado en el actual *Standard Methods for the examination of Water and Waste Water*, (2005), establecido en el manual correspondiente a este equipo. Está compuesto de un orificio donde se coloca la cubeta con la muestra de agua a analizar con sus respectivos reactivos. Por ser un fotómetro multiparámetro, se debe seleccionar el parámetro antes de comenzar a analizar la muestra de agua. Después que se espera el tiempo de digestión que cada parámetro tiene asociado, se puede leer el valor obtenido, a excepción del DQO, pues el tiempo de digestión se realiza en el reactor, sirviendo el fotómetro únicamente de lectura del valor obtenido. Las unidades que tienen los valores obtenidos son mg/L o ppm (partes por millón).
- *HI 839800 COD Reactor and Test Tube Heater,* es un reactor compuesto por 25 orificios destinados a colocar los tubos de ensayo con las muestras y sus



respectivos reactivos para evaluar el DQO presente, incluyendo el “blanco” (muestra de agua residual con agua desionizada que sirve para calibrar el equipo). El tiempo de digestión es de 2 horas y se realiza a una temperatura de 150 °C. Una vez terminado el tiempo de digestión, se espera 20 minutos de manera que se iguale a la temperatura ambiente y se traslada a la cubeta para obtener la lectura mediante el fotómetro.

3.4. Reactivos empleados en los análisis

Para poder efectuar los análisis de los parámetros, se necesitó de los reactivos descritos a continuación.

3.4.1. Reactivos empleados para el análisis de P, PO_4^{-3} y P_2O_5

- *Phosporous Reagent A*: es un gotero de 25 mL que contiene ácido sulfúrico y es corrosivo. Es el primer reactivo que se agrega en las muestras después de haber calibrado el equipo. Se torna azul en contacto con el agua residual y se acentúa el color cuando el agua está más contaminada.
- *Phosporous Reagent B*: es un reactivo que contiene metabisulfito de sodio, el cual es un aminoácido que se coloca enseguida de las gotas de ácido sulfúrico. Este reactivo viene contenido en un sobre pequeño, es de aspecto blanquecino y de gránulos muy finos. Se disuelve después de agitar dos veces.

Estos reactivos vienen en un kit de 100 sobres de *Phosporous Reagent B* y dos goteros de *Phosporous Reagent A*.

3.4.2. Reactivos empleados para el análisis de DQO

Los reactivos necesarios para analizar el DQO presente en las muestras de agua residual vienen en un kit que trae 25 vías de 5,5 mL cada una, agua desionizada y dos goteros.



Las vías contienen ácido sulfúrico, sulfato de mercurio (III) y dicromato de potasio, por lo que su coloración es naranja. Se utiliza una vía como blanco (conteniendo el agua desionizada para luego calibrar en el espectrofotómetro, sin muestra de agua residual), y tres más, una para cada muestra de agua residual.

3.4.3. Reactivos empleados para el análisis de Cl^-

- *Reactivo HI 93701 DPD.* Es un reactivo de gránulos finos color beige que se disuelve en la muestra de agua tratada, el cual después del tiempo de digestión cambia a rosado claro. El kit contiene 100 sobres de este reactivo.

3.5. Operacionalización de los objetivos

A continuación se muestra la manera de realizar cada una de las actividades para cumplir los objetivos específicos de la investigación.

3.5.1. Identificación y caracterización de los parámetros contaminantes del agua residual

Para desarrollar el primer objetivo específico, con la finalidad de conocer los parámetros de calidad del agua inicialmente, se llevó a cabo la caracterización de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Corporación Inlaca C.A. El tutor industrial se encargó de conseguir la autorización para que se realizaran frecuentes visitas a la P.T.A.R., con la supervisión de los operadores de turno. De esta manera se pudo conseguir la caracterización de la muestra, la cual se rige por las Normas Covenin 2709 para aguas naturales, industriales y residuales.

En cada visita se tomó de la entrada del tratamiento primario, (tamiz rotativo) muestras de agua cruda. De la salida del tratamiento secundario, (reactor biológico) se obtuvo muestras de agua pre-tratada y del tratamiento terciario (salida de la piscina de cloración), se consiguieron muestras de agua tratada, para así observar las variaciones de los parámetros: fósforo [P], fosfato [PO_4^{3-}] y pentóxido de fósforo



[P₂O₅], demanda química de oxígeno [DQO] y cloro libre, Cl⁻, siendo este parámetro analizado únicamente en la muestra de agua tratada.

Una vez obtenidas las muestras, se procedió a analizarlas en una cubeta mediante el empleo del espectrofotómetro multiparámetro HI83099 Hanna, agregando en cada una, los reactivos necesarios para cada parámetro. Se seleccionó el método referente al parámetro en estudio, aguardando el tiempo de digestión respectivo y así proceder con la lectura. En el Apéndice B se explica paso a paso el procedimiento realizado para cada método seleccionado.

Para el análisis del parámetro DQO se usó el reactor HI839800 Hanna, colocando las muestras de agua residual en las vías, donde una de ellas es el blanco de ese análisis. Dos horas después se retiraron las muestras y se leyó el valor de la concentración de cada parámetro en el espectrofotómetro. Ya conocidos los resultados de los análisis, se tomó nota de los mismos, en una Tabla modelo como la que se muestra a continuación.

Tabla 3.1. Modelo de registro de los valores de cada parámetros P, PO₄³⁻, P₂O₅, Cl⁻, DQO antes y después de la implementación de la alternativa seleccionada

Parámetros	Fecha	NºSemana	Agua (mg/L)			Decreto N° 3219 (mg/L)
			Cruda	Pre - tratada	Tratada	
P						
PO ₄ ³⁻						
P ₂ O ₅						
Cl ⁻						
DQO						

Con el registro de estos datos se procedió a comparar los valores actuales de los parámetros evaluados en los efluentes de la P.T.A.R con los valores permitidos en el Decreto N° 3219 del Lago de Valencia (véase el Apéndice D). Como no se disponía de reactivos para el análisis de los otros parámetros contaminantes del agua, se recopiló información de los reportes de análisis de laboratorio que se le hace a la empresa cada dos meses, para de esta manera verificar el comportamiento de los valores.



3.5.2. Estudio preliminar de posibles soluciones

Resaltando que la Corporación Inlaca C.A. actualmente no tiene en funcionamiento los reactores biológicos como sistema de tratamiento de biomasa fija (descritos en la Figura 1.2 y 1.3), debido a que están dañados y la reparación de los mismos es costosa, surge la necesidad de encontrar una alternativa para el control de los parámetros del agua residual.

Para plantear las distintas alternativas con el fin de regular los parámetros fuera de norma a las concentraciones permitidas por el Decreto N° 3219 de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Corporación Inlaca, C.A., descritas en el segundo objetivo específico, los autores de esta investigación realizaron visitas a las Bibliotecas de: Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo; Facultad de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Central de Venezuela y “Biblioteca Sonia Quijada” de la Universidad de Oriente núcleo Nueva Esparta.

También se visitó el Laboratorio Ambiental “C.R.I.A.” de la Universidad de Oriente núcleo Nueva Esparta, el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales del Estado Nueva Esparta (específicamente el Departamento de Educación Ambiental y Participación Comunitaria), logrando obtener información referente a la metodología aplicada antes y actualmente para la toma de muestras del agua residual y de métodos de reducción de parámetros contaminantes de aguas residuales y tratamientos aplicados a las mismas.

El Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (I.V.I.C.) ofreció su soporte de manera interactiva, facilitando artículos científicos relacionados al tema de tratamiento de aguas residuales. De igual manera profesores del Departamento de Biología de la Universidad Central de Venezuela, de La Universidad del Zulia, de la Universidad Nacional Autónoma de México, de la Universidad E. M. Lyon de Francia, la directora del Jardín Botánico de São Paulo, Ana Paula Fernandes, el Dr. Justiniano Velásquez y el Dr. Omar Castillo, prestaron su colaboración con sus conocimientos para que los autores formaran su criterio.



3.5.3. Matriz de ponderación de los criterios aplicados en la selección de la alternativa a emplear

La primera consideración al momento de tomar una decisión tan importante como lo es seleccionar una alternativa, es crear criterios que proporcionen las respuestas buscadas por los autores.

Para llevar a cabo la definición de estos criterios se contó con la orientación y colaboración del tutor industrial y el técnico encargado de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A.

Los criterios más adecuados para proceder a realizar la evaluación, resultaron ser los siguientes:

1. *Producción Nacional*: si la alternativa planteada se produce en el país.
2. *Facilidad de implementación*: se evalúa que tan fácil es la implementación de la alternativa.
3. *Facilidad de acceso*: se estima que tan fácil es el acceso (transporte, vías, aduana, etc.) a esa alternativa.
4. *Facilidad de mantenimiento*: se evalúa si la alternativa presenta un mantenimiento sencillo.
5. *Alcance del objetivo general*: cumplimiento de la alternativa planteada con respecto al objetivo general de esta investigación.

Los datos informativos correspondientes a estos criterios descritos se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Modelo de datos informativos para la evaluación de criterios a utilizar para la selección de la alternativa a implementar

Alternativas Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Producción Nacional			
Facilidad de implementación			
Facilidad de acceso			
Facilidad de mantenimiento			



Para colocar la información correspondiente en la tabla mostrada anteriormente se hace referencia a los siguientes calificativos establecidos, con respecto a los criterios.

1. *Escasa*: se aplica para definir un criterio que representa una condición limitada en esta investigación.
2. *Fácil*: calificativo de un criterio que puede ser alcanzado sin esfuerzos adicionales.
3. *Intermedio*: concepto que para esta investigación define a un criterio que puede ser alcanzable si se disponen de los recursos.
4. *Bastante*: indica que existe disponibilidad del criterio por un periodo de tiempo prolongado.
5. *Difícil*: se aplica para definir un criterio que represente una condición que requiere para lograrlo, mas no es limitada.

A continuación se muestra la tabla 3.3. la cual indica los valores que se establecerán en la matriz de ponderación y su relevancia.

Tabla 3.3. Valores aplicados en la matriz de ponderación y su relevancia

Valor	Relevancia
0	De menor relevancia
0,5	Equivalentes
1	De mayor relevancia

Fuente: Pindick, (2001).

La siguiente tabla muestra información sobre el nivel de relevancia de un criterio ubicado en la fila con respecto al otro criterio ubicado en la columna.

Tabla 3.4. Modelo de matriz de ponderación

Criterios	Producción Nacional	Facilidad de implementación	Facilidad de acceso	Facilidad de mantenimiento	Σ	%
Producción Nacional Facilidad de implementación Facilidad de acceso Facilidad de mantenimiento						

Una vez definidos los valores de ponderación se elaboró el arreglo matricial donde se presentan dos columnas, una para la sumatoria de los valores obtenidos por cada fila, la cual se calcula según la siguiente ecuación:

$$\sum individual = Valor[Producción] + Valor[Implementación] + Valor[Acceso] + Valor[Mantenimiento] + Valor[Alcance]$$

(I)

El porcentaje representado en la última columna viene dado por la siguiente ecuación:

$$\% = \frac{\sum individual(fila)}{\sum total}$$

(II)

3.5.4. Selección de la alternativa a implementar

Finalmente para la selección de la alternativa a implementar se utilizó como herramienta heurística la matriz de selección de Moody (ver Tabla 3.5.) en donde el valor correspondiente al %, es equivalente al obtenido a la tabla mostrada anteriormente. Esta matriz permitirá conocer los criterios más relevantes pertenecientes a la investigación.



Tabla 3.5. Modelo de matriz de Moody

Criterios	%	Azospirillum brasilense + Microalga Chlorella + Alginato			Técnica de Fitorremediación empleando Bora y Typha			Reparación de los reactores biológicos de biomasa adherida		
		V	P	Inversión	V	P	Inversión	V	P	Inversión
Producción Nacional										
Facilidad de implementación										
Facilidad de acceso										
Facilidad de mantenimiento										

V: valor del cumplimiento de exigencia P: ponderación

Por medio del arreglo se definieron dos parámetros “V” y “P” (valor del cumplimiento de exigencia y ponderación), para cada alternativa y según el criterio a evaluar. Para “V” se le asignó un rango de valores del 1 al 5, como muestra la Tabla 3.6. a continuación.

Tabla 3.6. Valor del cumplimiento de exigencia

V	Criterio
5	Bastante
4	Mucho
3	Suficiente
2	Apenas justo
1	Insuficiente

Fuente: Pindick, (2001). V: valor del cumplimiento de exigencia

Estos valores se definen según el criterio asignado a la alternativa, basándose en las investigaciones previas.

El valor de P se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$P = V * \% \quad (III)$$

Por último se escoge la alternativa cuya sumatoria de las ponderaciones por cada criterio, sea la mayor.

3.5.5. Caracterización del agua residual después de la implementación de la alternativa seleccionada.

Se realizaron frecuentes visitas a la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A., con la



autorización del tutor industrial y bajo la supervisión de los operadores de turno y se procedió a implementar la alternativa con mayor ponderación en los factores establecidos. Para llevar a cabo la caracterización del agua residual se tomaron muestras de agua cruda, pre-tratada y tratada en envases totalmente limpios, de los cuales se trasvasaron diez mililitros a cada una de las cubetas. Se utilizó el equipo espectrofotómetro multiparámetro HI83099 Hanna, seleccionado el método de fósforo y en el mismo se colocó cada cubeta con la muestra a estudiar para calibrar y posteriormente se adicionaron los reactivos correspondientes al parámetro en estudio. Para la muestra de DQO primero se utilizó el reactor de DQO HI839800 Hanna, añadiendo en una vía el agua desionizada (blanco) y en las otras vías las muestras provenientes del tratamiento primario, secundario y terciario respectivamente; dos horas después con el espectrofotómetro multiparámetro HI83099 Hanna se determina el valor de DQO, después de haber seleccionado la opción de DQO en el mismo. En el Apéndice B se explica paso a paso el procedimiento realizado para cada parámetro analizado.

Esta obtención de muestras se sustentó en las Normas Covenin 2709 para aguas naturales, industriales y residuales con la finalidad de verificar el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua y así comparar los valores actuales de los parámetros evaluados en los efluentes de la P.T.A.R. con los valores permitidos en el Decreto N° 3219 del Lago de Valencia. En el Apéndice D se encuentra este Decreto. A falta de reactivos para el análisis de los otros parámetros contaminantes del agua, se recopiló información de los reportes de análisis de laboratorio que se hace a la empresa cada dos meses (véase Apéndice A), para de esta manera verificar el comportamiento de los demás parámetros y cumplir así objetivo específico número cuatro.

3.5.6. Estimación de la relación costo - beneficio de la solución implementada

Para realizar el objetivo específico número cinco, se tomaron en cuenta todos los

costos que implica tratar el agua residual, la relación existente entre economía y ambiente y los beneficios que se obtienen aplicando la alternativa seleccionada.



Se puede decir que el costo total del proyecto viene dado por la sumatoria de todos los costos, como se indica en la siguiente ecuación

$$\text{Costo}_t = \sum \text{Costos}_i \quad (\text{IV})$$

Donde:

Costo_t = costo total del proyecto

Costos_i = costos individuales

Para el cálculo de los beneficios, se usa la ecuación:

$$\text{Beneficios} = \text{Ingresos} - \text{Costos} \quad (\text{V})$$

Donde los ingresos se obtienen por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Ingresos} = \text{Cantidad} * \text{precio} \quad (\text{VI})$$

Donde:

Ingresos: beneficios obtenidos en un mes (BsF / mes)

Cantidad: producción mensual (L)

Precio: valor del producto (BsF / L)

Así se logra estimar la relación costo-beneficio, comparando el valor de los beneficios con los de los costos. Para que sea factible la alternativa seleccionada, los beneficios deben ser mayores que los costos (véase los cálculos típicos en el Apéndice C).

La relación costo beneficio se calcula:

$$\text{Relación costo - beneficio} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}} \quad (\text{VIII})$$

Estos cálculos se observan en el Apéndice C. Si el resultado es mayor que 1,



significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos. En otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y, en consecuencia, el proyecto generará riqueza a una comunidad. Si el proyecto genera riqueza con seguridad traerá consigo un beneficio social. Si el resultado es igual a 1, los beneficios igualan a los sacrificios sin generar riqueza alguna. Por tal razón sería indiferente ejecutar o no el proyecto. (Rivas, J., 2000)



CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presentan los resultados experimentales obtenidos durante la realización de la investigación.

4.1. Evaluación de las alternativas planteadas

Se plantean los motivos por los que se consideraron las tres alternativas que se presentan a continuación.

4.1.1. Presentación de las alternativas

4.1.1.1. Alternativa 1 : *Azospirillum brasilense*, *microalga Chlorella* y *Alginato*

Después de analizar los artículos científicos enviados por el I.V.I.C, en virtud de los hallazgos en cada uno de ellos, se profundizó el tema del empleo de cepas bacterianas de la especie *Azospirillum brasilense*, con la *microalga Chlorella*, y *Alginato* en el agua residual. La directora del Jardín Botánico de São Paulo, Ana Paula Fernandes dio a conocer que las cepas bacterianas de la especie *Azospirillum brasilense* existen como cultivos en varios países, sin embargo se requieren ciertos permisos para su extracción y traslado, por parte de la Universidad y del país que las solicite. El Dr. Omar Castillo, profesor de Biología egresado de la Universidad de Carabobo, posee cultivos de distintas especies bacterianas en el Estado Portuguesa. Al contactar con él se supo que esos cultivos no tienen un tiempo de fecundación determinado; a veces pueden tardar semanas o meses.

La *microalga Chlorella*, por su lado, se encuentra en el agua dulce, sin embargo para efectos de estudios experimentales, existe en forma de cápsulas o de polvo. La clorofila que posee resulta un buen alimento para la bacteria *Azospirillum brasilense*, pues el



Alginato al recubrir la microalga, le resulta apetecible y así, se logra inocular en el agua residual, produciendo una disminución de parámetros contaminantes como el fósforo y el nitrógeno. Estos estudios anteriormente hechos bajo condiciones *in vitro* arrojaron un porcentaje de alrededor de un 40% de remoción de materia orgánica en aguas residuales, (De- Bashan, 2001).

En Latinoamérica, México es uno de los principales países proveedores de la *microalga Chlorella*, *Azospirillum brasilense* y el *Alginato*. 1Kg de *Alginato* cuesta 21,5 BsF; 1 Kg de la *microalga Chlorella* cuestan 317.800 BsF; 1 Kg de *Azospirillum brasilense* cuesta 332.672 BsF., (http://killiadictos.com/stok/product.php?id_product=21).

4.1.1.2. Alternativa 2: Técnica de la fitorremediación empleando Bora y Typha

A través de la bibliografía Kadlec, R. et al., (1996) y Velásquez, J. (1994), se pudo considerar la importancia de la técnica de fitorremediación empleando bora y typha para el tratamiento de aguas residuales, ya que en Venezuela existen en abundancia en distintas localidades del país con la capacidad de disminuir parámetros importantes influyentes en la contaminación del agua residual. Esta información fue muy útil para comenzar investigaciones más profundas de este tema.

Se logró contactar con el Dr. Justiniano Velásquez, quién muy amablemente brindó información bibliográfica acerca del uso de las técnica de fitorremediación empleando bora y typha en el tratamiento de efluentes industriales, mediante la técnica de fitorremediación. Sugirió el empleo de plantas como la Typha y la Bora en los tratamientos primario y secundario, respectivamente. Esta combinación de técnica de fitorremediación empleando bora y typha mejora el proceso de tratamiento de agua residual a la vez que favorece el crecimiento de estas plantas que se alimentan de los nutrientes como el fósforo, presentes en el agua, (Velásquez, J., 1994)

La ubicación de estas plantas en veinte estados del país (entre ellos el Estado Aragua y Carabobo) hace de ésta una alternativa accesible, pues se aplica la técnica de fitorremediación. Los costos de inversión comprenden el traslado y servicio de



mantenimiento de las mismas en la empresa. El costo se calcula en un estimado de 2000 BsF, además del mínimo costo que implica el traslado de las plantas a la empresa, el cual se realizaría una sola vez, pues las plantas se reproducen rápidamente en el agua residual

4.1.3. Alternativa 3: Reparación de los reactores biológicos de biomasa adherida

La Corporación Inlaca C.A. posee actualmente este sistema compuesto por cuatro reactores biológicos de biomasa adherida colocados en paralelo, pero debido al desgaste de las chumaceras, las cuales engranan al eje giratorio de los reactores, los reactores biológicos de biomasa adherida no se encuentran en funcionamiento y el costo de reparación de las mismas resulta de 400.000 Bs F.

Este sistema, en buenas condiciones, cumple con la remoción de materia orgánica y nutrientes como fósforo y nitrógeno en un 80%, (Hernández, J., 1996).

4.1.2. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas

En la Tabla 4.1 se presentan las características de cada alternativa presentada con la finalidad de conocer sus aspectos positivos y negativos.

Tabla 4.1. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Azospirillum Brasilense, Microalga Chlorella y Alginato, ¹	<ul style="list-style-type: none">• Aumentan la capacidad de solubilización del fósforo orgánico e inorgánico.• Aumento significativo en varios parámetros de crecimiento de la microalga.• Mayor capacidad de eliminar amonio y fósforo.	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo indeterminado de fecundación de la bacteria Azospirillum Brasilense.• Alto costo de las cepas bacterianas.

¹ (De – Bashan, L., 2003)



Tabla 4.1. Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas (Continuación)

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Reparación de los reactores biológicos, ²	<ul style="list-style-type: none"> • Menor consumo de energía. • No es necesario recircular fangos. • Mejor comportamiento ante la presencia de tóxicos. • No precisa un control del nivel de oxígeno disuelto ni de sólidos en suspensión. • Facilidad de construcción gradual. • No se forman aerosoles. • Bajo nivel de ruido por la baja potencia instalada. • Las unidades de CBR se encuentran usualmente en recintos cubiertos, hecho que mantiene una temperatura más elevada en el agua a depurar y mejora el rendimiento en períodos fríos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado de instalación. • Se requiere mayor energía. • Posibilidad de averías electromecánicas. • Explotación y mantenimiento más complejos.
Técnica de fitorremediación, empleando Bora y Typha ³	<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología sustentable • Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ • Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas • Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía • Es poco perjudicial para el ambiente • No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho • Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable • Evita la excavación y el tráfico pesado • Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos • Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales) 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos) • Es dependiente de las estaciones • El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental • Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes) • Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión • No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras • La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes • Se requieren áreas relativamente grandes • Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)

² (Ordoñez, P. et al.,2003)

³ (Nuñez, R., 2004)



4.2. Selección de alternativa

Teniendo como base el conocimiento de las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, se comenzó a seleccionar y/o descartar hipótesis acerca de cuál alternativa es mejor o no, utilizando algunos criterios como los que se muestran a continuación:

- Producción nacional.
- Facilidad de implementación.
- Facilidad de acceso.
- Facilidad de mantenimiento.

Se elaboró una tabla de datos informativos donde se evaluó cada uno de los criterios contra cada una de las alternativas (*Azospirillum brasilense* + *microalgas Chlorella* + *Alginato*, *Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha* y *reparación de reactores biológicos de biomasa adherida*) con la finalidad de plasmar la información más general de cada una de las opciones. Esta evaluación se realizó en base a los calificativos: *bastante*, *fácil*, *intermedio*, *difícil* y *escasa*, explicados en el Capítulo III. Esta matriz se puede ver en la Tabla 4.2. La lectura de la misma se realizó determinando la importancia de un criterio (ubicado en la columna) con respecto a una alternativa (ubicada en la fila).

Tabla 4.2. Datos informativos para la evaluación de los criterios a utilizar para la selección de la alternativa a implementar

<i>Alternativas</i>	<i>Azospirillum brasilense + Microalga Chlorella + Alginato</i>	<i>Técnica Fitorremediación empleando bora y typha</i>	<i>Reparación de Reactor Biológico de biomasa adherida</i>
<i>Criterios</i>			
Producción Nacional	escasa	bastante	fácil
Facilidad de implementación	difícil	fácil	difícil
Facilidad de acceso	difícil	fácil	fácil
Facilidad de mantenimiento	difícil	fácil	difícil



Para la alternativa 1, el criterio *Producción Nacional* se consideró escaso debido a que las mejores cepas bacterianas, la microalga, y el alginato empleado para este tipo de tratamientos son importadas. Acceder a éstos e implementarlos en el agua residual es difícil debido a que se necesitan de permisos para su extracción y traslado. Por esta razón, los criterios *Facilidad de implementación*, *Facilidad de acceso* y *Facilidad de mantenimiento* son complejos.

En la alternativa 2, acceder, implementar y realizarle un mantenimiento a la *Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha* resulta fácil ya que, se encuentran en 20 estados del país, no requiere de permisos obtenerlas porque hace parte de la naturaleza, su implementación consiste en dejarlas flotar en el agua residual. Debido a su rápida reproducción en el agua residual, el mantenimiento radica en cosechar algunas plantas cada cierto tiempo para que no exista eutrofización de las aguas. De esta manera se justifica las asignaciones respectivas a los criterios *Producción Nacional*, *Facilidad de implementación* y *Facilidad de acceso* *Facilidad de mantenimiento*.

En la alternativa 3, la *Facilidad de mantenimiento*, como ya se expresó en la Tabla 4.1., es una desventaja de este tipo de sistema de tratamiento biológico. Acceder a la reparación de estos equipos es fácil, ya que se producen en el país y existe personal calificado con el conocimiento requerido para su reparación.

Con la Tabla 4.2 se identificó que la alternativa más viable fue la número 2 (*Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha*), adicionalmente a lo expuesto sobre esta alternativa, posee la capacidad de remover aproximadamente 80% de la materia orgánica presente en el agua residual. Se procedió a evaluar criterios contra criterios, asignando valores numéricos de relevancia (0; 0,5; 1) a medida que se estuviese evaluando un criterio con respecto a otro. Éstos fueron asignados por un experto en herramientas estadísticas y establecidos en la Tabla 3.4.; a continuación se muestra la matriz de ponderación, la misma nos indica el porcentaje de importancia de un criterio



con respecto al otro, se puede observar en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Matriz de ponderación

Criterios	Producción Nacional	Facilidad de implementación	Facilidad de acceso	Facilidad de mantenimiento	Σ	%
Producción Nacional	0,5	1	1	1	3,5	44
Facilidad de implementación	0	0,5	0	0	0,5	6
Facilidad de acceso	0	1	0,5	1	2,5	31
Facilidad de mantenimiento	0	1	0	0,5	1,5	19
Total					8,0	100

Según la sumatoria de la numeración asignada la *Producción Nacional* representó mayor relevancia que los demás criterios. El porcentaje obtenido para cada criterio fue de 44% *Producción nacional*, 6% para *Facilidad de implementación* 31%, en cuanto a *Facilidad de acceso* 12%, y *Facilidad de mantenimiento* y 19%.

Estos porcentajes significan la importancia que tienen estos criterios al momento de desarrollar este proyecto. Los resultados indican que la *Producción Nacional* y la *Facilidad de implementación* fueron los factores más importantes a tomar en cuenta en esta investigación.

Para elaborar la Matriz de Moody (véase Tabla 4.4.), se realizó una sumatoria de los valores obtenidos horizontalmente de cada criterio y se calculó el porcentaje, el cual se multiplicó por “V” que representa el nivel de exigencia y se encuentra señalado en la Tabla 3.6 en el Capítulo III. Esta multiplicación da origen al valor P.

Tabla 4.4. Matriz de Moody



Criterios	%	Azospirillum brasilense + Microalga Chlorella + Alginato			Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha			Reparación de los reactores biológicos de biomasa adherida		
		V	P	Inversión	V	P	Inversión	V	P	Inversión
Producción Nacional	36	1	44		5	220		2	88	
Facilidad de implementación	4	1	6	318.144 BsF/Kg	5	30	2000 BsF / mes	1	6	400.000 BsF.
Facilidad de acceso	20	1	31		4	124		2	62	
Facilidad de mantenimiento	12	1	19		5	95		1	19	
Σ			100			469			175	

Con esta matriz se logró establecer una mejor comparación entre todas las alternativas. La ponderación total obtenida mediante la suma vertical de cada columna P para cada alternativa fue la siguiente:

- Azospirillum brasilense + Microalga Chlorella + Alginato : 100
- Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha: 469
- Reparación de reactores biológicos de biomasa adherida: 175

La inversión estimada para cada alternativa fue la siguiente:

- Azospirillum brasilense + Microalga Chlorella + Alginato : 318.144 BsF/Kg
- Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha: 2000 BsF/mes
- Reparación de los reactores biológicos de biomasa adherida: 400.000 BsF

Con la ponderación e inversión obtenida, numéricamente se puede observar que la alternativa de Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha resultó ser la mejor alternativa.



4.3. Diseño de la alternativa

4.3.1. Ubicación geográfica y recolección

Las especies bora y typha se recolectaron de forma asequible en la Laguna de Zuata y sus alrededores, La Victoria, Estado Aragua. Ambas especies se recolectaron utilizando guantes para la protección de las manos y se colocaron en envases plásticos con suficiente agua, de manera que las condiciones de las especies durante su traslado fueran, en lo posible, similares a la de su hábitat original. Se recolectaron 25 plantas de la especie bora y 15 plantas de la especie typha, ya que con esa cantidad se cubría la densidad vegetativa destinada a su ubicación en el tanque de los reactores biológicos de biomasa adherida y en el tanque de igualación respectivamente.

4.3.2. Traslado de las plantas

El traslado de las plantas, se llevó a cabo en vehículos particulares, la recolección fue realizada estratégicamente en la Laguna de Zuata y en el cauce del río Jobalito ubicados en La Victoria Estado Aragua, se efectuó el traslado hasta la Corporación Inlaca C.A., en la zona industrial de la ciudad de Valencia, Estado Carabobo.

4.3.3. Implementación de Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha en la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A.

Para implementar la técnica de fitorremediación, se procedió a sembrar cada especie, lo cual se hizo siguiendo los protocolos de seguridad de la empresa. Para manipular ambas especies se utilizaron guantes. Se realizaron visitas semanales para realizar los análisis respectivos. Los técnicos colaboraron con el chequeo diario de cada especie. Las algas que se puedan encontrar en el agua residual necesitan nutrientes, luz, CO₂ (que extraen del agua o la atmósfera); crecen al tiempo en que se duplican y aumentan su masa, se dividen y excretan materia orgánica disuelta; el desarrollo de las algas se ve afectado por la sombra de las plantas emergentes (como la typha) sobre la superficie, que impide el paso de luz y el normal desenvolvimiento de la actividad fotosintética (Gasol, J., 2010), por ello su presencia puede evitar el crecimiento de algas productoras de materia orgánica en pro de mejorar el tratamiento primario, por esta



razón se coloca en el tanque de igualación. La especie bora permaneció flotando en el agua del tanque de los reactores biológicos de biomasa adherida, su ubicación se debe a que esta especie debe permanecer en lugares donde la corriente sea baja, o de poco movimiento, y estando detenidos los discos biológicos rotativos se consideró una buena opción para su ubicación. Se colocaron dos plantas por m^2 porque es lo recomendado para este tipo de tratamientos. (Velásquez, J., 1994).

4.3.3.1. Reproducción, crecimiento y tiempo de cosecha de la Bora y la Typha

La typha puede alcanzar una altura de 3m. La bora aunque por lo general no alcanza más de 50 cm se reproduce más rápidamente que la typha, pues en 12 días se logra duplicar. (Velásquez, J.). En esta investigación no se determinaron resultados de crecimiento de estas plantas, pues eso requiere de un estudio más complejo. El tiempo de cosecha de ambas plantas, por ende no se logró registrar, sin embargo, existen estudios como el realizado por Alexandra Vera en La Universidad del Zulia, que indican que la Typha después de 8 semanas se debería cosechar con el fin de evitar que se reincorporen nutrientes y materia orgánica por la muerte de la misma. A su vez, se debería cosechar la bora cuando ya haya poblado espacios indeseados, con la finalidad de colocar especies más jóvenes que puedan cumplir con la función deseada en el agua residual.

4.4. Caracterización

A continuación se presentan los registros de la caracterización de los parámetros, antes y después de la implementación de la alternativa.

Las tablas que se mostrarán describen el registro de los parámetros Cl^- , DQO, PO_4^{3-} , P y P_2O_5 en las caracterizaciones de muestras de agua cruda, agua pre-tratada y de agua tratada.

Según la Norma Covenin 2709, referente a las aguas naturales, industriales y



residuales, las muestras de agua de los tratamientos primario, secundario y terciario recolectadas para este estudio y registradas en las tablas presentadas, se caracterizan por ser un tipo de muestreo de aguas residuales con tipo de muestra instantánea, es decir reflejan las características del agua residual en el momento de su captación. La modalidad de captación fue manual; permite observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación, además involucra un equipo mínimo para la captación. Resulta más económica cuando se trata de programas de caracterización relativamente sencillos, donde el número de puntos y la frecuencia de captación de muestras son reducidos.

Los registros del parámetro Cl^- fueron tomados solamente de las muestras de agua tratada, debido a que en el tratamiento terciario se agrega cloro al agua. Se procedió a caracterizar así como se describió anteriormente según la Norma Covenin 2709.

En la sección 4.4.1 se describe la caracterización de los parámetros contaminantes del agua residual en la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A.

4.4.1. Registros de la caracterización de los parámetros, P, PO_4^{3-} , P_2O_5 , DQO y Cl^- correspondientes a los datos experimentales obtenidos durante la investigación y comparación con el Decreto N° 3219.

Se registró la caracterización de los parámetros en la Tabla 4.5 en donde se puede observar los registros de los parámetros P, PO_4^{3-} , P_2O_5 , DQO y Cl^- antes de la implementación de las plantas acuáticas vasculares.

Tabla 4.5. Valores correspondientes a la caracterización de los parámetros P, PO_4^{3-} , P_2O_5 , DQO y Cl^- antes de la implementación de la Técnica de Fitorremediación



Parámetros	Fecha	Nº Semana	empleando bora y typha			Valor máximo permitido (mg/L)
			Agua (mg/L)			
			Cruda	Pre-tratada	Tratada	
P	18/08/2011	1	3,9	3,0	2,0	1,0
	25/08/2011	2	1,8	1,4	1,6	
	02/09/2011	3	3,9	1,7	1,6	
	09/09/2011	4	3,9	2,3	0,9	
	16/09/2011	5	2,3	1,4	1,1	
PO ₄ ³⁻	18/08/2011	1	12,0	9,1	4,6	-
	25/08/2011	2	5,4	4,4	8,6	-
	02/09/2011	3	11,9	5,2	4,5	-
	09/09/2011	4	11,9	4,6	5,6	-
	16/09/2011	5	5,3	4,9	5,5	-
P ₂ O ₅	18/08/2011	1	9	6,8	2,6	-
	25/08/2011	2	4,1	3,3	2,0	-
	02/09/2011	3	8,9	3,9	3,7	-
	09/09/2011	4	8,9	6,5	3,7	-
	16/09/2011	5	7	3,2	6,1	-
DQO	25/08/2011	1	3232	1685	348	350
	02/09/2011	2	1545	1282	323	
Cl ⁻	25/08/2011	1	-	-	0,15	1000
	02/09/2011	2	-	-	0,26	
	16/09/2011	3	-	-	0,09	

Se apreció para el parámetro P (fósforo), que el punto correspondiente a la semana uno, se encontraba principalmente por encima del límite máximo, establecido en el Decreto N° 3219. Los puntos 2, 3 y 5 se registraron por encima del límite establecido, siendo 4 y 5 los más cercanos a éste.

Es importante resaltar que ni el fosfato ni el pentóxido de fósforo aparecen en el Decreto N° 3219, pero por ser compuestos de fósforo total, también presentaron su lectura en el espectrofotómetro, por lo que disminuir o mantener su valor es lo ideal. Cabe destacar su importancia ya que la sobrecarga de fosfatos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lentejas de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos (Ariel, F.,2012), por lo que es



importante realizar medidas antes y después de cualquier implementación, asegurando mantener un control de dicho parámetro

En cuanto al parámetro DQO se observa en la tabla 4.5 sus valores dentro de los límites permitidos.

Los valores obtenidos mostrados en la Tabla 4.5. dieron a conocer que el Cl^- se encuentra dentro de las especificaciones establecidas en el Decreto N° 3219.

La desinfección es el último proceso que se lleva a cabo en el tratamiento de aguas residuales, es parte fundamental ya que tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico. En la unidad de desinfección bacteriológica, se dosifica una cantidad dada de cloro al efluente ya tratado, primero se consumirá una parte en la oxidación de compuestos orgánicos y luego actuará como desinfectante sobre las bacterias.

Si bien actúa como agente desinfectante mediante la penetración de la pared celular y la reacción con las enzimas, también inhibe el metabolismo de la glucosa produciendo la muerte de microorganismos, (Rodríguez, M., 2005).

Éste posee un límite máximo de concentración contenido en el agua residual, para ser descargado al Lago de Valencia según lo establecido en el Decreto N° 3219 de 1000 mg/L, los valores obtenidos antes de la implementación de la técnica de fitorremediación empleando bora y typha, resultan inferiores.

Se puede observar que el P (fósforo), estaba fuera de límite indicando un promedio de 1,44 mg/L es decir 30,55% por encima del límite máximo permitido con respecto al Decreto N° 3219, por lo que se deseaba controlar las concentraciones para este parámetro. Los resultados pueden deberse posiblemente al no funcionamiento de los discos biológicos rotativos quienes no ejercían su función de remoción de materia



orgánica, sólidos coloidales, nitrógeno y fósforo; causas como la presencia de algunos productos de limpieza, es decir detergentes que provocan la aparición del fósforo en los efluentes de la Corporación Inlaca C.A.

A continuación se presenta la Tabla 4.5. la cual hace referencia a los valores obtenidos de la caracterización de los parámetros después de aplicar la técnica de fitorremediación empleando bora y typha, tanto en el tratamiento primario como en el tratamiento secundario de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A.

Tabla 4.6. Valores correspondientes a la caracterización de los parámetros P, PO_4^{3-} , P_2O_5 , DQO y Cl^- después de la implementación de la Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha

Parámetros	Fecha	Nº Semana	Agua (mg/L)			Valor máximo permitido (mg/ L)
			Cruda	Pre-tratada	Tratada	
P	08/11/2011	1	2,8	1,7	1,0	1,0
	26/11/2011	3	3,2	2,0	0,7	
	02/12/2011	4	2,5	2,5	0,5	
	13/12/2011	5	2,0	2,0	0,8	
PO_4^{3-}	08/11/2011	1	8,4	5,2	3,4	-
	17/11/2011	2	3,5	7,4	2,7	-
	26/11/2011	3	9,8	6,2	5,0	-
	02/12/2011	4	7,5	7,4	5,0	-
	13/12/2011	5	7,5	7,3	4,6	-
P_2O_5	08/11/2011	1	6,3	3,9	3,5	-
	17/11/2011	2	2,6	5,5	2,4	-
	26/11/2011	3	7,4	4,6	3,4	-
	02/12/2011	4	5,5	4,8	4,4	-
	13/12/2011	5	5,6	4,6	4,5	-
DQO	26/11/2011	1	894	708	238	350
	02/12/2011	2	622	489	166	
Cl^-	26/11/2011	1	-	-	0,18	1000
	02/12/2011	2	-	-	0,23	
	13/12/2011	3	-	-	0,04	

Colocando la especie typha en el tratamiento primario y en el tratamiento secundario la bora, se logró disminuir los valores del P (fósforo) en un porcentaje promedio de 47,92%, sus valores obtenidos después de implementar la Técnica de Fitorremediación se pueden observar en la Tabla 4.6.



El valor obtenido del parámetro fósforo (P) en el agua tratada el 17 de noviembre del 2011 (semana número dos después de la implementación de la Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha) resultó ser el mayor, debido a que en esa semana el tratamiento primario en la P.T.A.R. no estaba en funcionamiento, este punto se descarta por el hecho de no trabajar a las mismas condiciones de operación en la P.T.A.R.

Después de la implementación, se observa el punto correspondiente a la semana 1 justo en el valor límite permitido; para la semana 2 disminuyó su valor y de igual modo para la semana 3. En la semana 4 el incremento de lodo en el reactor biológico de biomasa fija hizo que la mayoría de las plantas colocadas se hundieran y que las restantes hayan sido retiradas cuando los operadores removieron el exceso de lodo presente, debido a un mantenimiento realizado en las instalaciones de la P.T.A.R.; para solventar este percance, se recurrió de nuevo a la Laguna de Zuata, Estado Aragua para recolectar las plantas acuáticas vasculares necesarias y continuar el estudio.

Comparando las Tablas 4.4 y 4.5, hubo una disminución semanal del contenido de fósforo, para la primera semana se presentó una disminución del 50%, en la segunda semana 65% de disminución, para la tercera semana 75%, y para la cuarta semana 60% de reducción, siendo la mayor correspondiente a 75% de remoción alcanzada del contaminante. En el Apéndice C se puede detallar este cálculo. Lo que significa que el sistema de tratamiento biológico seleccionado funcionó.

En cuanto a los valores de fosfato se obtuvo una reducción en promedio del 28,12% y los valores correspondientes al pentóxido de fósforo permanecieron igual, la contaminación por nutrientes de fosfatos disminuyó, factor importante ya que los mismos pueden alterar la hemoglobina e impedir el transporte de oxígeno a los tejidos ocasionando la muerte de diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, como peces de diferentes especies, (Digesa, 2004).



Los valores de la DQO presentaron una disminución del 37,15% si la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua residual disminuyó significa que la materia orgánica y/o inorgánica también disminuyó. En general, en una muestra hay compuestos orgánicos que, aunque son oxidados por el dicromato de potasio no son biodegradables, (Digesa, 2004) y, por lo tanto, no son oxidados al ser descargados en un lago, de allí la importancia de mantener controlado este parámetro y de emplear sistemas de tratamientos biológicos .

A pesar de las condiciones anaeróbicas que se van desarrollando con el incremento de la DQO, los procesos químicos de la raíces de las plantas tienen una gran influencia en la transformación química de nutrientes y materia orgánica. Ellas tienen un mecanismo con los más altos gradientes químicos en la zona de las raíces y a medida que las raíces absorben y disuelven nutrientes, capaces de transportar gases y elementos químicos a diferentes partes de la planta, permitiendo así la oxidación de sustancias que son fácilmente absorbidas y liberando otras que ayudan a la oxidación y reducción de compuestos, (Núñez, R., et. al, 2004).

Las raíces de las plantas no son los únicos organismos vivientes en la zona de la rizosfera (zona del rizoma, parte de la planta sumergida similar a un tallo de la cual emergen raíces); otros microorganismos como bacterias y hongos también contribuyen en la transformación de estas sustancias químicas. El conjunto de estas actividades biológicas dan lugar a transformaciones químicas de oxidación y reducción, en tres zonas: aeróbica, facultativa y anaeróbica. En la zona anaeróbica se procesan los tejidos y células muertas (polisacáridos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos) por medio de hidrólisis, fermentación y metanogénesis. Es así como el empleo de fitorremediación es capaz de la transformar altas concentraciones de la DQO en bajas concentraciones, (Núñez, R., et. al, 2004).

Los registros del parámetro Cl⁻ después de la implementación de la implementación de la Técnica de Fitorremediación empleando bora y typha muestran en la Tabla 4.5 que



estos datos se encontraron dentro del rango permitido, y presentan valores similares a los obtenidos en los análisis realizados antes de la implementación del sistema de tratamiento biológico seleccionado, muestran una disminución promedio del 9,96%. El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad de la misma, el alto contenido de cloruros impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado, altos porcentajes de cloruros en los cuerpos de agua también pueden matar a la vegetación cercana (Digesa, 2004), es por ello que resulta importante mantener controlado este parámetro.

4.5. Costos y beneficios (Rudas, G., 1998)

Para elaborar cualquier proyecto se necesita tomar en cuenta si será factible o no; para ello es menester el cálculo de los costos y beneficios.

4.5.1. Costos

La ausencia de precio por el uso del ambiente en función de la actividad económica, usualmente genera una situación de sobre-uso de los bienes y servicios suministrados por la naturaleza. Como resultado de este sobre-uso, los recursos naturales tienden a agotarse y la calidad del ambiente se degrada aceleradamente.

La resiliencia de cada ecosistema, entendida como la capacidad de un sistema para absorber el *stress* generado por disturbios externos sin modificaciones en el sistema mismo, tiende a ser afectada por las características físico-químicas y por la intensidad de los desechos que se arroja al ecosistema. La actividad humana tiende cada vez más a saturar la capacidad del sistema natural en donde se desenvuelve, comprometiendo la existencia de elementos centrales del mismo y afectando seriamente las propias condiciones de bienestar humano. Este tipo de comportamientos humanos altamente deteriorantes del entorno natural tienen múltiples expresiones, tanto en situaciones eminentemente locales como en casos que comprometen al planeta en su conjunto.



Los vínculos entre el subsistema económico y el ecosistema global pueden interpretarse de la siguiente manera:

- El aparato económico toma del medio natural recursos renovables y no renovables para emplearlos como materia prima.
- Las materias primas son transformadas para generar bienes y servicios, los cuales se suministran finalmente a los hogares, para satisfacer sus necesidades.
- El circuito económico no termina con el consumo: durante la producción y después del consumo, se generan desechos.
- Parte de los desechos generados son reincorporados directamente al proceso productivo a través de actividades de reciclaje, el resto tiene que ser retornado nuevamente al medio natural.

De esta manera, la economía demanda recursos naturales renovables y no renovables y hace uso de la capacidad de absorción de residuos que tiene el ambiente natural. A diferencia de las transacciones comunes que existen dentro de la economía, los agentes económicos son usuarios de los bienes (materias primas) y los servicios (funciones ecosistémicas) son suministrados por el ambiente sin necesidad de retribuirlos, es decir, sin pagar ningún precio por los mismos.

Se define el desarrollo sostenible en el año 1987 por la Brundtland Comisión, como la posibilidad de satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer las posibilidades de satisfacción de necesidades de generaciones futuras. Los objetivos del desarrollo sostenible desde el punto de vista de los economistas, es maximizar el bienestar humano dentro de las restricciones existentes de fondos de capital y de tecnologías y que al respecto están reconociendo la importancia crucial del capital actual. Desde el punto de vista de los ecologistas, es enfatizar la necesidad de preservar la integridad de los subsistemas ecológicos, entendiéndolo como elementos críticos de la estabilidad general del ecosistema. Desde el punto de vista de los sociólogos, es destacar que los factores claves son los seres humanos, cuyos patrones



de organización social son decisivos para el diseño de soluciones viables para alcanzar el desarrollo sostenible.

Tres condiciones para lograr el desarrollo sostenible son las siguientes:

- El adecuado manejo de los recursos naturales renovables.
- Una extracción eficiente de los recursos no renovables.
- Una administración apropiada de las descargas generadas por el aparato económico.

Si los recursos renovables se extraen de su medio natural a una velocidad mayor a su propia capacidad de generación, se enfrentan necesariamente a una situación de insostenibilidad.

La tasa de extracción de las plantas de la Laguna de Zuata, en comparación con su capacidad de regeneración natural, indica una utilización sostenible ya que este recurso se retira de su medio natural a una velocidad menor que su capacidad de regeneración. Esto se debe a que la Bora y la Typha tienden a reproducirse rápidamente en ambientes similares al del agua residual. Por ello cuando se administran adecuadamente estos recursos (plantas) para que puedan ser incorporados a la actividad económica sin comprometer la existencia del recurso mismo, se pueden generar condiciones para realizar esta actividad económica de una manera sostenible en términos de la pervivencia de su fuente de recursos.

Esto se puede resumir de la siguiente manera, para los recursos naturales renovables:

- $CR =$ Capacidad de regeneración natural.
- $Text =$ tasa de extracción del recurso.
- $CR > 0$ y $Text > 0$.
- Si $Text > CR$: Utilización insostenible.
- Si $Text < CR$: Utilización sostenible.



Si la naturaleza y la calidad de las emisiones sobrepasa la capacidad de asimilación del ecosistema en el cual son depositados, se afrontará una degradación continua del medio natural. Si por el contrario, los desechos o emisiones son manejados de tal forma que sus cualidades indeseables, como toxicidad, no biodegradabilidad, etc., se minimicen, se tenderá a que los ecosistemas que los reciben puedan asimilarlos sin comprometer su resiliencia intrínseca. Para cumplir con estas condiciones de sostenibilidad, desde una perspectiva empresarial, este reto se ha venido asumiendo en los últimos años por parte de algunas empresas a través del desarrollo de lo que se ha catalogado como actividad productiva ecoeficiente.

En la declaración constitutiva del BCSD (Business Council for Sustainable Development), en el año 1991 se define el concepto de “ecoefficiencia” como una opción del sector empresarial para conciliar los intereses de la actividad productiva con la necesidad de proteger el ambiente.

Se señala al respecto que se pueden denominar como ecoeficientes aquellas corporaciones que alcanzan incluso mayor eficiencia mientras previenen la contaminación a través de un adecuado manejo interno, sustitución de materiales, tecnologías limpias y productos limpios, y que se esfuerzan por un uso más eficiente y por la recuperación de los recursos.

La Corporación Inlaca C.A., se ha preocupado por cumplir con ser ecoeficiente, ya que los desechos producidos por la empresa de ser emitidos al ambiente (en este caso, el agua residual) sin un tratamiento previo, causarían distintos tipos de daños al ambiente.

En términos generales, los costos de control de las emisiones cubren todas aquellas acciones de tratamiento de residuos, de cambio tecnológico, de reciclaje y, en general, de cualquier acción tendiente a disminuir el nivel de emisiones o a neutralizar su impacto negativo. La industria de alimentos, a diferencia de la industria petroquímica y la industria de galvanoplastia por ejemplo, posee un control de emisiones del tipo

elemental, que requiere de bajos costos de inversión inicial, donde los costos marginales crecen relativamente poco al iniciar el proceso de control de emisiones y mucho más rápidamente en las últimas fases del control de emisiones.

Para este caso, se puede representar de la siguiente manera en la Figura 4.1.

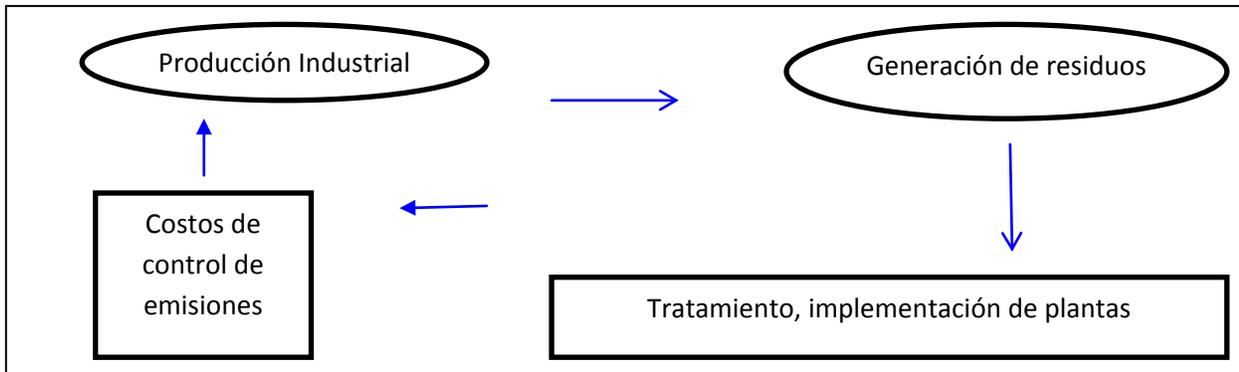


Figura 4.1. Costos de control de emisiones al ambiente

Cuando no se controlan las emisiones, el costo de cada unidad de emisión controlada es obviamente nulo. Cuando una empresa de estas características tiene que asumir una reducción de sus emisiones hasta un 50% de sus emisiones originales, el costo será relativamente bajo; pero reducciones posteriores de las emisiones, por ejemplo del 25% y 10% elevarán los costos marginales de una forma acelerada.

Este tipo de control de emisiones se aplica en la Corporación Inlaca C.A., por ser una industria de alimentos. Aunque sus volúmenes de desechos pueden ser considerablemente elevados, posee una planta de tratamiento de agua residual relativamente simple, con el fin de evitar que estos desechos generen impactos negativos significativos sobre el ambiente.

Anteriormente en la legislación ambiental venezolana, se estipulaba una tasa retributiva que representaba un estímulo para que los costos marginales se igualaran a la tasa que cobra la autoridad ambiental por cada unidad emitida, logrando así las empresas reducir sus emisiones. Actualmente, se implementa una normatividad que privilegia el establecimiento de niveles máximos de emisión permitidos. La ventaja que tiene la tasa



retributiva ante la normatividad de niveles máximos de emisión permitidos, es que los costos totales son considerablemente menores, ya que no existen las condiciones de competitividad artificial por alcanzar un nivel estándar de algún parámetro contaminante. Esta normatividad por la que se rige la Corporación Inlaca C.A., se establece en el Decreto n°3219.

Al momento de emplear la alternativa, no hubo costos involucrados en el traslado, ya que se dispuso de un vehículo particular, pero a nivel industrial, el único costo que implicaría esta alternativa es el mantenimiento de las plantas por parte de un personal encargado.

Para ello, el costo por servicio de mantenimiento mensual es de 2000 BsF, que viene siendo el costo total. (Ver Apéndice C).

A pesar que la reparación de los reactores biológicos de biomasa adherida podría evitar ese costo mensual de 2000 BsF., se necesitan de 400.000 BsF. que actualmente la Corporación Inlaca C.A. no dispone en su presupuesto, por lo que prefiere desembolsar 2000 BsF. mensual en un tratamiento biológico adicional que logre disminuir el fósforo.

4.5.2. Beneficios

Al implementar la alternativa seleccionada, se disminuyen los costos invertidos en la compra de productos químicos aproximadamente al 50%, tales como el cloro y poliacrilamida catiónica de alto peso molecular (polímero) para el correcto funcionamiento de la P.T.A.R., debido a que estas plantas acuáticas vasculares por ser parte de la naturaleza, tienen la capacidad intrínseca de absorber una buena parte de los desechos generados, proporcionando así el crecimiento de las plantas, la disminución de la materia orgánica indeseada presente en el agua residual y por ende, la disminución de la necesidad de implementar el uso de los productos químicos mencionados anteriormente.



Desde el punto de vista ambiental, la implementación de las plantas acuáticas vasculares como parte del sistema de tratamiento de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A., garantiza la disponibilidad futura de estos recursos naturales, pues la ubicación de los mismos representa un 60,87% de la geografía nacional, existiendo entonces una tasa de afectación baja, considerándose así como un beneficio, además que la materia prima es el agua residual.

Los beneficios obtenidos durante la realización de este estudio no son netamente económicos, sino también ambientales, como se ha explicado anteriormente, no solo por evitar las consecuencias legales tales como por ejemplo multas y sanciones que afecten directamente a la producción de la empresa, de la misma manera que se afectó al recurso natural, definiéndose esto como biorremediación, sino también para mantener un equilibrio entre naturaleza-empresa que permita ejercer una actividad económica sin ocasionar daños al ambiente.

Sin embargo, utilizando la ecuación (V) y (VI) referidas en el Capítulo III, se puede obtener los beneficios económicos, sustituyendo los datos de cantidad y precio suministrados, por la Corporación Inlaca C.A., obteniendo un valor de 133.000 BsF. mensuales, dando como resultado beneficios positivos.

Se puede calcular una relación costo- beneficio con estos beneficios (133.000 BsF.) y los costos (2000 BsF.), la cual incluye las ganancias mensuales de la empresa:

$$B/C = 133.000 \text{ BsF.} / 2000 \text{ BsF.}$$

$$B/C = 66,5$$

Particularmente durante la investigación hubo un ahorro de 50% de polímero (información suministrada por el tutor industrial y los técnicos de la P.T.A.R.), siendo éste el beneficio más importante, pues hubo un ahorro de 2500 BsF.



Con este valor y el costo de 2000 BsF, se recalculó la relación costo –beneficio, obteniendo así un valor focalizado a la alternativa implementada:

$$B/C = 2500 \text{ BsF.} / 2000 \text{ BsF.}$$

$$B/C = 1,25$$

La relación costo – beneficio, calculada con la ecuación (VIII) dio como resultado 1,25.

Esto significa que la alternativa seleccionada es factible.



CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentarán las conclusiones más importantes de esta investigación, así como las recomendaciones que los autores consideran necesarias.

5.1. Conclusiones

1. El parámetro fuera de norma resultó ser el fósforo.
2. La alternativa seleccionada fue la técnica de fitorremediación empleando bora y Typha.
3. La especie Typha se implementó en el tratamiento primario y la Bora en el tratamiento secundario.
4. Se obtuvo en promedio una disminución de fósforo total 47,92% y 28,12% de fosfato.
5. Los valores obtenidos de pentóxido de fósforo permanecieron iguales.
6. Se obtuvo en promedio disminución de Cl⁻ 9,96% 37,15% de DQO.
7. Los costos que generó la implementación de la alternativa fue de 2000 BsF.
8. Económicamente los beneficios fueron positivos, con un total de 133.000 BsF.
9. Se obtuvo un ahorro de 2500 BsF.
10. La relación costo – beneficio fue de 1,25.

5.2. Recomendaciones

1. Poner en funcionamiento los reactores biológicos de biomasa adherida y combinar el tratamiento con la implementación de plantas acuáticas vasculares.
2. Disponer de un sistema de estanques para ubicar la Bora en el tratamiento secundario a la salida de los reactores biológicos de biomasa adherida, de manera que el agua residual bañe por completo sus raíces y así, poder aumentar la superficie de contacto que permita depurar la materia orgánica por medio de los microorganismos adheridos a dicha superficie o por las propias



raíces directamente asegurando que el agua que entra al tratamiento terciario esté aún más purificada, cuidando así al Lago de Valencia.

3. La Bora es una especie invasora que se multiplica rápidamente. Por esta causa es necesario podarla para que no dañe el cerco o se salga y obstruya los conductos. En casos contrarios, hay plantas que se marchitan, no prenden o simplemente se "quemán", las cuales hay que reponerlas.
4. Colocar dentro del tanque de igualación la Typha, ubicándola dentro de plataformas que permita que flote y depure el agua en el tratamiento primario.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apha – Awwa – Wpcf. (2005). *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater*. (2005). U.S.A: Joint Editorial Board. (21st ed.) (pp.148 – 158).
2. Ariel, F. *Gestión ambiental (Calidad del agua)*. Extraído el 3 de Julio 2012 desde <http://es.scribd.com/doc/94060512/Tema-agua-3-gestion-ambiental>.
3. Brock, T. y Madigan, M. (1993). *Microbiología*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A. (6ta ed.) (pp. 955-956).
4. Colin-Cruz, A., Romero- Aguilar, M., Sánchez- Salinas,E. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3) (pp.157-167).
5. De–Bashan, L., et. al., (2002). *Removal of ammonium and phosphorus ions from synthetic waste water by the micro algae Chlorella vulgaris immobilized in alginate beads with the microalgae growth-promoting bacterium Azospirillum brasilense*. *Water Research*. (36 th ed.) (pp.2941–2948).
6. De–Bashan, L., et. al., (2003). *Bacterias ppromotoras de crecimiento de microalgas: una nueva aproximación en el tratamiento de aguas residuales*. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 2(5).(pp.85 -90).
7. De Smith, Y., (2008). *Tipos de investigación*. Venezuela. (1ªed.) (pp.13-15).
8. Digesa. (2004) *Parámetros organolépticos*. Grupo de Estudio Técnico Ambiental del Ministerio de Salud de Perú.(pp.20-35)



9. Fair, G., Okun, R.,(1999).*Ingeniería sanitaria y de aguas residuales 1*. México: Limusa S.A. (1ª ed.) (pp.19, 31, 64).
10. Gasol, J. et al.(2010). *Cuando lo esencial (para la vida en el mar) es invisible a nuestros ojos*. España : Departamento de Biología Marina y Oceanográfica. (1ª ed.) (pp.1-3).
11. Guinea, J., Pares, R. Sancho,J., (1979). *Análisis microbiológico de aguas, aspectos aplicados*. España: Ediciones Omega. (1ª ed.) (pp.1, 2, 65).
12. Hernández, J. (1996). *Evaluación y funcionamiento de la planta de tratamiento anaeróbica y aeróbica respecto a los niveles de nitrógeno y fósforo*. (Trabajo especial de grado). Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo. Venezuela.
13. Kadlec, R., Knight, R. (1996). *Treatment wetland*. U.S.A: Lewis Publishers. (2da ed.) (pp.3, 29, 42, 43, 45, 50, 445).
14. Metcalf & Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*. New York: Mc Graw-Hill. 1(3) (pp. 505-506).
15. Nuñez, et. al.(2004).*Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*.Revista de Biotecnología y Biología Molecular. México. Edición Julio – Septiembre.
16. Ordoñez, P. et al. (2003).Estudio preliminar para el tratamiento de lixiviados en un reactor de biodiscos (Trabajo Especial de Grado). Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
17. Pindick, S. (2001). *Modelos y Pronósticos*. México: Mc- Graw- Hill. 2(1) (pp. 54-60).
18. Precios de proveedores de cepas y alginatos. Extraído el 21 de Junio de 2012 desde



http://killiadicotos.com/stok/product.php?id_product=21.

19. Pütz, P.(2009). *Eliminación y determinación de fosfato*. Revista Interempresas, 35(1) (pp.72-74).
20. Rivas, J.(2000). *Análisis Costo – Beneficio*. Sociedad Latinoamericana para la Calidad.(1ª ed) (pp.1-3).
21. Rodríguez, M. (2005). *Procesos de descontaminación de aguas*. Madrid: Thomson, (1ª ed.) (pp.67,83-85)
22. Rudas, G. (1998). *Economía y ambiente*. Colombia: Fescol, (1ª ed.) (50-74).
23. Velásquez, J. (1994). *Plantas acuáticas vasculares de Venezuela*, Caracas: Colección Estudios,(1ª ed.)(pp.23, 765,767,844).
24. Vera, A. et al. (2010).*Remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal construido en función del desarrollo de la maerófito Typha dominguensis*. Rev. Técn. Ing. Univ. Zulia. 2(33). (pp.145 -146).



APÉNDICE A

En este apéndice se presentan los valores reportados con sus límites y/o rangos establecidos en la caracterización de la salida los efluentes de la P.T.A.R. de la Corporación Inlaca C.A. realizado por Hidrolab Toro Consultores C.A.



HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF.: INL-001-EI-2011

TABLA V

VALORES REPORTADOS V/S LÍMITES Y/O RANGOS ESTABLECIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES DE LA EMPRESA CORPORACIÓN INLACA C.A.

PUNTO DE MEDICIÓN: Salida de la Planta de Tratamiento.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR REPORTADO	LÍMITES MÁXIMOS Y/O RANGOS	CONSECUENCIA
RANGO DE pH	Adim.	-	6,0 - 9,0	CUMPLE
A. Y G. VEG. Y ANIMALES	mg/L	3	20	CUMPLE
A. Y G. MIN. E HIDROCARBUROS	mg/L	<1	20	CUMPLE
ALKIL MERCURIO	mg/L	<0,001	No Detectable (*)	CUMPLE
ALDEHIDOS	mg/L	<0,01	2,0	CUMPLE
ALUMINIO TOTAL	mg/L	<0,001	1,0	CUMPLE
ARSÉNICO TOTAL	mg/L	<0,001	0,1	CUMPLE
BARIO TOTAL	mg/L	<0,001	5,0	CUMPLE
BORO	mg/L	0,481	5,0	CUMPLE
CADMIO TOTAL	mg/L	0,032	0,1	CUMPLE
CIANURO TOTAL	mg/L	0,032	0,1	CUMPLE
CLORUROS	mg/L	60	1000	CUMPLE
COBALTO TOTAL	mg/L	<0,001	0,05	CUMPLE
COBRE TOTAL	mg/L	0,007	0,5	CUMPLE
CROMO TOTAL	mg/L	0,175	2,0	CUMPLE
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	<0,001	0,1	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	13	60	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	85	350	CUMPLE
DETERGENTES Y/O DISPERSANTES	mg/L	<0,10	2,0	CUMPLE
ESPUMA	Adim.	AUSENTE	Ausente	CUMPLE
ESTAÑO	mg/L	<0,001	5,0	CUMPLE
FENOLES	mg/L	0,042	0,05	CUMPLE
FLUORURO	mg/L	1,55	5,0	CUMPLE
FÓSFORO TOTAL	mg/L	0,84	1,0	CUMPLE
HIERRO TOTAL	mg/L	0,37	10	CUMPLE
MANGANESO TOTAL	mg/L	<0,001	2	CUMPLE
MERCURIO TOTAL	mg/L	<0,001	0,01	CUMPLE
NIQUEL TOTAL	mg/L	0,247	1,0	CUMPLE
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L	3,24	10	CUMPLE
PLATA TOTAL	mg/L	<0,001	0,1	CUMPLE
PLOMO TOTAL	mg/L	0,024	0,5	CUMPLE
SELENIO	mg/L	<0,001	0,05	CUMPLE
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	<0,10	1,0	CUMPLE
SÓLIDOS FLOTANTES	Adim.	AUSENTE	Ausente	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	40	80	CUMPLE
SULFUROS	mg/L	<0,01	0,5	CUMPLE
SULFATOS	mg/L	71	600	CUMPLE
SULFITOS	mg/L	2	2,0	CUMPLE
ZINC TOTAL	mg/L	0,043	5,0	CUMPLE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	900	<1000	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	<200	<200	CUMPLE
ORGANOS FOSFORADOS	mg/L	<0,01	0,25	CUMPLE
ORGANOS CLORADOS	mg/L	<0,01	0,05	CUMPLE

(*) Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Todos los parámetros analizados en la Salida de la Planta de Tratamiento, presentan valores inferiores a los límites y/o rangos establecidos en la Gaceta Oficial N° 5.305, Decreto N° 3.219, artículo 36.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia - Edo. Carabobo. Venezuela. Telf.: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax: (0241) 831.28.74. e-mail: hidrolab@telcel.net.ve / hidrolab@cantv.net

Fecha de Elaboración:
09 de Mayo de 2.011.

Página 7 de 9



HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Analisis de Laboratorio.

REF.: INL-004-EI-2011

TABLA V

VALORES REPORTADOS V/S LÍMITES Y/O RANGOS ESTABLECIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES DE LA EMPRESA CORPORACIÓN INLACA C.A.

PUNTO DE MEDICIÓN: Salida de la Planta de Tratamiento.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR REPORTADO	LÍMITES MÁXIMOS Y/O RANGOS	CONSECUENCIA
RANGO DE pH	Adim.	7,96 - 7,81	6,0 - 9,0	CUMPLE
A. Y G. VEG. Y ANIMALES	mg/L	2	20	CUMPLE
A. Y G. MIN. E HIDROCARBUROS	mg/L	<1	20	CUMPLE
CLORUROS	mg/L	34	1000	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	5	60	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	41	350	CUMPLE
DETERGENTES Y/O DISPERSANTES	mg/L	2,00	2,0	CUMPLE
FÓSFORO TOTAL	mg/L	1,000	1,0	CUMPLE
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L	10,0	10	CUMPLE
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	<0,1	1,0	CUMPLE
SÓLIDOS FLOTANTES	Adim.	Ausente	Ausentes	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	18	80	CUMPLE
SULFATOS	mg/L	14	600	CUMPLE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	<200	<1000	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	<200	<200	CUMPLE

Todos los parámetros analizados en la Salida de la Planta de Tratamiento, presentan valores inferiores a los límites y/o rangos establecidos en la Gaceta Oficial N° 5.305, Decreto N° 3.219, artículo 36.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria, Valencia –Edo. Carabobo. Venezuela. Telf.: (0241) 831.26.30 – 835.45.61. Fax: (0241) 831.28.74. e-mail: hidrolab@telcel.net.ve / hidrolab@cantv.net

Fecha de Elaboración:
08 de Agosto de 2.011.

Página 7 de 8



TABLA V

VALORES REPORTADOS V/S LÍMITES Y/O RANGOS ESTABLECIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES DE LA EMPRESA CORPORACIÓN INLACA C.A.

PUNTO DE MEDICIÓN: Salida de la Planta de Tratamiento.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR REPORTADO	LÍMITES MÁXIMOS Y/O RANGOS	CONSECUENCIA
RANGO DE pH	Adim.	7,96 - 7,93	6,0 - 9,0	CUMPLE
A. Y G. VEG. Y ANIMALES	mg/L	2	20	CUMPLE
A. Y G. MIN. E HIDROCARBUROS	mg/L	<1	20	CUMPLE
CLORUROS	mg/L	65	1000	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	10	60	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	76	350	CUMPLE
DETERGENTES Y/O DISPERSANTES	mg/L	<0,01	2,0	CUMPLE
FÓSFORO TOTAL	mg/L	0,52	1,0	CUMPLE
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L	1,9	10	CUMPLE
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	<0,1	1,0	CUMPLE
SÓLIDOS FLOTANTES	Adim.	Ausente	Ausentes	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	11	80	CUMPLE
SULFATOS	mg/L	31	600	CUMPLE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	200	<1000	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	<200	<200	CUMPLE

Todos los parámetros analizados en la Salida de la Planta de Tratamiento, presentan valores inferiores a los límites y/o rangos establecidos en la Gaceta Oficial N° 5.305, Decreto N° 3.219, artículo 36.



APÉNDICE B

A continuación se presenta la metodología empleada para la realización de los análisis de laboratorio de los parámetros DQO, Cl^- y P

FREE CHLORINE

SPECIFICATIONS

Range 0.00 to 2.50 mg/L
Resolution 0.01 mg/L
Accuracy ± 0.03 mg/L $\pm 3\%$ of reading at 25 °C
Typical EMC ± 0.01 mg/L
Deviation
Light Source Tungsten lamp with narrow band interference filter @ 525 nm
Method Adaptation of the *EPA DPD method 800.5*. The reaction between free chlorine and the DPD reagent creates a pink tint in the sample.

REQUIRED REAGENTS

PONDER:

Code	Description	Quantity
HI 93701-3	DPD	1 packet

LIQUID:

Code	Description	Quantity
HI 93701A-F	DPD Indicator	3 drops
HI 93701B-F	DPD Buffer	3 drops

REAGENT SETS

HI 93701-F Reagents for 300 tests (liquid)
HI 93701-01 Reagents for 100 tests (powder)
HI 93701-03 Reagents for 300 tests (powder)
For other accessories see page 132.

MEASUREMENT PROCEDURE

- Select the *Free Chlorine* method using the procedure described in the *Method Selection* section (see page 12).
- Fill the cuvette with 10 mL of an unreacted sample (up to the mark) and replace the cap.
- Place the cuvette into the holder and close the lid.



Free Chlorine

Método de análisis del Cl

• Press the Zero key. The meter will show "0.0" when the meter is zeroed and ready for measurement.



• Remove the cuvette.

Powder reagent procedure

• Add the content of one packet of HI 93701 DPO reagent. Replace the cap and shake gently for 20 seconds (or 2 minutes for seawater analysis).



• Reinsert the cuvette into the instrument.

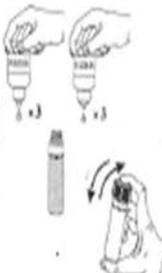


• Press Timer and the display will show the countdown prior to the measurement or, alternatively, wait for 1 minute and press Read. When the time ends the meter will perform the reading. The instrument displays the results in mg/L of free chlorine.



Liquid reagent procedure

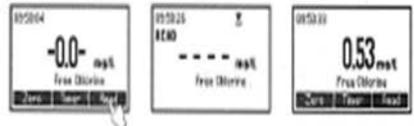
• To an empty cuvette add 3 drops of HI 93701A-F DPO1 indicator and 3 drops of HI 93701B-4 DPO1 buffer. Swirl gently to mix, and immediately add 10 mL of uncorrected sample. Replace the cap and shake gently again.



• Place the cuvette into the instrument.



• Press Read to start the reading. The instrument displays the results in mg/L of free chlorine.



INTERFERENCES

Interference may be caused by: Boron, Iodine, Oxide, Oxidized forms of Chlorine and Manganese. In case of water with hardness greater than 500 mg/L CaCO₃, shake the sample for approximately 2 minutes after adding the powder reagent. In case of water with alkalinity greater than 250 mg/L CaCO₃ or acidity greater than 150 mg/L CaCO₃, the color of the sample may develop only partially, or may rapidly fade. To resolve this, neutralize the sample with diluted HCl or NaOH.

Método de análisis del Cl

OXYGEN DEMAND, CHEMICAL HIGH RANGE

SPECIFICATIONS

Range 0 to 15000 mg/L COD
 Resolution 10 mg/L
 Accuracy $\pm 2\%$ @ 10000 mg/L
 Typical EMC ± 10 mg/L
 Deviation

Light Source Tungsten lamp with narrow band interference filter @ 610 nm
 Method Adaptation of the USEPA 410.4 approved method for the COD determination on surface waters and wastewaters. Oxidizable organic compounds reduce the dichromate ion (orange) to the chromic ion (green). The amount of chromic ion formed is determined.

REQUIRED REAGENTS

Description	Qty/test	Qty/set
Reagent Vial	1 vial	25 vials
Deionized Water	0.2 mL	optional

Note: Store the unused vials in their containers in a cool and dark place.

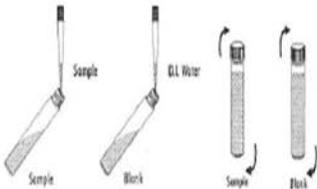
REAGENT SET
 HI 93754C-25 Reagents for up to 25 tests

REQUIRED ACCESSORIES
 HI 839800-01 Hanna reactor (115 VAC)
 HI 839800-02 Hanna reactor (230 VAC)
 HI 740216 Test tube cooling rack (25 holes)
 HI 740217 Laboratory bench safety shield
 For other accessories see page 132.

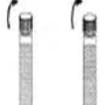
MEASUREMENT PROCEDURE

Before using the reagent kit carefully read all the instructions and the Material Safety Data Sheet (MSDS). Pay particular attention to all warnings, cautions and notes. Failure to do so may result in serious injury to the operator.

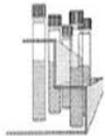
Reagent Blank Correction: This method requires a reagent blank correction. A single blank vial may be used more than once. The blank vial is stable for several months (room temperature). For most accurate measurement, run a blank for each set of measurements and always use the same lot of reagents for blank and samples.

- Choose a homogeneous sample. Samples containing settleable solids need to be homogenized with a blender.
- Preheat the Hanna Reactor HI 839800 to 150 °C (302 °F). For correct use of the reactor follow Reactor Instruction Manual. Use of the optional HI 740217 safety shield is strongly recommended. **DO NOT USE AN OVEN OR MICROWAVE** samples may leak and generate a corrosive and possibly explosive atmosphere.
- Remove the cap from two Reagent Vials.
 
- Add exactly 0.2 mL of sample to one vial (sample vial), and 0.2 mL of deionized water to the other vial (blank vial), while keeping the vials at a 45-degree angle. Replace the cap tightly and mix by inverting each vial a couple of times.
 

Warning: the vials will become very hot during mixing, be careful when handling them.

- Insert the vials into the reactor and heat them for 2 hours at 150°C.
 
- At the end of the digestion period switch off the reactor. Wait for twenty minutes to allow the vials to cool to about 120°C.
 
- Invert each vial several times while still warm, then place them in the test tube rack.
 

Warning: the vials are still hot, be careful when handling them.

- Leave the vials in the tube rack to cool to room temperature. Do not shake or invert them anymore otherwise the samples may become turbid.
 

Método de análisis del DQO

PHOSPHORUS

SPECIFICATIONS

Range 0.0 to 15.0 mg/L
 Resolution 0.1 mg/L
 Accuracy ± 0.3 mg/L $\pm 4\%$ of reading at 25 °C
 Typical EMC Dev. ± 0.2 mg/L
 Light Source Tungsten lamp with narrow band interference filter @ 525 nm
 Method Adaptation of the *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition*, Amino Acid method. The reaction between phosphate and reagents causes a blue tint in the sample.

REQUIRED REAGENTS

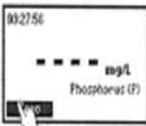
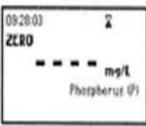
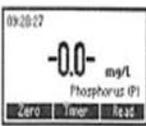
Code	Description	Quantity
HI 93706A-0	Molybdate	10 drops
HI 93706B-0	Amino Acid Powder	1 packet

REAGENT SETS

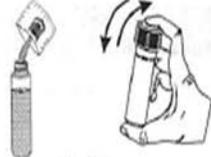
HI 93706-01 Reagents for 100 tests
 HI 93706-03 Reagents for 300 tests
 For other accessories see page 132.

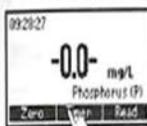
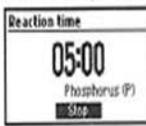
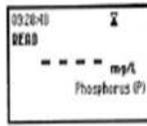
MEASUREMENT PROCEDURE

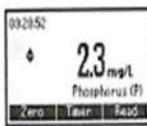
- Select the *Phosphorus* method using the procedure described in the *Method Selection* section (see page 12).
- Fill the cuvette with 10 mL of unreacted sample (up to the mark) and replace the cap. 
- Place the cuvette into the holder and close the lid. 
- Press the Zero key. The display will show "-0.0-" when the meter is zeroed and ready for measurement.

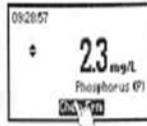
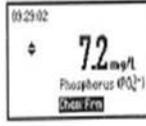
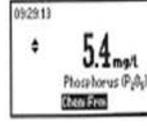
- Remove the cuvette.
- Add 10 drops of HI 93706A-0 Molybdate reagent. 

- Add the content of one packet of HI 93706B-0 Phosphorus Reagent B (Amino Acid) to the cuvette. Replace the cap and shake gently until completely dissolved. 
- Reinsert the cuvette into the instrument. 
- Press **Timer** and the display will show the countdown prior to the measurement or, alternatively, wait for 5 minutes and press **Read**. When the timer ends the meter will perform the reading. The instrument displays the results in mg/L of phosphorus (P).



- Press \blacktriangle or \blacktriangledown to access the second level functions.
- Press the Chem Frm key to convert the result in mg/L of phosphate (PO_4^{3-}) and phosphorus pentoxide (P_2O_5).

- Press \blacktriangle or \blacktriangledown to return to the measurement screen.

INTERFERENCES

Interference may be caused by:

- Sulfide
- Chloride above 150000 mg/L
- Calcium above 10000 mg/L as CaCO_3
- Magnesium above 40000 mg/L as CaCO_3
- Ferrous iron above 100 mg/L

Phosphorus
112
Phosphorus
113

Método de análisis del P



4-148

INORGANIC NONMETALS (4000)

TABLE 4500-P.1. PRECISION AND BIAS DATA FOR MANUAL PHOSPHORUS METHODS

Method	Phosphorus Concentration			No. of Laboratories	Relative Standard Deviation %	Relative Error %
	Orthophosphate $\mu\text{g/L}$	Polysphosphate $\mu\text{g/L}$	Total $\mu\text{g/L}$			
Vanadomolybdephosphoric acid	100			45	75.2	21.8
	600			43	19.6	10.5
	7000			44	8.6	5.4
Stannous chloride	100			45	25.5	28.7
	600			44	14.2	8.0
	7000			45	7.6	4.3
Ascorbic acid	100			3	9.1	10.0
	600			3	4.0	4.4
	7000			3	5.2	4.9
Acid hydrolysis + vanadomolybdephosphoric acid		80		37	106.8	7.4
		300		38	66.5	14.1
		3000		37	36.1	22.5
Acid hydrolysis + stannous chloride		80		39	60.1	12.5
		300		36	47.6	21.7
		3000		38	37.4	22.4
Persulfate + vanadomolybdephosphoric acid			210	32	55.8	1.8
			990	32	23.9	2.3
			10 230	31	6.5	0.3
Sulfuric-nitric acids + vanadomolybdephosphoric acid			210	23	65.6	20.0
			990	22	47.3	0.1
			10 230	20	7.0	0.4
Percbloric acid + vanadomolybdephosphoric acid			210	4	33.5	45.2
			990	5	20.3	2.8
			10 230	6	11.7	2.2
Persulfate + stannous chloride			210	29	28.1	4.0
			990	30	14.9	12.1
			10 230	29	11.5	4.3
Sulfuric-nitric acids + stannous chloride			210	20	30.8	1.2
			990	17	8.8	3.2
			10 230	19	7.5	0.4

the steps for analysis of individual phosphorus fractions. As indicated, determinations usually are conducted only on the unfiltered and filtered samples. Suspended fractions generally are determined by difference; however, they may be determined directly by digestion of the material retained on a glass-fiber filter.

3. Selection of Method

a. Digestion methods: Because phosphorus may occur in combination with organic matter, a digestion method to determine total phosphorus must be able to oxidize organic matter effectively to release phosphorus as orthophosphate. Three digestion methods are given in Section 4500-P.B.3, 4, and 5. The perchloric acid method, the most drastic and time-consuming method, is recommended only for particularly difficult samples such as sediments. The nitric acid-sulfuric acid method is recommended for most samples. By far the simplest method is the persulfate oxidation technique. Persulfate oxidation is coupled with ultraviolet light for a more efficient digestion in an automated in-line digestion/determination by flow injection analysis (4500-P.1).

The persulfate oxidation method in Section 4500-P.J renders a digestate that can be analyzed for both total nitrogen and total phosphorus. This procedure can be used for both parameters because it occurs over a broad pH range. During the initial stage of the digestion, sample pH is alkaline (pH > 12); during the final stage, sample pH becomes acidic. As a result, nitrogenous compounds are oxidized to nitrate and phosphorus compounds to orthophosphate.

Standard methods for the examination of water and wastewater



PHOSPHORUS (4500-P)/Sample Preparation 4-149

It is recommended that persulfate oxidation methods be checked against one or more of the more drastic digestion techniques and be adopted if identical recoveries are obtained.

b. Colorimetric method. Three methods of orthophosphate determination are described. Selection depends largely on the concentration range of orthophosphate. The vanadomolybdophosphoric acid method (C) is most useful for routine analysis in the range of 1 to 20 mg P/L. The stannous chloride method (D) or the ascorbic acid method (E) is more suited for the range of 0.01 to 6 mg P/L. An extraction step is recommended for the lower levels of this range and when interferences must be overcome. Automated versions of the ascorbic acid method (F, G, and H) also are presented. Careful attention to procedure may allow application of these methods to very low levels of phosphorus, such as those found in unimpaired fresh-water systems.

Ion chromatography (4110) and capillary ion electrophoresis (4140) are useful for determination of orthophosphate in undigested samples.

4. Precision and Bias

To aid in method selection, Table 4500-P-1 presents the results of various combinations of digestions, hydrolysis, and colorimetric techniques for three synthetic samples of the following compositions:

Sample 1: 100 µg orthophosphate phosphorus (PO_4^{3-} -P/L), 80 µg acid-hydrolyzable phosphate phosphorus/L (sodium hexametaphosphate), 30 µg organic phosphorus/L (adenylic acid), 1.5 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$, 0.5 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$, and 400 mg Cl^-/L .

Sample 2: 600 µg PO_4^{3-} -P/L, 300 µg acid-hydrolyzable phosphate phosphorus/L (sodium hexametaphosphate), 90 µg organic phosphorus/L (adenylic acid), 0.8 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$, 5.0 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$, and 400 mg Cl^-/L .

Sample 3: 7.00 mg PO_4^{3-} -P/L, 3.00 µg acid-hydrolyzable phosphate phosphorus/L (sodium hexametaphosphate), 0.230 mg organic phosphorus/L (adenylic acid), 0.20 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$, 0.05 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$, and 400 mg Cl^-/L .

5. Sampling and Storage

If dissolved phosphorus forms are to be differentiated, filter sample immediately after collection. Preserve by freezing at or below -10°C . In some cases 40 mg HgCl_2/L may be added to the samples, especially when they are to be stored for long periods before analysis. CAUTION: HgCl_2 is a hazardous substance; take appropriate precautions in disposal; use of HgCl_2 is not encouraged. Do not add either acid or CHCl_3 as a preservative when phosphorus forms are to be determined. If total phosphorus alone is to be determined, add H_2SO_4 or HCl to $\text{pH} < 2$ and cool to 4°C , or freeze without any additions.

Do not store samples containing low concentrations of phosphorus in plastic bottles unless kept in a frozen state because phosphates may be adsorbed onto the walls of plastic bottles.

Rinse all glass containers with hot dilute HCl , then rinse several times in reagent water. Never use commercial detergents containing phosphate for cleaning glassware used in phosphate analysis. More strenuous cleaning techniques may be used.

6. Bibliography

BLACK, C.A., D.D. EVANS, J.L. WHITE, L.E. BOESMINGER & F.E. CLARK, eds. 1965. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Soc. Agronomy, Madison, Wisc.

JENNINS, D. 1965. A study of methods suitable for the analysis and preservation of phosphorus forms in an estuarine environment. SERL Rep. No. 65-18, Sanitary Engineering Research Lab., Univ. California, Berkeley.

LEE, G.F. 1967. Analytical chemistry of plant nutrients. In Proc. Int. Conf. Eutrophication, Madison, Wisc.

FITZGERALD, G.P. & S.L. FAHEY. 1967. Effect of water sample preservation methods on the release of phosphorus from algae. *Limnol. Oceanogr.* 12:332.

4500-P B. Sample Preparation

For information on selection of digestion method (¶ 3 through 5 below), see 4500-P.A.3a.

1. Preliminary Filtration

Filter samples for determination of dissolved reactive phosphorus, dissolved acid-hydrolyzable phosphorus, and total dissolved phosphorus through $0.45\text{-}\mu\text{m}$ membrane filters. A glass fiber filter may be used to prefilter hard-to-filter samples.

Wash membrane filters by soaking in distilled water before use because they may contribute significant amounts of phosphorus to samples containing low concentrations of phosphate. Use one of two washing techniques: (a) soak 50 filters in 2 L distilled water for 24 h; (b) soak 50 filters in 2 L distilled water for 1 h, change distilled water, and soak filters an additional 3 h. Membrane filters also may be washed by running several 100-mL portions of distilled water through them. This procedure

requires more frequent determination of blank values to ensure consistency in washing and to evaluate different lots of filters.

2. Preliminary Acid Hydrolysis

The acid-hydrolyzable phosphorus content of the sample is defined operationally as the difference between reactive phosphorus as measured in the untreated sample and phosphine found after mild acid hydrolysis. Generally, it includes condensed phosphates such as pyro-, tripoly-, and higher-molecular-weight species such as hexametaphosphate. In addition, some natural waters contain organic phosphate compounds that are hydrolyzed to orthophosphate under the test conditions. Polyphosphates generally do not respond to reactive phosphorus tests but can be hydrolyzed to orthophosphate by boiling with acid.

After hydrolysis, determine reactive phosphorus by a colorimetric method (C, D, or E). Interferences, precision, bias, and sensitivity will depend on the colorimetric method used.

Standard methods for the examination of water and wastewater



4-150

INORGANIC NONMETALS (4000)

a. Apparatus:

Autoclave or pressure cooker, capable of operating at 98 to 137 kPa.

b. Reagents:

- 1) Phenolphthalein indicator aqueous solution.
- 2) Strong acid solution: Slowly add 300 mL conc H_2SO_4 to about 600 mL distilled water. When cool, add 4.0 mL conc HNO_3 and dilute to 1 L.
- 3) Sodium hydroxide, NaOH, 6N.

c. Procedure: To 100-mL sample or a portion diluted to 100 mL, add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator solution. If a red color develops, add strong acid solution dropwise, to just discharge the color. Then add 1 mL more.

Boil gently for at least 90 min, adding distilled water to keep the volume between 25 and 50 mL. Alternatively, heat for 30 min in an autoclave or pressure cooker at 98 to 137 kPa. Cool, neutralize to a faint pink color with NaOH solution, and restore to the original 100-mL volume with distilled water.

Prepare a calibration curve by carrying a series of standards containing orthophosphate (see colorimetric method C, D, or E) through the hydrolysis step. Do not use orthophosphate standards without hydrolysis, because the salts added in hydrolysis cause an increase in the color intensity in some methods.

Determine reactive phosphorus content of treated portions, using Method C, D, or E. This gives the sum of polyphosphate and orthophosphate in the sample. To calculate its content of acid-hydrolyzable phosphorus, determine reactive phosphorus in a sample portion that has not been hydrolyzed, using the same colorimetric method as for treated sample, and subtract.

3. Perchloric Acid Digestion

a. Apparatus:

- 1) Hot plate: A 30- × 50-cm heating surface is adequate.
- 2) Safety shield.
- 3) Safety goggles.
- 4) Erlenmeyer flask, 125-mL, acid-washed and rinsed with distilled water.

b. Reagents:

- 1) Nitric acid, HNO_3 , conc.
- 2) Perchloric acid, $HClO_4 \cdot 2H_2O$, purchased as 70 to 72% $HClO_4$, reagent-grade.
- 3) Sodium hydroxide, NaOH, 6N.
- 4) Methyl orange indicator solution.
- 5) Phenolphthalein indicator aqueous solution.

c. Procedure: CAUTION—Heated mixtures of $HClO_4$ and organic matter may explode violently. Avoid this hazard by taking the following precautions: (a) Do not add $HClO_4$ to a hot solution that may contain organic matter. (b) Always initiate digestion of samples containing organic matter with HNO_3 . Complete digestion using the mixture of HNO_3 and $HClO_4$. (c) Do not fume with $HClO_4$ in ordinary hoods. Use hoods especially constructed for $HClO_4$ fuming or a glass fume eradicator* connected to a water pump. (d) Never let samples being digested with $HClO_4$ evaporate to dryness.

Measure sample containing the desired amount of phosphorus (this will be determined by whether Method C, D, or E is to be

* GFS Chemical Co., Columbus, OH, or equivalent.

used) into a 125-mL erlenmeyer flask. Acidify to methyl orange with conc HNO_3 , add another 5 mL conc HNO_3 , and evaporate on a steam bath or hot plate to 15 to 20 mL.

Add 10 mL each of conc HNO_3 and $HClO_4$ to the 125-mL conical flask, cooling the flask between additions. Add a few boiling chips, heat on a hot plate, and evaporate gently until dense white fumes of $HClO_4$ just appear. If solution is not clear, cover neck of flask with a watch glass and keep solution barely boiling until it clears. If necessary, add 10 mL more HNO_3 to aid oxidation.

Cool digested solution and add 1 drop aqueous phenolphthalein solution. Add 6N NaOH solution until the solution just turns pink. If necessary, filter neutralized solution and wash filter liberally with distilled water. Make up to 100 mL with distilled water.

Determine the PO_4^{3-} -P content of the treated sample by Method C, D, or E.

Prepare a calibration curve by carrying a series of standard-containing orthophosphate (see Method C, D, or E) through digestion step. Do not use orthophosphate standards without treatment.

4. Sulfuric Acid-Nitric Acid Digestion

a. Apparatus:

1) Digestion rack: An electrically or gas-heated digestion rack with provision for withdrawal of fumes is recommended. Digestion racks typical of those used for micro-kjeldahl digestions are suitable.

2) Micro-kjeldahl flask.

b. Reagents:

- 1) Sulfuric acid, H_2SO_4 , conc.
- 2) Nitric acid, HNO_3 , conc.
- 3) Phenolphthalein indicator aqueous solution.
- 4) Sodium hydroxide, NaOH, 1N.

c. Procedure: Into a micro-kjeldahl flask, measure a sample containing the desired amount of phosphorus (this is determined by the colorimetric method used). Add 1 mL conc H_2SO_4 and 5 mL conc HNO_3 .

Digest to a volume of 1 mL and then continue until solution becomes colorless to remove HNO_3 .

Cool and add approximately 20 mL distilled water, 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator, and as much 1N NaOH solution as required to produce a faint pink tinge. Transfer neutralized solution, filtering if necessary to remove particulate material or turbidity, into a 100-mL volumetric flask. Add filter washings to flask and adjust sample volume to 100 mL with distilled water.

Determine phosphorus by Method C, D, or E, for which a separate calibration curve has been constructed by carrying standards through the acid digestion procedure.

5. Persulfate Digestion Method

a. Apparatus:

- 1) Hot plate: A 30- × 50-cm heating surface is adequate.
- 2) Autoclave: An autoclave or pressure cooker capable of developing 98 to 137 kPa may be used in place of a hot plate.
- 3) Glass scoop, to hold required amounts of persulfate crystals.

b. Reagents:

Standard methods for the examination of water and wastewater

PHOSPHORUS (4500-P)/Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method 4-151

1) *Phenolphthalein indicator aqueous solution.*
 2) *Sulfuric acid solution:* Carefully add 300 mL conc H_2SO_4 to approximately 600 mL distilled water and dilute to 1 L with distilled water.
 3) *Ammonium persulfate, $(NH_4)_2S_2O_8$, solid, or potassium persulfate, $K_2S_2O_8$, solid.*
 4) *Sodium hydroxide, NaOH, 1N.*
 c. *Procedure:* Use 50 mL or a suitable portion of thoroughly mixed sample. Add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator solution. If a red color develops, add H_2SO_4 solution dropwise to just discharge the color. Then add 1 mL H_2SO_4 solution and either 0.4 g solid $(NH_4)_2S_2O_8$ or 0.5 g solid $K_2S_2O_8$. Boil gently on a preheated hot plate for 30 to 40 min or until a final volume of 10 mL is reached. Organophosphorus compounds such as AMP may require as much as 1.5 to 2 h for complete digestion. Cool, dilute to 30 mL with distilled water, add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator solution, and neutralize to a faint pink color with NaOH. Alternatively, heat for 30 min in an autoclave or pressure cooker at 98 to 137 kPa. Cool, add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator solution, and neutralize to a faint pink color with NaOH. Make up to 100 mL with distilled water. In some samples a precipitate may form at this stage, but do not filter. For any subsequent subdividing of the sample, shake well. The precipitate (which is possibly a calcium phosphate) redissolves under the acid conditions of the colorimetric reactive phosphorus test. Determine phosphorus by Method C, D, or E, for which a separate calibration curve has been constructed by carrying standards through the persulfate digestion procedure.

5. Bibliography

LEE, G.F., N.L. CLISSOLD & G.P. FITZGERALD. 1955. Studies on the analysis of phosphates in algal cultures. *J. Air Water Pollut.* 9:715.
 SHANNON, J.B. & G.F. LEE. 1956. Hydrolysis of condensed phosphates in natural waters. *J. Air Water Pollut.* 10:735.
 GALES, M.E., JR., E.C. JULIAN & R.C. KROEGER. 1956. Method for quantitative determination of total phosphorus in water. *J. Amer. Water Works Assoc.* 58:1363.

4500-P C. Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method

1. General Discussion

a. *Principle:* In a dilute orthophosphate solution, ammonium molybdate reacts under acid conditions to form a heteropoly acid, molybdophosphoric acid. In the presence of vanadium, yellow vanadomolybdophosphoric acid is formed. The intensity of the yellow color is proportional to phosphate concentration.
 b. *Interference:* Positive interference is caused by silica and arsenate only if the sample is heated. Negative interferences are caused by arsenate, fluoride, thorium, bismuth, sulfide, thiosulfate, thiocyanate, or excess molybdate. Blue color is caused by ferrous iron but this does not affect results if ferrous iron concentration is less than 100 mg/L. Sulfide interference may be removed by oxidation with bromine water. Ions that do not interfere in concentrations up to 1000 mg/L are Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Li^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cd^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Hg^{2+} , Sr^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Ag^+ , U^{4+} , Zr^{4+} , AsO_4^{3-} , Br^- , CO_3^{2-} , ClO_4^- , CN^- , IO_3^- , SiO_4^{4-} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , pyrophosphate, molybdate, tetraborate, selenate, benzoate, citrate, oxalate, lactate, tartrate, formate, and salicylate. If HNO_3 is used in the test, Cl^- interferes at 75 mg/L.
 c. *Minimum detectable concentration:* The minimum detectable concentration is 200 μ g P/L in 1-cm spectrophotometer cells.

2. Apparatus

a. *Colorimetric equipment:* One of the following is required:
 1) *Spectrophotometer,* for use at 400 to 490 nm.
 2) *Filter photometer,* provided with a blue or violet filter exhibiting maximum transmittance between 400 and 470 nm. The wavelength at which color intensity is measured depends on sensitivity desired, because sensitivity varies tenfold with wavelengths 400 to 490 nm. Ferric iron causes interference at low wavelengths, particularly at 400 nm. A wavelength of 470 nm usually is used. Concentration ranges for different wavelengths are:

P Range mg/L	Wavelength nm
1.0-5.0	400
2.0-10	420
4.0-18	470

b. *Acid-washed glassware:* Use acid-washed glassware for determining low concentrations of phosphorus. Phosphate contamination is common because of its absorption on glass surfaces. Avoid using commercial detergents containing phosphate. Clean all glassware with hot dilute HCl and rinse well with distilled water. Preferably, reserve the glassware only for phosphate determination, and after use, wash and keep filled with water until needed. If this is done, acid treatment is required only occasionally.
 c. *Filtration apparatus and filter paper.**

3. Reagents

a. *Phenolphthalein indicator aqueous solution.*
 b. *Hydrochloric acid, HCl, 1 + 1, H_2SO_4 , $HClO_4$, or HNO_3* may be substituted for HCl. The acid concentration in the determination is not critical but a final sample concentration of 0.5N is recommended.
 c. *Activated carbon,†* Remove fine particles by rinsing with distilled water.

* Whatman No. 42 or equivalent.
 † Daxco G60 or equivalent.

Standard methods for the examination of water and wastewater



4-152 INORGANIC NONMETALS

d. Vanadate-molybdate reagent:

- 1) *Solution A:* Dissolve 25 g ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, in 300 mL distilled water.
- 2) *Solution B:* Dissolve 1.25 g ammonium metavanadate, NH_4VO_3 , by heating to boiling in 300 mL distilled water. Cool and add 330 mL conc HCl. Cool Solution B to room temperature, pour Solution A into Solution B, mix, and dilute to 1 L.
- e. Standard phosphate solution:* Dissolve in distilled water 219.5 mg anhydrous KH_2PO_4 and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 50.0 $\mu\text{g PO}_4^{3-}\text{-P}$.

4. Procedure

- a. Sample pH adjustment:* If sample pH is greater than 10, add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator to 50.0 mL sample and discharge the red color with 1 + 1 HCl before diluting to 100 mL.
- b. Color removal from sample:* Remove excessive color in sample by shaking about 50 mL with 200 mg activated carbon in an erlenmeyer flask for 5 min and filter to remove carbon. Check each batch of carbon for phosphate because some batches produce high reagent blanks.
- c. Color development in sample:* Place 35 mL or less of sample, containing 0.05 to 1.0 mg P, in a 50-mL volumetric flask. Add 10 mL vanadate-molybdate reagent and dilute to the mark with distilled water. Prepare a blank in which 35 mL distilled water is substituted for the sample. After 10 min or more, measure absorbance of sample versus a blank at a wavelength of 400 to 490 nm, depending on sensitivity desired (see ¶ 2a above). The color is stable for days and its intensity is unaffected by variation in room temperature.
- d. Preparation of calibration curve:* Prepare a calibration curve by using suitable volumes of standard phosphate solution and proceeding as in ¶ 4c. When ferric ion is low enough not to interfere, plot a family of calibration curves of one series of standard solutions for various wavelengths. This permits a wide latitude of concentrations in one series of determinations. Analyze at least one standard with each set of samples.

5. Calculation

$$\text{mg P/L} = \frac{\text{mg P (in 50 mL final volume)} \times 1000}{\text{mL sample}}$$

6. Precision and Bias

See Table 4500-P.1.

7. Bibliography

KRISON, R.E. & M.G. MELLON. 1944. Colorimetric determination of phosphorus as molybdovanadophosphoric acid. *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 16:379.

BOLTZ, D.F. & M.G. MELLON. 1947. Determination of phosphorus, germanium, silicon, and arsenic by the heteropoly blue method. *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 19:873.

GREENBERG, A.E., L.W. WENNINGTON & C.N. SAWYER. 1950. Chloride nitrite interference in colorimetric determination of phosphorus. *Anal. Chem.* 22:499.

YOUNG, R.S. & A. COLLEGE. 1950. Determination of hexavalent phosphate in water after threshold treatment. *Ind. Chem.* 26:12.

GRISWOLD, B.L., F.L. HUMMELER & A.R. McDIYER. 1951. Inorganic phosphates and phosphate esters in tissue extracts. *Anal. Chem.* 23:192.

BOLTZ, D.F., ed. 1958. *Colorimetric Determination of Nonmetals*. Interscience Publishers, New York, N.Y.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1958. Committee report. Determination of orthophosphate, hydrolyzable phosphate, and total phosphate in surface waters. *J. Amer. Water Works Assoc.* 50: 10-14.

JACKSON, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

ANDROT, D.C., G.E. EMMERS & J.R. HARRIS. 1963. A method for determining orthophosphate in water. *Analyst* 88:814.

PROBT, G. 1964. Determination of total phosphorus in water and waste water as molybdovanadophosphoric acid. *Limnologica* 2:207.

4500-P D. Stannous Chloride Method

1. General Discussion

- a. Principle:* Molybdophosphoric acid is formed and reduced by stannous chloride to intensely colored molybdenum blue. This method is more sensitive than Method C and makes feasible measurements down to 7 $\mu\text{g P/L}$ by use of increased light path length. Below 100 $\mu\text{g P/L}$ an extraction step may increase reliability and lessen interference.
- b. Interference:* See Section 4500-P.C.1b.
- c. Minimum detectable concentration:* The minimum detectable concentration is about 3 $\mu\text{g P/L}$. The sensitivity at 0.3010 absorbance is about 10 $\mu\text{g P/L}$ for an absorbance change of 0.009.

2. Apparatus

The same apparatus is required as for Method C, except that a pipetting bulb is required for the extraction step. Set spectrophotometer at 625 nm in the measurement of benzene-isobutanol ex-

tracts and at 690 nm for aqueous solutions. If the instrument is not equipped to read at 690 nm, use a wavelength of 650 nm for aqueous solutions, with somewhat reduced sensitivity and precision.

3. Reagents

- a. Phenolphthalein indicator aqueous solution.*
- b. Strong-acid solution:* Prepare as directed in Section 4500-P.B.2b2).
- c. Ammonium molybdate reagent I:* Dissolve 25 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ in 175 mL distilled water. Cautiously add 280 mL conc H_2SO_4 to 400 mL distilled water. Cool, add molybdate solution, and dilute to 1 L.
- d. Stannous chloride reagent I:* Dissolve 2.5 g free $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in 100 mL glycerol. Heat in a water bath and stir with a glass rod to hasten dissolution. This reagent is stable and requires neither preservatives nor special storage.
- e. Standard phosphate solution:* Prepare as directed in Section 4500-P.C.3e.

Standard methods for the examination of water and wastewater

PHOSPHORUS (4500-P) Ascorbic Acid Method 4-153

f. Reagents for extraction:

- 1) *Benzene-isobutanol solvent:* Mix equal volumes of benzene and isobutyl alcohol. (CAUTION—This solvent is highly flammable.)
- 2) *Ammonium molybdate reagent II:* Dissolve 40.1 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ in approximately 500 mL distilled water. Slowly add 396 mL ammonium molybdate reagent I. Cool and dilute to 1 L.
- 3) *Alcoholic sulfuric acid solution:* Cautiously add 20 mL conc H_2SO_4 to 980 mL methyl alcohol with continuous mixing.
- 4) *Dilute stannous chloride reagent II:* Mix 8 mL stannous chloride reagent I with 50 mL glycerol. This reagent is stable for at least 6 months.

4. Procedure

a. Preliminary sample treatment: To 100 mL sample containing not more than 200 μg P and free from color and turbidity, add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator. If sample turns pink, add strong acid solution dropwise to discharge the color. If more than 0.25 mL (5 drops) is required, take a smaller sample and dilute to 100 mL with distilled water after first discharging the pink color with acid.

b. Color development: Add, with thorough mixing after each addition, 4.0 mL molybdate reagent I and 0.5 mL (10 drops) stannous chloride reagent I. Rate of color development and intensity of color depend on temperature of the final solution, each 1°C increase producing about 1% increase in color. Hence, hold samples, standards, and reagents within 2°C of one another and in the temperature range between 20 and 30°C .

c. Color measurement: After 10 min, but before 12 min, using the same specific interval for all determinations, measure color photometrically at 690 nm and compare with a calibration curve, using a distilled water blank. Light path lengths suitable for various concentration ranges are as follows:

Approximate P Range mg/L	Light Path cm
0.3–2	0.5
0.1–1	2
0.007–0.2	10

Always run a blank on reagents and distilled water. Because the color at first develops progressively and later fades, maintain equal timing conditions for samples and standards. Prepare at least one standard with each set of samples or once each day that tests are made. The calibration curve may deviate from a straight line at the upper concentrations of the 0.3 to 2.0-mg/L range.

d. Evacuation: When increased sensitivity is desired or interferences must be overcome, extract phosphate as follows: Pipet a 40-mL sample, or one diluted to that volume, into a 125-mL separatory funnel. Add 50.0 mL benzene-isobutanol solvent and 15.0 mL molybdate reagent II. Close funnel at once and shake vigorously for exactly 15 s. If condensed phosphate is present, any delay will increase its conversion to orthophosphate. Remove stopper and withdraw 25.0 mL of separated organic layer, using a pipet with safety bulb. Transfer to a 50-mL volumetric flask, add 15 to 16 mL alcoholic H_2SO_4 solution, swirl, add 0.50 mL (10 drops) dilute stannous chloride reagent II, swirl, and dilute to the mark with alcoholic H_2SO_4 . Mix thoroughly. After 10 min, but before 30 min, read against the blank at 625 nm. Prepare blank by carrying 40 mL distilled water through the same procedure used for the sample. Read phosphate concentration from a calibration curve prepared by taking known phosphate standards through the same procedure used for samples.

5. Calculation

Calculate as follows:

a. Direct procedure:

$$\text{mg P/L} = \frac{\text{mg P (in approximately 104.5 mL final volume)} \times 1000}{\text{mL sample}}$$

b. Extraction procedure:

$$\text{mg P/L} = \frac{\text{mg P (in 50 mL final volume)} \times 1000}{\text{mL sample}}$$

6. Precision and Bias

See Table 4500-P-1.

4500-P E. Ascorbic Acid Method

1. General Discussion

a. Principle: Ammonium molybdate and antimony potassium tartrate react in acid medium with orthophosphate to form a heteropoly acid—phosphomolybdic acid—that is reduced to intensely colored molybdenum blue by ascorbic acid.

b. Interference: Arsenates react with the molybdate reagent to produce a blue color similar to that formed with phosphate. Concentrations as low as 0.1 mg As/L interfere with the phosphate determination. Hexavalent chromium and NO_2^- interfere to give results about 3% low at concentrations of 1 mg/L and 10 to 15% low at 10 mg/L. Sulfide (Na_2S) and silicate do not interfere at concentrations of 1.0 and 10 mg/L.

c. Minimum detectable concentration: Approximately 10 μg P/L. P ranges are as follows:

Standard methods for the examination of water and wastewater



4-154

INORGANIC NONMETALS 4500

Approximate P Range µg/L	Light Path cm
0.30-2.0	0.5
0.15-1.30	1.0
0.01-0.25	5.0

2. Apparatus

a. Colorimetric equipment: One of the following is required:

- 1) *Spectrophotometer*, with infrared photocube for use at 880 nm, providing a light path of 2.5 cm or longer.
- 2) *Filter photometer*, equipped with a red color filter and a light path of 0.5 cm or longer.

b. Acid-washed glassware: See Section 4500-P.C.2b.

3. Reagents

a. Sulfuric acid, H₂SO₄, 5N: Dilute 70 mL conc H₂SO₄ to 500 mL with distilled water.

b. Antimony potassium tartrate solution: Dissolve 1.3715 g K(SbO)C₄H₄O₆ · ½H₂O in 400 mL distilled water in a 500-mL volumetric flask and dilute to volume. Store in a glass-stoppered bottle.

c. Ammonium molybdate solution: Dissolve 20 g (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O in 500 mL distilled water. Store in a glass-stoppered bottle.

d. Ascorbic acid, 0.1M: Dissolve 1.76 g ascorbic acid in 100 mL distilled water. The solution is stable for about 1 week at 4°C.

e. Combined reagent: Mix the above reagents in the following proportions for 100 mL of the combined reagent: 50 mL 5N H₂SO₄, 5 mL antimony potassium tartrate solution, 15 mL ammonium molybdate solution, and 30 mL ascorbic acid solution. *Mix after addition of each reagent.* Let all reagents reach room temperature before they are mixed and mix in the order given. If turbidity forms in the combined reagent, shake and let stand for a few minutes until turbidity disappears before proceeding. The reagent is stable for 4 h.

f. Stock phosphate solution: See Section 4500-P.C.3e.

g. Standard phosphate solution: Dilute 50.0 mL stock phosphate solution to 1000 mL with distilled water; 1.00 mL = 2.50 µg P.

4. Procedure

a. Treatment of sample: Pipet 50.0 mL sample into a clean test tube or 125-mL erlenmeyer flask. Add 0.05 mL of 20-g phosphothalein indicator. If a red color develops add 5 N H₂SO₄ solution dropwise to just discharge the color. Add 8.0 mL combined reagent and mix thoroughly. After at least 10 min but no more than 30 min, measure absorbance of each sample at 880 nm, using reagent blank as the reference solution.

b. Correction for turbidity or interfering color: Natural color of water generally does not interfere at the high wavelength used. For highly colored or turbid waters, prepare a blank by adding all reagents except ascorbic acid and antimony potassium tartrate to the sample. Subtract blank absorbance from absorbance of each sample.

c. Preparation of calibration curve: Prepare individual calibration curves from a series of six standards within the phosphate ranges indicated in ¶ 1c above. Use a distilled water blank with the combined reagent to make photometric readings for the calibration curve. Plot absorbance vs. phosphate concentration to give a straight line passing through the origin. Test at least one phosphate standard with each set of samples.

5. Calculation

$$\text{mg P/L} = \frac{\text{mg P (in approximately 50 mL final volume)} \times 1000}{\text{mL sample}}$$

6. Precision and Bias

The precision and bias values given in Table 4500-P.1 are for a single-solution procedure given in the 13th edition. The present procedure differs in reagent-to-sample ratios, no addition of solvent, and acidity conditions. It is superior in precision and bias to the previous technique in the analysis of both distilled water and river water at the 228-µg P/L level (Table 4500-P.11).

7. References

1. EDWARDS, G.P., A.H. MOLDF & R.W. SCHWEMER, 1965. Determination of orthophosphate in fresh and saline waters. *J. Amer. Water Works Assoc.* 57:917.

TABLE 4500-P.11. COMPARISON OF PRECISION AND BIAS OF ASCORBIC ACID METHODS

Ascorbic Acid Method	Phosphorus Concentration, Dissolved Orthophosphate µg/L	No. of Laboratories	Relative Standard Deviation %		Relative Error %	
			Distilled Water	River Water	Distilled Water	River Water
13th Edition ¹	228	8	3.87	2.17	4.01	2.08
Current method ²	228	8	3.03	1.75	2.38	1.39

Standard methods for the examination of water and wastewater

4500-P/US (4500-P)/Automated Ascorbic Acid Reduction Method 4-155

MURPHY, J. & J. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31.

STROGILANS, J.D.H. & T.R. PARSONS. 1965. A Method of Sea Water Analysis, 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

Bibliography

CHEN, C. & C.M. BACA. 1961. Modified stannous chloride reagent for orthophosphate determination. *J. Amer. Water Works Assoc.* 53: 1031.

4500-P F. Automated Ascorbic Acid Reduction Method

General Discussion

a. Principle: Ammonium molybdate and antimony potassium tartrate react with orthophosphate in an acid medium to form an antimony-phosphomolybdate complex, which, on reduction with ascorbic acid, yields an intense blue color suitable for photometric measurement.

b. Interference: As much as 50 mg Fe³⁺/L, 10 mg Cu/L, and 1 mg SiO₂/L can be tolerated. High silica concentrations cause negative interference.

In terms of phosphorus, the results are high by 0.005, 0.015, and 0.25 mg/L for silica concentrations of 20, 50, and 100 mg/L, respectively. Salt concentrations up to 20% (w/v) cause an error of less than 1%. Arsenite (AsO₃³⁻) is a positive interference. Eliminate interference from NO₂⁻ and S²⁻ by adding an excess of bromine water or a saturated potassium permanganate (KMnO₄) solution. Remove interfering turbidity by filtration before analysis. Filter samples for total or total hydrolyzable phosphorus only after digestion. Sample color that absorbs in the photometric range used for analysis also will interfere. See also Section 4500-P.E.1b.

c. Application: Orthophosphate can be determined in potable, surface, and saline waters as well as domestic and industrial wastewaters over a range of 0.001 to 10.0 mg P/L when photometric measurements are made at 650 to 660 or 880 nm in a 15-mm or 50-mm tubular flow cell. Determine higher concentrations by diluting sample. Although the automated test is designed for orthophosphate only, other phosphorus compounds can be converted to this reactive form by various sample pretreatments described in Section 4500-P.B.1, 2, and 5.

2. Apparatus

a. Automated analytical equipment: An example of the continuous-flow analytical instrument consists of the interchangeable components shown in Figure 4500-P:2. A flow cell of 15 or 50 mm and a filter of 650 to 660 or 880 nm may be used.

b. Hot plate or autoclave.

c. Acid-washed glassware: See Section 4500-P.C.2b.

3. Reagents

a. Antimony potassium tartrate solution: Dissolve 0.3 g K(SbO)C₄H₄O₆ · 5H₂O in approximately 50 mL distilled water and dilute to 100 mL. Store at 4°C in a dark, glass-stoppered bottle.

b. Ammonium molybdate solution: Dissolve 4 g (NH₄)₂Mo₇O₂₄ · 4H₂O in 100 mL distilled water. Store in a plastic bottle at 4°C.

c. Ascorbic acid solution: See Section 4500-P.E.3d.

d. Combined reagent: See Section 4500-P.E.3e.

e. Dilute sulfuric acid solution: Slowly acid 140 mL conc H₂SO₄ to 600 mL distilled water. When cool, dilute to 1 L.

f. Ammonium persulfate, (NH₄)₂S₂O₈, crystalline.

g. Phenolphthalein indicator aqueous solution.

h. Stock phosphate solution: Dissolve 439.3 mg anhydrous KH₂PO₄, dried for 1 h at 105°C, in distilled water and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 100 µg P.

i. Intermediate phosphate solution: Dilute 100.0 mL stock phosphate solution to 1000 mL with distilled water; 1.00 mL = 10.0 µg P.

j. Standard phosphate solutions: Prepare a suitable series of standards by diluting appropriate volumes of intermediate phosphate solution.

4. Procedure

Set up manifold as shown in Figure 4500-P:2 and follow the

Standard methods for the examination of water and wastewater

4-156

INORGANIC CHEMISTRY

Add 0.05 mL (1 drop) phenolphthalein indicator solution to approximately 50 mL sample. If a red color develops, add H₂SO₄ (1.3e) dropwise to just discharge the color.

5. Calculation

Prepare standard curves by plotting response of standards processed through the manifold against P concentration in standards. Compute sample P concentration by comparing sample response with standard curve.

6. Precision and Bias

Six samples were analyzed in a single laboratory in septuplicate. At an average PO₄³⁻ concentration of 0.340 mg/L, the average deviation was 0.015 mg/L. The coefficient of variation was 6.2%. In two samples with added PO₄³⁻, recoveries were 88% and 96%.

7. Bibliography

HANSEN, A. 1966. An automatic method for determining orthophosphate in sewage and highly polluted waters. *Anal. Chem.* 38:1000-1002.

LOMBG, L.B. & R.L. BOONE. 1973. Evaluation of the AutoAnalyzer 3. In progress report. In *Advances in Automated Analysis*, Proceedings of the International Congress, Vol. 8, p. 7. Mediad, Inc., Toronto, Ontario.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1979. Methods for the determination of metals in environmental samples. EPA-600/4-79-020. National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. MDQARL. 1978. Methods for the determination of metals in environmental samples. EPA-600/4-78-020. National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio.

4500-P G. Flow Injection Analysis for Orthophosphate

1. General Discussion

a. Principle: The orthophosphate ion (PO₄³⁻) reacts with ammonium molybdate and antimony potassium tartrate under acidic conditions to form a complex. This complex is reduced with ascorbic acid to form a blue complex that absorbs light at 880 nm. The absorbance is proportional to the concentration of orthophosphate in the sample.

Also see Sections 4500-P.A, B, and F, and Section 4130, Flow Injection Analysis (FIA).

b. Interferences: Remove large or fibrous particulates by filtering sample through glass wool. Guard against contamination from reagents, water, glassware, and the sample preservation process. Silica forms a pale blue complex that also absorbs at 880 nm. This interference is generally insignificant because a silica concentration of approximately 30 mg/L would be required to produce a 0.005 mg P/L positive error in orthophosphate. Concentrations of ferric iron greater than 50 mg/L cause a negative error due to competition with the complex for the reducing agent ascorbic acid. Treat samples high in iron with sodium disulfite to eliminate this interference, as well as the interference due to arsenates. Glassware contamination is a problem in low-level phosphorus determinations. Wash glassware with hot dilute HCl and rinse with reagent water. Commercial detergents are rarely needed but, if they are used, use special phosphate-free preparations. Also see Section 4500-P.F.

2. Apparatus

Flow injection analysis equipment consisting of:

a. FIA injection valve with sample loop or equivalent.

b. Multichannel proportioning pump.

c. FIA manifold (Figure 4500-P:3) with tubing heater and flow cell. Relative flow rates only are shown in Figure 4500-P:3. Tubing volumes are given as an example only; they may be scaled down proportionally. Use manifold tubing of an inert material such as TFE.

d. Absorbance detector, 880 nm, 10-nm bandpass.

e. Injection valve control and data acquisition system.

3. Reagents

Use reagent water (>10 megohm) to prepare carrier and all solutions. To prevent bubble formation, degas carrier and buffer with helium. Pass He at 140 kPa (20 psi) through a helium degassing line. Bubble He through 1 L solution for 1 min. As an alternative to preparing reagents by weight/weight, use weight/volume.

a. Stock ammonium molybdate solution: To a tared 500 mL container add 40.0 g ammonium molybdate tetrahydrate [(NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O] and 983 g water. Mix with a magnetic stirrer for at least 4 h. Store in plastic and refrigerate.

b. Stock antimony potassium tartrate solution: To a tared 500 mL container add 3.0 g antimony potassium tartrate (potassium antimonyl tartrate hemihydrate), K(SbO)₃C₄H₄O₆ · 1/2H₂O, and 995 g water. Mix with a magnetic stirrer until dissolved. Store in a dark bottle and refrigerate.

c. Working molybdate color reagent: To a tared 1-L container add 680 g water, then add 64.4 g conc sulfuric acid. Caution: This solution becomes very hot! Swirl to mix. When mixture can be handled comfortably, add 213 g stock ammonium molybdate.

Figure 4500-P:3. FIA orthophosphate manifold.

Standard methods for the examination of water and wastewater



PHOSPHORUS (4500-P) Flow Injection Analysis for Orthophosphate 4-157

TABLE 4500-P.III. RESULTS OF SINGLE-LABORATORY STUDIES WITH SELECTED MATRICES

Matrix	Sample/Blank Designation	Known Addition mg P/L	Recovery %	Relative Standard Deviation %
Wastewater treatment plant influent	Reference sample*	—	101	—
	Blank†	0.05	96	—
		0.1	95	—
	Site A‡§	0	—	0.7
		0.05	98	—
		0.1	101	—
	Site B‡§	0	—	5
		0.05	75	—
		0.1	91	—
	Site C‡§	0	—	0.6
		0.05	88	—
		0.1	97	—
Wastewater treatment plant effluent	Reference sample*	—	100	—
	Blank†	0.05	96	—
		0.1	96	—
	Site A‡§	0	—	0.7
		0.05	94	—
		0.1	96	—
	Site B‡§	0	—	0.3
		0.05	94	—
		0.1	99	—
	Site C‡§	0	—	0.5
		0.05	109	—
		0.1	107	—
Landsfill leachate	Reference sample*	—	98	—
	Blank†	0.05	94	—
		0.1	95	—
	Site A‡§	0	—	0.9
		0.05	105	—
		0.1	106	—
	Site B‡§	0	—	6.7
		0.05	89	—
		0.1	94	—
	Site C‡§	0	—	0.9
		0.05	110	—
		0.1	109	—

* U.S. EPA QC sample, 0.109 mg P/L.
 † Determined in duplicate.
 ‡ Samples without known additions determined four times; samples with known additions determined in duplicate.
 § Sample dilutions: A - 5-fold; B - 100-fold; C - 10-fold. Typical relative difference between duplicates 0.5%.
 ¶ Sample dilutions: A - 5-fold; B - 20-fold; C - 10-fold. Typical relative difference between duplicates 0.5%.
 †† Sample dilutions: A - 20-fold; B - 10-fold; C - 20-fold. Typical relative difference between duplicates 1%.

4. Procedure
 Set up a manifold equivalent to that in Figure 4500-P.3 and follow method supplied by manufacturer or laboratory standard operating procedure. Use quality control protocols outlined in Section 4020.

5. Calculations
 Prepare standard curves by plotting absorbance of standards processed through the manifold versus orthophosphate concentration. The calibration curve is linear.

6. Precision and Bias
 a. Recovery and relative standard deviation: Table 4500-P.III gives results of single-laboratory studies.
 b. MDL: A 700- μ L sample loop was used in the method described above. Using a published MDL method,¹ analysis ran 21 replicates of a 5.0- μ g P/L standard. These gave a mean of 5.26 μ g P/L, a standard deviation of 0.264 μ g P/L, and MDL of 0.67 μ g P/L.

7. Reference
 1. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1984. Definition and procedure for the determination of method detection limits. Appendix B to 40 CFR 136 Rev. 1.11 amended June 30, 1986. 49 CFR 43430.

Standard methods for the examination of water and wastewater

4-158 INORGANIC NONMETALS (400)

4500-P H. Manual Digestion and Flow Injection Analysis for Total Phosphorus

1. General Discussion

a. Principle: Polyphosphates are converted to the orthophosphate form by a sulfuric acid digestion and organic phosphorus is converted to orthophosphate by a persulfate digestion. When the resulting solution is injected onto the manifold, the orthophosphate ion (PO_4^{3-}) reacts with ammonium molybdate and antimony potassium tartrate under acidic conditions to form a complex. This complex is reduced with ascorbic acid to form a blue complex that absorbs light at 880 nm. The absorbance is proportional to the concentration of total phosphorus in the sample.

See Section 4500-P.A for a discussion of the various forms of phosphorus found in waters and wastewaters, Section 4500-P.B for a discussion of sample preparation and digestion, and Section 4130, Flow Injection Analysis (FIA).

b. Interferences: See 4500-P.G.1b.

2. Apparatus

Digestion and flow injection analysis equipment consisting of:

- Hotplate or autoclave.
- FIA injection valve with sample loop or equivalent.
- Multichannel proportioning pump.
- FIA manifold (Figure 4500-P-4) with tubing heater and flow cell. Relative flow rates only are shown in Figure 4500-P-4. Tubing volumes are given as an example only; they may be scaled down proportionally. Use manifold tubing of an inert material such as TFE.

3. Reagents

Use reagent water (>10 megohm) for all solutions. To prevent bubble formation, degas carrier and buffer with helium. Pass He at 140 kPa (20 psi) through a helium degassing tube. Bubble He

through 1 L solution for 1 min. As an alternative to preparing reagents by weight/weight, use weight/volume.

Prepare reagents listed in 4500-P.G.3a, b, d, e, and f, and in addition:

- Sulfuric acid carrier, H_2SO_4 , 0.13M:* To a tared 1-L container add 993 g water, then add 13.3 g conc H_2SO_4 . Shake carefully to mix. Degas daily. Prepare fresh weekly.
- Molybdate color reagent:* To a tared 1-L container add 694 g water, then add 38.4 g conc H_2SO_4 . CAUTION: The solution becomes very hot! Swirl to mix. When mixture can be handled comfortably, add 72.0 g stock antimony potassium tartrate (¶ G.3b) and 213 g stock ammonium molybdate (¶ G.3a). Shake to mix, and degas.

4. Procedure

See Section 4500-P.B.4 or 5 for digestion procedures. Carry both standards and samples through the digestion. The resulting solutions should be about 0.13M in sulfuric acid to match the concentration of the carrier. If the solutions differ more than 10% from this concentration, adjust concentration of carrier's sulfuric acid to match that of digested samples.

Set up a manifold equivalent to that in Figure 4500-P-4 and analyze digested samples and standards by following method supplied by manufacturer or laboratory's standard operating procedure. Use quality control protocols outlined in Section 4020.

5. Calculations

Prepare standard curves by plotting absorbance of standards processed through the manifold versus phosphorus concentration. The calibration curve is linear.

6. Precision and Bias

- MDL:* A 780- μL sample loop was used in the method described above. Using a published MDL method,¹ analysts ran 21 replicates of a 3.5- μg P/L standard. These gave a mean of 3.53 μg P/L, a standard deviation of 0.82 μg P/L, and MDL of 2.0 μg P/L. The MDL is limited mainly by the precision of the digestion.
- Precision study:* Ten injections of a 100.0- μg P/L standard gave a percent relative standard deviation of 0.3%.

7. Reference

- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1984, Definition and procedure for the determination of method detection limits. Appendix B to 40 CFR 136 Rev. 1.11 amended June 30, 1996, 49 CFR 43430.

Figure 4500-P-4. FIA total phosphorus manifold.

Standard methods for the examination of water and wastewater



APÉNDICE C

A continuación se presentan los cálculos típicos realizados durante la elaboración de la investigación



CÁLCULOS TÍPICOS

C.1. Cálculo del porcentaje de remoción del parámetro P

Para calcular el porcentaje de remoción de fósforo, se utilizaron como datos el registro de mayor valor del fósforo antes de la implementación de las plantas y el registro del mínimo valor del fósforo después de la implementación de las plantas.

$$\% = \left(\frac{2,0 - 0,5}{2} \right) * 100\% \text{ (VII)}$$

$$\% = 75$$

Donde:

% = porcentaje de remoción.

C.2. Cálculo del porcentaje de disminución semanal del parámetro P antes y después de implementar las plantas acuáticas vasculares

Se calculó tomando como datos los valores semanales presentados en las Tablas 4.4. y Tabla 4.5, utilizando la ecuación (VII).

Ejemplo:

Semana 1 , Agua tratada (antes): 2 mg/L

Semana 1, Agua tratada (después): 1 mg/L

$$\% = \left(\frac{2,0 - 1,0}{2,0} \right) * 100\%$$

$$\% = 50$$



Donde:

% = porcentaje de remoción.

C.3. Cálculo de los costos de la implementación de las plantas acuáticas vasculares

De la ecuación (IV) se obtiene, y extrayendo el costo individual del Capítulo IV, de la sección 4.4.1., se puede obtener el costo total:

$$\text{Costo}_i = \text{Costo por servicio de mantenimiento}$$

$$\text{Costo}_i = 2000 \text{ BsF.}$$

C.4. Cálculo de los ingresos

De la ecuación (VI) se puede calcular:

$$\text{Ingresos} = \text{Cantidad} * \text{Precio}$$

Teniendo como precio aproximado, 9 BsF de cada L producido mensualmente por la empresa y como cantidad producida 15 millones de L al mes, se sustituyen estos valores en la ecuación (VI) y se obtiene que :

$$\text{Ingresos} = 15.000 * 9 \text{ BsF} = 135.000 \text{ BsF.}$$

Mensualmente existe un ingreso de 135 millones de BsF mensuales.

C.5. Cálculo de los beneficios

De la ecuación (V) se puede obtener:

$$\text{Beneficios} = \text{Ingresos} - \text{Costos}$$



$$\text{Beneficios} = 135\,000 \text{ BsF.} - 2\,000 \text{ BsF.}$$

$$\text{Beneficios} = 133\,000 \text{ BsF.}$$

C.6 Relación costo – beneficio

Se calcula dividiendo los beneficios entre los costos.

$$\frac{B}{C} = \frac{133.000 \text{BsF}}{2000 \text{BsF}} \text{ (VIII)}$$

$$\frac{B}{C} = 66,5$$

Donde:

B : beneficios

C: costos

B/C = relación costo – beneficio.



APÉNDICE D

En este apéndice se presentan decretos a partir de los cuales se rige la investigación



D.1. Decreto N° 3219

**NORMAS PARA LA CLASIFICACION Y EL CONTROL DE LA
CALIDAD DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA**

Gaceta Oficial N° 5305 Extraordinario del 1° de febrero de 1999

Decreto N° 3219

13 de enero de 1999

RAFAEL CALDERA
PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

En ejercicio de la atribución que le confiere el artículo 190, ordinal 10 de la
Constitución y de conformidad con lo establecido en los artículos 19, 20 y 21 de la Ley
Orgánica del Ambiente, 5 y 6 del Dec
publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 Extraordinario de
fecha 18 de diciembre de 1995, en Consejo de Ministros,

CONSIDERANDO

Que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y la
regulación de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes
líquidos capaces de degradar el medio acuático y alterar los niveles aptos, exigibles,
para preservar y mejorar el ambiente.



CONSIDERANDO

Que la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente, a través del grupo técnico designado para tal fin, ha realizado una cuidadosa revisión de la situación de los cuerpos de agua considerados prioritarios para su manejo y control, estableciendo una jerarquización y encontrando que la cuenca del Lago de Valencia, debido a sus condiciones de desarrollo industrial y poblacional y al hecho de constituir el propio lago una cuenca endorreica y de inmenso potencial en cuanto al uso que pueda asignársele, debe ser objeto de una regulación técnico-normativa especial, que garantice adecuadamente la calidad de sus aguas,

CONSIDERANDO

Que existe la suficiente información técnica para abordar con rigor científico el diseño de normas para la clasificación de las aguas y el control de vertidos líquidos y llevar a cabo un plan maestro de manejo de la calidad y del nivel de las aguas en la cuenca del Lago de Valencia,

CONSIDERANDO

Que el crecimiento poblacional e industrial en la cuenca ha incrementado la demanda de agua para uso doméstico e industrial, la cual debe trasvasarse de otras cuencas, con el consiguiente aumento progresivo del nivel del Lago de Valencia y de la necesidad de controlar este nivel a través de la extracción y el trasvase de aguas de la Cuenca del Lago hacia otras cuencas.

DECRETA:

Las siguientes:



NORMAS PARA LA CLASIFICACION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

Sección VI

De las descargas al Lago de Valencia y a la red hidrográfica tributaria

Artículo 30.- A los efectos de este Decreto, se establece como carga límite de nitrógeno total en el Lago, la cantidad de 1.500 ton/año ($4,05 \text{ g/m}^2/\text{año}$ para una superficie del espejo de agua del Lago de 370 km^2), la cual no debe ser excedida por la suma de las descargas puntuales de nitrógeno total, directas al Lago.

Artículo 31.- A los efectos de este Decreto, se establece como carga límite de fósforo total en el Lago, la cantidad de 111 ton/año ($0,3 \text{ g/m}^2/\text{año}$ para una superficie del espejo de agua del Lago de 370 km^2), la cual no debe ser excedida por la suma de las descargas puntuales de fósforo total directas al Lago.

Artículo 32.- A los efectos de este Decreto, se establece como carga límite de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), proveniente de la suma de las descargas puntuales al Lago, la cantidad de 25.000 Kg/día.

Artículo 33.- A los efectos de este Decreto, se establece como carga límite de microorganismos del grupo coliforme, proveniente de la suma de las descargas puntuales al Lago, una Población Equivalente de 100.000 personas.

Artículo 34.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables velará porque las cargas límites establecidas en los artículos anteriores no sean excedidas por la suma de los efluentes puntuales que sean descargados al Lago.



Parágrafo Primero: A los efectos de este artículo, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables llevará una contabilidad de las cargas másicas descargadas al Lago en los parámetros críticos de control a los cuales se han asignado cargas límite en los artículos 30, 31, 32 y 33, comparando siempre con las cargas límite establecidas, dejando un margen de seguridad para permitir desarrollos futuros, a juicio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Parágrafo Segundo: Si en la contabilidad a que se alude en el parágrafo anterior, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables determina que se está excediendo la carga másica límite establecida para alguno de los parámetros críticos, podrá tomar las medidas adicionales de control que estime necesarias.

Parágrafo Tercero: La autorización de nuevas actividades que impliquen descargas adicionales directas al Lago de Valencia en los parámetros críticos, estará sujeta a la disponibilidad de capacidad asimilable remanente, según lo determine el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables a la luz del presente artículo y de los artículos anteriores.

Artículo 35.- A los efectos del control de los sólidos suspendidos totales (SST) y los sulfatos, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables promoverá, planificará, coordinará, evaluará y ejecutará programas y planes para la conservación de suelos, el control de la erosión, prácticas conservacionistas en los cultivos, y reforestación de las cuencas alta y alta/media del Lago de Valencia.

Parágrafo Único: El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá celebrar convenios con las autoridades estatales y municipales, así como con las empresas y particulares, para la ejecución de los programas señalados en este artículo.

Artículo 36.- Sin perjuicio de los límites de cargas másicas establecidas en este Decreto para los parámetros críticos de control, se fijan los rangos y límites máximos de



concentraciones en los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, al Lago de Valencia y red hidrográfica tributaria, siguientes:

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales.	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio total	1,0 mg/l
Arsénico total	0,1 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,1 mg/l
Cianuro total	0,1 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,05 mg/l
Cobre total	0,5 mg/l
Cromo total	2,0 mg/l
Cromo hexavalente	0,1 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5, 20})	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,05 mg/l



Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo).	1,0 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	1,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos sedimentables	1,0 mg/l
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfatos	600 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas

Organo fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organoclorados	0,05 mg/l

* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Radiactividad:



Actividad <input type="checkbox"/>	máximo 0,1 Bq/l.
Actividad <input type="checkbox"/>	máximo 1,0 Bq/l.

Parámetros Biológicos:	
Organismos coliformes totales.	máximo 1.000 NMP/100 ml.
Organismos coliformes fecales.	máximo 200 NMP/100 ml.

Parágrafo Único: En ríos y quebradas de la cuenca, la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de mezcla, comparada con otra aguas arriba de la descarga del efluente líquido, no superará los 3°C.

Artículo 37.- El color no será un parámetro relevante y su control se centrará en los parámetros que dan la coloración y que están regulados en este Decreto.

D.2. Decreto N° 883

NORMAS PARA LA CLASIFICACION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O EFLUENTES LIQUIDOS

Gaceta Oficial N° 5.021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995

Decreto N° 883

11 de octubre de 1995

RAFAEL CALDERA
Presidente de la República

En ejercicio de las atribuciones que le confiere el ordinal 10° del artículo 190 de la Constitución y de conformidad con lo establecido en los artículos 19, 20 y 21 de la Ley Orgánica del Ambiente, en Consejo de Ministros,



CONSIDERANDO

Que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente.

CONSIDERANDO

Que el Ejecutivo Nacional mediante Decreto N° 125 de fecha 13 de abril de 1.994, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 35.445 de fecha 22 de abril de 1994, instruyó a la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente, a proceder dentro del plazo de un año, contado a partir de la fecha de publicación del respectivo Decreto, a la evaluación de las disposiciones técnicas contenidas en los Decretos Nos. 2.221, 2.222 y 2.224, publicados en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela Nos. 4.418 Extraordinario de fecha 27 de abril de 1.992, a los efectos de su mejor adecuación a la realidad ambiental y socio-económica del país y en atención a la dinámica científica y técnica,

CONSIDERANDO

Que durante el plazo antes indicado la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente ha realizado una cuidadosa revisión de las disposiciones técnicas contenidas en los Decretos Nos. 2.221, 2.222, 2.224 y 125 a la luz de la situación actual de calidad de aguas en las diversas cuencas hidrográficas del país y de los resultados obtenidos hasta el presente en el control de los vertidos o efluentes líquidos, resultando de tal revisión la conveniencia de dictar un nuevo cuerpo normativo más adecuado a la realidad ambiental y socio-económica del país y a las exigencias de la dinámica científica y técnica.

Sección III



De las descargas a cuerpos de agua

Artículo 10. A los fines de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros Físico-químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Color real	500 unidades de Pt-Co
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10,0 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
PH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfatos	1.000 mg/l



Parámetros Físico-químicos	Límites máximos o rangos
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas	
Organoclorados	0,05 mg/l
Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad <input type="checkbox"/>	0,1 Bq/l.
Actividad <input type="checkbox"/>	1,0 Bq/l.

* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Parámetros Biológicos:

Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 ml, en el 90 por ciento de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml.

Parágrafo Primero: En ríos la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de mezcla, comparada con otra aguas arriba de la descarga del vertido líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia e temperatura del vertido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

Artículo 11. El Ejecutivo Nacional mediante Decreto podrá establecer límites diferentes para los vertidos a determinados cuerpos de agua, en función de sus características específicas. Igualmente podrá fijar el caudal de diseño de control para cada curso de agua receptor y condiciones especiales para determinadas épocas del año, conforme a la variación de las condiciones de caudal por cada período estacional, y límites de efluentes para determinados sectores industriales en los parámetros que les son relevantes, sujetos a las restricciones adicionales que imponga la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptora.





APÉNDICE E

En este apéndice se presentan las figuras relacionadas a los resultados obtenidos en las caracterizaciones de los efluentes.

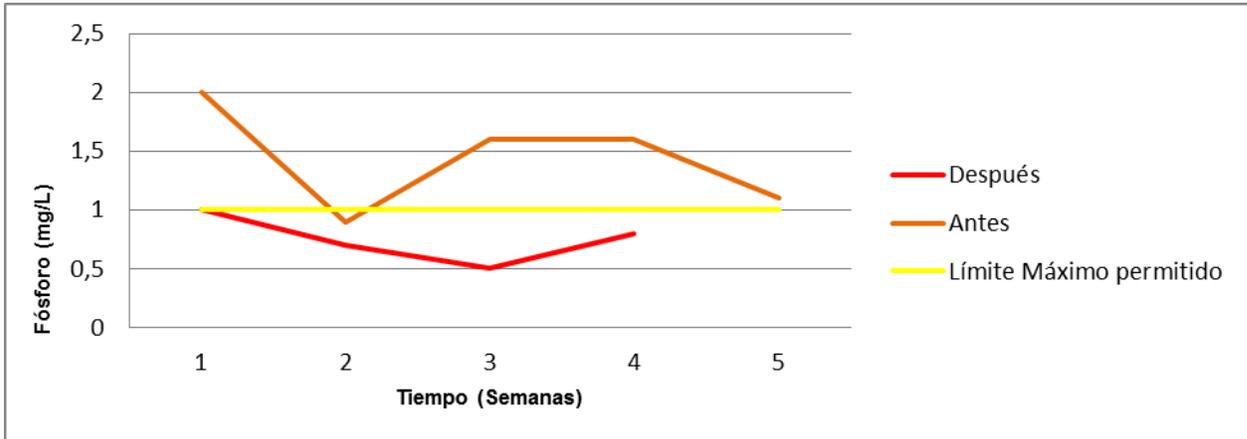


Figura N° 4.1. Niveles de fósforo obtenidos en el agua tratada antes y después de la implementación de los humedales.

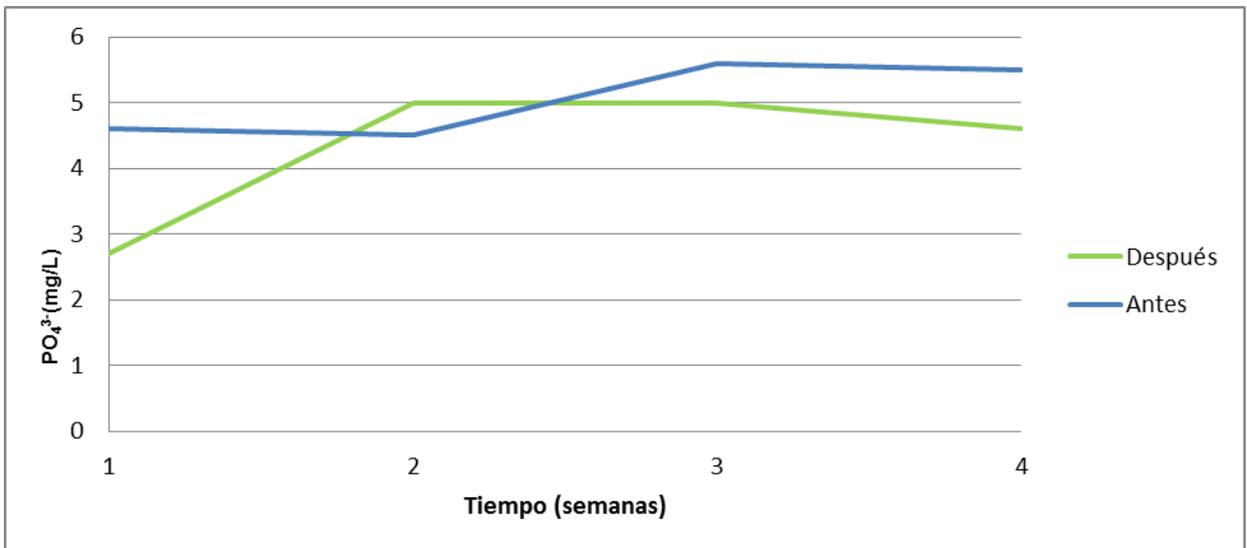


Figura N° 4.2. Niveles de fosfato obtenidos en el agua tratada antes y después de la implementación de los humedales.



Figuras referentes a las caracterizaciones

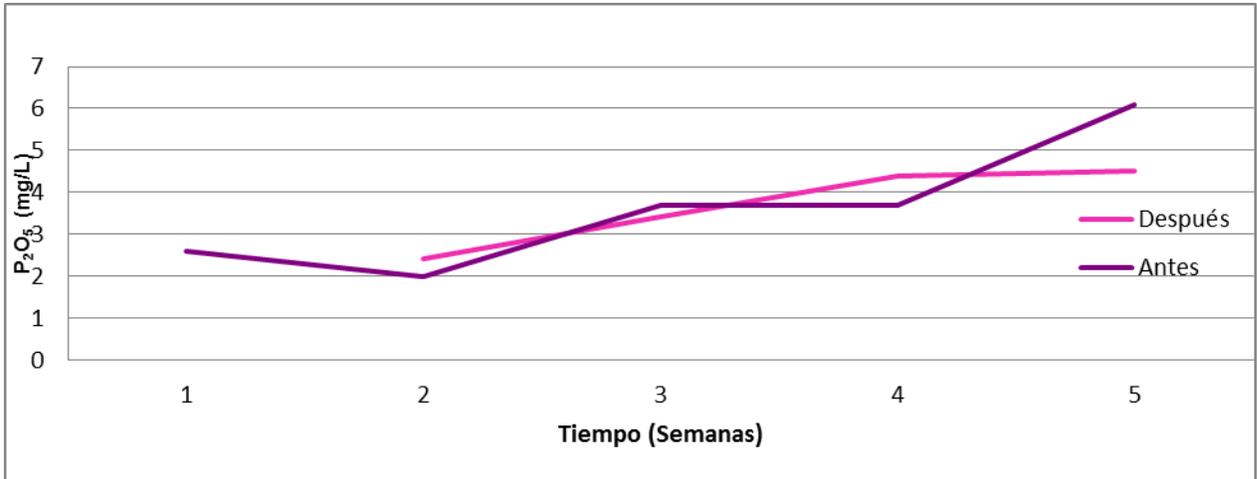


Figura N° 4.3. Niveles de óxido de fósforo V obtenidos en el agua tratada antes y después de la implementación de los humedales.

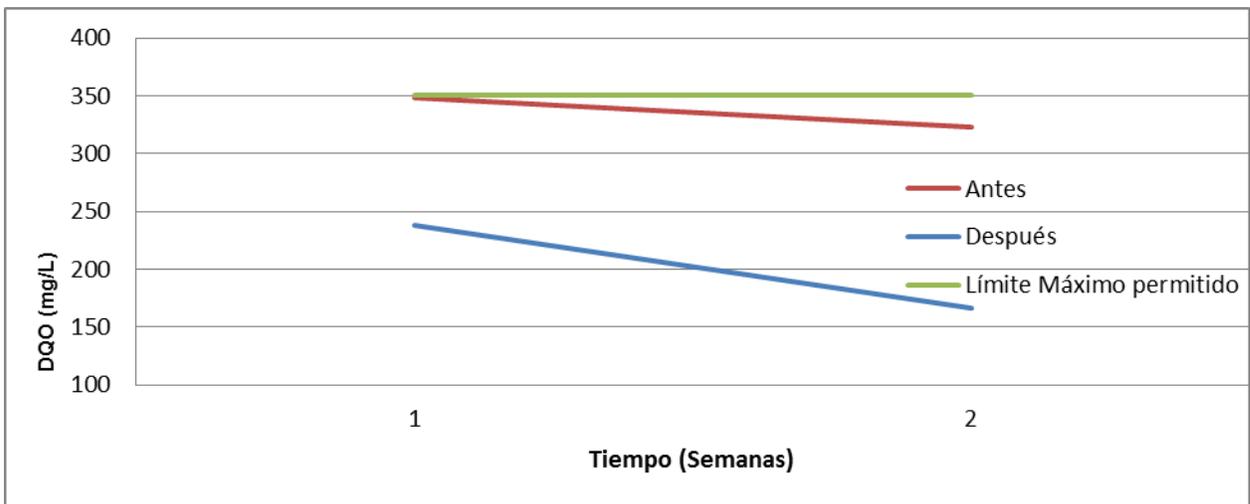


Figura N° 4.4. Niveles de DQO obtenidos en el agua tratada antes y después de la implementación de los humedales.

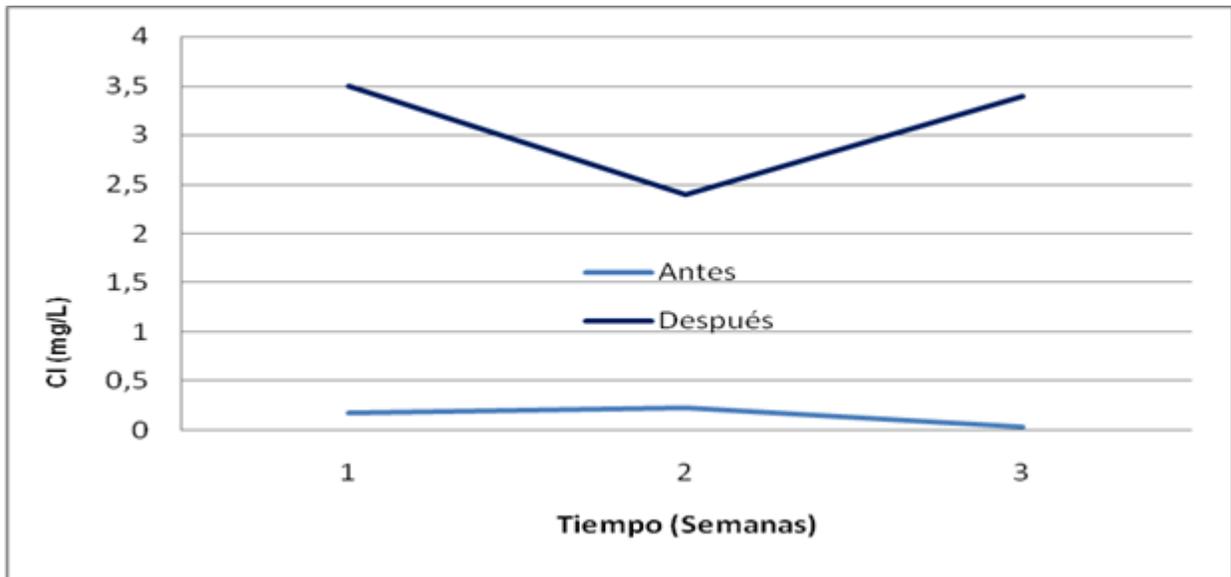


Figura N° 4.5. Niveles de Cl obtenidos en el agua tratada antes y después de la implementación de los humedales.

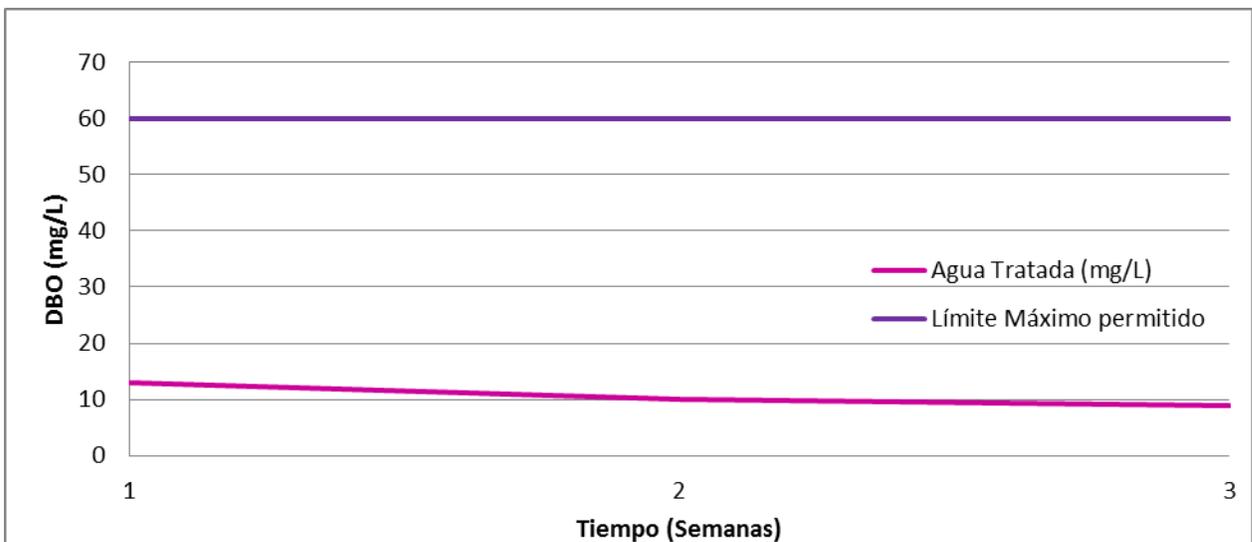


Figura N° 4.6. Niveles de DBO obtenidos en el agua tratada antes de la implementación de los humedales.



ANEXOS

ANEXO 1



Espectrofotómetro Multiparámetro

ANEXO 2



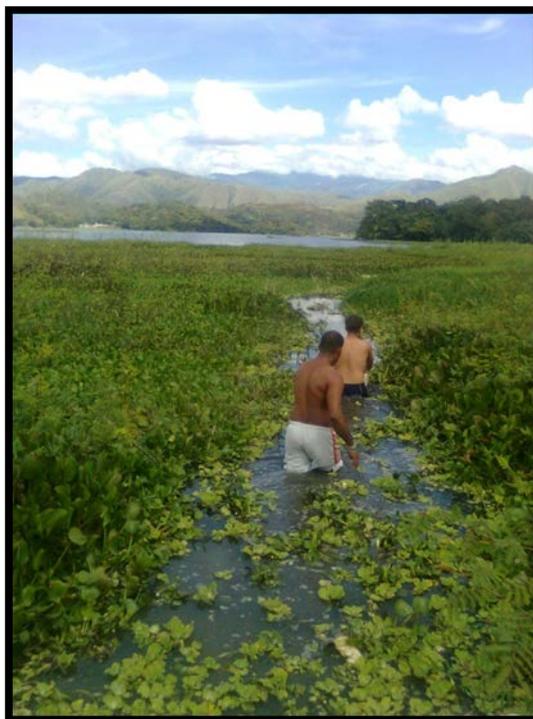
Phosphorous Reagent B

ANEXO 3



Cubeta contenida de agua residual, Phosporous Reagent A y Phosporous Reagent B

ANEXO 4



Búsqueda de las especies Bora y Typha en la Laguna de Zuata

ANEXO 5



Especie Bora recolectada

ANEXO 6



Laguna de Zuata, La Victoria Estado Aragua

ANEXO 7



Reactores Biológicos de Corporación Inlaca C.A.

ANEXO 8



Reactores Biológicos antes de la implementación de los humedales

ANEXO 9



Especie Bora colocada en los Reactores Biológicos

ANEXO 10



Especie Bora colocada en los Reactores Biológicos

ANEXO 11



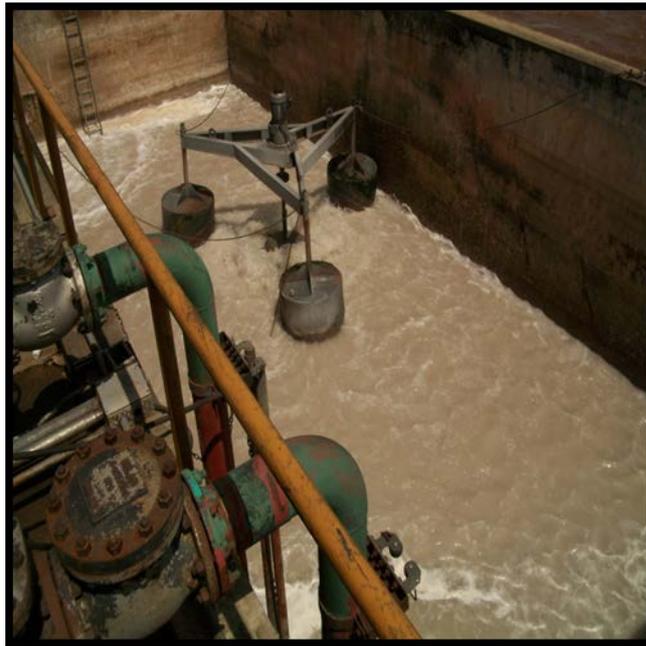
Raíces de Typha

ANEXO 12



Tanque de igualación donde se colocaron las raíces de la Typha

ANEXO 13



Tanque de igualación

ANEXO 14



Selector biológico

ANEXO 15



Tamiz rotatorio