CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

MARLEN MOGOLLON GELVEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2005

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

MARLEN MOGOLLON GELVEZ

Trabajo de Grado para optar al Título de
ESPECIALISTA EN QUÍMICA AMBIENTAL

Director
FREDY SOLANO ORTEGA
Especialista en Manejo y Protección Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2005

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 GENERAL	3
1.2 ESPECÍFICOS	3
2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA	7
4.1.1 Color	7
4.1.2 Turbidez	8
4.1.3 Temperatura	8
4.1.4 Alcalinidad	9
4.1.5 Acidez	9
4.1.6 Conductividad	10
4.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	11
4.1.8 Dureza	12
4.1.9 Sólidos Totales	12

4.1.10 Sólidos Sedimentales 13
4.1.11 Sulfato 13
4.1.12 pH 13
4.1.13 Nitritos 14
4.1.14 Oxígeno disuelto 14
4.2 HUMEDALES COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 14
4.3 BASES TEÓRICAS 16
4.3.1 Generalidades y componentes de los humedales 16
4.3.2 Clases de Humedales 18
4.3.3 Aspectos generales de los humedales construidos 19
4.3.4 Clases de Humedales artificiales 19
4.3.5 Características especiales de los Humedales Artificiales 21
4.3.6 Parámetros de Diseño 30
4.3.7 Comportamiento del flujo en los humedales 33
4.3.8 Transferencia de cantidad de movimiento y de calor en el fluido con régimen laminar de una humedad 37
4.3.9 Capa límite 39
4.4 MARCO LEGAL 41
5. TOMA Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS 45
5.1 TIPO DE MUESTRA 46
6. METODOLOGÍA 47

6.1 CONDUCTIVIDAD 47

6.1.1 Método conductímetro 47

6.1.2 Demanda química de oxígeno 48

6.1.3 Turbidez. Método nefelométrico 48

6.2 ACIDEZ 49

6.2.1 Método de titulación con (NaOH 0.02N) 49

6.3 ALCALINIDAD 49

6.3.1 Método titulación 49

6.4 DUREZA 50

6.4.1 Método titulación de EDTA 50

6.5 SÓLIDOS TOTALES 51

6.5.1 Secados a 103 – 105°C 51

6.6 SÓLIDOS SEDIMENTALES 51

6.6.1 Método Volumétrico 51

6.7 pH MÉTODO ELECTROMÉTRICO 51

6.7.1 Electrodo de Vidrio 51

6.8 TEMPERATURA 52

6.8.1 Termómetro Celsius de Mercurio 52

6.9 OXIGENO DISUELTO 52

6.9.1 Método de electrodo de membrana 52

6.10 COLOR 53

6.10.1 Método espectrofotométrico 53

6.11 NITRITOS 53

6.11.1 Método calorimétrico 53

6.12 SULFATO 54

6.12.1 Método turbidimétrico 54

7. PROCEDIMIENTO 55

7.1 COLOR 55

7.2 NITRITOS 55

7.3 ALCALINIDAD 56

7.4 PH 56

7.5 DUREZA 57

7.6 TURBIDEZ 57

7.7 CONDUCTIVIDAD 57

7.8 TEMPERATURA 58

7.9 DQO 58

7.10 SOLIDOS SEDIMENTALES 59

7.11 SÓLIDOS TOTALES 59

7.12 ACIDEZ 59

7.13 OXÍGENO DISUELTO 60

7.14 SULFATO 60

8. RESULTADOS 62

8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS 62

8.1.1 Temperatura 63

8.1.2 Oxígeno 64

8.1.3 Turbidez 65

8.1.4 Conductividad 66

8.1.5 TDS 67

8.1.6 Color 68

8.1.7 Sedimentales 69

8.1.8 Sulfatos 70

8.1.9 Nitritos 71

8.1.10 Dureza 72

8.1.11 Alcalinidad 73

8.1.12 Acidez 74

8.1.13 pH 75

8.1.14 DQO 76

8.1.15 Sólidos Totales 77

8.2 TABLA DE RESULTADOS 78

8.3 INDICES PARA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA 79

8.3.1 Indice de contaminación mineralizada 79

8.3.2 Indice de contaminación por pH 83

8.4 INDICE DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO 98

9. CONCLUSIONES 111

10. RECOMENDACIONES 113

BIBLIOGRAFIA 114

ANEXOS 116

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1	Corte Transversal de un humedal construido	18
Figura 2	Hoja de Cálculos	97

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A	Fotografía 1. Inicio de captación de aguas a tratar	117
Anexo B	Fotografía 2. Filtro de color azul, donde se inicia la primera filtración	118
Anexo C	Fotografía 3. Observamos el filtro desde un punto de vista superior con algunas macrofitas	119
Anexo D	Fotografía 4. Después del filtro inicial, se inicia el proceso de depuración en el humedal 1.	120
Anexo E	Fotografía 5. El proceso de tratamiento de aguas residuales pasa por un segundo humedal en donde la selección del crecimiento de plantas es más controlado	121
Anexo F	Fotografía 6. Se observa un tanque de sedimentación previo a la descarga del efluente.	122
Anexo G	Fotografía 7. Disposición final del tratamiento de aguas residuales, efluente.	123
Anexo H.	Fotografía 8. Disposición final, vista anterior	124

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER*

Autor: MOGOLLON GELVEZ, Marlen**

Palabras Clave: Humedales Artificiales, Aguas Residuales, Agentes Contaminantes,

Descripción:

Este trabajo plasma la importancia de la aplicación de los humedales artificiales como nuevas alternativas de tratamiento de aguas residuales, procedentes de las actividades de laboratorio apoyado con un programa de monitoreo de cuatro meses, se procedió a realizar una caracterización físico- química que cuantifico los porcentajes de remoción para evaluar el grado de eficiencia de los mismos por medio de una caracterización fisicoquímica se cuantificaran los porcentajes de remoción para evaluar el grado de eficiencia de los mismos.

Los humedales artificiales han sido adecuados dentro del sistema natural del campus universitario, como una alternativa de mejoramiento del ecosistema circundante. Además es una tecnología que demanda bajo consumo energético costos moderados de mantenimiento y operación. En su dinámica los humedales artificiales fijan físicamente los contaminantes en la superficie de contacto (raíces, piedras, suelos entre otros) y posteriormente a través de procesos biológicos y químicos los transforman en nutrientes para las macrofitas que se dinamizan en ellos.

Este estudio fue preliminar y uno de los primeros en realizar y donde se pudo concluir de la caracterización un bajo porcentaje de remoción, no por fallas en el sistema sino por que se encuentra en su etapa inicial, se espera con gran optimismo que pasados algunos meses su porcentaje de remoción sea más eficiente y se corroboren los grandes beneficios de estos sistemas biológicos.

---

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Especialización en Química Ambiental, SOLANO O., Fredy.

ABSTRACT

TITLE: PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF ARTIFICIAL WETLANDS AT UNIVERSITY DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER*

Author: MOGOLLON GELVEZ, Marlen**

Keywords: Artificial wetlands, Residual Waters, Pollutants.

Description:

This work highlights the importance of applying artificial wetlands as new treatment alternatives for residual waters resulting from laboratory activities. A physicochemical characterization was conducted in order to quantify the percentage of removal and the level of treatment efficiency. The whole process was supported by a four-month monitoring program.

Artificial wetlands have been adapted within the university campus, as an alternative to improve the surrounding ecosystem. Furthermore, this technology demands low energy consumption as well as moderate maintenance and operation costs.

The dynamic processes that take place in artificial wetlands involve the physical fixing of pollutants on contact surfaces (such as roots, stones, and soil among other materials). Then, biological and chemical processes transform these pollutants into nutrients that, in turn, are taken by the macrophytes that participate in this dynamic process. .

This is a preliminary study and one of the first ones in being conducted about this issue. Results indicate a low percentage of pollutant removal, not because of failures in the system but due to the fact that the experiment is in its initial stage. More efficient pollutant removal is expected within the next months in order to confirm the great benefit that could be derived from these biological systems.

---

* Research Work.

** Faculty of Sciences, School of Chemistry. Specialization Degree in Environmental Chemistry. SOLANO O., Fredy.

INTRODUCCIÓN

En los humedales naturales y como adaptación y acondicionamiento de tecnología los humedales artificiales, poseen una alta retención y conversión de contaminantes, químicos, físicos (sedimentos) y biológicos, evitando que estos afecten de manera nociva en su dinámica de equilibrio la naturaleza. Lo cual favorece la preservación de la calidad del agua y de la biodiversidad.

En su dinámica los humedales fijan físicamente los contaminantes en la superficie de contacto (raíces, piedras, suelo, entre otros) y luego a través de procesos biológicos y químicos los transforman en nutrientes para las Macrófitas que se dinamizan en ellos, con bajos consumos de energía.

También tiene la capacidad de retirar sólidos en suspensión, bacterias y microorganismos presentes en el agua residual, capaces de eliminar sustancias tóxicas procedentes de plaguicidas, descargas industriales y actividades mineras. Se ha comprobado que algunas plantas de humedales acumulan metales pesados en sus tejidos en concentraciones muy elevadas superiores a la carga tolerable por el agua siendo capaces de disminuir la toxicidad en ciertas clases de efluentes.

La utilización de humedales para el tratamiento de aguas servidas inició principalmente con la adecuación de humedales ya existentes. Posteriormente ciertas aplicaciones fueron realizadas a partir de humedales artificiales, en la mayoría de los casos con flujo superficial y las plantas más frecuentemente utilizadas fueron los jacintos de agua (Eichornia crassipes) y los bulbos (Lemna sp.).

La utilización de humedales artificiales para la recepción de aguas servidas se remonta a comienzos del siglo, las ciénagas, humedales y turberas se concibieron como los mejores receptores de aguas servidas, pero además jugaban un papel importante. Las primeras nociones científicas relacionadas con el uso de humedales para el tratamiento de aguas usadas remontan al año de 1946 con Seidel (Radoux, M. 1989). Las plantas generalmente utilizadas son la fragmita (Phragmites Australis), la scirpe (Scirpus sp.), Él Iris (Iris sp.) y la quenuilla (Typha sp.).

Así mismo desde 1964, Kickuth desarrolló un procedimiento de tratamiento de flujo horizontal bajo la superficie. Este procedimiento utiliza sobre todo la caña común (Phragmites australis), pero también puede utilizar, para ciertas aplicaciones particulares, el junco (Joncus sp.), la scirpe (Scirpus sp.), el Iris de los humedales (Iris pseudaconus) o la menta de agua (Mentha aquatica). Una primera instalación de ese tipo fue implantada en Othfressen en 1974. Kickuth y sus asociados ejecutaron diferentes aplicaciones tanto municipales como industriales, entre otras en el campo de los textiles, cervecerías y lecherías.

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL:

Caracterización fisicoquímica de los humedales artificiales de la universidad, Norte de Santander.

1.2 ESPECÍFICOS:

Caracterizar fisicoquímicamente los humedales artificiales de la Universidad de Pamplona, mediante los parámetros de pH, Conductividad, turbiedad, acidez, color, alcalinidad, nitratos, sulfatos, oxigeno disuelto, sólidos totales, sólidos suspendidos, DQO, dureza

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La actividad antropica a nivel industrial, agroindustrial, comercial, escolar, residencial, están generando residuos líquidos con altas cargas contaminantes que son tratadas con tecnologías convencionales, con altos costos en consumo de energía y que a la vez generan impacto en el medio ambiente, debido a la alta generación de olores. Además los sistemas de tipo convencional no son en todos los casos aplicables para resolver problemas de tratamiento de residuos líquidos, especialmente en países en vía de desarrollo, debido a los altos costos que generan.

3. JUSTIFICACIÓN

En razón en que se han incrementado en gran cantidad los centros poblacionales y actividades humanas cuya descarga de aguas residuales es relativamente pequeña hablamos de poblaciones menores, centros de recreación industrias, instituciones educativas y otras.

En la actualidad, el tratamiento y reciclaje de residuos orgánicos, puede ser efectivamente remediado por procesos de tipo biológico, mediante el empleo de microorganismos, como bacterias, algas, hongos y otras formas de vida. Este hecho se ha convertido en un punto de gran importancia al considerarse que, sistemas de tipo convencional no son en todos los casos aplicables para resolver problemas de tratamiento de residuos líquidos, especialmente en países en vía de desarrollo, debido a los altos costos que generan.

Dentro de las soluciones de tipo Biológico, actualmente el conocimiento del funcionamiento de Sistemas Acuáticos como humedales y su principal componente vegetal: las Macrófitas Acuáticas, ha permitido utilizar principios de tipo ecológico, con fines de depuración de aguas residuales. En estos sistemas, que pueden ser construidos por el hombre, se destaca el control de su fondo y de su régimen hidráulico, además del manejo de la vegetación y otros componentes o subsistemas.

En esta proporción los humedales artificiales en pequeña escala nos permiten un grado de control sobre las condiciones de estudio y una herramienta importante en sistemas alternativos y definitivamente económico para el tratamiento de dichas aguas.

Es necesario realizar un estudio de recopilación de datos y antecedentes en procesos depuradores en los que actúan los humedales artificiales. También criterios en la capacidad de carga tiempos de retención, diseños, mantenimiento, para entender la dinámica general de un humedal.

4. MARCO TEÓRICO

El agua nunca es pura, excepto posiblemente en su estado de vapor. El agua siempre contiene impurezas, que son los constituyentes de origen natural. Con frecuencia el agua contiene contaminantes, que son constituyentes de origen antropogénico. La aceptación de un agua para un uso definido depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas y a veces de sí estas propiedades pueden modificarse para adaptarles a tal fin. La composición del agua es el resultado final de muchos procesos físicos y/o químicos y/o bioquímicos posibles.

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Las propiedades físicas estándar del agua tales como el peso molecular, la densidad, el punto de fusión, el punto de ebullición, temperatura, etc. otras propiedades físicas que muestran una variación amplia en magnitud incluye color, turbidez, olor, sabor, temperatura y el contenido de sólido.

4.1.1 Color: el color del agua es producido por los minerales disueltos, colorantes o ácidos húmicos de las plantas. La descomposición de la lignina produce compuestos coloreados de taninos y ácidos húmicos. Este último produce un color pardo – amarillo a pardo - negro. Los residuos coloreados, incluyendo las plantas de colorante o pulpa y las de papel, también causan color, como la presencia de hierro, magnesio y plancton. El color del agua causado por sustancias coloidales o disueltas que permanece después de la filtración a través de un filtro de 0,45mm se llama color verdadero. El color aparente, es el término aplicado a los compuestos coloreados en solución junto con materia colorada en suspensión. El color se mide en unidades de mg/L de platino y en los ríos oscila

entre 5 y 200mg/L.

4.1.2 Turbidez: la turbidez del agua es causada por la materia suspendida y coloidal, tal como arcilla, lodos, limo, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, compuestos orgánicos coloreados solubles y algunos microorganismos (plancton). La turbidez es una expresión de una propiedad óptica que causa que la luz sea dispersada y absorbida más que transmitida, en línea recta a través de la muestra. La correlación de la turbiedad con la concentración en peso de la materia suspendida es difícil, ya que el tamaño forma y el índice de refracción de las partículas también afectan las propiedades de dispersión de la luz. Partículas de color negro, pueden absorber luz e incrementar las lecturas de turbiedad.

4.1.3 Temperatura: las temperaturas elevadas resultan de las descargas de agua caliente, como las de refrigeración industrial y de algunos procesos, que pueden tener un impacto ecológico significativo. La temperatura es un factor en la proliferación de ciertas algas. El cambio en la temperatura de un cuerpo de agua afecta directamente la solubilidad de los gases, como el oxigeno y al bióxido de carbono; la solubilidad de las sales y por lo tanto la conductividad eléctrica, el pH, etc.

4.1.4 Alcalinidad: se define como alcalinidad total del agua, a su capacidad para neutralizar ácidos y comprende todas las bases titulables. Los valores determinados para la alcalinidad total, pueden variar con el pH utilizado como punto final en el proceso analítico. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y puede ser interpretada en términos de sustancias específicas únicamente cuando la composición química de la muestra es conocida.

Debido a la alcalinidad de las aguas superficiales es una función de su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, esta se toma como un indicativo de la concentración de estos constituyentes. Lo valores de la concentración de estos constituyentes. Los valores de la medida de la alcalinidad pueden incluir la contribución de los boratos, fosfatos, silicatos y otras bases, si éstos están presente. La alcalinidad se expresa en mg$CaCO_3$/L. El peso equivalente gramo el $CaCO_3$ es 50. por tanto 1mol/L es equivalente a 50.000mg/L de alcalinidad como $CaCO_3$.

$$\text{Alcalinidad, mg } CaCO_3/L = \frac{A \times N \times 50.000}{\text{Muestra ml}}$$

Donde: A = ml utilizaos de ácido estándar
N = normalidad del ácido estándar

4.1.5 Acidez: la acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. El valor medio puede variar significativamente con el pH final utilizado en la determinación. La acidez constituye la medida de una propiedad sobreañadida del agua y puede interpretarse en términos de sustancias específicas solamente cuando se conoce la composición química de la muestra.

Con arreglo al método de determinación, los ácidos minerales fuertes, los ácidos débiles, como el carbónico y el acético, y las sales hidrolizables, como los sulfatos de hierro y aluminio, puede incrementar la acidez determinada.

$$\text{Acidez, como mg de } CaCO_3/L = \frac{A \times B \times 50.000}{\text{ml muestra}}$$

Donde: A = ml utilizaos de NaOH titulador

N = normalidad de H_2SO_4

4.1.6 Conductividad: la conductividad eléctrica, o como se la denomina en general. La conductividad, es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente. La eléctrica es conducida en la solución mediante el movimiento de los iones y así cuanto mayor es el número de iones (es decir, mayor la concentración de las sales disueltas) mayor es la movilidad iónica y en consecuencia mayores es la magnitud de la conductividad. Químicamente el agua pura no conduce la corriente eléctrica debido a que los únicos iones presentes son el ^{+}H y OH^{-} y por ello la conductividad del agua muy pura es aproximadamente 0,05μS/cm (microsiesmens/cm).

La conductividad específica es la conductividad de $1cm^3$ de agua a través de una distancia de 1cm a 20ºC. La conductividad se mide colocando un medidor de la conductividad (constituido por 2 electrodos de platino) en una muestra de agua y registrado la resistencia eléctrica.

La mayor parte de las aguas, la conductividad es debida tanto a la disociación de compuestos inorgánicos ya que los compuestos orgánicos se disocian poco. Por lo tanto, una medida positiva de la conductividad es indicativa de la concentración de las sales inorgánicas disueltas. Si se conocen las concentraciones de los iones (cationes y aniones), entonces la conductividad puede determinarse.

eC = $\sum_{i=1}^{n} C_i F_i$, donde eC = conductividad eléctrica en μS/cm

C_i = concentración de la especie iónica i en la solución en mg/L o meq/L
F_i = factor de conductividad para la especie iónica

4.1.7 Demanda Química de Oxigeno (DQO): la Demanda Química de Oxigeno se usa como medida del oxigeno equivalente al contenido de materia orgánica de

una muestra, que es susceptible a la oxidación por un oxidante químico fuerte. Para muestra de una fuente específica, el DQO puede relacionarse empíricamente con el DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica. La prueba es útil para monitoreo y control. Luego, se ha establecido la correlación.

El método de reflujo abierto con dicromato se prefiere a los métodos que utilizan otros oxidantes, debido a su habilidad oxidante superior, aplicabilidad a una amplia variedad demuestras y una fácil manipulación. La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos esta entre el 95 y 100% del valor teórico.

El amoniaco, ya sea esté presente en el desecho o que sea liberado de la materia orgánica que contiene nitrógeno, no se oxida en ausencia de concentraciones significativas de iones cloruro libre.

$$DQO = \frac{(A - B) \times N \times 8.000}{ml\ muestra}$$

Donde A = ml de FAS usados para el blanco
B = ml de FAS usados para la muestra
N = normalidad del FAS
V = volumen de la muestra en mililitros

4.1.8 Dureza: la dureza se expresa principalmente por la suma de los cationes metálicos divalentes, Ca^{2+} y Mg^{2+}. Estos cationes reaccionan con el jabón para formar precipitados y con otros iones presentes en el agua para formar incrustaciones en las calderas. Los iones que provocan la dureza tienen su origen en el suelo y en las formaciones geológicas. La dureza es un parámetro del agua usado en el agua potable.

Tradicionalmente, la dureza se calcula en mg $CaCO_3$/L o como meq/L. La dureza está constituida de:

- Dureza de carbonato o dureza temporal (TH) debido a que esta forma se elimina después es así, cuando la alcalinidad es < dureza total.
- Dureza de no-carbonato (NCH)

La dureza se determina en mg $CaCO_3$/L = M^{2+} (en m/1) x $\frac{50}{\text{Peso eq de M2}+}$,

Donde M^{2+} es cualquier ion metálico divalente (por ejemplo, Ca^{2+}, Mg^{2+})
Dureza en mg/L como $CaCO_3$ = M^{2+} (en meq / (L) x 50)

4.1.9 Sólidos totales: sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporización de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.

El contenido de sólidos en el agua puede afectar su calidad, modificando aspectos tales como el sabor, color, dureza, turbiedad, etc., en la determinación del contenido de sólido totales en aguas existen ciertos factores tales como el muestreo, fraccionamiento de la muestra, pipeteo, temperatura de almacenamiento de las muestras, temperatura de secado homogenización de la muestra que puede producir variación de los resultados.

4.1.10 Sólidos sedimentables: Los sólidos sedimentables, son los materiales que se depositan de la suspensión inicial en un periodo de tiempo definido.

4.1.11 Sulfato: Los sulfatos están ampliamente distribuidos en la naturaleza y pueden estar presentes en aguas naturales en concentraciones que van de unos pocos a varios miles mg $SO_4^{=}$/L. El drenaje de los desechos de las misma, puede

contribuir con gran cantidad de sulfatos que provienen de la oxidación de la pirita. El sulfato de sodio y el sulfato de magnesio en concentraciones superiores a 200 miligramos por litro, ejercen una acción purgante sobre el organismo humano.

4.1.12 pH: el pH se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otos equilibrios ácido-base. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ion hidrógeno o pH. La capacidad tampón es la cantidad de ácido o base fuerte, normalmente expresada en moles por litro, necesaria para cambiar el valor del pH de 1L de muestra en 1 unidad. El pH se define como el –log $[H^+]$; es el factor de intensidad o acidez. Debido a las interacciones en todas las soluciones, excepto en las muy diluidas, es necesario utilizar la actividad de un ion y no su concentración molar. El uso del término pH supone que se esta considerando la actividad del ión hidrógeno, $^{cl}H^+$. La equivalencia aproximada con la molaridad $[H^+]$, sólo se puede presumir en soluciones muy diluidas (fuerza iónica < 0,1). El valor del pH de una solución muy diluida es aproximadamente el mismo que el logaritmo común negativo de la concentración del ión hidrógeno. Las aguas naturales tienen normalmente valores de pH en la zona 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonato y carbonatos de los metales alcalino y álcali no térreos.

4.1.13 Nitritos: el nitrito es un estado de oxidación del nitrógeno que aparece tanto en la oxidación y reducciones pueden ocurrir en las plantas de tratamiento de aguas de desecho, sistemas de distribución de aguas y en aguas naturales.

El nitrito puede entrar en un sistema de suministro de agua cuando se usa como inhibidor de corrosión en aguas industriales. El ácido nitroso, el cual se forma en la

solución ácida de nitrito, puede reaccionar con aminas secundarias (RR'NH) para formar nitrosaminas (RR'N-HO), las cuales se sabe que son carcinógenas.

4.1.14 Oxigeno disuelto: los niveles de oxigeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales.

4.2 HUMEDALES COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Día Mundial de los humedales es la fecha propicia para celebrar la productividad extraordinaria y la belleza de estos lugares especiales, representados por aguas marinas poco profundas, arrecifes de coral, lagunas costeras, bosques intermareales y manglares, por no decir nada de los deltas interiores, marjales, turberas y oasis, por sólo mencionar unas pocas clases de humedales del sistema de clasificación de la Convención, que abarca también los humedales artificiales, como canales de riego, arrozales y zonas de tratamiento de aguas residuales.

El 2 de febrero de 1997 la Convención de Ramsar contaba con 98 Partes Contratantes. En la actualidad cuenta con 106. Además, la Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional ha crecido y abarca 896 sitios que cubren 67.495.424 hectáreas (más de 670.000 km^2, es decir una superficie superior a la de Francia o Kenya). En los últimos meses se han realizado visitas a países como la Federación de Rusia, Vietnam y Filipinas, Zambia y Malawi, Costa Rica, el Brasil y el Perú, los Estados Unidos y Francia. Sin excepción alguna es muy grande la impresión con el nivel de las actividades en curso en cada uno de ellos en muchos frentes relacionados con los humedales: políticas nacionales de humedales, planes de manejo / gestión de humedales determinados, iniciativas de

investigación importantes, programas de educación y sensibilización del público, participación del sector privado y nuevas leyes. Muchas más de las que es posible imaginar.

La empresa C.I Agrosoledad S.A desde 1994 viene tratando sus aguas residuales agroindustriales provenientes del cultivo de langostinos a través de la construcción y puesta en marcha de un humedal artificial de manglar basado en el principio de la fitorremediación devolviendo el agua residual más limpia que el agua de entrada al proceso.

Actualmente, un 48% de los municipios del departamento del Atlántico no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales y un 26% del total funciona de manera deficiente; éstas son arrojadas al Río Magdalena o a cuerpos de agua, ocasionando así grandes problemas de salud pública a las comunidades ribereñas.

Este problema se acentúa dado que los sistemas de tratamiento de aguas residuales demandan una inversión para su construcción, operación y mantenimiento, así como mano de obra especializada[1].

Entre las técnicas que utilizan sistemas acuáticos para el tratamiento de aguas servidas tenemos a los humedales artificiales y los sistemas de plantas acuáticas (sistemas de plantas flotantes y sistemas de plantas sumergidas). Estos sistemas de tratamiento naturales, reproducen los procesos que ocurren en la naturaleza, como es la capacidad de auto purificación de los sistemas acuáticos en los ríos, lagunas o humedales[2].

[1] Revista Gente Caribe.

[2] Periódico El Heraldo.

Implementación de un humedal artificial como postratamiento de afluentes de reactores de tipo UASB en la planta de tratamiento de aguas residuales de río frío Bucaramanga, Ing. Ginna Patricia Avella. Universidad Pontificia Bolivariana, marzo de 2002.

En la Universidad de Pamplona se diseño un humedal artificial, se construyo y se realizo a través de este estudio la caracterización previa del mismo.

4.3 BASES TEORICAS

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar

4.3.1 Generalidades y Componentes de los Humedales

- **Principales componentes de los sistemas del tipo humedales artificiales**

Existe una multitud de variantes del procedimiento de tratamiento con ayuda de humedales de los cuales muchos son similares. Es posible subdividir procedimientos en diversos componentes. Si se clasifican estos componentes a partir del flujo, es posible reagruparlos en tres categorías.

La Figura 1 presenta una vista esquemática de cada uno de los componentes del sistema. El primero es la unidad de flujo vertical. Las aguas servidas son dirigidas

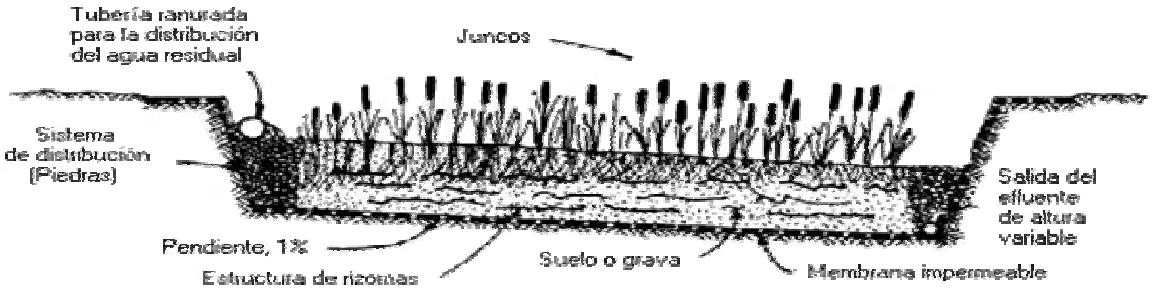
hacia la superficie de la unidad y allí percolan de manera vertical a través del medio filtrante hasta el fondo donde una serie de ductos recogen las aguas tratadas. La alimentación se efectúa a menudo de manera intermitente y el flujo es normalmente en medio no saturado.

El segundo tipo de unidad es el de flujo horizontal bajo la superficie. El afluente es conducido hacia un extremo del lecho dispuesto y las aguas servidas fluyen bajo la superficie o muy cerca de ella en forma horizontal para ser captadas en el otro extremo del lecho.

El tercer tipo de flujo es horizontal superficial y agrupa los humedales naturales o artificiales sin utilización de ningún medio filtrante. El agua servida fluye en estos canales más o menos alargados o en las lagunas, todo esto se muestra en las partes C y D de la Figura 1. Esta clase de unidad puede ser dividida en dos subcategorías, teniendo en cuenta las especies de plantas utilizadas. Un primer grupo comprende principalmente plantas emergentes tales como la quenuilla (Typha sp.), la caña común (Phragmites Australis) y el junco (Joncus sp.), cuyo nivel de agua varía generalmente entre 100 y 500 mm, mientras que el segundo grupo esta compuesto por plantas flotantes tales como el bulbo de agua (Lemna sp.) y el jacinto de agua (Eichornia crassipes) cuyos niveles de agua varían desde 600mm a 1m.

Todos los sistemas están compuestos de un agrupamiento en serie o en paralelo de una o más de estas unidades.

Figura 1. Corte transversal de un Humedal Construido



4.3.2 Clases de Humedales. Según el sistema de clasificación de los tipos de humedales aprobado en la recomendación 4.7, enmendada por la resolución VI.5 de la conferencia de las partes contratantes Ramsar, se aporta un marco muy amplio que facilite la identificación rápida de los principales habitats de humedales, debido a la cantidad y variedad de habitats comprendidos bajo dicha convención (30 categorías de humedales naturales y 9 artificiales) el libro de la " conservación de humedales".

Reduce la clasificación a siete unidades paisajísticas, esta son estuarios, costas abiertas, llanuras de inundación, pantanos de agua dulce, lagos turberas y bosque de inundación.

Humedales Artificiales

- Estanques de acuicultura (por Ej. estanques de peces y camaroneras)
- Estanques artificiales; incluye estanques de granjas, estanques pequeños (generalmente de menos de 8 Ha).
- Tierras de regadío; incluye canales de regadío y arrozales.
- Tierras agrícolas inundadas estacionalmente; incluye praderas y pasturas inundadas utilizadas de manera intensiva

4.3.3 Aspectos generales de los humedales construidos. Estos son humedales especialmente construidos que replican las características y capacidad de reciclaje de aguas de los pantanos naturales. Para ello sobre una superficie, expresamente excavada y fondo impermeabilizado, se siembra vegetación que proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración por la alta densidad vegetal, propicia la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de la luz solar.

Aquí se emplea plantas acuáticas emergentes principalmente de los géneros *Typha, Phragmites y Scirpus* que son capaces de soportar variación en el nivel del agua y se reproducen en condiciones con bajos niveles de oxigeno disuelto.
En estos sistemas de tratamiento el agua residual, antes de ingresar a los humedales, recibe un pre tratamiento físico consistente en tamizado o sedimentación primaria para eliminar los sólidos gruesos y evitar obstrucciones posteriores.

Los humedales construidos, dependiendo de su diseño, sirven para el tratamiento de aguas servidas domésticas, escorrentía de lluvia, escurrimiento agrícola y agua de drenaje de minas.

4.3.4 Clases de Humedales Artificiales. Existen dos tipos de humedales construidos diseñados para el tratamiento de agua residual: Humedales de Flujo Superficial (SF) y Humedales de Flujo Subsuperficial (SSF).

- **HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL (SF)**

Estos humedales consisten de una cubeta poco profunda, suelo u otro medio para soportar raíces de la vegetación, y una estructura de control del agua que

mantiene del agua a un nivel poco profundo. Estos asemejan mucho a un pantano natural y puede proveer hábitat para la vida silvestre y beneficios estéticos como el tratamiento de agua. En los humedales SF, la capa más superficial es aeróbica, mientras que las más profunda es usualmente anaeróbica.

Para lograr tratamiento secundario o avanzado, los humedales SF consisten en balsas o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable o con una cubierta impermeable, vegetación emergente, y niveles de agua poco profundos (0.1 a 0.6 m). El tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente.

Esta clase de humedales suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitat de cría para aves acuáticas.

Los humedales de flujo superficial principalmente se les utilizan para el tratamiento de agua de minas y escurrimiento agrícola.

Entre la ventaja de estos humedales tenemos: el capital requerido y los costos de operación son bajos, y su construcción, operación y mantenimiento son simples.

La principal desventaja de los humedales SF es que requieren una gran área de tierra en comparación con otros sistemas.

- **HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SSF)**

Consiste en canales o zanjas excavadas y rellenos con un sustrato poroso de roca o grava. El nivel de agua es diseñado para que se mantenga debajo del nivel del sustrato y el agua a tratar no está expuesto al aire. En la mayoría de los sistemas

en los SSF el curso del flujo es horizontal, aunque en algunos sistemas europeos usan cursos de flujo vertical.

Debida a la confinación hidráulica impuesta por el sustrato, los humedales SSF están mejor preparados para tratar aguas servidas con sólidos en concentraciones relativamente bajas y flujo uniforme. Estos humedales son frecuentemente usados para reducir el DBO_5 de las aguas servidas domesticas.

Entre sus ventajas tenemos que son mas tolerantes a las bajas temperaturas, minimizan las plagas de mosquitos y malos olores y poseen un alto potencial de asimilación por unidad de área en comparación a los sistemas SF, debido a que el medio poroso provee una mayor superficie de contacto, así el tratamiento es más rápido y requiere menos área para tratar el mismo volumen de agua.

Entre las desventajas anotaremos que es mas cara su construcción en comparación de los humedales SF y regular el flujo es más difícil, además, los costos de reparación y mantenimiento son mayores, pudiéndose presentar problemas de obstrucción y afloramiento de las aguas en tratamiento.

4.3.5 Características Especiales de los Humedales Artificiales

- **COMPONENTES**

Los humedales construidos consisten en una cubeta que contiene agua, sustrato, y plantas emergentes; estos pueden adecuarse al construirse el humedal. Mientras que otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y vertebrados e invertebrados se desarrollaran naturalmente.

Agua: se puede construir un humedal en un lugar que posea una capa de subsuelo con cierta impermeabilidad y por su nivel pueda acumular una capa de

agua. En otros casos se modifica el nivel del terreno para que el agua servida colectada llegue al humedal y el fondo impermeabilizado por una geomembrana para evitar infiltraciones hacia el subsuelo.

El agua es el factor más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y es el factor primario para el éxito del humedal, por ello es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

En la columna de agua ocurren una serie de procesos de transformación de la materia que llega con las aguas servidas.

Por la superficialidad del agua y poca profundidad, el sistema es afectado por la lluvia, temperatura y la evapotranspiración vegetal y evaporación directa del agua.

Los flujos de agua son afectados fuertemente por la densidad de la vegetación del humedal, haciendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas y bloqueando la exposición al viento y al sol.

Sustratos, Sedimentos y Restos de Vegetación: los sustratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca, y materiales orgánicos como el compost. Los sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad. Estos componentes del humedal son importantes por las siguientes razones:

- Soportan a los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (especialmente las microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.

El sustrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes. La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. A su vez la materia orgánica es una fuente de carbono, la que es fuente de energía para las reacciones biológicas en el humedal.

Vegetación: las plantas emergentes del humedal realizan transferencia de oxígeno a la zona de la raíz lo que seria imposible por medio de difusión desde la atmósfera.

Lo más importante en los humedales SF es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos se degradan y se convierten en restos de vegetación, que luego sirven como sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija la que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual de la siguiente manera:

- Estabilizan el sustrato y canalizan el flujo de agua.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas, altos tiempos de retención hidráulica y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y minerales y los incorporan a sus tejidos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato, el tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

Las plantas usadas en los humedales construidos son de los siguientes géneros:

- **Typha**

Conocidos como "ineas" "tifas" o "espadañas" ("cattail" en ingles), son ubicuas en su distribución, capaces de crecer bajo diversas condiciones ambientales, pueden tolerar pH entre 4.7 – 10 y resistir una salinidad máxima de 30 ppt; se propagan fácilmente y representan la especie ideal para los humedales artificiales.

Además, es capaz de producir una biomasa anual grande y con un pequeño potencial de remoción de N y P por la vía de la poda anual. Los rizomas de la tifa plantados a intervalos de aproximadamente 0.6 m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una relativamente baja penetración en grava alrededor de 0.3 m por lo que no es recomendable para humedales SSF.

- **Scirpus**

Conocidos como "totoras" o "juncos", son perennes y crecen en grupos. Estas plantas ubicuas que crecen en un rango diverso de aguas costeras y continentales como lagunas y pantanos salobres. Son capaces de crecer bien en agua desde 5 cm a 3 m de profundidad; las temperaturas deseables son 16-27° C. y se han encontrado creciendo en aguas entre 4 a 9 de pH. La mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un buen cubrimiento en alrededor de un año con separaciones de 0.3 m. Penetra en grava aproximadamente 0.6 m por lo que son muy usadas en humedales SSF.

- **Phragmites**

Conocidos como "carrizos", son anuales y altos con un rizoma perenne extenso. Logran un muy buen cubrimiento en un año al sembrárseles con separación de 0.6 m. Los sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente, y más profundamente que los de las "ineas" aunque menos que los "juncos" (mas o menos 0.4 m).

Los Microorganismos: la eficiencia de las transformaciones de la materia orgánica e inorgánica en sus diversos tipos se debe a la actividad metabólica de los microorganismos tales como bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios que consumen gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

Así, por medio de la actividad microbiana se realizan:

- Transformación de un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Alteran las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Están involucrados en el reciclaje de nutrientes e intervienen en los ciclos biogeoquímicos.

Algunas transformaciones microbianas como la nitrificación son aeróbicas, mientras que otras son anaeróbicas como la desnitrificación y otras bacterianas son facultativas. Además, la comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por la introducción de sustancias tóxicas, como plaguicidas y metales pesados.

Vertebrados e Invertebrados: los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de organismos invertebrados y vertebrados. Los insectos y gusanos contribuyen al proceso de fragmentación y consumo de materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales. Además, los invertebrados cumplen varios papeles ecológicos, como las ninfas de la libélula que son rapaces de larvas de mosquito.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, estos humedales también atraen a una gran variedad de aves, anfibios, tortugas, pájaros, y mamíferos.

Realce de la estética y paisaje: Aunque los humedales son principalmente sistemas de tratamiento, proporcionan beneficios intangibles aumentando la estética del sitio y reforzando el paisaje. Visualmente, los humedales son ambientes extraordinariamente ricos. Introduciendo el elemento agua al paisaje, el humedal construido, tanto como el natural, agrega diversidad al paisaje. Pueden construirse humedales artificiales siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del sitio, hasta el punto de que algunos humedales para el tratamiento de agua son indistinguibles, a simple vista, de los humedales naturales.

- **REMOCIÓN DE CONTAMINANTES Y RENDIMIENTOS**

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de fósforo, metales, trazas orgánicas y patógenos. Los mecanismos básicos de tratamiento son la sedimentación, precipitación química, absorción, e interacción biológica.

Remoción de la DBO_5: en los sistemas de humedales la remoción de materia orgánica sedimentable es muy rápida, debido a la quietud en los humedales tipo SF y a la deposición y filtración en los SSF, donde cerca del 50% de la DBO_5 del afluente es removida en los primeros metros del humedal; esta materia orgánica sedimentable es descompuesta mediante procesos aeróbicos y/o anaeróbicos dependiendo del oxígeno disponible. El resto de la DBO_5 se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal siendo removida del agua residual por la actividad microbiana. Esta actividad biológica puede ser aeróbica cerca de la superficie del

agua en los SF y cerca de las raíces y rizomas en los SSF, pero la descomposición anaerobia prevalece en el resto del sistema.

En términos generales el porcentaje de remoción de la DBO_5 alcanzados es estos humedales llegan entre 60 % y 86%, es decir, el efluente puede estar entre 2 y 7 mg/l.

Remoción de sólidos suspendidos: la remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los dos tipos de humedales artificiales, produciendo efluentes con concentraciones inferiores a 10 mg/l y los mecanismos de remoción son por sedimentación y la filtración que ofrece la alta densidad de la vegetación.

Al igual que ocurre con la remoción de DBO_5, siempre se alcanzan valores por debajo del valor de la concentración de entrada. La remoción de sólidos en humedales es más o menos rápida, y se estima que ocurre en gran parte en el 12 al 20 % de área inicial. Habiéndose obtenido porcentaje de remoción entre 73 – 93%.

Remoción de nitrógeno: la remoción de nitrógeno es muy efectiva en ambos tipos de humedales construidos y los principales mecanismos de eliminación son similares para los dos casos. Aunque ocurre la asimilación de nitrógeno por las plantas, solo una pequeña fracción del nitrógeno total puede ser eliminada por esta vía. Experiencias en los Estados Unidos de Norteamérica demuestran que solamente entre el 10 y el 15% del nitrógeno eliminado se retira del sistema usando la poda de las plantas. La remoción de nitrógeno en humedales puede alcanzar valores por encima del 80% (se ha obtenido remoción del 97%) por procesos de nitrificación y desnitrificación.

En los sistemas de humedales, el potencial de remoción del nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse, por lo menos se requieren dos o tres etapas del crecimiento de las plantas, sistemas de raíces, capa de residuos, y materiales del bentos, para alcanzar el equilibrio.

Se considera que la mejor forma para remover el amoniaco en ambos tipos de humedales construidos es la nitrificación biológica seguida por desnitrificación. La oportunidad de nitrificar existe cuando se tienen condiciones aeróbicas, se tiene la suficiente alcalinidad y la temperatura adecuada, y después de que la mayoría de la materia orgánica ha sido removida, para que los organismos nitrificantes puedan utilizar fácilmente el oxígeno disponible. La relación teórica indica que son necesarios 4,6 g de oxígeno para oxidar 1 g de nitrógeno amoniacal.

La remoción de amoniaco es también dependiente de la temperatura. Durante los meses de verano la remoción es bastante buena, pero decrece a medida que baja la temperatura, siempre dependiendo de la temperatura del agua.

La remoción de nitratos (NO_3) por vía de una desnitrificación biológica en humedales, requiere condiciones anóxicas, una adecuada fuente de carbono y condiciones adecuadas de temperatura. La presencia de condiciones anóxicas esta casi garantizada en el fondo de los humedales construidos y la temperatura del agua depende del clima local y de la estación, así que la disponibilidad de una fuente adecuada de carbono tiende a ser el factor que controla el proceso.

Remoción de fósforo: la remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales construidos no es muy eficaz (9% - 58%) debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno; además, en menor porcentaje es tomado por las plantas.

Para incrementar la remoción de fósforo de la columna de agua, en algunos humedales se usan arena en lugar de la grava para aumentar la capacidad de la

retención del fósforo, pero este medio requiere instalaciones muy grandes, debido a la reducida conductividad hidráulica de la arena comparada con la grava.

Remoción de metales: los mecanismos de eliminación de metales en humedales construidos son similares a los descritos anteriormente para el fósforo, incluyendo asimilación por parte de las plantas, adsorción, y precipitación. Como los sedimentos orgánicos e inorgánicos están aumentando continuamente (a una velocidad lenta) en los humedales, la disponibilidad de sitios de adsorción frescos esta también aumentando. Los dos tipos de humedales construidos tienen la misma capacidad potencial de remoción de metales y esta capacidad se mantiene durante todo el periodo de diseño del sistema.

Los metales pueden acumularse en los humedales artificiales, pero las concentraciones que normalmente tienen las aguas residuales no representan una amenaza para los valores del hábitat o para los posibles usos a largo plazo.

Remoción de coliformes fecales: en los humedales construidos se ha obtenido la remoción del 84% de coliformes fecales (en estaciones experimentales cerca del 99%), debido a los largos tiempos de retención hidráulica y biofiltración lo que propicia su sedimentación y muerte natural, por depredación por invertebrados y otros microorganismos y ataque por antibióticos excretados por las raíces de las plantas emergentes.
Cuando se presentan lluvia intensa, la elevación del volumen afluente influye negativamente en la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Como resultado, la mayoría de los sistemas utilizan alguna forma de desinfección final

- **Funciones básicas de los humedales.**

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, son estas:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

4.3.6 Parámetros de diseño. El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Conductividad hidráulica.
- Granulometría.
- Flujo sumergido para todas las condiciones de caudales.

Además, se recomiendan los siguientes parámetros, para el caso de humedales de flujo subsuperficial:

- **Localización**

Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal.

- Área superficie

Para la determinación del área superficial del humedal se recomiendan dos alternativas:

- Usar los siguientes valores de carga hidráulica: 0.032 m²/L/día (para zonas frías o donde haya restricciones de espacio), y 0.021m²/L/dia (para zonas donde haya restricciones de espacio)

- Método incluyendo la cinética del proceso

As=Qd(LnCo-LnCe) / (Kt.D.n)

- Sección transversal

Para determinar el área de la sección transversal se recomienda el uso de la ley de Darcy.

Ast=Q/(Ks.S)

La conductividad utilizada para el diseño nunca puede ser mayor que la del medio de soporte. Se debe reducir dicha conductividad en un orden de magnitud para tener en cuenta los efectos de atascamiento asociados a la retención de sólidos en los humedales.

- Pendiente de fondo. Se recomienda no usar la pendiente de fondo para ganar cabeza pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando hayan condiciones de bajo caudal. = 1%.
- Usar piedra entre 50 y 100 mm para una longitud de 0.6 m alrededor del afluente distribuidor y las tuberías colectoras del efluente para reducir el taponamiento.
- Usar solo sustrato lavado para eliminar los granos finos que puedan taponar los poros del sustrato y, posiblemente, causen flujo superficial.

- Construir la berma al menos 150 mm por encima del sustrato y al menos 150 mm por encima de la superficie de la tierra.
- Pendiente exterior 3H:1V
- Pendiente interior 2H:1V
- Ancho mínimo de la berma = 0.60 m
- Carga orgánica máxima = 4 m²/kg. de DBO5/día
- Tiempo de llenado del lecho con agua = 1 - 2 días
- Profundidad. Se recomienda que la profundidad media del lecho sea 0.6 m y que la profundidad en la entrada no debe ser menor de 0.3 m. Con profundidades mayores a 0.6 m, las raíces mas profundas y los rizomas empiezan a debilitarse. Se recomienda que los lechos se construyan con al menos 0.5 m de cabeza sobre la superficie del lecho. Para lechos pequeños, esta puede reducirse.
- Medio. Cuando se utilice grava como medio que carece de nutrientes, se recomienda que las semillas se planten en un medio fértil con el fin de evitar problemas posteriores.

- **Operación y mantenimiento**

Se recomienda que la superficie del humedal se cubra con vegetación. La elección de la vegetación depende del tipo de residuos, de la radiación solar, la temperatura, la estética, la vida silvestre deseada, las especies nativas y la profundidad del humedal. Se deben usar dos celdas en serie. Las celdas deben ser impermeabilizadas para evitar la infiltración. Es esencial que las raíces tengan siempre acceso a agua en el nivel de los rizomas en todas las condiciones de operación.

Para medios muy permeables con alta conductividad hidráulica (tales como la grava), se recomienda que el nivel de agua se mantenga alrededor de 2 a 5 cm por debajo de la superficie del lecho.

4.3.7 Comportamiento del flujo en los humedales. Los humedales son comparativamente cuerpos poco profundos de lento movimiento de aguas en las cuales densos grupos de plantas, tolerantes de agua, crecen. Cada humedal está formado por una serie de componentes físicos, biológicos o químicos, tales como suelos, agua, especies animales, vegetales y nutrientes. Los procesos entre estos componentes y dentro de cada uno de ellos permiten que el humedal desempeñe ciertas funciones, tales como la recarga y descarga de acuíferos, control de inundaciones, retención de sedimentos (sustancias tóxicas) y retención de nutrientes entre otros, y que generen productos, tales como vida silvestre, pesquería y recursos forestales.

En la difusión molecular se trabaja con el movimiento de las moléculas individuales a través del humedal debido a su energía térmica. De acuerdo con una teoría cinética simplificada, se puede imaginar que una molécula viaja en línea recta con una velocidad uniforme, que choca con otra molécula y que entonces su velocidad cambia tanto en magnitud como en dirección. La distancia promedio que viaja la molécula entre cada choque es su trayectoria libre promedio; su velocidad

promedio depende de la temperatura. Como la molécula viaja en una trayectoria en zigzag, la distancia neta en la dirección en la cual se mueve durante cierto tiempo -rapidez de difusión-, solo es una pequeña fracción de la longitud de su trayectoria real. Por esta razón, la rapidez de difusión en un humedal es muy pequeña, aunque podría aumentar con un descenso de presión, que reduciría el número de choques y un incremento de temperatura en épocas de verano, que aumentaría la velocidad molecular.

La importancia de la barrera que presenta la colisión molecular y los choques entre moléculas y las raíces de las plantas acuáticas frente al movimiento difusional es profunda. De acuerdo a este hecho, se puede inferir que el flujo que se presenta en un humedal no necesariamente es turbulento y de acuerdo a unas condiciones de frontera bien definidas se puede establecer que este flujo es prácticamente laminar y en algunos casos puede llegar a ser transicional. El fenómeno de la difusión molecular conduce finalmente a una concentración completamente uniforme de sustancias a través del humedal.

Sin embargo, al principio debe distinguirse entre la difusión molecular, que es un proceso lento y el mezclado más rápido del flujo, ya sea éste laminar o transicional que podría lograrse por movimiento de convección del fluido, pero en los humedales es muy difícil que se presente un flujo turbulento debido a las bajas profundidades que se encuentran en éstos y el poco contacto entre el movimiento que pueda imprimirle el aire al fluido debido a la alta población de plantas flotantes que están cubriendo la superficie del humedal. Entonces, la difusión molecular es el mecanismo de transferencia de masa en fluidos estancados de humedales o en fluidos que se están moviendo únicamente mediante flujo laminar, aun cuando siempre está presente hasta en el flujo turbulento muy intenso ya que la uniformidad se alcanza por difusión molecular, que es el último proceso.

La rapidez de transferencia de masa en el humedal puede describirse adecuadamente en función del flujo molar, o moles/(tiempo-área), ya que el área

se mide en dirección normal a la difusión. Sin embargo, aunque el humedal contenga porciones no uniformes y tenga varios componentes, éstos deberán difundirse si se quiere alcanzar la uniformidad. Se pueden utilizar dos fluxes para describir el movimiento de un componente: N, el flux relacionado con un lugar fijo en el espacio, y J, el flux de un compuesto con relación a la velocidad molar promedio de todos los componentes. Por ejemplo, estaríamos más interesados en la rapidez con la cual se desplaza una partícula desde un punto determinado (análogo a N), que en la velocidad de la partícula con respecto al fluido del humedal (análogo a J). Así, la difusividad, o coeficiente de difusión, D_{AB} de una partícula A en solución en B en el humedal, que es una medida de la movilidad de difusión, se define como la relación de su flux J_A y su gradiente de concentración:

$$J_A = -D_{AB}\frac{\partial C_A}{\partial z} = -CD_{AB}\frac{\partial x_A}{\partial z} \qquad (1)$$

que es la primera Ley de Fick, en este caso para la dirección z. El signo negativo hace hincapié que la difusión ocurre en el sentido del decremento en concentración. La difusividad es una característica de un componente y de su entorno (temperatura, presión, concentración y la naturaleza de los otros componentes).

Si dos paquetes de fluido del humedal se difunden, uno hacia la derecha y otro hacia la izquierda, hay un movimiento neto de masa, Si se toma como positiva la dirección hacia la derecha, entonces el flux N_A de A con relación a la posición fija P sería positivo y el flux N_B de B sería negativo. Por condición de estado estacionario, el flux neto es:

$$N_A + N_B = N \qquad (2)$$

El movimiento de A esta formado por dos partes: la resultante del movimiento total N y la fracción x_A de N, que es A y la resultante de la difusión J_A:

$$N_A = Nx_A + J_A \qquad (3)$$

$$N_A = (N_A + N_B)\frac{C_A}{C} - D_{AB}\frac{\partial C_A}{\partial z} \qquad (4)$$

El homólogo de la ecuación 4 para B es:

$$N_B = (N_A + N_B)\frac{C_B}{C} - D_{BA}\frac{\partial C_B}{\partial z} \qquad (5)$$

Sumando estos resultados se tiene:

$$-D_{AB}\frac{\partial C_A}{\partial z} = D_{BA}\frac{\partial C_B}{\partial z} \qquad (6)$$

o $J_{A=}-J_B$. Si C_A+C_B = constante, se tiene que $D_{AB} = D_{BA}$ en la concentración y temperaturas predominantes. En todo lo anterior se ha considerado la difusión en un solo sentido; no obstante, para gradientes de concentración generales y fluxes difusionales, deben considerarse todos los sentidos; por ello existen los homólogos de las ecuaciones 1 a 6 en los tres sentidos en el sistema de coordenadas cartesianas.

4.3.8 Transferencia de cantidad de movimiento y de calor en el fluido con régimen laminar de una humedad. En el flujo del fluido a través de la fase límite del humedal, como la fase a través de la cual ocurre la transferencia de masa, existe un gradiente de velocidad dentro del fluido, que tiene como resultado una transferencia de cantidad de movimiento a través del humedal. En algunos casos también existe una transferencia de calor en virtud de un gradiente de temperatura.

- **Transferencia de cantidad de movimiento.**

Considerando el perfil de velocidad para el caso de un paquete de fluido que pasa a través de las raíces de las plantas flotantes, y teniendo en cuenta que la velocidad sobre la superficie de la raíz es cero, debe existir una capa (la subcapa laminar) adyacente a la superficie de la raíz, en donde el flujo es predominantemente laminar. Dentro de esta región se puede imaginar al fluido como formado por capas delgadas que se deslizan unas sobre otras a velocidades mayores, a distancias mayores de la raíz. La fuerza por unidad de área paralela a la superficie, o esfuerzo cortante, que se requiere para mantener sus velocidades es proporcional al gradiente de velocidad,

$$\tau g_c = -\mu \frac{dv}{dy} \qquad (7)$$

en donde μ es la viscosidad; y aumenta en la dirección hacia la superficie. Esto puede escribirse como:

$$\tau g_c = -\frac{\mu}{\rho} \frac{d(v\rho)}{dy} = -\square \frac{d(v\rho)}{dy} \qquad (8)$$

en donde es la viscosidad cinemática, la cual tiene las mismas unidades que la difusividad, longitud^2/tiempo, mientras que la cantidad v puede considerarse como una concentración volumétrica de cantidad de movimiento. La cantidad g_c es la

rapidez de la transferencia de la cantidad de movimiento por unidad de área o flux de cantidad de movimiento. Por lo tanto la ecuación 8 es una ecuación de rapidez de transferencia análoga a la ecuación 1 para el flux de masa. En la transferencia de cantidad de movimiento de un humedal, efectuada de esta forma, no hay flujo total del fluido de una capa a otra en la dirección y. Antes bien, las moléculas en una capa, durante su movimiento al azar, se moverán de una capa que se mueva rápidamente a una adyacente que se mueve con más lentitud; de este modo transmiten una cantidad de movimiento correspondiente a las diferencias de velocidad de las capas. A concentraciones moleculares altas se pierde el paralelismo entre la difusividad molecular y la difusividad de la cantidad de movimiento (o viscosidad cinemática): la difusión es un proceso más lento. Es interesante observar que una teoría cinética relativamente simple es la que predice que tanto la difusividad de la masa como la de la cantidad de movimiento están dadas por la misma expresión:

$$D_{AA} = \frac{\mu_A}{\rho_A} = \frac{w\lambda}{3} \qquad (9)$$

en donde w es la velocidad molecular promedio y es la trayectoria libre de la molécula. El número de Schmidt, que es la relación adimensional de las dos difusividades, debe ser, por esta teoría, igual a la unidad.

- **Transferencia de calor**

Cuando existe un gradiente de temperatura entre el fluido y la superficie de la raíz, la rapidez de la transferencia de calor en la región laminar.

$$q = -k\,\frac{dt}{dy} \qquad (10)$$

en donde k es la conductividad térmica del fluido. También puede escribirse como:

$$q = -\frac{k}{C_p \rho}\frac{d(tC_p\rho)}{dy} = -\alpha\frac{d(tC_p\rho)}{dy} \qquad (11)$$

en donde C_p es el calor específico a presión constante. La cantidad $tC_p\rho$ puede imaginarse como una concentración volumétrica térmica y $\rho=k/C_p$ es la difusividad térmica, la cual, al igual que las difusividades de cantidad de movimiento y de masa, tiene dimensiones de longitud^2/tiempo. Por lo tanto, la ecuación 11 es una ecuación de rapidez de tranferencia análoga a las ecuaciones correspondientes para la transferencia de cantidad de movimiento y de masa.

Se puede resumir este breve análisis de la similitud entre las transferencias de cantidad de movimiento, calor y masa para humedales de la siguiente forma. La consideración elemental de los tres procesos lleva a la conclusión de que ciertas situaciones sencillas son directamente análogas entre sí. Generalmente, sin embargo, cuando se considera la transferencia tridimensional en lugar de una unidimensional, el proceso de transferencia de cantidad de movimiento es lo suficientemente distinto para que la analogía desaparezca. Esta sencilla analogía también se modifica, por ejemplo, cuando la transferencia de masa y la de cantidad de movimiento suceden simultáneamente. Por tanto, si hubiese una transferencia neta de masa hacia la superficie de la raíz de las plantas flotantes, la transferencia de cantidad de movimiento de la ec. 18 debería incluir el efecto de la difusión neta. En la misma forma, la transferencia de masa debe, inevitablemente, modificar el perfil de velocidad.

4.3.9 Capa límite: resistencia de la superficie de la raíz de las plantas flotantes y de los sedimentos del fondo del humedal. La capa límite de la superficie de la raíz de las plantas flotantes:

Tiene un espesor muy pequeño, del orden de micras o mm, según las condiciones de las plantas flotantes. En ella se hacen sentir intensamente los efectos de la viscosidad y rozamiento, aunque la viscosidad sea pequeña porque el gradiente de velocidades es grande. La resistencia a la deformación tiene lugar en todo el seno del fluido real, pero si la viscosidad es pequeña solo tiene importancia en una película fina -capa límite-, la cual es el rozamiento pelicular o rozamiento de superficie de raíz de la planta flotante.

Fuera de esta película prácticamente infinitesimal, un líquido poco viscoso como el agua se comporta como un fluido ideal.

Fuera de la capa límite se pueden aplicar todos los métodos matemáticos y experimentales que permitan trazar las líneas de corriente alrededor de un contorno y obtener la distribución de presiones en las cercanías de las paredes sólidas de las raíces.

En las ecuaciones de Navier Stokes los términos en que interviene la viscosidad son muy importantes en la capa límite y despreciables fuera de la misma.

Suponiendo que el espesor de la capa límite es infinitesimal se simplifican las ecuaciones de Navier Stokes.

Utilizando el reparto de velocidades y de presiones por la teoría del fluido ideal en las proximidades de la raíz se puede determinar la evolución del fluido en la capa límite y los esfuerzos ejercidos sobre la pared de la raíz, ya que la presión se transmite a través de la capa límite sin cambiar de dirección, de manera que sigue siendo normal a la superficie de la raíz y sin cambiar tampoco de valor, lo cual permite el cálculo de las presiones.

El fondo del humedal puede verse afectado por sedimentos que se pueden ir acumulando y sumergiendo en una corriente uniforme en el infinito, cuya velocidad en el infinito es v constante y paralela al fondo del humedal.

El fluido en contacto con el fondo del humedal por adherencia queda fijo, y las capas sucesivas sufren un frenado. A medida que la corriente avanza por el fondo, más capas de fluido quedan afectadas por este frenado.

El espesor de la capa límite puede definirse convencionalmente como la distancia desde la superficie al punto en que su velocidad difiere de la velocidad correspondiente al fluido ideal en un 1 por 100. El punto donde tiene lugar la transición, es decir, donde el flujo laminar se empieza a hacer inestable, para lo cual se requiere una determinada profundidad; de aquí en adelante debería comenzar a desarrollarse la turbulencia en el interior de la capa límite, pero para el caso de un humedal no se alcanza a presentar este fenómeno muy pronunciadamente.

4.4 MARCO LEGAL

Según la Convención Ramsar (ratificada en Colombia por la Ley 357 de 1997), se entiende por humedales “aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. Es un conjunto muy heterogéneo de ecosistemas naturales y artificiales.

Decreto N° 1667, agosto 2 de 2002. Por el cual se designan unos humedales para ser incluidos en la lista de humedales de Importancia Internacional, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997.

El Presidente de la República de Colombia, en uso de sus facultades constitucionales, en especial las que le confieren los numerales 2 y 11 del artículo 189 de la Constitución Política y en desarrollo de lo previsto en los numerales 1 y 4 del artículo 2° de la Ley 357 de 1997.

CONSIDERANDO:

Que mediante Ley 357 del 21 de enero de 1997, el Congreso de la República Colombia aprobó la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el 2 de febrero de 1971, la cual fue declarada exequible mediante Sentencia C-582/97 de la Corte Constitucional; Que en cumplimiento de lo previsto en el numeral 4° del artículo 2° de la citada Convención, cada Parte Contratante designará por lo menos un humedal para ser incluido en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, al firmar la Convención o depositar su instrumento de ratificación o de adhesión.

Que según los numerales 1 y 2 del artículo 2° anteriormente mencionado, cada Parte Contratante designará humedales idóneos de su territorio, basando su selección en su importancia internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos; Que de conformidad con el numeral 5 del mismo artículo 2°, toda parte contratante tendrá derecho a añadir a la Lista otros humedales situados en su territorio; Que de acuerdo con dichos criterios, se seleccionaron como humedales idóneos para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, el Delta del río Baudó y el Delta del río San Juan, localizados en el departamento del Chocó; Que así mismo, para la selección de dichos humedales se realizaron los estudios que permitieron establecer que cumplen con los criterios de las directrices de la Convención Ramsar contenidas en el "Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional"; Que de acuerdo con los estudios en mención, los Deltas de los ríos San Juan y Baudó se caracterizan por presentar diferentes tipos de humedales como pantanos

arbustivos, ríos permanentes de cauce lentos, bosques inundados y estuarios, los cuales albergan una alta biodiversidad de fauna y flora y son de vital importancia para las comunidades locales. Así mismo, por su ubicación y relativo aislamiento, son áreas apropiadas para la conservación y el uso racional de sus recursos naturales; Que de acuerdo con los numerales 22 y 24 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993, corresponde al Ministerio del Medio Ambiente, representar al Gobierno Nacional en la ejecución de tratados y convenios internacionales sobre medio ambiente y recursos naturales renovables y regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales; En mérito de lo expuesto.

DECRETA:

Artículo 1: Se designan el Delta del río San Juan y el Delta del río Baudó, para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, los cuales se encuentran delimitados de la siguiente forma: Delta del río San Juan: Está delimitado al norte por la Punta Togoromá, en la bocana del mismo nombre (N 04° 23', W 77° 23') baja en dirección sur por el brazo Docordó hasta unirse con el brazo Cabeceras, pasando por la cabecera municipal del municipio de Litoral del San Juan (N 4° 16'; W 77° 22'), para seguir luego en dirección este por el brazo Cabeceras hasta la unión con el ramal principal de río San Juan (N 04° 13' W 77° 11'). De aquí toma dirección sur por el brazo San Juan y sigue este curso de agua hasta la Boca San Juan en la localidad de El Choncho (N 04° 04'; W 77° 28'), de aquí toma dirección norte siguiendo la línea de costa hasta encontrarse con La Bocana Togoromá. Delta del río Baudó: Presenta su límite norte en el punto conocido como pantano José Ángel (N 04° 58'; W 77° 23'), sigue con dirección sur pasando al oriente de la cabecera municipal del municipio del Bajo Baudó-Pizarro (N 04° 57'; W 77° 22'), cruza el río Baudó, incluye todo el sistema de bosque inundable de las bocanas de los ríos Usaragá y Dotenedó continúa en dirección sur pasando por Sivirú hasta llegar a la Ensenada de Docampadó, aquí en la Isla Playa Nueva (N 04° 48'; W 77° 22') se ubica el límite sur; de aquí toma dirección

norte siguiendo la línea de costa hasta unirse nuevamente con el Pantano José Andel.

Artículo 2: El manejo de estos humedales de Importancia Internacional se regirá de acuerdo con los lineamientos y directrices emanados por la Convención Ramsar, la Política Nacional de Humedales Interiores, Política para el Manejo Integrado de las Zonas Costeras, así como por la normatividad que expida el Ministerio del Medio Ambiente para estas áreas.

Artículo 3: El presente decreto rige a partir de la fecha de su publicación. Ministerio de Desarrollo Económico, resolución número 1096 de 2000 (noviembre 17) por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. El Ministerio de Desarrollo Económico, en ejercicio de las facultades que le confiere la Ley 142 de 1994 y en especial las consagradas por los artículos 3º y 17 del Decreto 219 de 2000, considerando,
Tratamiento de aguas residuales municipales, sistemas de postratamiento, en los cuales encontramos los humedales artificiales de flujo sumergido.

Artículo 158. Humedales artificiales de flujo sumergido. Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal. El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios: Conductividad hidráulica, Granulometría, Flujo sumergido para todas las condiciones de caudales.

5. TOMA Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea la suficientemente pequeño como para ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de representar con exactitud al material donde procede.

La persona que recoge una muestra debe ser orientada por el laboratorio que va a realizar los análisis ya que de esto depende la validez de los mismos. La obtención de una muestra que cumpla los requisitos del programa de toma y manipulación implica que aquella no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio. Antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlo (purgarlo) dos o tres veces con el agua que se va a coger a menos que el envase contenga un conservante o decolorante, según los análisis que deban realizarse hay que llenar el envase por completo.

En algunos casos, sólo pueden obtenerse muestras representativas si se hacen mezclas de varios tomas obtenidas a lo largo de un determinado periodo.

La toma debe realizarse con cuidado, al objeto de garantizar que el resultado analítico represente la composición real, entre los principales factores que influyen sobre los resultados se encuentran la presencia de materia suspendida o de turbidez, el método elegido para la recogida y los cambios físicos y químicos producidos por la conservación.

Hay que hacer un registro de todas las muestras recogidas e identificar cada envase, preferiblemente pegando una chapa o etiqueta debidamente señalada. Hay que registrar una información suficiente, de manera que se pueda realizar una identificación positiva de la muestra en fechas posteriores y esta información debe

constar el nombre del que la ha hecho la toma, la fecha, la hora y la localización exacta, la temperatura del agua y cualquier otro dato que pueda resultar necesario para establecer una correlación, como son las condiciones meteorológicas el nivel del agua, la velocidad de la corriente. La manipulación posterior a la recogida.

Deben tenerse ciertas precauciones a la hora de toma de muestras ya que los componentes de las muestras pueden ser tóxicos las cuales pueden penetrar a través de la piel y en el caso de los vapores a través de los pulmones, las precauciones pueden limitarse a llevar unos guantes o a proveerse de batas, delantales u otros sistemas de protección, siempre hay que llevar una protección ocular, tapabocas.

5.1 TIPO DE MUESTRA

Se trabajo con un tipo de muestra compuesta, la cual consiste en una mezcla de la muestra sencilla recogidas en el mismo punto en distintos momentos, este tipo de muestra representa un ahorro sustancial de trabajo y gasto de laboratorio.

6. METODOLOGÍA

6.1 CONDUCTIVIDAD

6.1.1 Método conductímetro. Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados. A la inversa, las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula, la resistencia de un conductor es inversamente proporcional a su área de sección transversal y directamente proporciona a su longitud. La resistencia específica es la resistencia de un cubo de 1cm de lado. En soluciones acusas, esta medida es rara, debido a las dificultades de fabricación del electro. Los electrodos prácticos miden una fracción ácida de la resistencia específica, siendo esta fracción la constante celular C:

$$C = \frac{\text{Resistencia medida, Rm}}{\text{Resistencia específica, Rs}} \qquad (12)$$

En los análisis de agua es más conveniente la unida micromhos. Cuando se conoce y se aplica la constante celular, la conductancia medida se convierte en conductancia, específica o conductividad, Ks, recíproco de la resistencia específica:

$$Ks = \frac{1}{Rs} = \frac{C}{Rm} \qquad (13)$$

Se refiere el término conductividad, y por lo general se expresa en micromhos por centímetro (μmhos / cm). La conductividad electrolítica aumenta con la temperatura a un índice de 1.9 por 100/ºC aproximadamente. En el sistema

internacional de unidades (SI), el recíproco de ohm es el Siemens (S) y la conductividad se reporta en millisiemens por metro (mS/m)

1mS/m = 10 μmhos/cm ó 1μmhos/cm = 0.1mS/m ó 1μS/cm = 1μmhos/cm

Para informar los resultados de la conductividad en unidades SI, se divide la conductividad en μmhos/cm por 10.

6.1.2 Demanda química de oxígeno. Método de reflujo abierto la mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómicos y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el sulfato ferroso para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalente de oxigeno. Mantener constantes las proporciones de pesos de reactivos, de volúmenes y de concentraciones cuando se utilicen volúmenes de muestra distintas de 50ml,. el tiempo estándar de reflujo de 2 horas puede reducirse si se ha demostrado que un periodo más corto produce los mismos resultados.

6.1.3 Turbidez. Método nefelométrico: se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. La turbidez de una concentración especificada de suspensión de formacina se define como el equivalente a 40 unidades nefolométricas.

La turbidez puede determinarse en cualquier muestra de agua libre de residuos y privada de sedimentos gruesos. El color verdadero, es decir, el color del agua

debido a sustancias disueltas que absorben luz, origina que la turbidez sea más baja.

6.2 ACIDEZ.

6.2.1 Método de titulación con (NaOH 0.02N). La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. El valor medio puede variar significativamente con el pH final utilizado en la determinación.

Los hidrogeniones, presentes en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos, reaccionan a la adicción de un alcohol estándar. De una forma ideal, el punto final de la titulación de la acidez corresponde al punto de equivalencia estequimétrica para la neutralización de los ácidos.

La escala de acidez encontrada en aguas residuales es tan amplia que no puede especificarse un tamaño simple de muestra ni la normalidad de base utilizada como reactivo de valoración para obtener una precisión volumétrica relativamente buena, en tanto se mantiene un volumen de muestra suficientemente pequeño como para permitir puntos terminales netos. Para muestras con cifras de acidez menores de 1000mg/L, aproximadamente de carbono cálcico ($CaCO_3$), seleccionar un volumen con acidez mayores, utilizar una porción con una acidez equivalente menor de 250mg de $CaCO_3$, y realizar una titulación con NaOH 1N.

6.3 ALCALINIDAD.

6.3.1 Método titulación. Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración depende, a su vez, del tipo de carbonato total nativo existente y de cualquier pérdida que pueda haberse producido durante la titulación. Como puntos de equivalencia de las

concentraciones de alcalinidad correspondiente, en mg de $CaCO_3$ /L, se sugieren los valores de pH que se expresan a continuación. Alcalinidad de Fenolftaleína es un término empelado tradicionalmente para designar la cantidad medida mediante titulación a pH 8.3, independientemente del indicador de color utilizado en su caso para la determinación. Las llamativas variaciones de color producidas por el púrpura de metacresol (pH 8.3) y el verde de bromocresol (pH 4,5) conceden utilidad a estos indicadores para la titulación de alcalinidad.

Para seleccionar el tamaño de la muestra que va a titularse y la normalidad del reactivo, sustituyendo el ácido sulfúrico (H_2SO_4) o clorhídrico (HCl) 0,02 ó 0,1 N por el álcali estándar de este método.

6.4 DUREZA.

6.4.1 Método titulación de EDTA. El ácido etilendiaminotetracético y su sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de lo $\pm$ 0,1 se añade una pequeña cantidad de colorante, como negro de ericromo T, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio formaran un complejo, y cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiará del rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación. Para obtener un punto final satisfactorio han de estar presentes los iones magnesio. Para asegurar esta presencia, se añade el tampón una pequeña cantidad de sal magnesica de EDTA, neutra desde el punto de vista complexométrico de este modo se introduce automáticamente una cantidad suficiente de magnesio y evita la necesidad de una corrección del blanco.

La nitidez el punto final aumenta con los incrementos de pH, sin embargo el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato cálcico ($CaCO_3$) o hidróxido magnésico, Mg (OH) y porque la tinción cambia de

color a pH alto. El valor de pH especificado de 10 ± 0,1 constituye una solución satisfactoria. Se fija un límite de cinco minutos de duración para la titulación, a fin de reducir al mínimo la tendencia a la precipitación de $CaCO_3$.

6.5 SÓLIDOS TOTALES.

6.5.1 Secados a 103-105ºC. Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105ºC. el aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales. Es posible que en muestras de aguas residuales los resultados no representen el peso real de los sólidos disueltos y suspendidos.

6.6 SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

6.6.1 Método volumétrico. Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie, así como de los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/L) o de un peso (mg/L). El límite inferior práctico de la medición depende de la composición de la muestra y, en general, es del orden de 0,1 a 1.0ml /L. En casos de producirse una separación de materiales sedimentables y flotantes, no deben valorarse estos últimos como sedimentable.

6.7 PH. MÉTODO ELECTROMÉTRICO.

6.7.1 Electrodo de vidrio. El electrodo del sensor es un bulbo de vidrio especial que contiene una concentración fija de HCl o una solución tamponada de cloruro en contacto con un electrodo interno de referencia. Al sumergir un nuevo electrodo en una solución, la superficie exterior del bulbo se hidrata e intercambia iones sodio por iones hidrógeno para formar una capa, superficial de iones hidrógeno. Esta junto con la repulsión de aniones por puntos fijos de silicato, cargados negativamente, produce un potencial en la interfase vidrio – solución, que esta en

función de la actividad de ión hidrógeno en solución. Los electrodos de combinación incorporan en una única sonda los electrodos de vidrio y de referencia.

Utilizar un electrodo con bajo error de sodio que pueda funcionar a temperaturas elevadas, para medir un pH superior a 10, porque los electrodos de vidrio estándar dan valores bajos erróneos. Para medir un pH inferior a 1, los electrodos de vidrio dan valores erróneamente elevados; utilícense en un lugar electrodos de membrana liquida.

6.8 TEMPERATURA

6.8.1 Termómetro Celsius de mercurio. Normalmente las medidas de temperatura pueden realizarse con cualquier termómetro Celsius de mercurio que como mínimo deberá tener una escala con marcas cada 0,1ºC sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrio rápido.

6.9 OXIGENO DISUELTO.

6.9.1 Método de electrodo de membrana. Los electrodos de membrana sensible al oxígeno de tipo polarográfico o galvánico, están compuestos por electrodo metálicos sólidos en contacto con un electrolito de soporte separado de la solución problema por una membrana selectiva, la corriente difusora presentes en los electrodos que se hallan comercialmente es linealmente proporcional a la concentración del oxigeno molecular. La corriente puede transformarse fácilmente en unidades de concentración (como miligramos por litro) por medio de varios procedimientos de calibrado.

Los electrodos de membrana presentan un coeficiente de temperatura relativamente alto, debido en gran medida a los cambios de permeabilidad de la membrana. El efecto de la temperatura sobre la sensibilidad del electrodo, ∅

(microamperios por miligramo por litro), se puede expresar por medio de la siguiente relación simplificada:

Log ∅ 0,43 mt –b donde
t = temperatura ºC
m = constante que depende del material de la membrana
b = constante que depende en gran medida del grosor de la membrana.

Se determinan los valores ∅ y m para una temperatura ($\varnothing_0$ y t_0) es posible calcular la sensibilidad a cualquier temperatura deseada (∅ y t) como sigue Log ∅ - Log $\varnothing_0$ – 0.43m (t - t_o). Las cartas monográficas para corrección de temperatura se puede elaborar fácilmente y son proporcionadas por algunos fabricantes.

6.10 COLOR.

6.10.1 Método espectrofotométrico. El color de una muestra filtrada se expresa en términos que describen la sensación percibida al observarla, la tonalidad (rojo, verde, amarillo, etc.) se designa como longitud de onda dominante, el grado de brillantez como luminancias y la saturación (pálida, pastel, etc.) como pureza. Como mejor se detectan estos valores es a partir de las características de transmisión de la luz de una muestra no filtrada, mediante espectrofotometría.

6.11 NITRITOS.

6.11.1 Método calorimétrico. El nitrito (NO_2^-) se determina por la formación de un colorante púrpura rojizo, producido a pH 2,0 a 2,5 por acoplamiento de sulfanilamida diazotizada con diclorhidrato de N-(1 naftil) – etilendiamina (diclorhidrato de NED). El rango de aplicación de método para medidas espectrofotométricas es de 10 a 1.000 μg de NO_2^- N/1, y se puede aplicar al de 5 a 50 μg de N/L si se usan un recorrido de luz de 5cm y filtro de color verde. El

sistema de color obedece a la ley de Beer hasta 180μg N/L con 1cm de recorrido de luz a 543nm.

6.12 SULFATO.

6.12.1 Método turbidimétrico. El ión sulfato (SO_4^{2-}) precipita en un medio de ácido acético con cloruro de bario ($BaCl_2$) de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa de la suspensión de $BaSO_4$ con un fotómetro y se determina la concentración de SO_4^{2-} por comparación de la lectura con una curva patrón. Concentración mínima detectable 1mg SO^{2-}_4/L.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 COLOR

- Se tomaron celdas 25 ml, se lavan con agua destilada, se secan cuidadosamente teniendo en cuenta de no dejar huellas digitales ya que pueden alterar las lecturas a realizar en las celdas, se colocan las muestras a estudiar hasta el aforo.
- Se utiliza un blanco que se prepara con agua destilada en celdas de 25ml.
- Se utiliza el blanco en el soporte de la celda dentro del equipo y se da lectura a cero.
- Se toma la muestra a leer 455nm y se presiona leer 3 veces consecutivamente en el momento que sea repetitiva una lectura esa será la que se registre.

7.2 NITRITOS

- Se toma una celda de 10ml se lava con agua destilada, se seca cuidadosamente tendiendo en cuenta de no dejar huellas o marcas ya que estas pueden alterar la lectura a realizar. En la celda se colocan las muestras a estudiar hasta el aforo.
- A estas muestras contenidas en las celdas se le adicionan 2 gotas de reactivos colorantes, se agita y se deja actuar por 20 minutos.
- Se preparan blancos con las muestras a estudiar, “sin reactivo”.
- Después de 20 minutos se coloca el blanco en el equipo el cual previamente se programa para leer nitritos a 371nm, posteriormente se leen las muestras que contienen el reactivo.

7.3 ALCALINIDAD

- Lavar cuidadosamente el electrodo con agua destilada.
- Tomar la muestra a analizar (afluente - efluente)
- Calibrar el equipo potenciométrico.
- Colocar en un vaso de precipitado limpio y seco 100ml de la muestra a estudiar.
- Registrar el valor de pH inicial de la muestra, cuando la lectura se estabilice.
- Adicionar ácido sulfúrico 0.057N lentamente hasta obtener un valor pH = 8,3 (si el pH inicial es mayor a 8,3) y continuar adicionando hasta llegar a pH =4,5.
- Registrar el volumen de ácido requerido para llegar a 4,5 pH.
- Desechar la muestra, lavar el electrodo.

7.4 PH

- Quitar el protector del sensor.
- Lave el electrodo con agua destilada.
- Colocar el electrodo en la muestra.
- Registrar el pH y la Tº de la muestra cuando la lectura sea estable.
- Lavar el electrodo al terminar el trabajo.

7.5 DUREZA

- Preparar el montaje de titulación
- Medir 100 ml de muestra y llevarlos a un vaso de precipitando de 250 ml
- adicionar a la muestra un ml de solución buffer PH – 10 y el indicador calmagita
- Titular con la solución EDTA estandarizada agitando permanentemente hasta obtener un cambio de color de rojo violeta a azul

7.6 TURBIDEZ

- Calibrar el turbidímetro con los patrones suministrados por el fabricante del nefelómetro, teniendo en cuenta el manual de operación del equipo.
- Agitar vigorosamente la muestra a estudiar, esperar a que las burbujas de aire desaparezcan y luego vierta la muestra en la celda de 25 ml de turbidimetro.
- Leer la turbiedad directamente en la pantalla del equipo.

7.7 CONDUCTIVIDAD

- Quitar el protector del sensor.
- Lavar los electrodos con agua destilada.
- Lavar las celdas con agua destilada, y llenarlos con muestras a estudiar.
- Sumergir el electrodo en la muestra.
- Registrar la conductividad de la muestra cuando la lectura sea estable.
- Lavar el electrodo al terminar el trabajo.

7.8 TEMPERATURA

- Suspender el termómetro previamente calibrado en soporte apropiado sobre corriente de agua, donde se proyecta tomar las muestras.
- Registrar la lectura hasta que se estabilice.

7.9 DQO

- Preparar el montaje de reflujo abierto.
- Se toman 3 balones de 250ml en el primer balón se prepara el blanco con 100ml de agua destilada en el segundo muestra (afluente) y tercer balón muestra (efluente) 100ml y a los tres balones se le adicionan cantidades iguales de 0,5gr de sulfato de mercurio, 10ml de dicromato de potasio , 15ml H_2SO_4 y perlas de ebullición.
- Agitar suavemente y llegar a digestión con refrigerantes.
- A través del extremo abierto del condensador adicione 10ml de ácido sulfúrico.
- Tape el extremo del condensador con un vaso pequeño y ponga a reflujo la mezcla por dos horas.
- Enfríe y lave el condensador con 100ml agua destilada arrastrando hacia abajo las aguas de lavado.
- Desconecte el condensador de reflujo.
- Enfríe a temperatura ambiente.
- Titular el exceso de $K_2Cr_2O_7$ con FAS de concentración conocida.

7.10 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

- Homogenizar la muestra por medio de la agitación.
- Llenar el cono imhoff hasta la marca de 1000ml con la muestra de agua, deje sedimentar los sólidos durante 1 hora.
- Después con una varilla de vidrio, agitar la muestra cerca de las paredes del cono, dejarla muestra en reposo durante 15 minutos.
- Registrar el volumen de los sólidos depositados en la parte inferior del cono imhoff como ml de sólidos sedimentables por litro.

7.11 SÓLIDOS TOTALES

- Tomar una cápsula de porcelana de 150ml a la mufla a una Tº 105ºC por una hora.
- Sacar la cápsula de porcelana y llevarla al desecador por 1’5’
- Pesar la cápsula de porcelana y repetir la operación por 15’ hasta peso constante.
- Adicionar un volumen de 50ml de la muestra a estudiar.
- Llevarla a una plancha calentamiento hasta que evapore a sequedad.
- Llevar el residuo a la mufla a 105º C por una hora.
- Enfrié el recipiente en desecador y pese en la balanza analítica.

7.12 ACIDEZ

- Preparar el montaje de titulación.
- Tomar un vaso de precipitado de 250ml limpio y seco.

- Tomar un volumen de 100ml de muestra y llevarlo al vaso de precipitado.
- Adicionar a la muestra 2 gotas de Fenolftaleína.

Se inicia con la ayuda de un agitador magnético la titulación con NaOH (0.02N)

- Titular con solución de NaOH (0.1N) agitando permanentemente hasta obtener un cambio de color de transparente o rosa.

7.13 OXIGENO DISUELTO

- Quitar el protector del sensor
- Lavar el electrodo con agua destilada.
- Lavar la celda con agua destilada y llevarlas a aforo con la muestra a estudiar.
- Sumergir el electrodo en la muestra.
- Registrar la primera lectura que aparezca en el equipo.
- Lavar el electrodo al terminar el trabajo.

7.14 SULFATO

- Se toma una celda de 25ml se lava con agua destilada, se seca cuidadosamente teniendo en cuenta de no dejar huella o marcas ya que estos puede alterar la lectura a realizar en las celda se coloca la muestra a estudiar hasta aforo.
- Adicionar el indicador sulfaver ($BaCl_2$) a la muestra, agitar.
- Dejar actuar por 5 minutos.
- Prepara un blanco con la muestra a estudiar “sin reactivo”

- Después de los 5 minutos, se coloca el blanco en el equipo el cual previamente se programa para leer sulfatos a 507nm.
- Se inicia la lectura de la muestra con reactivo.

8. RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Obtenidos los resultados para cada variable se efectúa la estimación del intervalo de confianza de la media poblacional (μ) en una distribución normal N (μG^2) en la que y son desconocidas.

Como se ha tomado una muestra de tamaño n(X_1, X_2, X_3..... X_n) de una distribución normal N(μ,σ^2) se obtiene.

$$\bar{X} - t(\frac{n}{2}, n-1)\sqrt{\frac{v}{n}} < \mu \bar{X} + t(\frac{n}{2}, n-1)\sqrt{\frac{v}{n}} \qquad (14)$$

en conformidad con el grado de libertad (n-1) de la distribución t

μ = Media Poblacional
σ^2 = Varianza Poblacional
α = Nivel de significancia
X = Media muestral
1 - α = nivel de confianza

$$V = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1} \qquad (15)$$

8.1.1 Temperatura. Para éste parámetro las mediciones obtenidas para diferentes (A) y diferentes (E) fueron las siguientes:

A	E
21.2	23.3
21.9	21.2
20.8	22.8
23.3	20.5
22.8	22.0
21.0	21.8
20.9	23.8
23.0	23.0
22.5	19.2
19.7	18.0
17.5	20.9
20.4	20.9
20.6	18.0
16.8	18.7
17.9	

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 20.69	$\bar{X}$ = 21.01
V = 3.99	V = 3.76

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A $19.58 < \mu < 21.79$

E $19.89 < \mu < 22.13$

8.1.2 Oxígeno. Para el oxígeno los intervalos medios poblacionales son las siguientes:

A	E
5.99	6.90
3.16	5.10
4.49	5.50
4.28	6.33
5.97	6.37
6.12	6.90
6.12	5.58
5.37	5.17
5.48	4.14
3.89	4.10
3.60	5.30
4.90	2.44
2.38	2.44
3.27	4.08
3.82	

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 4.65	$\bar{X}$ = 5.025
V = 1.26	V = 2.08

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 4.0272< μ < 5.271

E 4.192< μ < 5.858

8.1.3 Turbidez. Para este parámetro el intervalo poblacional es:

A	E
26.2	2.03
38.9	26.6
34.1	13.9
11.2	5.37
34.7	8.9
14.3	13.10.04
38.9	21.7
26.1	7.4
22.7	26.6
14.9	3.56
14.9	5.78
13.7	4.65
13.0	9.78
20.2	9.2
14.8	

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 22.69	$\bar{X}$ = 11.43
V = 96.62	V = 64.88

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 17.25< μ < 28.14

E 6.785< μ < 16.09

8.1.4 Conductividad. El intervalo medio poblacional para la conductividad es

A	E
849	1009
1128	992
1103	982
910	809
1261	628
774	886
1223	990
649	628
1029	676
790	710
785	958
1002	1050
1223	1050
1129	918
774	

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 975.2667	$\bar{X}$ = 877.5714
V = 39247.20953	V = 24579.6483

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 865.6 < μ < 1085

E 787 < μ < 968

8.1.5 TDS. El parámetro TDS tiene los siguientes intervalos poblacionales

A	E

1107	1339
1291	644
1182	769
1241	808
771	641
1259	873
647	991
1012	641
779	664
771	725
1034	952
1359	1339
1129	1050
774	918

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 14	n = 14
$\bar{X}$ = 1018.2857	$\bar{X}$ = 882.4286
V = 5189.6044	V = 55946.2637

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 887.8 < μ < 1149

E 745.9 < μ < 1019

8.1.6 Color. Para éste parámetro el intervalo poblacional es

A	E
238	
288	111
315	78
290	122
315	107
286	83
301	73
128	122
229	96
171	60
188	60
158	90
237	97
163	95
178	99

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 228.3333	$\bar{X}$ = 92.3571
V = 4737.8095	V = 397.9396

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 190.2 < μ < 266.5

E 80.84 < μ < 103.9

8.1.7 Sedimentales. Los intervalos poblacionales para los sedimentales son:

A	E
0.1	
0.5	
0.5	
0.6	
0.1	
0.2	
0.8	
0.9	0.4
0.2	
0.1	0.05
0.1	0.05
0.5	
0.1	
0.1	0.01
0.5	0.1

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 5
$\bar{X}$ = 0.3333	$\bar{X}$ = 0.106
V = 4737.8095	V = 397.9396

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 0.1987< μ < 0.507

E 0.1037 < μ < 0.3157

8.1.8 Sulfatos. Los sulfatos tienen los siguientes intervalos poblacionales

A	E
35	3
36	2
31	2
40	1
34	5
40	8
32	26
33	8
40	42
36	38
31	28
30	42
28	2

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 13	n = 13
$\bar{X}$ = 34.3077	$\bar{X}$ = 15.9231
V = 15.8974	V = 275.9103

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 31.9 < μ < 36.72

E 5.885< μ < 25.96

8.1.9 Nitritos. Para los Nitritos tienen los siguientes intervalos poblacionales

A	E
0.217	0.011
0.041	0.034
0.041	0.008
0.008	0.008
0.217	0.136
0.008	0.027
0.143	0.136
0.096	0.124
0.008	0.111
	0.022
9	9

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A

n = 9

$\bar{X}$ = 0.0865

V = 0.0033

E

n = 9

$\bar{X}$ = 0.0562

V = 53.4286

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A $0.02 < \mu < 0.1531$

E $0.011 < \mu < 0.100$

8.1.10 Dureza. Este parámetro tiene los siguientes intervalos poblacionales

A	E
29	
10	13
11	33
24	33
29	22
23	14
26	16
19	19
26	16
32	23
25	22
20	19
18	14
13	15
10	13

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 21	$\bar{X}$ = 19.4286
V = 53.4286	V = 44.5714

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A $16.95 < \mu < 25.05$

E $15.57 < \mu < 23.28$

8.1.11 Alcalinidad. Los intervalos poblacionales para la alcalinidad son:

A	E
220	
185.4	171.83
202.3	124.42
158.4	184.47
219.6	143.20
122.6	103.08
212.1	173.80
129.9	165.50
148.5	168.12
122.7	102.20
124.5	127.30
143.4	166.89
199.2	180.33
189.1	168.20
181.9	164.22

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 170.68	$\bar{X}$ = 153.11
V = 134.26	V = 777.31

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A 150.42 < μ < 121

E 137 < μ < 169.2

8.1.12 Acidez. Los intervalos poblacionales para este parámetro son

A	E
25	
16	15
25	22
12	16
12	11
16	13
14	12
25	20
11	15
15	13
21	15
20	23
18	14
13	15
10	13

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 16.86	$\bar{X}$ = 15.5
V = 27.40	V = 13.34

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A $13.97 < \mu < 19.77$

E $13.39 < \mu < 17.61$

8.1.13 PH. Para este parámetro los intervalos son:

A	E
8.22	
8.28	8.18
8.02	8.18
7.44	7.99
8.02	7.84
7.66	7.93
7.98	7.93
7.93	7.52
7.74	7.94
6.54	7.30
6.42	7.74
6.42	6.92
8.04	6.71
7.17	7.02
8.04	7.98

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 15	n = 14
$\bar{X}$ = 7.59	$\bar{X}$ = 7.65
V = 0.42	V = 0.23

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A $7.223 < \mu < 7.958$

E $7.377 < \mu < 7.934$

8.1.14 DQO. Los intervalos poblacionales para este parámetro son los siguientes

A	E
39.70	19.2
25.44	15.3
37.00	7.68
39.68	14.08
37.12	7.68
7.68	19.20
28.16	8.96
12.8	6.4
18.40	9.6
24.32	6.4

Los estadísticos principales, media X y Variación V

A	**E**
n = 10	n = 10
$\bar{X}$ = 27.03	$\bar{X}$ = 11.45
V = 131.58	V = 25.65

A un 95% de confiabilidad el intervalo medio población es:

A $18.82 < \mu < 35.24$

E $7.82 < \mu < 15.07$

8.1.15 Sólidos Totales. Los intervalos poblacionales para este parámetro son los siguientes

A	B
310	312
310	248
85.76	
802.50	326
462	226

8.2 TABLA DE RESULTADOS

	Febrero		Marzo 2/2004		Marzo 5/2004		Marzo 9/2004		Marzo 13/2004		Marzo 16/2004		Marzo 17/2004		Marzo 30/2004		Abril 1/2004		Abril 15/2004		Abril 22/2004		Mayo 3/2004		Mayo 10/2004		Mayo 12/2004		Mayo 14/2004	
Parametros	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**0**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**	**A**	**E**
Tº	21.2		21.9	23.3	20.8	21.2	23.3	22.8	22.8	20.5	21	22	20.9	21.8	23	23.8	22.5	23	19.7	19.2	17.5	18	20.4	20.9	20.6	20.9	16.8	18	17.9	18.7
O2	5.99		3.16	6.90	4.49	5.1	4.28	5.5	5.97	6.33	6.12	6.37	6.12	6.9	5.37	5.58	5.48	5.17	3.89	4.14	3.6	4.1	4.9	5.3	28	2.44	3.27	2.44	3.82	4.08
Turbidez	26.2		38.9	3.56	34.1	26.6	13	13.9	34.7	5.37	14.3	8.9	38.9	13.1	26.1	21.7	22.7	7.4	14.9	26.6	14.9	3.56	13.7	5.78	13	4.65	20.2	9.78	14.8	9.2
Conductividad	849		1128	1009	1103	992	910	982	1261	809	774	628	1223	886	649	990	1029	6.28	7.9	6.76	785	710	1002	958	1223	1050	1129	1050	774	918
TDS			1107	1339	1291	644	1182	769	1241	808	771	641	1259	873	647	991	1012	641	779	664	771	725	1034	952	1359	1339	1129	1017	774	918
Color	238		2.88	111	315	78	290	122	315	107	286	83	301	73	128	122	229	96	171	60	128	60	158	90	237	97	163	95	178	99
S. Sedimentables	0.1		0.5		0.5		0.6		0.1		0.2		0.8		0.9	0.4	0.2		0.1	0.01	0.1	0.01	0.5		0.1		0.1	0.01	0.5	0.1
Sulfatos			35	3	36	2	31	2	40	1	34	5	40	8	32	26	33	8	40	42	36	38	31	28	30	42	28	2		
Nitritos					0.21	0.011			0.041	0.034			0.041	0.008	0.008	0.008	0.217	0.136	0.008	0.027	0.143	0.136	0.096	0.124	0.008	0.111				0.022
Dureza	29		10	13	11	33	24	33	29	22	23	14	26	16	19	19	26	16	32	23	25	22	20	19	18	14	13	15	10	13
Alcalinidad	220		185.4	171.83	202.3	124.42	159.44	184.473	219.61	143.2	122.64	103.08	212.1	173.8	129.87	165.5	148.51	168.12	122.73	102.2	124.5	127.3	143.37	166.89	199.25	180.33	189.07	168.2	181.93	164.22
Acidez	25		16	15	25	22	12	16	12	11	16	13	14	12	25	20	11	15	15	13	21	15	20	23	18	14	13	15	10	13
PH	8.22		8.28	8.18	8.02	8.18	7.44	7.99	802	784	7.66	7.93	7.99	7.93	7.93	7.52	7.74	7.94	6.54	7.3	6.42	7.74	6.42	6.92	8.04	6.71	7.17	7.02	8.04	7.98
DQO					39.70	19.20	25.44	15.3	37	7.68	39.68	14.08	37.12	7.68	7.68	19.2	28.16	8.96	12.8	6.4	18.4	9.6	24.32	6.4						
Sólidos Totales	310	312	310	248	85.76		80250	316	462	226																				
Totales																														

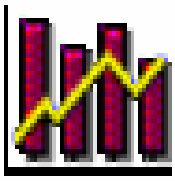
A - Afluentes

E - Efluentes

8.3 INDICES PARA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

8.3.1 Indice de Contaminación Mineralizada

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha:16/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,422
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Medio
Rango:	0,4 - 0,6
Color:	Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	572	1
Dureza	14	0
Alcalinidad	103,08	0,265

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH

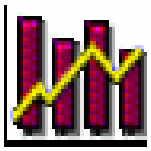
Fecha: 01/04/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,001
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2

Color: Azul
Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,74

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



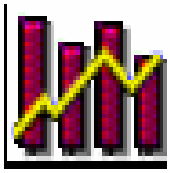
Fecha: 02/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,03
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	8,28

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



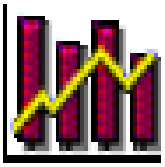
Fecha: 03/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,03
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	6,42

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



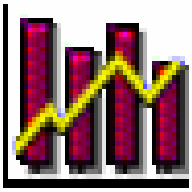
Fecha: 05/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,03
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2
Color:	Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	8,02

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



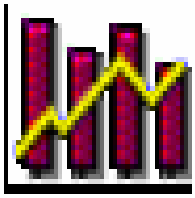
Fecha: 09/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,001
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2

Color: Azul
Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,44

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



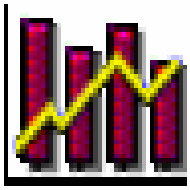
Fecha: 10/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,03
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	8,04

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



Fecha: 12/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

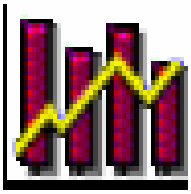
Valor del índice: 0,001
Número de parámetros: 1

Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,17

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



Fecha: 13/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

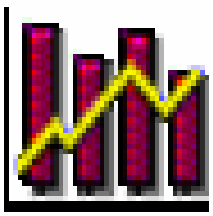
Valor del índice: 0,03
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	8,02

8.3.2 Indice de Contaminación por pH.

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



Fecha: 15/04/2004

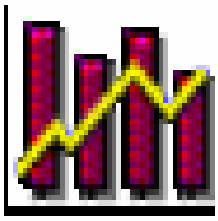
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,03
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2
Color:	Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	6,54

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



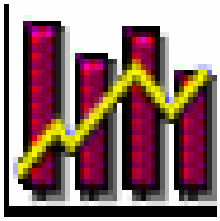
Fecha: 16/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,001
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2
Color:	Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,66

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



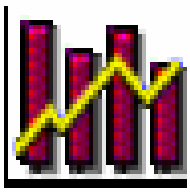
Fecha: 17/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,001
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2
Color:	Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,99

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



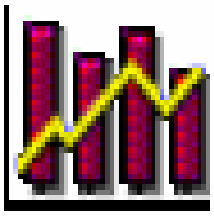
Fecha: 22/04/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,03
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2
Color:	Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	6,31

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



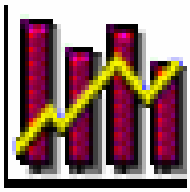
Fecha: 26/02/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,03
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno
Rango:	0 - 0,2
Color:	Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	8,33

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



Fecha: 30/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,001
Número de parámetros:	1
Grado de contaminación:	Ninguno

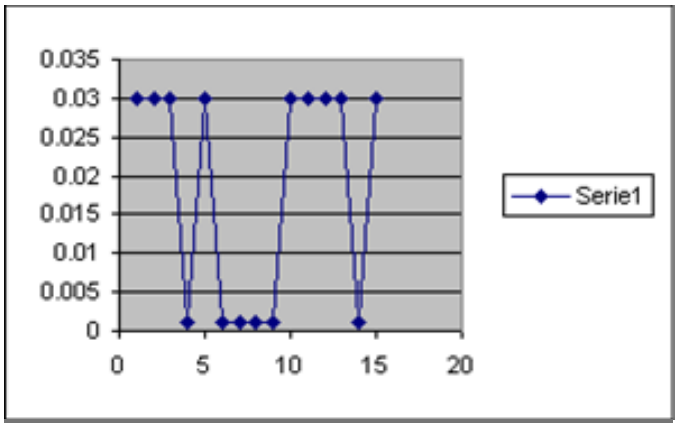
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,92

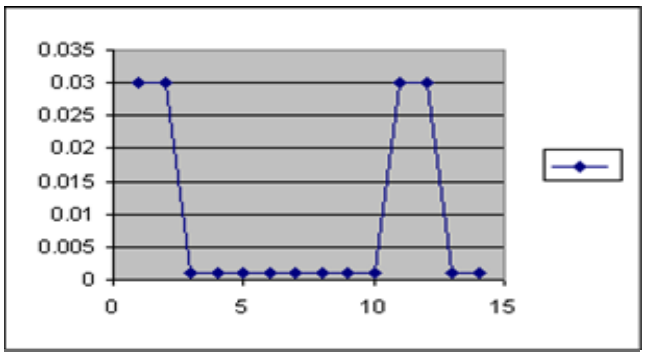
Afluentes

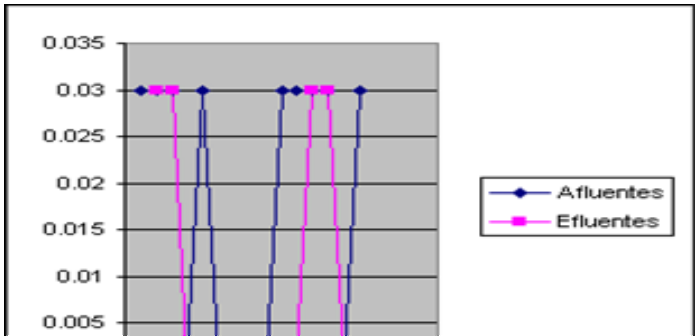
	Feb-26	Mar-02	Mar-05	Mar-09	Mar-13	Mar-16	Mar-17	Mar-30	Abr-01	Abr-15	Abr-22	May-03	May-10	May-12	May-14
ICOPH	0.03	0.03	0.03	0.001	0.03	0.001	0.001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.03	0.03	0.001	0.03



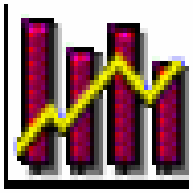
Efluentes

	Feb-26	Mar-02	Mar-05	Mar-09	Mar-13	Mar-16	Mar-17	Mar-30	Abr-01	Abr-15	Abr-22	May-03	May-10	May-12	May-14
ICOPH		0.03	0.03	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.001	0.001





ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



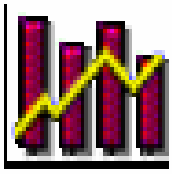
Fecha: 26/02/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,333
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Bajo
Rango:	0,2 - 0,4
Color:	Verde

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	849	1
Dureza	29	0
Alcalinidad	2,52	0

ICATest v1
ICATest v1.0 - Reporte ICOMI

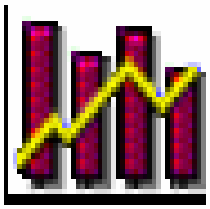


Fecha: 22/04/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón
Valor del índice: 0,458
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	785	1
Dureza	25	0
Alcalinidad	124,50	0,373

.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 15/04/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

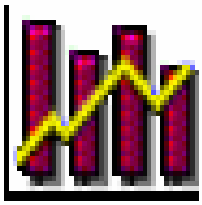
Valor del índice: 0,456
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice

Conductividad	790	1
Dureza	32	0,003
Alcalinidad	122,73	0,364

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



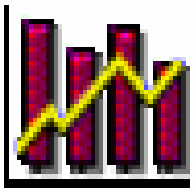
Fecha: 03/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,489
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Medio
Rango:	0,4 - 0,6
Color:	Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	1022	1
Dureza	20	0
Alcalinidad	143,37	0,467

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 10/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

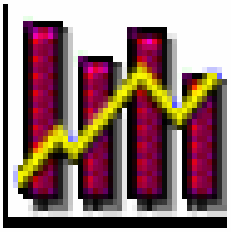
Valor del índice:	0,582
Número de parámetros:	3

Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	1298	1
Dureza	24	0
Alcalinidad	199,25	0,746

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



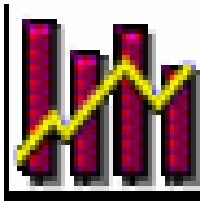
Fecha: 14/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,524
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	918	1
Dureza	27	0
Alcalinidad	164,22	0,571

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



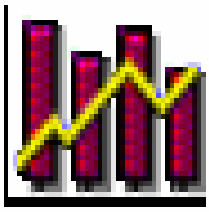
Fecha: 14/05/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,553
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Medio
Rango:	0,4 - 0,6
Color:	Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	774	1
Dureza	25	0
Alcalinidad	181,93	0,66

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



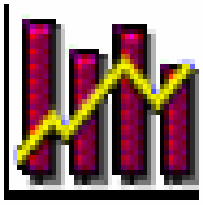
Fecha: 02/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,63
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Alto
Rango:	0,6 - 0,8
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	1128	1
Dureza	82	0,214
Alcalinidad	185,4	0,677

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



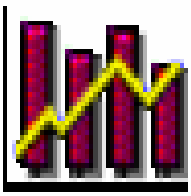
Fecha: 05/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,808
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Muy Alto
Rango:	0,8 - 1
Color:	Rojo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	1103	1
Dureza	106	0,663
Alcalinidad	202,3	0,762

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



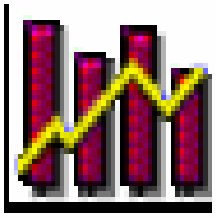
Fecha: 09/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,516
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	910	1
Dureza	24	0
Alcalinidad	159,44	0,547

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



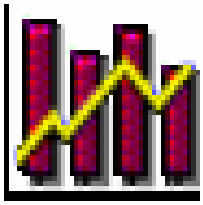
Fecha: 16/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,454
Número de parámetros: 3
Grado de contaminación: Medio
Rango: 0,4 - 0,6
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	750	1
Dureza	23	0
Alcalinidad	122,64	0,363

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



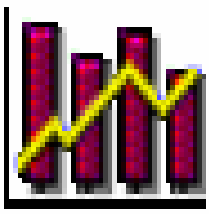
Fecha: 17/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,603
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Alto
Rango:	0,6 - 0,8
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	1223	1
Dureza	26	0
Alcalinidad	212,10	0,81

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



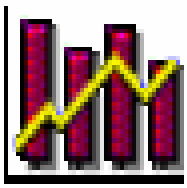
Fecha: 30/03/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	0,466
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Medio
Rango:	0,4 - 0,6
Color:	Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	649	1
Dureza	19	0
Alcalinidad	129,87	0,399

ICATest v1.0 - Reporte ICOMI



Fecha: 01/04/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

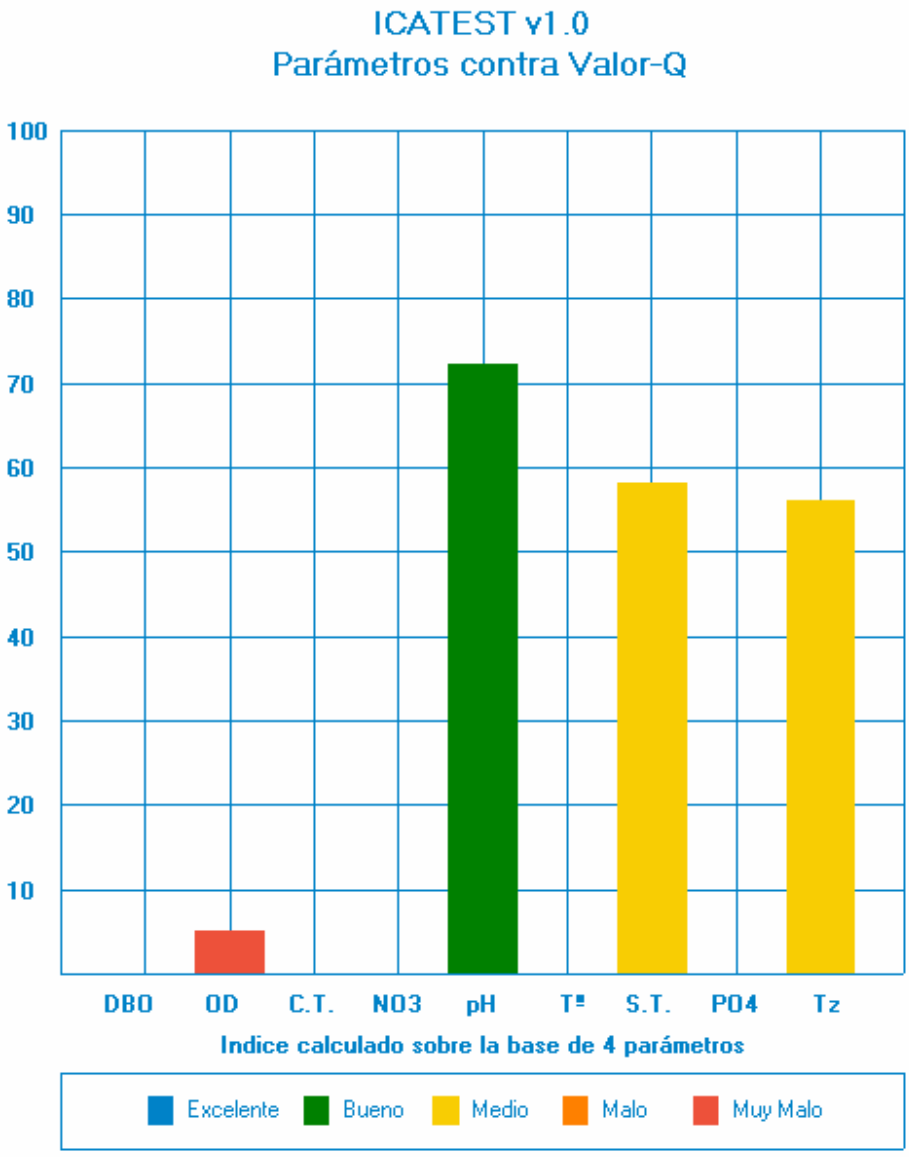
Valor del índice:	0,498
Número de parámetros:	3
Grado de contaminación:	Medio
Rango:	0,4 - 0,6
Color:	Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
Conductividad	1029	1
Dureza	26	0
Alcalinidad	148,51	0,493

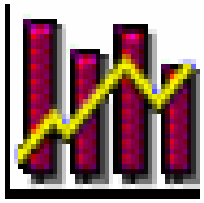
A continuación se muestra la hoja de calculos y la interpretación por medio de colores para la valoración de los diferentes parámetros estudiados para el índice INFS

Figura 2. Hoja de Cálculos.



8.4 INDICE DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO

ICATest v1.0 - Reporte NSF



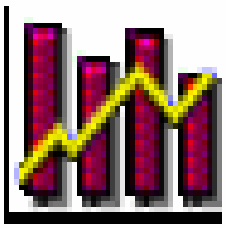
Fecha: 01/04/2004
Hora: 18:14:47
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	48,09
Número de parámetros:	3
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	5,48	4,74	0,38	1,8
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	7,74	90,6	0,32	28,99
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	21,7	59,64	0,29	17,3

ICATest v1.0 - Reporte NSF



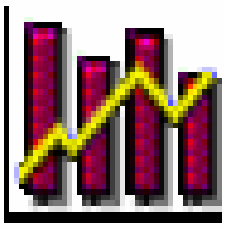
Fecha: 02/03/2004
Hora: 18:05:23
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	41,93
Número de parámetros:	4
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	3,16	3,58	0,31	1,11
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	8,28	74,04	0,25	18,51
Temperatura				
Sólidos totales	310	58,2	0,21	12,22
Fosfatos totales				
Turbidez	38,9	45,88	0,22	10,09

ICATest v1.0 - Reporte NSF



Fecha: 03/05/2004
Hora: 18:17:34
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

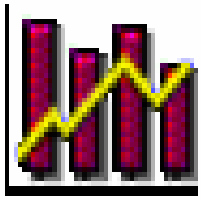
Valor del índice:	43,59
Número de parámetros:	3
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice

DBO				
Oxígeno disuelto	4,9	4,45	0,38	1,69
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	6,42	68,43	0,32	21,9
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	13,7	68,95	0,29	20

ICATest v1.0 - Reporte ICOpH



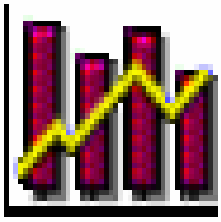
Fecha: 01/04/2004
Hora: 11:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 0,001
Número de parámetros: 1
Grado de contaminación: Ninguno
Rango: 0 - 0,2
Color: Azul

Detalles:

Parámetro	Resultado
pH	7,74

ICATest v1.0 - Reporte NSF



Fecha: 05/03/2004

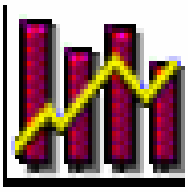
Hora: 18:06:11
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	42,68
Número de parámetros:	3
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	4,49	4,24	0,38	1,61
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	8,02	83,29	0,32	26,65
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	34,1	49,72	0,29	14,42

ICATest v1.0 - Reporte NSF



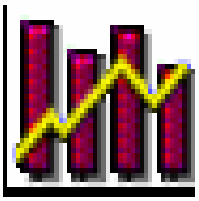
Fecha: 09/03/2004
Hora: 18:08:32
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	44,87
Número de parámetros:	4
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	4,28	4,14	0,31	1,28
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	7,44	92,8	0,25	23,2
Temperatura				
Sólidos totales	802	20	0,21	4,2
Fosfatos totales				
Turbidez	11,2	73,6	0,22	16,19

ICATest v1.0 - Reporte NSF

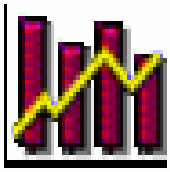


Fecha: 10/05/2004
Hora: 18:18:29
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón
Valor del índice: 47,94
Número de parámetros: 3
Clasificación: Mala
Rango: 26-50
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	2,38	3,19	0,38	1,21
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	8,04	82,58	0,32	26,43
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	13,0	70	0,29	20,3

ICATest v1.0 - Reporte NSF



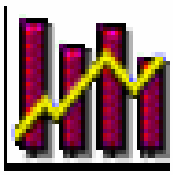
Fecha: 12/05/2004
Hora: 18:19:00
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	48,27
Número de parámetros:	3
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	3,27	3,64	0,38	1,38
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	7,17	91,4	0,32	29,25
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	20,2	60,84	0,29	17,64

ICATest v1.0 - Reporte NSF



Fecha: 13/03/2004
Hora: 18:10:53
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

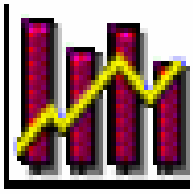
Valor del índice:	41,14
Número de parámetros:	4
Clasificación:	Mala

Rango: 26-50
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	5,97	4,98	0,31	1,54
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	8,02	83,29	0,25	20,82
Temperatura				
Sólidos totales	462	37,84	0,21	7,95
Fosfatos totales				
Turbidez	34,7	49,24	0,22	10,83

ICATest v1.0 - Reporte NSF



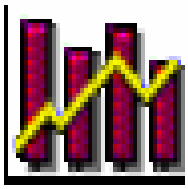
Fecha: 14/05/2004
Hora: 18:19:38
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 47,44
Número de parámetros: 3
Clasificación: Mala
Rango: 26-50
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	3,82	3,91	0,38	1,49
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	8,04	82,58	0,32	26,43
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	14,8	67,3	0,29	19,52

ICATest v1.0 - Reporte NSF



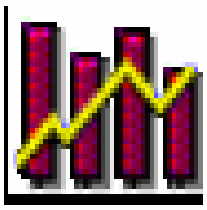
Fecha: 15/04/2004
Hora: 18:15:30
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	47,78
Número de parámetros:	4
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	3,89	3,94	0,31	1,22
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	6,54	73,03	0,25	18,26
Temperatura				
Sólidos totales	262	64,44	0,21	13,53
Fosfatos totales				
Turbidez	14,9	67,15	0,22	14,77

ICATest v1.0 - Reporte NSF



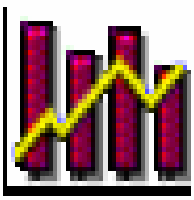
Fecha: 16/03/2004
Hora: 18:09:57
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	51,02
Número de parámetros:	3
Clasificación:	Media
Rango:	51-70
Color:	Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	6,74	5,37	0,38	2,04
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	7,66	91,4	0,32	29,25
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	14,3	68,05	0,29	19,73

ICATest v1.0 - Reporte NSF



Fecha: 17/03/2004
Hora: 18:13:12
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

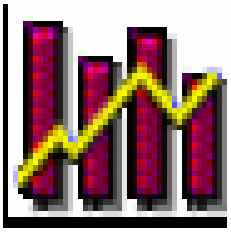
Valor del índice:	53,19
Número de parámetros:	3

Clasificación: Media
Rango: 51-70
Color: Amarillo

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	6,12	5,06	0,38	1,92
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	7,99	84,3	0,32	26,98
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	6,12	83,76	0,29	24,29

ICATest v1.0 - Reporte NSF



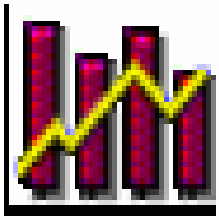
Fecha: 22/04/2004
Hora: 18:16:56
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice: 41,46
Número de parámetros: 3
Clasificación: Mala
Rango: 26-50
Color: Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	3,6	3,8	0,38	1,44
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	6,31	64,22	0,32	20,55
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	14,9	67,15	0,29	19,47

ICATest v1.0 - Reporte NSF



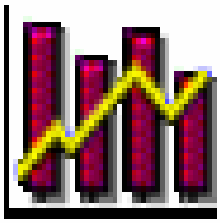
Fecha: 26/02/2004
Hora: 17:18:26
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

Valor del índice:	44,17
Número de parámetros:	4
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	5,99	5	0,31	1,55
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	8,33	72,27	0,25	18,07
Temperatura				
Sólidos totales	310	58,2	0,21	12,22
Fosfatos totales				
Turbidez	26,2	56,04	0,22	12,33

ICATest v1.0 - Reporte NSF



Fecha 30/03/2004
Hora: 18:14:08
Lugar: Humedales Universidad de Pamplona
Analista: Marlen Mogollón

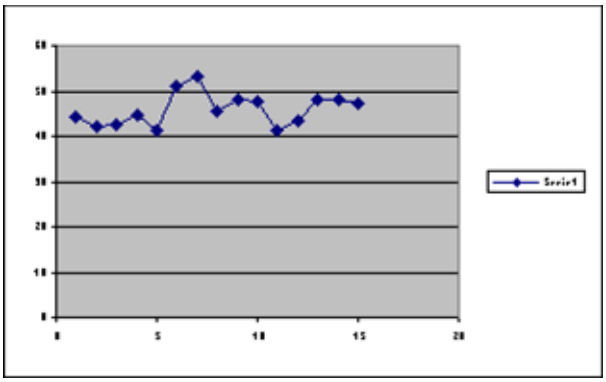
Valor del índice:	45,7
Número de parámetros:	3
Clasificación:	Mala
Rango:	26-50
Color:	Naranja

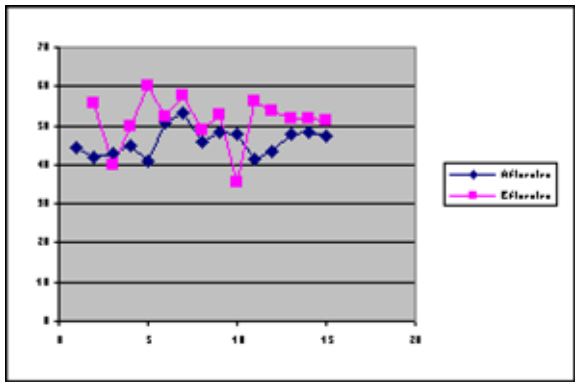
Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	5,37	4,69	0,38	1,78
Coliformes fecales		–	–	–
Nitratos				
pH	7,92	86,4	0,32	27,65
Temperatura		–	–	–
Sólidos totales		–	–	–
Fosfatos totales				
Turbidez	26,1	56,12	0,29	16,27

Afluentes

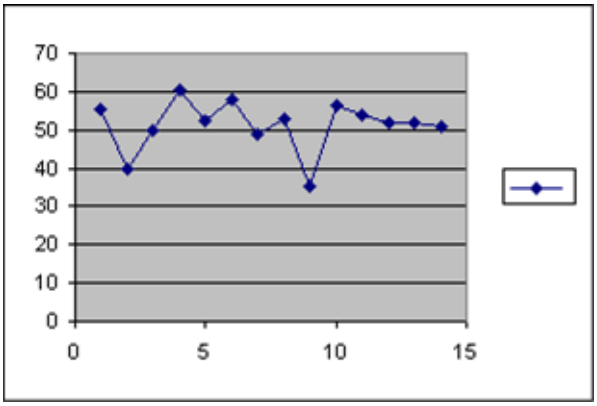
	Feb-26	Mar-02	Mar-05	Mar-09	Mar-13	Mar-16	Mar-17	Mar-30	Abr-01	Abr-15	Abr-22	May-03	May-10	May-12	May-14
NSF	44.17	41.93	42.68	44.87	41.14	51.02	53.19	45.7	48.09	47.78	41.46	43.59	47.94	48.27	47.44





Efluentes

	Feb-26	Mar-02	Mar-05	Mar-09	Mar-13	Mar-16	Mar-17	Mar-30	Abr-01	Abr-15	Abr-22	May-03	May-10	May-12	May-14
NSF		55.52	39.88	49.71	60.26	52.2	57.77	48.69	52.75	35.5	56.31	53.78	51.82	51.67	51.11



9. CONCLUSIONES

- La remoción de sólidos sedimentables es eficiente gracias a la utilización de los tanques de tamaño de 1mts de profundidad dentro del sistema, se encuentran instalados 2 uno al inicio del proceso de captación para alimentar el sistema (Ver Fotografía 1) y otro en la disposición final en el efluente (Ver Fotografía 6)

- A través de la valoración del índice de contaminación por pH (ICOPH) se pudo concluir que el grado de contaminación por pH no altera el sistema, se encuentra en unos valores permisibles para el buen desarrollo de las Sp que viven dentro del sistema.

- A través de la valoración del índice de contaminación mineralizada (COMI) se observo que los parámetros estudiados (conductividad, dureza, alcalinidad) se encuentran clasificados dentro de un grado de contaminación medio en general, con unas variaciones de alto y más alto en el mes de marzo por proceso de eutrificación.

- A través de la valoración del índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) se estudiaron los datos obtenidos para los parámetros de oxígeno disuelto, pH, turbidez, sólidos totales y se pudo concluir que el grado de contaminación esta clasificada como mala, contribuyendo así a un porcentaje muy bajo de remoción, esto se debe a que el sistema estaba iniciando su etapa inicial de operación y requiere de tiempo para su estabilización.

- Por bajos costos de instalación, operación y mantenimiento es posible su implementación como alternativas en tratamiento dentro de las instituciones educativas.

- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos, así como los gastos por energía.

- Facilitan el reciclaje y reutilización del agua.

- El agua efluente de los humedales puede ser reutilizada para la agricultura, piscicultura y otros usos permitidos.

- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias tóxicas como el amoniaco y los pesticidas. Aportándonos información experimental sobre el comportamiento de los sistemas. Humedales artificiales.

- Los humedales pueden ser menos costosos de construir, y usualmente también son menos costosos para operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento diseñados para un nivel equivalente de calidad de efluente. Proporcionan tratamientos efectivos en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos.

10. RECOMENDACIONES

Los humedales artificiales y naturales que se encuentran en el campus de la universidad de Pamplona deben ser utilizados como laboratorio en los diferentes programas académicos.

La universidad de Pamplona como polo de desarrollo debe dar a conocer y transferir a la comunidad esta clase de tecnología, eficiente y económica.

Se debe estandarizar diseños y dinámica de estos humedales con el fin de promover un modelo aplicable a las condiciones in situ.

Los porcentajes de remoción de los diferentes parámetros estudiados no son tan representativos ni eficientes debido a que el sistema se encuentra iniciando su proceso de operación y por consiguiente alcanzando una estabilización.

BIBLIOGRAFÍA

CENAGUA, Centro Nacional del agua. Sistemas de tratamiento aguas servidas por medio de humedales artificiales.

KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. Vol. 1 y 2 McGraw Hill. España. ISBN 84-481-2149X

KREITH, Frank. Principios de transferencia de calor. Herrero Hermanos Sucesores S.A. México. 1968

MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2 ed.. Editorial Harla. México. 1982.

Método normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Modelo de laboratorio. ADHA, AWWA, WPCF. Ediciones Díaz de Santos, S.A.. 1989 ISBN 08753-161-X

Ministerio de Desarrollo Económico, Reglamento del sector agua potable y saneamiento básico, tratamiento de aguas residuales, Bogotá D.C 2000

Ministerio de Desarrollo Económico, resolución 1096 de 17 de noviembre de 2000.

MONTENEGRO D., Fernanda. Remoción de contaminantes en efluentes secundarios con humedales artificiales de flujo subsuperficial. Universidad de Los Andes. 1997.

PEDRAZA, Juan Francisco. Especialización en Química Ambiental. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Marzo 1999

SOCIEDAD QUEBEQUENSE, Sistemas de clasificación de la convención rasmar.

THIBODEAUX, Louis J. Environmental Chemodynamics. John Wiley & Sons, Inc. United States. 1996.

THOMANN, Robert. MUELLER, John A. Principles of surface water quality modeling and control. Harper Collins Publishers. United States. 1987.

[Online] http://www.cecodes.org.co/Indicadores/agrosoledad/agrosoledad.htm
[Online] http://www.elheraldo.com.co/revistas/gente/03-06-28/pr1.htm
[Online]http://www.geocities.com/sociedadpga/publicaciones/anoInro1/humedales tratamiento_aguas.htm
[Online] http://www.ramsar.org/wwd_bureau_1_s.htm.
[Online] http://www.upbbga.edu.co/proy_sanitaria.html

ANEXOS

Anexo A

Fotografía 1. Inicio de captación de aguas a tratar

Anexo B

Fotografía 2. Filtro de color azul, donde se inicia la primera filtración

Anexo C

Fotografía 3. Observamos el filtro desde un punto de vista superior con algunas macrofitas.

Anexo D

Fotografía 4. Después del filtro inicial, se inicia el proceso de depuración en el humedal 1.

Anexo E

Fotografía 5. El proceso de tratamiento de aguas residuales pasa por un segundo humedal en donde la selección del crecimiento de plantas es más controlado

Anexo F

Fotografía 6. Se observa un tanque de sedimentación previo a la descarga del efluente.

Anexo G

Fotografía 7. Disposición final del tratamiento de aguas residuales, efluente.

Anexo H

Fotografía 8. Disposición final, vista anterior.