

## I. INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se ha agudizado la contaminación de diferentes cuerpos de agua, por el manejo incorrecto de las aguas residuales de origen industrial y urbano y el rápido crecimiento de las zonas pobladas.

Dentro de este aumento en la contaminación de cuerpos de agua, se puede incluir el ingreso e incorporación de diferentes metales pesados como son el cromo, cobre, níquel, zinc, plomo, bario, vanadio, etc.

Por este motivo se ha visto la necesidad de estudiar alternativas para el tratamiento de estas aguas y de promover el desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad de los efluentes y de los cuerpos de agua contaminados; así como beneficiosas se busco alternativas económicamente viables para poder ser puestas en practica.<sup>1</sup>

Dentro de estas alternativas, se encuentran la bioacumulación y bioadsorción mediante la utilización de plantas, específicamente macrófitas acuáticas ya que se trata de dar una aplicación a las mismas que en algunos casos son consideradas plagas debido a su rápido crecimiento y proliferación.

En este contexto el estudio se refiere a la posible capacidad que tienen las macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* de bioacumular el elemento vanadio en su estructura, ya que son plantas acuáticas que han demostrado tener propiedades de bioacumulación de otros compuestos y otros metales pesados, por esto motivo evaluar la posibilidad de usar esta técnica de biorremediación en la descontaminación de aguas contaminadas con vanadio, para esto se realizaron diferentes ensayos, variando la concentración del metal y el pH del medio acuático: 7 es el valor promedio de la laguna y a pH 4 debido a que se produce un incremento de la competitividad entre los metales y los iones de hidrógeno y ayuda a que los iones del metal se liberen en el agua y de esta manera puedan ser captados con mayor facilidad por la planta<sup>2</sup>. De esta manera evaluar la factibilidad de usar este método para una disminución de la concentración en efluentes contaminados por este metal pesado proveniente de diferentes procesos industriales.

Existen trabajos anteriores que relatan la utilización y aprovechamiento de plantas acuáticas para tratamiento de aguas residuales, basándose en este método, existen estudios

---

<sup>1</sup> <http://homepage.westmont.edu/u/outside/phil.soderman/www/tab.htm>

<sup>2</sup> [www.igme.es/internet/web\\_aguas/igme/publica/pdflib15/021.pdf](http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdflib15/021.pdf)

sobre acumulación de metales pesados, los metales que han sido utilizados para analizar el comportamiento de estos en las plantas han sido: el cromo, cobre, zinc, níquel, bario.

“Este tipo de tratamiento biológico ha adquirido importancia y se ha considerado como una de las opciones más adecuadas para las ciudades medianas y pequeñas que dispongan de tierras marginales.

Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar a los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas como una alternativa ecológica y económicamente viable no sólo para el tratamiento de los efluentes municipales sino también para efluentes industriales”.<sup>3</sup>

El fundamento de este tipo de tratamiento consiste en que los compuestos presentes en el agua son absorbidos e incorporados dentro de la estructura de las plantas acuáticas, logrando eliminar la contaminación del agua y favoreciendo la restauración de la calidad de la misma.

Por otro lado, las macrófitas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas residuales deben contar con las siguientes características: <sup>4</sup>

1. Alta productividad.
2. Alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes.
3. Alta predominancia bajo condiciones naturales adversas.
4. Fácil cosecha.

Las plantas acuáticas se encuentran ampliamente distribuidas, generalmente se encuentran en lagunas, crecen asociadas a cuerpos de agua ricos en nutrientes o en suelos que están cubiertos con agua durante la mayor parte de la temporada de crecimiento, en estos lugares se dan relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, lo que produce un control natural de la contaminación que se encuentra a su alrededor.

---

<sup>3</sup> <http://homepage.westmont.edu/u/outside/phil.soderman/www/tab.htm>

<sup>4</sup> <http://homepage.westmont.edu/u/outside/phil.soderman/www/tab.htm>

## II. MARCO TEORICO.

### 2.1. BIOACUMULACIÓN.

*“La bioacumulación es el almacenamiento de sustancias químicas por un organismo vivo. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente circundante. Los compuestos acumulados en seres vivos en cualquier momento son tomados y almacenados antes de ser excretados o metabolizados <sup>5</sup>”.*

Es muy importante entender el proceso dinámico de bioacumulación en la protección de seres humanos y otros organismos contra los efectos nocivos de la exposición química, y se ha convertido en una consideración crítica en la regulación de productos químicos.

Existen diferentes términos que están muy relacionados con la bioacumulación:

- Captación, es la entrada de un producto químico en un organismo por ejemplo respirándolo, tragándolo, o absorbiéndolo a través de la piel sin consideración alguna hacia su almacenaje, metabolismo, y excreción subsecuentes por ese organismo.
- El almacenaje muchas veces se confunde con bioacumulación, significa el depósito temporal de un producto químico en tejido fino del cuerpo o en un órgano. El almacenaje es apenas una faceta de la bioacumulación química. (El término también se aplica a otros procesos naturales, tales como el almacenaje de la grasa en animales que hibernan o el almacenaje del almidón en semillas)
- La bioconcentración es un proceso específico de bioacumulación por el cual la concentración de un químico en un organismo se torna mas alta que su concentración en el aire o el agua alrededor del organismo. Aunque el proceso es igual para los productos químicos naturales y artificiales el termino concentración se refiere a productos químicos extraños al organismo.

---

<sup>5</sup> [www.ace.orst.edu](http://www.ace.orst.edu)

- La biomagnificación describe un proceso que resulta en la acumulación de un producto químico en un organismo a niveles más altos que los encontrados en su alimento. Esto sucede cuando un producto químico se vuelve más y más concentrado tanto cuanto se mueve a través de la cadena alimenticia, presentándose animales cada vez más grandes.

Si cada paso de la cadena alimenticia se cumple, dará lugar a la bioacumulación creciente, es decir, biomagnificación, entonces un animal en la etapa de la cadena de alimento, con su dieta regular, puede acumular una concentración mucho mayor del producto químico que la presente en organismos más bajo en la cadena alimenticia.

De la biomagnificación se puede decir que la concentración de un producto químico en el animal que se encuentra en el tope de la cadena alimenticia, puede ser lo suficientemente alta para causarle la muerte o efectos nocivos en el comportamiento, la reproducción, su sistema inmunológico y de esta manera poniendo en peligro a la especie, incluso cuando los niveles en el aire, suelo y agua sean bajos. Afortunadamente la bioacumulación no siempre da lugar a la biomagnificación.

### **2.1.1 EL PROCESO DE LA BIOACUMULACIÓN.**<sup>6</sup>

El proceso de bioacumulación es normal y esencial para el crecimiento y consolidación de los organismos. Todos los animales incluyendo los seres humanos diariamente bioacumulan muchos nutrientes vitales como vitaminas A, D, minerales traza, grasas y aminoácidos esenciales.

La bioacumulación es el resultado neto de la interacción de diferentes procesos:

**2.1.1.1. Captación;** la bioacumulación comienza cuando un producto químico pasa del ambiente a las células de los organismos, es un proceso complejo que todavía no se entiende completamente. Los químicos tienden a moverse, difundirse, pasivamente de un lugar con alta concentración a un lugar con una concentración más baja. La fuerza o presión para este movimiento o difusión es llamada potencial químico y sirve para mover un químico de afuera a dentro del organismo.

---

<sup>6</sup> [www.ace.orst.edu/info/extoxnet](http://www.ace.orst.edu/info/extoxnet)

Algunos factores pueden aumentar el potencial químico de ciertas sustancias como las lipofílicas e hidrofóbicas, en cualquier caso tienden a moverse del agua para entrar a los organismos donde hay microambientes lipofílicos.

**2.1.1.2. Almacenaje;** los mismos factores que afectan la captación de un químico continúan funcionando dentro de un organismo, obstaculizando la vuelta de un producto químico al ambiente externo. Algunos químicos son atraídos a ciertos sitios, y atándose a las proteínas o disolviéndose en grasas, son almacenados temporalmente. Si la captación es lenta o no es continua, o si el químico no está firmemente ligado en la célula, el cuerpo puede eventualmente eliminar la sustancia.

Un factor importante en la captación y el almacenaje es la solubilidad del agua; la capacidad de una sustancia de disolverse en agua. Generalmente, los compuestos que son altamente solubles en agua tienen un bajo potencial de bioacumularse y no salen del agua fácilmente para incorporarse en las células de un organismo. Una vez adentro, son fácilmente removidos a menos que las células tengan un mecanismo específico para conservarlos.

Los metales pesados como el mercurio y ciertos otros productos químicos solubles en agua son la excepción, porque se atan firmemente a sitios específicos dentro del cuerpo. Cuando ocurre el atamiento, incluso los productos químicos altamente solubles en agua pueden acumularse. Esto es ilustrado por el cobalto, que se ata firmemente y específicamente en el hígado y allí se acumulan a pesar de su alta solubilidad en el agua. Procesos similares de acumulación ocurren con el mercurio, el cobre, el cadmio, y el plomo.

Muchas sustancias lipofílicas pasan a las células del organismo por la capa grasa de membranas de la célula más fácil que sustancias químicas solubles en agua. Una vez dentro del organismo, estas sustancias se pueden moverse a través de las numerosas membranas hasta que se almacenan en tejidos grasos finos y comienzan a acumularse.

El almacenamiento de sustancias químicas tóxicas en reservas de grasas o lípidos sirve para detoxificar las sustancias químicas, o a lo menos las quita de lugares dañinos y peligrosos. Sin embargo, cuando las reservas de grasa se necesitan para proporcionar energía al organismo los materiales almacenados en la grasa pueden ser movidos dentro

del organismo y pueden otra vez ser potencialmente tóxicos. Si cantidades significantes de una toxina se almacenan en las grasas y las reservas se utilizan rápidamente, los efectos tóxicos significativos se pueden considerar por el movimiento de la sustancia química.

**2.1.1.3 Eliminación**; otro factor que afecta la bioacumulación es si un organismo descompone y/o excreta el químico. La descomposición biológica de los químicos se llama metabolismo. Esta capacidad varía entre organismos y especies individuales y también depende de las características del producto químico.

Las sustancias que se disuelven fácilmente en grasa pero no en agua tienden a ser eliminados más lentamente por el cuerpo y tienen así una mayor potencialidad de acumulación. Muchas reacciones metabólicas cambian el químico a formas más solubles en agua llamadas metabolitos, que son rápidamente excretados.

Sin embargo, hay excepciones por ejemplo: las piretrinas naturales, insecticidas que se derivan de la planta del crisantemo, son pesticidas altamente solubles en la grasa, pero se degradan fácilmente y no son acumulados. Los factores que afectan el metabolismo se determinan a menudo si un producto químico alcanza su potencial de bioacumulación en un organismo dado.

La bioacumulación puede verse como un estado del equilibrio dinámico, ya que si la concentración de este en el ambiente aumenta, también aumentará la concentración en el organismo y si la concentración en el ambiente es menor, la concentración en el organismo es menor. De esta manera, si un organismo con alta concentración, localizado en una zona contaminada cambia a otra menos contaminada, este dejara libre al contaminante que se encuentra en su cuerpo hasta alcanzar un equilibrio.

### **2.1.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA BIOACUMULACIÓN.<sup>7</sup>**

Esta explicación no considera los muchos factores que afectan la capacidad de productos químicos de ser bioacumulados. Algunos productos químicos se atan a sitios específicos en el cuerpo, prolongando su estancia, mientras que otros se mueven libremente adentro y hacia fuera. El tiempo entre la captación y la eventual eliminación de un producto

---

<sup>7</sup> [www.ace.orst.edu](http://www.ace.orst.edu)

químico afecta directamente la bioacumulación. Los productos químicos que se eliminan inmediatamente, por ejemplo, no son bioacumulados.

Igualmente la duración de la exposición es también un factor en la bioacumulación. Muchas exposiciones a los contaminantes no son en la misma concentración y duración, incluso se incluyen períodos de no exposición, en estos casos, no se va a producir un equilibrio y la acumulación es menor a la esperada.

La bioacumulación varía entre organismos diferentes así como entre especies, organismos grandes, con vida muy larga o especies con bajas tasas de metabolismo o excreción del compuesto químico, van a acumular mas que especies pequeñas, con tiempos de vida cortos.

La bioacumulación es un proceso normal que puede resultar dañino al organismo cuando el equilibrio entre la exposición del ambiente y la bioacumulación es superior, tomando en cuenta la peligrosidad del químico.

Algunas veces la bioacumulación puede ser un mecanismo de protección en el cual el cuerpo acumula sustancias que necesita.

## **2.2. BIOADSORCIÓN.<sup>8</sup>**

Es la captación físico-química del elemento en solución a un material biológico, es un proceso que puede quitar iones del metal en solución eficaz y rápidamente.

Es la habilidad que tienen ciertos materiales biológicos para concentrar contaminantes, a menudo concentran muchas veces el valor que se encuentra en el ambiente.

Esto ha provocado un reciente interés en el campo biotecnológico como alternativa para control de la contaminación y recuperación aunque se ha documentado muy bien los contaminantes se ha puesto menos atención a la captación físico-química. La bioadsorción es un proceso de captación, donde los contaminantes en solución son adsorbidos por la biomasa, el hecho de que este es un proceso físico-químico y que no requiere energía del metabolismo de las células, significa que puede ser utilizada biomasa muerta, de esta manera se evitarían problemas de proveer un suministro de nutrientes para

---

<sup>8</sup> Effluent Treatment and Waste Minimisation, BIOSORPTION FOR REMOVAL OF HEAVY METALS FROM INDUSTRIAL WASTEWATERS, Pag 185

el crecimiento de biomasa, esta utilización de biomasa muerta es la principal diferencia que existe con el método de bioacumulación en el cual se utilizan organismos vivos.

Cualquier material que sea usado, la mayoría de trabajadores han encontrado que el mecanismo de absorción no es predecible o constante, existen varias formas por las que el metal en solución puede ser adherido al material biológico.

## **2.3. QUÍMICA DEL VANADIO.<sup>9</sup>**

El vanadio es un compuesto que se encuentra presente en la naturaleza con un color blanco a gris metálico y es frecuentemente encontrado en forma cristalina, el vanadio puro no presenta ningún olor.

Este compuesto usualmente se combina con otro elemento como el oxígeno, sodio, azufre o cloro. El vanadio y los componentes del vanadio pueden ser encontrados en la corteza terrestre en un 0.012% en peso, también en pequeñas cantidades en meteoritos, en rocas, en algunas minas de hierro, en depósitos de petróleo en forma de complejos orgánicos y en una gran cantidad de minerales como son la carnotita, roscoelita, vanadinita y patronita otras menos importantes son mottramita y descloizita, el vanadio en solución acuosa presenta una variedad de colores de acuerdo con el valor de su carga,  $V^{5+}$  incoloro,  $V^{4+}$  azul,  $V^{3+}$  verde,  $V^{2+}$  violeta claro.

La producción comercial a partir de cenizas de petróleo parece ser una importante fuente del elemento, además el vanadio es un veneno de los catalizadores en el proceso de craqueo del petróleo.

### **2.3.1. Transporte y Destino.**

En su mayor parte el vanadio entra al ambiente desde fuentes naturales y mediante la quema de combustibles.

- Este se mantiene en el aire y en el suelo por períodos largos de tiempo.
- El vanadio no se disuelve bien en agua.
- El vanadio se combina con otros elementos y partículas.

---

<sup>9</sup> [www.eco-usa.net/toxics/vanadium.shtml](http://www.eco-usa.net/toxics/vanadium.shtml)



- Se adhiere a sedimentos en el suelo
- Bajos niveles de vanadio han sido encontrados en plantas, pero no es como para establecer su presencia en tejidos de animales.

### 2.3.2. Vías de exposición.

- La exposición en niveles muy bajos en el agua, aire y en la comida.
- Comiendo altos niveles de este en ciertos alimentos.
- Respirando aire cerca de industrias que quemen combustible o carbón en sus procesos ya que estas industrias descargan óxidos de vanadio en el ambiente.
- Trabajando en industrias que procesen vanadio o hagan productos que lo contengan.
- Respirando aire contaminado o bebiendo agua contaminada que se encuentre cerca de lugares o rellenos que puedan contener vanadio.
- El vanadio no es prontamente absorbido por el cuerpo por el estomago, los intestinos o por contacto con al piel.

### 2.3.3. Características Físicas y Químicas del Vanadio.<sup>10</sup>

<b>Símbolo:</b>	V
<b>Numero Atómico</b>	23
<b>Masa Atómica</b>	50,9415
<b>Número de protones /electrones</b>	23
<b>Número de neutrones (isótopo 51-V)</b>	28
<b>Números de oxidación</b>	+2, +3, +4, +5

<sup>10</sup> [www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/v.html](http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/v.html)

<b>Electronegatividad</b>	1,63
<b>Radio atómico (pm)</b>	135
<b>Radio iónico (pm) (carga del ion)</b>	72(+2), 65(+3), 61(+4), 59(+5)
<b>Punto de fusión (°C)</b>	1910
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	3407
<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	6110; (20°C)
<b>Estructura cristalina</b>	cúbica
<b>Color</b>	gris-plateado

#### 2.3.4. Compuestos y Aplicaciones del Vanadio.

“Los compuestos más importantes del vanadio provienen de los óxidos  $V_2O_4$  y  $V_2O_5$  que poseen propiedades ácidas, principalmente el último. El pentóxido de vanadio, el anhídrido del ácido vanádico, es solo escasamente soluble en agua, pero se disuelve fácilmente en soluciones concentradas de hidróxidos alcalinos formando vanadatos. El ácido vanádico, como el ácido fosfórico, existe en la forma de compuestos meta, piro y orto ( $HVO_3$ ,  $H_4V_2O_7$  y  $H_3VO_4$ ), los metavanadatos son los más estables y los ortovanadatos los menos estables”<sup>11</sup>.

El vanadio es usualmente combinado con otros metales para formar mezclas especiales entre estos que son llamadas aleaciones. El vanadio como óxido de vanadio es componente de una clase especial de acero que es usado para las partes de automóviles,

<sup>11</sup> “VOGEL, artur”, Química Analítica Cualitativa, pag 473-474.

resortes, y rodamientos. La mayoría del vanadio usado en Estados Unidos es para hacer acero. El óxido de vanadio es un polvo de color entre anaranjado y amarillo, grumos de color plomo o cristales amarillos. El vanadio es también mezclado con hierro para hacer partes importantes de los motores de aviones.

Pequeños porcentajes de vanadio son usados para hacer ligas, plásticos, cerámicas y otros químicos, también es muy útil para la elaboración de herramientas especiales resistentes a altas velocidades y a la corrosión ya que forma rápidamente una capa de óxido que lo protege.

Se lo utiliza también como recubrimiento de las barras de combustible de reactores nucleares. Entre sus varios compuestos se encuentran el pentaóxido de vanadio que se utiliza en cerámica y como catalizador en la fabricación de ácido sulfúrico.

### **2.3.5 Efectos en la Salud.** <sup>12</sup>

La exposición a altos niveles de vanadio o sus compuestos puede causar efectos nocivos a la salud ya que provocan daños crónicos y en grandes dosis, paralizan los centros respiratorios.

Los mayores efectos de respirar altos niveles de vanadio concentrado en el aire se ven en los pulmones, garganta y ojos. Trabajadores que han respirado esto por largos o cortos periodos de tiempo algunas veces presentan irritación en los pulmones, tos, jadeo, dolor en el pecho, nariz congestionada y la garganta inflamada. Estos efectos paran cuando se ha dejado de respirar el aire contaminado. Efectos similares han sido observados en estudios con animales.

Todavía no se conocen los efectos causados en las personas por ingestión de vanadio y sus compuestos. Los animales que han ingerido grandes dosis han muerto. Bajos pero todavía peligrosos niveles de vanadio en el agua de animales embarazados producen defectos en las crías, algunos animales que han respirado o ingerido vanadio por largos periodos presentan cambios en el funcionamiento de su hígado y riñón. Las cantidades de vanadio dadas a estos animales en los estudios que han resultado en efectos perjudiciales son mucho más altas que las que se pueden presentar en el ambiente en forma normal.

---

<sup>12</sup> [www.atlantic.net/elifritz/elements/vanadium.htm](http://www.atlantic.net/elifritz/elements/vanadium.htm)

El departamento de salud y servicios humanos, la agencia internacional de investigación del cáncer y la agencia de protección ambiental (EPA) no han clasificado al vanadio como un agente cancerígeno para las personas. No se encuentran disponibles estudios en humanos sobre si el vanadio es cancerígeno.

## **2.4. ESPECIES ACUATICAS.**

### **2.4.1. *Eichhornia crassipes* <sup>13</sup>**



#### **Identidad.**

**Nombre:** *Eichhornia crassipes*.

**Nombre común:** Lirio acuático.

#### **2.4.1.1. Hábitat.**

*E. crassipes* es una macrófita que flota sobre la superficie de arroyos, de lagos tropicales y sub-tropicales y ríos generalmente de agua dulce, especialmente enriquecidos con nutrientes de la planta, es un organismo que puede crecer en aguas contaminadas.

---

<sup>13</sup> <http://pest.cabweb.org/archivo/pestoofmonth/waterhy.htm>

#### **2.4.1.2. Ciclo de Vida.**

*E. crassipes* se propaga vegetativamente y por medio de semillas. Después de florecer. Las semillas son capaces de germinar inmediatamente en buenas condiciones, pero podría quedar en estado latente por muchos años. La germinación es alentada por condiciones aerobias y cuando se da un estado en el cual las temperaturas varían; grandes poblaciones de estas macrófitas pueden llegar a establecerse en el lodo que se encuentra expuesto a los bordes de los cuerpos de agua cuando los niveles de agua bajan. Esta especie inicialmente se arraiga en el lodo pero pasa a un estado de flotación como resultado del movimiento del agua o aumento de los niveles del agua convirtiéndola en una planta libre ya que sus raíces no están fijadas a ningún sustrato.

Desde una fase muy temprana, los brotes auxiliares de las hojas mas viejas son capaces de desarrollarse dando lugar a plantas hijas por el mecanismo llamado fragmentación, también se propaga por gemación por rebrotes o yemas que salen de un mismo tronco. Indefinidamente puede ocurrir una propagación vegetativa produciendo de esta manera poblaciones muy grandes sin ninguna reproducción sexual, la propagación vegetativa permite una alta tasa de producción de biomasa, hasta 800 kg de materia seca/ha/día en aguas de desecho. La etapa de florecimiento es clara y regular en algunos países pero no tan obvia en otros.

Hay al parecer pequeña o ninguna reacción para el florecimiento en presencia o ausencia de luz pero si existe evidencia de que el florecimiento puede ser inducido por cadencia o presencia de nutrientes.

#### **2.4.1.3 Producción de oxígeno.**

Esta macrófita, contribuye grandemente al medio ambiente en que se desarrolla produciendo oxígeno libre al medio acuático para los organismos que logran sobrevivir las condiciones del ecosistema, la cantidad de oxígeno molecular que producen es de tal magnitud que es mil veces mayor a la que puede hacer el plancton (microorganismos sintetizadores que flotan sobre las aguas)

## Factores que afectan el crecimiento

Se ha demostrado que la productividad del lirio acuático está en función de la temperatura del aire, la disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno) y la densidad de la planta.

La temperatura optima de crecimiento de *Eichhornia crassipes* es 25°-30°C, El crecimiento cesa cuando la temperatura del agua esta sobre los 40°C o por debajo de los 10°C, pero períodos cortos a bajas temperaturas pueden ser tolerados.

*E. crassipes* responde mucho a los nutrientes (sobre todo nitrógeno y fósforo) y altas tasas de crecimiento, son siempre asociadas con eutroficación, condición en la que se encuentra una cantidad alta de nutrientes.

El pH óptimo para el crecimiento se encuentra entre 6 – 8, las condiciones extremas aceptables están entre 4.5 y 10 valores mayores o menores pueden ser nocivos.

*E. crassipes* tolerará sólo bajos niveles de salinidad, un cuarto de la concentración que tiene el agua de mar es letal y solo en lagunas costeras depende del crecimiento de las plantas en agua fresca de los ríos que fluyen hacia la laguna.

Esta planta también esta en condiciones de capturar algunos metales pesados que son altamente nocivos para la salud humana y asimilarlos, convirtiéndolos en quelatos que son una sal organometálica que las alimenta haciendo inofensivos a los metales pesados

### **2.4.1.4. Morfología.**

Posee una raíz de tipo plumosa, fibrosa y con muchas ramificaciones. El tallo es delgado, de él parten los pecíolos que son esponjosos e inflados y se encuentran rodeándolo. Las hojas son lobuladas de un color verde característico por ser muy brillante; muchas veces el pecíolo y las hojas pueden estar sumergidos o no.

Las hojas iniciales de la planta de *E. Crassipes* se alargan, pero pronto se desarrolla la forma espatulada bajo condiciones de sombra satisfactoria.

La planta tiene tamaños muy variables, sus hojas tienen unos pocos centímetros de largo y ancho considerando plantas maduras provistos de buenos nutrientes pueden alcanzar 1 metro de altura.

Las plantas que se encuentran muy juntas con otras tienden a ser pequeñas.

Las raíces se desarrollan de la base de cada hoja formando una densa masa, usualmente de 20-60cm de longitud, aunque pueden extenderse a 300 cm, las raíces pueden conformar mas del 50% del peso de la planta.

#### **2.4.1.5. Utilización.**

*E. crassipes* puede ser utilizada de diferentes maneras. Aunque generalmente no es utilizado como comida de animales, montos pequeños pueden ser dados a los cerdos, puede ser utilizado para hacer fertilizante orgánico, fibra, papel, para generar biogás (metano) y para remover nutrientes y químicos tóxicos del agua.

Aunque ninguno de estos usos puede ser visto para usarlo potencialmente a gran escala y al mismo tiempo proveer de un control adecuado, algunos si pueden ser usados a pequeña escala.

Además se ha visto que el ecosistema de las lagunas junto con lirio es el que contribuye al mejoramiento de la calidad del agua, especialmente las bacterias asociadas a la raíz, ya que se ha observado que con ellas la planta es capaz de absorber más nutrientes que por sí sola. Además, las plantas proveen sombra que impide el crecimiento de algas, permitiendo que actúe como filtro biológico clarificando y purificando el agua.

Varios autores señalan que existe una relación directa entre la eficiencia de remoción de metales pesados del lirio y la concentración de dichos metales en el agua. Se ha determinado que en el sistema radicular se concentran los metales absorbidos y que las cargas eléctricas que dependen del pH en esta zona tienen gran influencia en la absorción de metales.

#### **2.4.2. *Pistia stratiotes*.**



#### **Identidad.**

**Nombre científico:** *Pistia stratiotes*.

**Nombre común:** Lechugin.

##### **2.4.2.1. Hábitat.**

Es una planta acuática tropical, nativa de América, es una planta de flotación común en las presas, lagunas, lagos, también se encuentra flotando en el agua estancada y a veces en los bancos fangosos. El lechugin puede crecer en lugares abiertos con clima tropical, regiones muy calientes provistas de sombra. Las plantas se sitúan en la superficie, es una planta muy susceptible al congelamiento y crece bien en aguas medianamente contaminadas.

##### **2.4.2.2. Ciclo de Vida.**

*Pistia stratiotes* es una de las hidrófitas mas extensamente distribuidas posible, se la encuentra en todos los continentes excepto Europa y la Antártida.

La alta presencia en el agua agota el oxígeno en el agua subyacente y en sedimentos bloqueando la interfaz del aire-agua, por la respiración de las raíces, y por el decaimiento de las plantas muertas.



Esta planta brinda un hábitat a muchos insectos, además provee lugares para desove de peces.

El lechugin se reproduce por la propagación de las semillas por medio de insectos. La producción de semilla es importante en esta especie porque las semillas pueden seguir siendo inactivas por meses, soportar sequías y congelarse permaneciendo en estado latente, además también se reproduce por medio de cortes que se producen en sus raíces.

Estas plantas pueden exceder la evapotranspiración normal de las otras plantas en diez veces, todavía no se está seguro si estas tarifas mas altas de evapotranspiración afectan a los ciclos hidrológicos.

El lechugin así como el lirio acuático tiene la capacidad de bioacumular metales pesados<sup>14</sup>.

#### **2.4.2.3. Morfología.**

El lechugin posee hojas verdes de forma ovalada y esponjosas, brillantes que rodean a su eje en forma de lechuga o roseta, están cubiertas por pelos lo que les da un aspecto aterciopelado estas llegan a medir hasta 24,5 cm de largo y 10 cm de ancho, posee unas raíces fibrosas muy largas, las raíces primarias tienen de 2 a 7 mm de diámetro y aproximadamente 1 metro de largo.

#### **2.4.2.4. Utilización.**

Al lechugin se lo utiliza mucho en la parte medicinal, además de emplearse como alimento, fertilizante orgánico, fuente de biogás y fibra vegetal.

---

<sup>14</sup> [www.botany.com/pistia.html](http://www.botany.com/pistia.html)

## 2.5. CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DEL AGUA DE LA LAGUNA.<sup>15</sup>

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Acidez	mg/L	0
Alcalinidad	mg/L	57.3
Conductividad	ms	0.097
Dureza total	mg/L	55
Oxígeno disuelto	mg/L	6.6
pH		7.5
Sólidos suspendidos	mg/L	66
Sólidos totales	mg/L	132
Temperatura	°C	26.9
Turbidez	FTU	42
Bario	mg/L	6
Cadmio	mg/L	0.007
Cobre	mg/L	0.09
Níquel	mg/L	0.07
Plomo	mg/L	0.051

<sup>15</sup> Tesis “Caracterización y Evaluación Fisico-Química del agua del sector de Limoncocha”

### **III. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1 Equipos, Materiales y Reactivos.**

##### **3.1.1 Equipos:**

Para el desarrollo de la parte experimental se utilizaron los siguientes equipos:

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica, PERKIN ELMER 5100 ZL.
- Equipo de destilación.
- Bomba de agua de 0.5 HP
- Equipo medidor de pH.

##### **3.1.2 Materiales:**

2 tanques plásticos de 500 litros de capacidad.

Vasos de precipitación.

Pipetas volumétricas.

##### **3.1.3 Reactivos:**

Ácido nítrico concentrado.

Agua destilada.

Metavanadato de Amonio:  $\text{NH}_3\text{VO}_4$ .

#### **3.2 Procedimiento.**

El procedimiento que se siguió para la elaboración de la parte experimental empieza con la medición de vanadio original en la laguna de Limoncocha, a este valor se le denominó blanco, para esto se recolectó agua de diferentes puntos de la laguna con el fin de hacer dos muestras compuestas de las dos mitades de la laguna. Una vez tomadas las muestras, se las preservó con ácido nítrico concentrado y luego se midió con el equipo de absorción atómica.

Luego se realizó el aforo de los tanques a un volumen de 480 litros, para dejar un espacio para el cultivo de los lirios y los lechugines, este aforo se lo realizó con una probeta de 1 litro y luego con un balde de 20 litros hasta llegar al volumen deseado y colocar una marca guía para el bombeo en cada ensayo.

Después, se procedió a realizar los 8 ensayos diferentes para determinar si existe acumulación de vanadio en las plantas escogidas para el estudio, para llenar el tanque durante cada ensayo se utilizó una bomba de 0.5 HP colocada a la altura del muelle y se procedió a bombear el agua circundante a este con el fin de simular las características físico-químicas de donde se iban a obtener las plantas para luego sembrarlas.

Una vez bombeada el agua de la laguna en los tanques, se añadió el compuesto de vanadio en los tanques para sus respectivas concentraciones, luego se procedió a sembrar los lirios acuáticos y los lechugines dependiendo del ensayo que en ese momento se realizaba en cada tanque, las plantas acuáticas eran recolectadas del sector circundante al muelle de la laguna, y se las disponía cubriendo siempre toda la superficie de los tanques.

### **3.2.1 Descripción de los ensayos**

Los diferentes ensayos realizados se hicieron de la siguiente manera:

- **Ensayo 1:** la especie utilizada fue el lirio acuático, se conservó el pH de la laguna que tiene un valor promedio de 7 y se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 10 mg/L sin incluir el blanco original de la laguna.
- **Ensayo 2:** la especie utilizada fue el lirio acuático, se bajó el pH a 4 usando ácido nítrico, luego se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 10 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.
- **Ensayo 3:** la especie utilizada fue el lirio acuático, se conservó el pH de la laguna que tiene un valor promedio de 7 y se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 1 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.

- **Ensayo 4:** la especie utilizada fue el lirio acuático, se bajó el pH a 4 usando ácido nítrico, luego se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 1 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.
- **Ensayo 5:** la especie utilizada fue el lechuguin, se conservó el pH de la laguna que tiene un valor promedio de 7 y se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 10 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.
- **Ensayo 6:** la especie utilizada fue el lechuguin, se bajó el pH a 4 usando ácido nítrico, luego se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 10 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.
- **Ensayo 7:** la especie utilizada fue el lechuguin, se conservó el pH de la laguna que tiene un valor promedio de 7 y se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 3 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.
- **Ensayo 8:** la especie utilizada fue el lechuguin, se bajó el pH a 4 usando ácido nítrico, luego se procedió a colocar el compuesto de vanadio disuelto en agua destilada para tener una concentración de 3 ppm sin incluir el blanco original de la laguna.

Para la realización del análisis y poder después determinar si existe o no, acumulación por parte de las especies acuáticas utilizadas, *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en todos los ensayos se tomó muestras de los tanques en diferentes períodos de tiempo, sin exceder de las 48 horas en cada ensayo ya que se consideraría un proceso no viable desde el punto de vista de la producción y económicamente no sería rentable, también se incluyó el tiempo 0 cuya toma de muestra se la realiza antes de la colocación de las plantas acuáticas y después de haber colocado el compuesto en cada tanque.

Una vez tomadas las muestras en cada ensayo, se las lee utilizando el equipo de absorción atómica, el procedimiento para esta lectura se detalla en el anexo 1.

## IV. RESULTADOS.

### 4.1 Concentración de vanadio en el agua.

Tabla 1: Concentración inicial de vanadio en el agua de la laguna de Limoncocha.

CONCENTRACION INICIAL DE VANADIO EN EL AGUA DE LA LAGUNA	
Metal	Concentración (*)
Vanadio V	ppm ( mg/L ) 0,3
(*) valor promedio blanco	

Tabla 2:

Período: 14-16 de enero / 2002		ENSAYO 1	
PH del sistema 7	especie: <i>Eichhornia crassipes</i> (lirio acuático)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3 ppm de vanadio	
concentración teórica añadida		10 ppm de vanadio	
concentración teórica inicial		10,3 ppm de vanadio	
concentración experimental inicial	t = 0 horas	10,9	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	9,9	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 10 horas	9,0	ppm de vanadio
	t = 22 horas	9,2	ppm de vanadio
	t = 26 horas	9,1	ppm de vanadio
	t = 34 horas	8,6	ppm de vanadio
	t = 46 horas	8,6	ppm de vanadio
	t = 48 horas	8,1	ppm de vanadio

Tabla 3:

Período: 16-18 de marzo / 2002		ENSAYO 2	
PH del sistema 4	especie: <i>Eichhornia crassipes</i> (lirio acuático)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3 ppm de vanadio	
concentración teórica añadida		10 ppm de vanadio	
concentración teórica inicial		10,3 ppm de vanadio	
concentración experimental inicial	t = 0 horas	10,3	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	8,3	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 4 horas	7,6	ppm de vanadio
	t = 6 horas	7,5	ppm de vanadio
	t = 10 horas	7,6	ppm de vanadio
	t = 22 horas	8,1	ppm de vanadio
	t = 24 horas	8,1	ppm de vanadio
	t = 36 horas	8,4	ppm de vanadio

Tabla 4:

Período: 14-16 de enero / 2002		ENSAYO 3	
PH del sistema 7	especie: <i>Eichhornia crassipes</i> (lirio acuático)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3	ppm de vanadio
concentración teórica añadida		1,0	ppm de vanadio
concentración teórica inicial		1,3	ppm de vanadio
concentración experimental inicial	t = 0 horas	1,3	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	1,2	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 10 horas	1,1	ppm de vanadio
	t = 22 horas	1,0	ppm de vanadio
	t = 26 horas	1,2	ppm de vanadio
	t = 34 horas	1,2	ppm de vanadio
	t = 46 horas	1,0	ppm de vanadio
	t = 48 horas	0,3	ppm de vanadio

Tabla 5:

Período: 16-18 de marzo / 2002		ENSAYO 4	
PH del sistema 4	especie: <i>Eichhornia crassipes</i> (lirio acuático)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3	ppm de vanadio
concentración teórica añadida		1,0	ppm de vanadio
concentración teórica inicial		1,3	ppm de vanadio
concentración experimental inicial		t = 0 horas	1,6 ppm de vanadio
concentración experimental final		t = 2 horas	1,5 ppm de vanadio
(*) valores promedio		t = 4 horas	1,1 ppm de vanadio
		t = 6 horas	1,2 ppm de vanadio
		t = 10 horas	1,2 ppm de vanadio
		t = 22 horas	1,2 ppm de vanadio
		t = 24 horas	1,2 ppm de vanadio
		t = 36 horas	0,7 ppm de vanadio

Tabla 6:

Período: 18-20 de mayo / 2002		ENSAYO 5	
PH del sistema 7	especie: <i>Pistia stratiotes</i> (lechugin)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3 ppm de vanadio	
concentración teórica añadida		10 ppm de vanadio	
concentración teórica inicial		10,3 ppm de vanadio	
concentración experimental inicial	t = 0 horas	10,3	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	10,3	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 4 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 12 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 16 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 22 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 26 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 36 horas	10,3	ppm de vanadio



Tabla 7:

Período: 4-6 de junio / 2002		ENSAYO 6	
PH del sistema 4	especie: <i>Pistia stratiotes</i> (lechugin)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3 ppm de vanadio	
concentración teórica añadida		10 ppm de vanadio	
concentración teórica inicial		10,3 ppm de vanadio	
concentración experimental inicial	t = 0 horas	10,3	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	10,3	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 4 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 12 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 16 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 22 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 26 horas	10,3	ppm de vanadio
	t = 40 horas	10,3	ppm de vanadio

Tabla 8:

Período: 18-20 de mayo / 2002		ENSAYO 7	
PH del sistema 7	especie: <i>Pistia stratiotes</i> (lechugin)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3	ppm de vanadio
concentración teórica añadida		3,0	ppm de vanadio
concentración teórica inicial		3,3	ppm de vanadio
concentración experimental inicial	t = 0 horas	3,3	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	3,3	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 4 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 12 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 16 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 22 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 26 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 36 horas	3,3	ppm de vanadio

Tabla 9:

Período: 4-6 de junio / 2002		ENSAYO 8	
PH del sistema 4	especie: <i>Pistia stratiotes</i> (lechugin)		
concentración blanco inicial en la laguna (*)		0,3	ppm de vanadio
concentración teórica añadida		3,0	ppm de vanadio
concentración teórica inicial		3,3	ppm de vanadio
concentración experimental inicial	t = 0 horas	3,3	ppm de vanadio
concentración experimental final	t = 2 horas	3,3	ppm de vanadio
(*) valores promedio	t = 4 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 12 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 16 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 22 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 26 horas	3,3	ppm de vanadio
	t = 40 horas	3,3	ppm de vanadio

## 4.2. Concentración de vanadio en el agua.

Grafico 1: Ensayo 1.

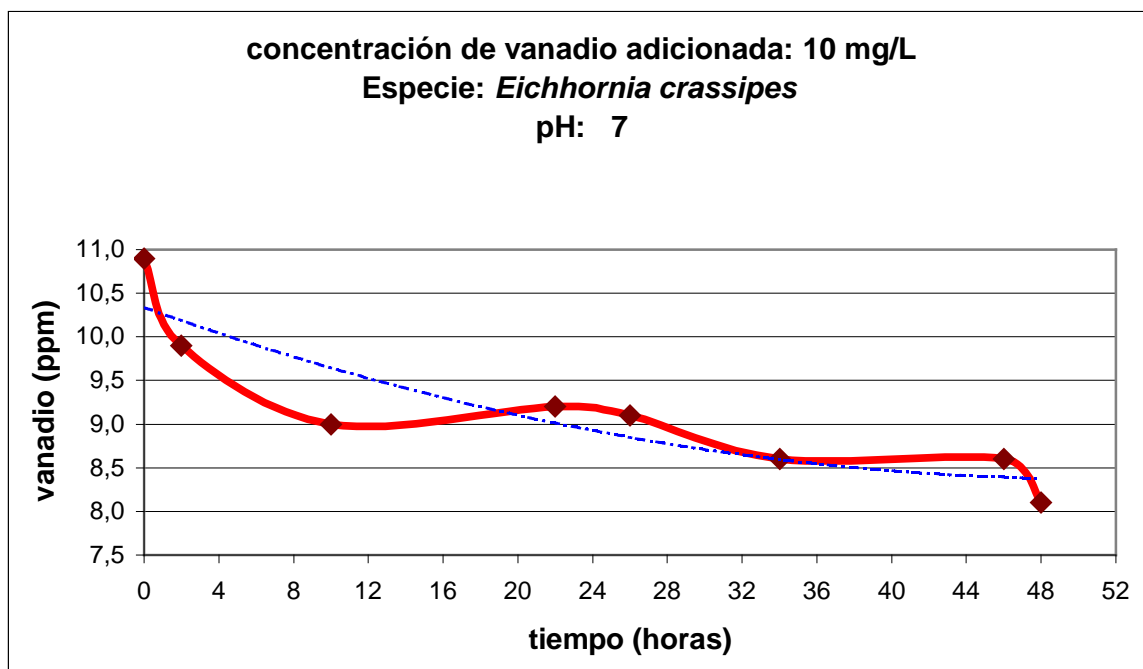
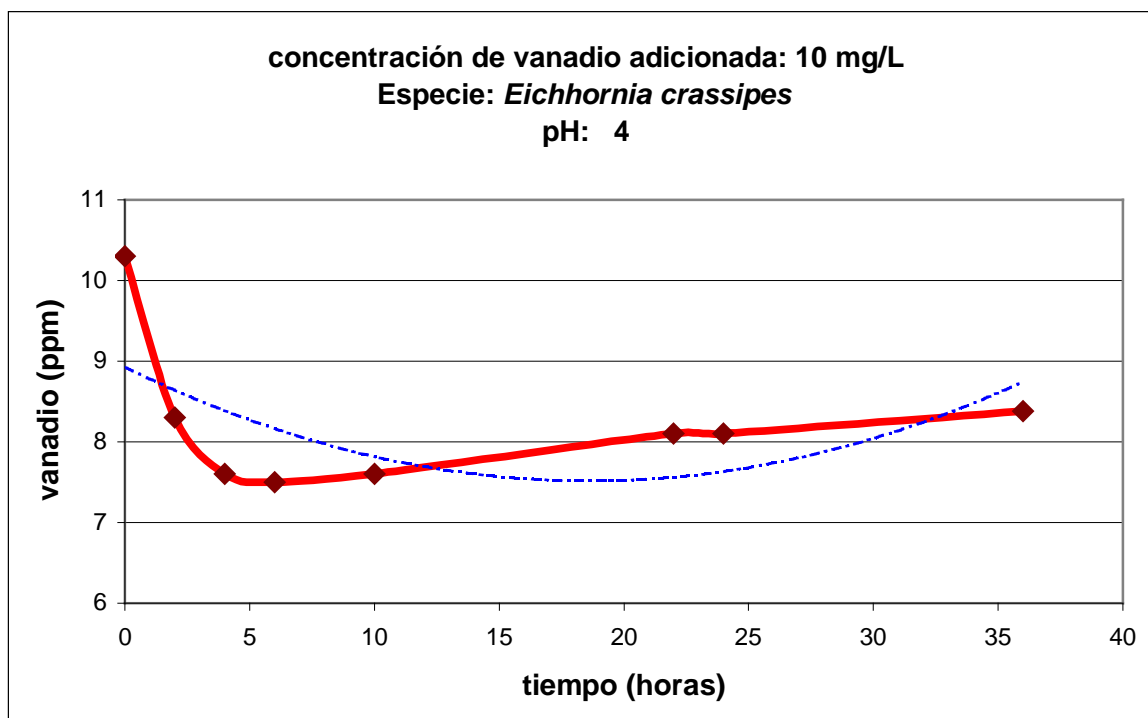
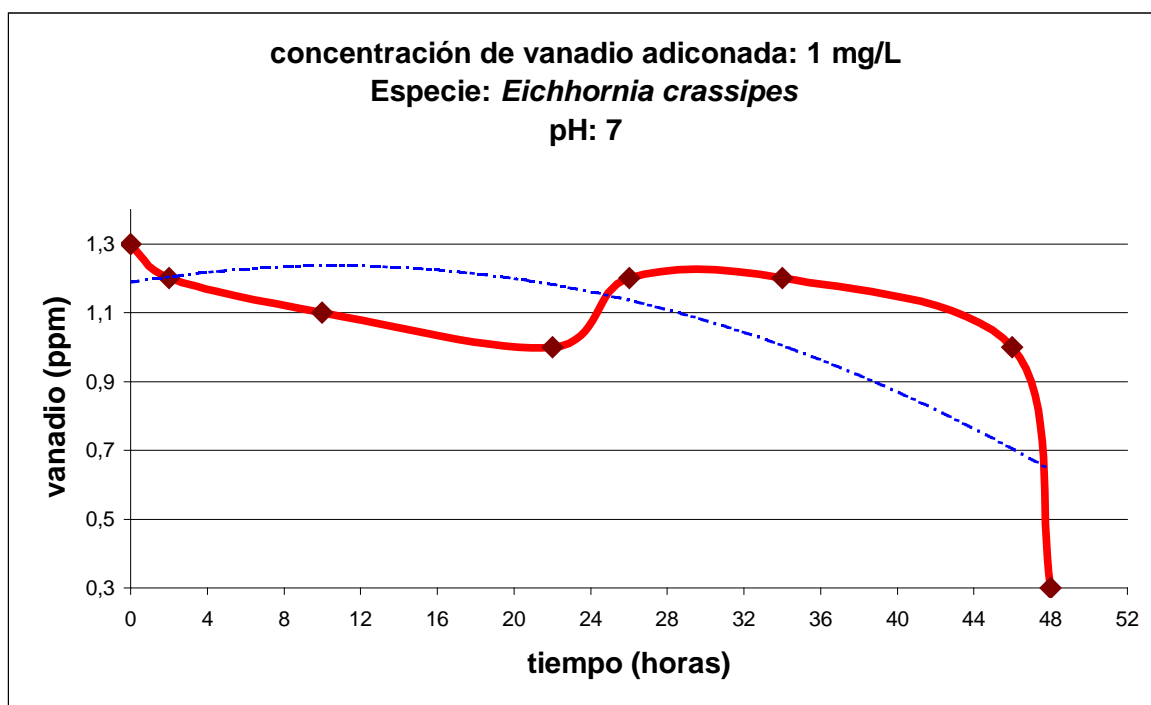


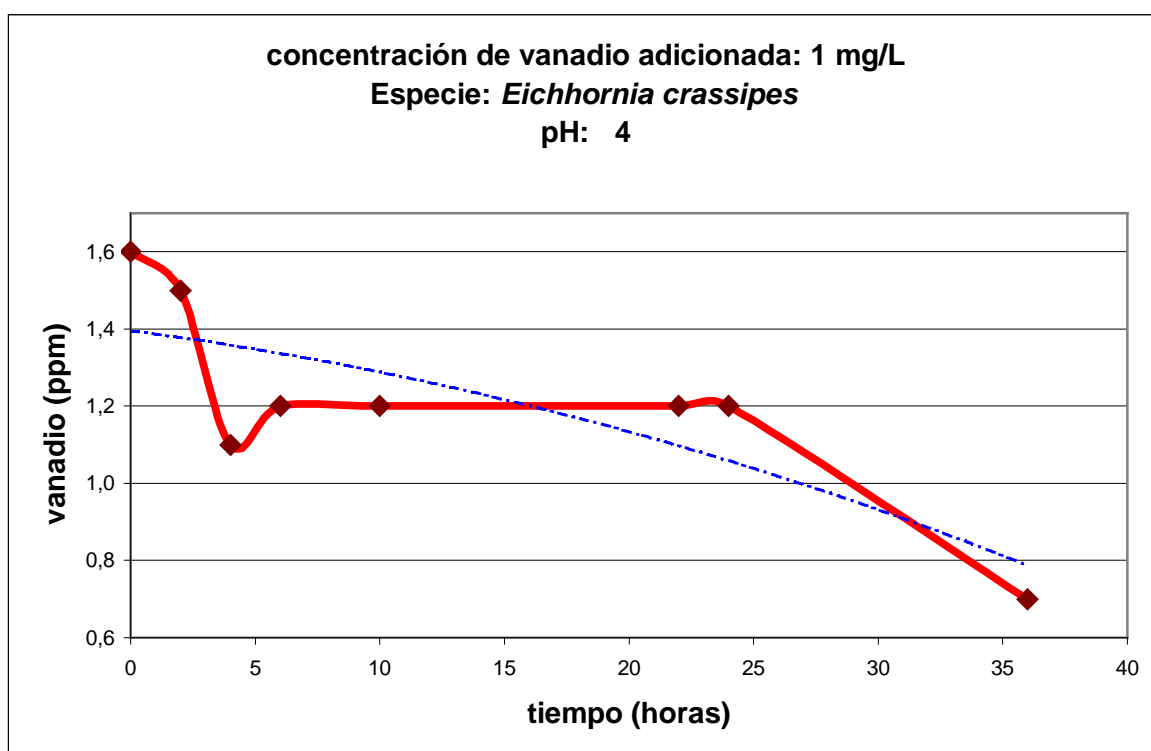
Grafico 2: Ensayo 2.



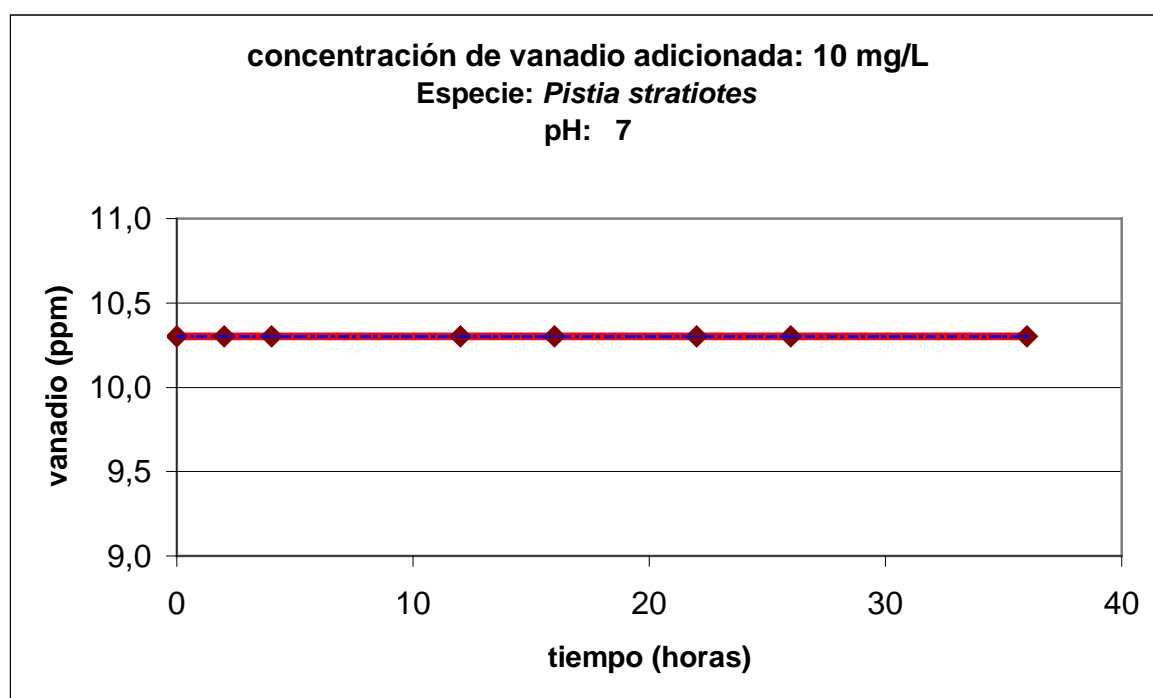
**Grafico 3: Ensayo 3.**



**Grafico 4: Ensayo 4**



**Grafico 5: Ensayo 5.**



**Grafico 6: Ensayo 6.**

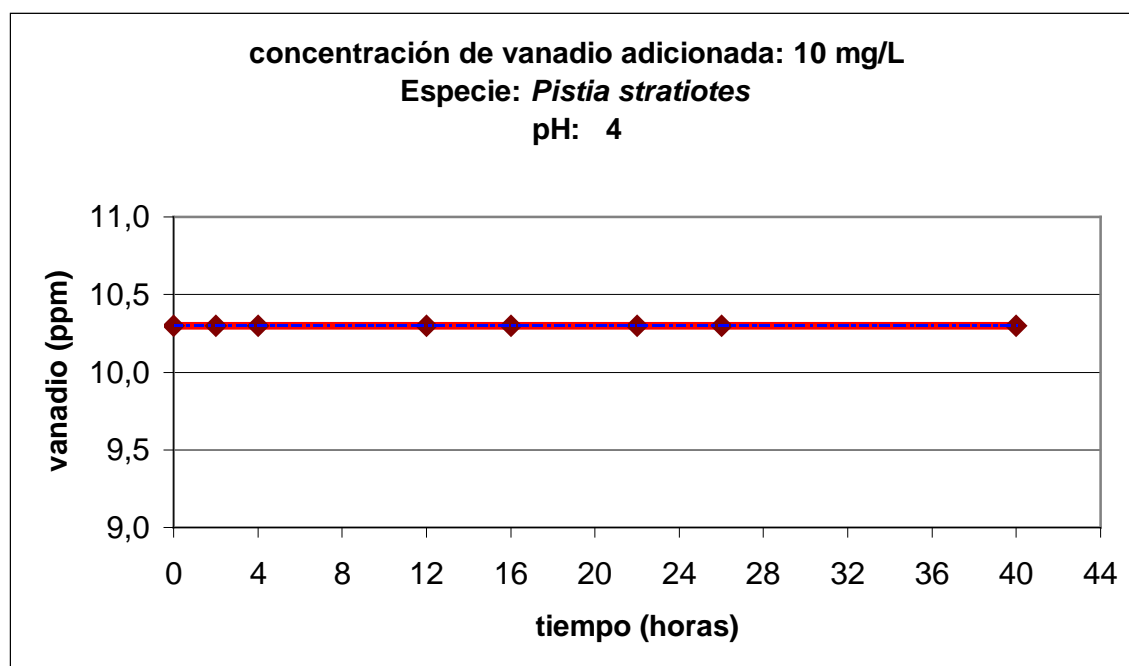


Grafico 7: Ensayo 7.

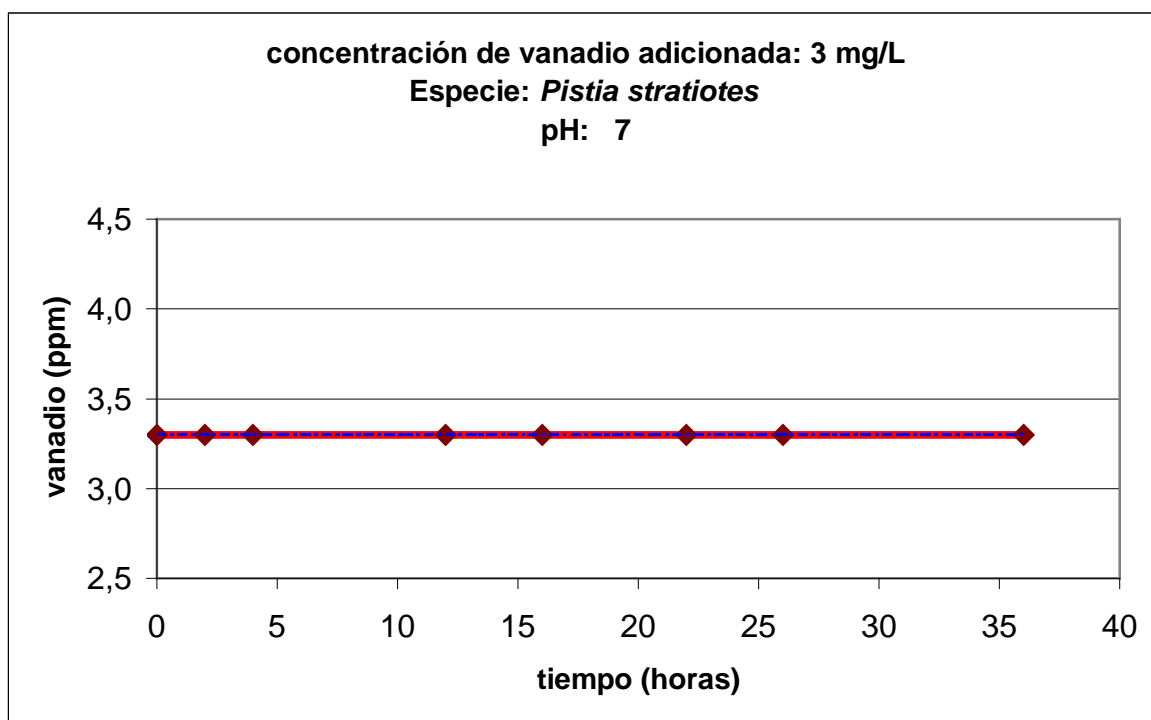
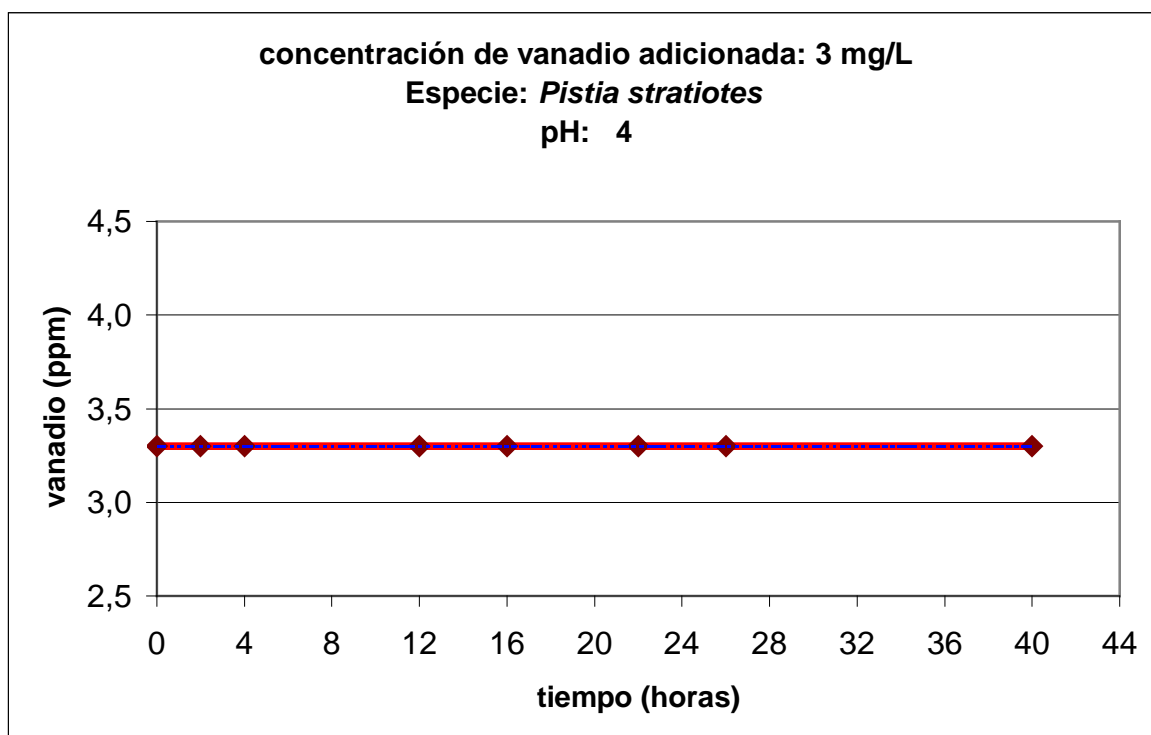


Grafico 8: Ensayo 8.



### 4.3. Porcentaje de remoción.

Tabla 10: Ensayo 1.

Porcentaje de remoción.

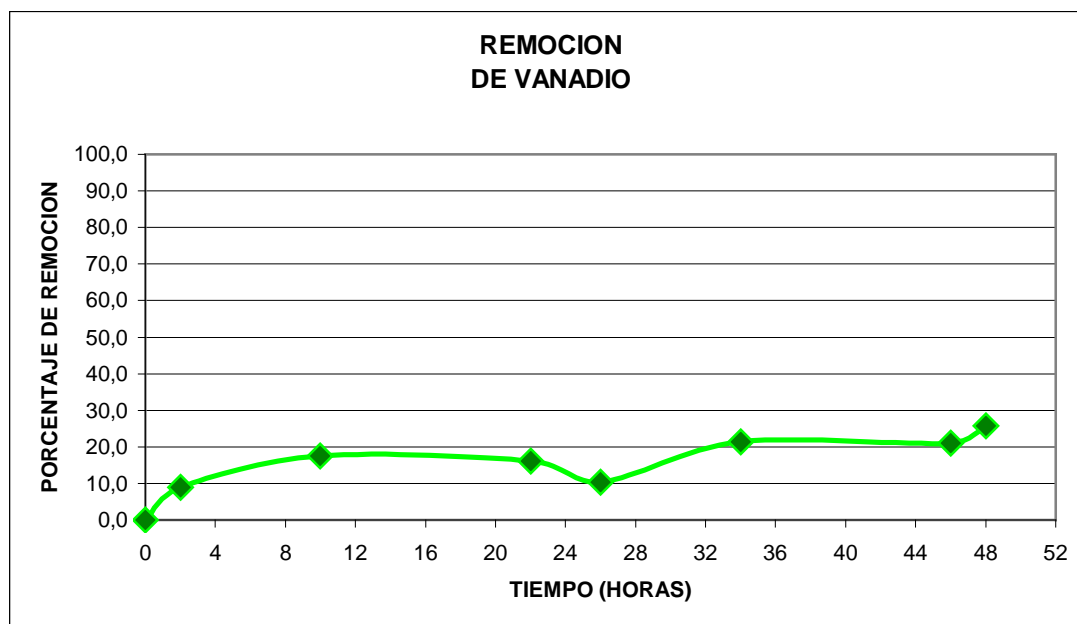
pH 7

Especie: *Eichhornia crassipes* (lirio acuático)

Concentración añadida 10 ppm.

Tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	9,0
10	17,5
22	16,1
26	10,3
34	21,3
46	21,1
48	25,8

Grafico 9: Ensayo 1.



**Tabla 11: Ensayo 2.**

Porcentaje de remoción.

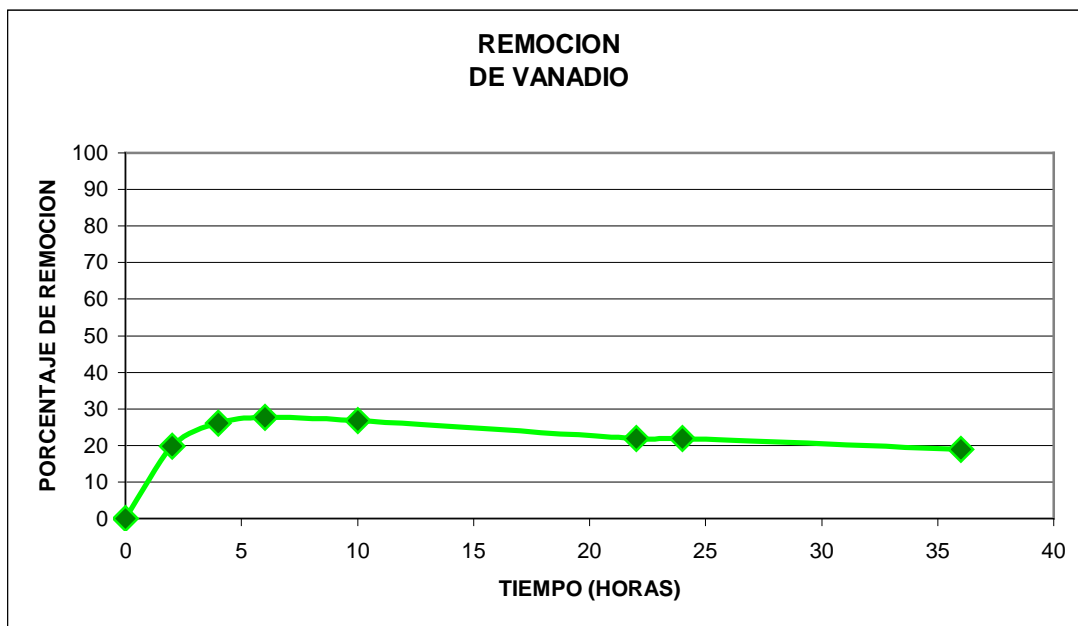
pH 4

Especie: *Eichhornia crassipes* (lirio acuático)

Concentración añadida 10 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	19,7
4	26,1
6	27,7
10	26,8
22	21,9
24	21,9
36	19,0

**Grafico 10: Ensayo 2.**





**Tabla 12: Ensayo 3.**

Porcentaje de remoción.

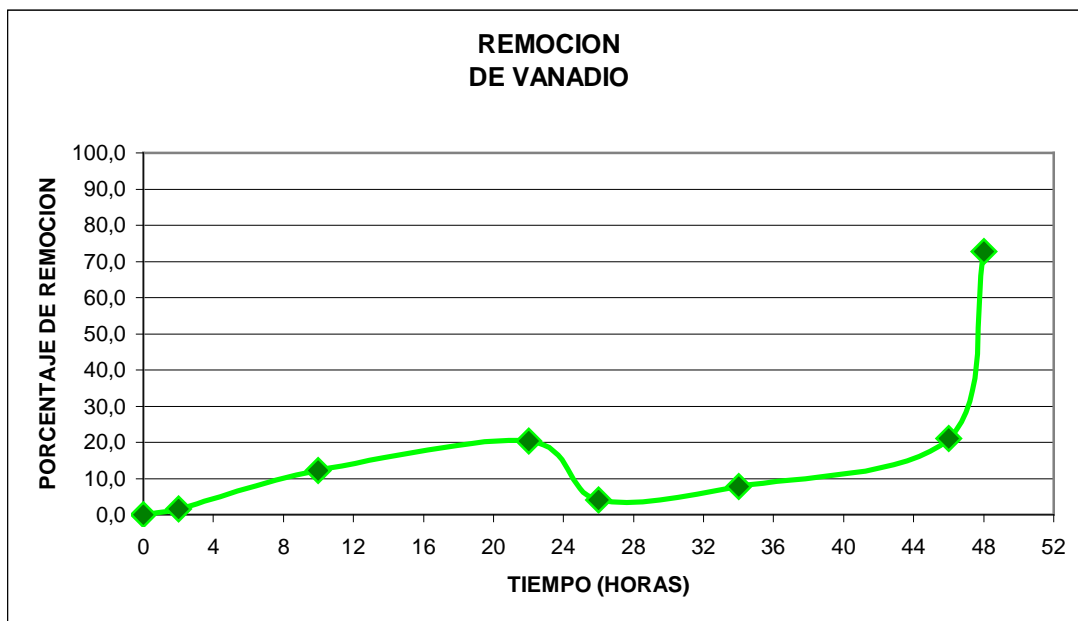
pH 7

Especie: *Eichhornia crassipes* (lirio acuático)

Concentración añadida 1 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	1,7
10	12,2
22	20,4
26	4,1
34	7,9
46	21,1
48	72,8

**Grafico 11: Ensayo 3.**



**Tabla 13: Ensayo 4.**

Porcentaje de remoción.

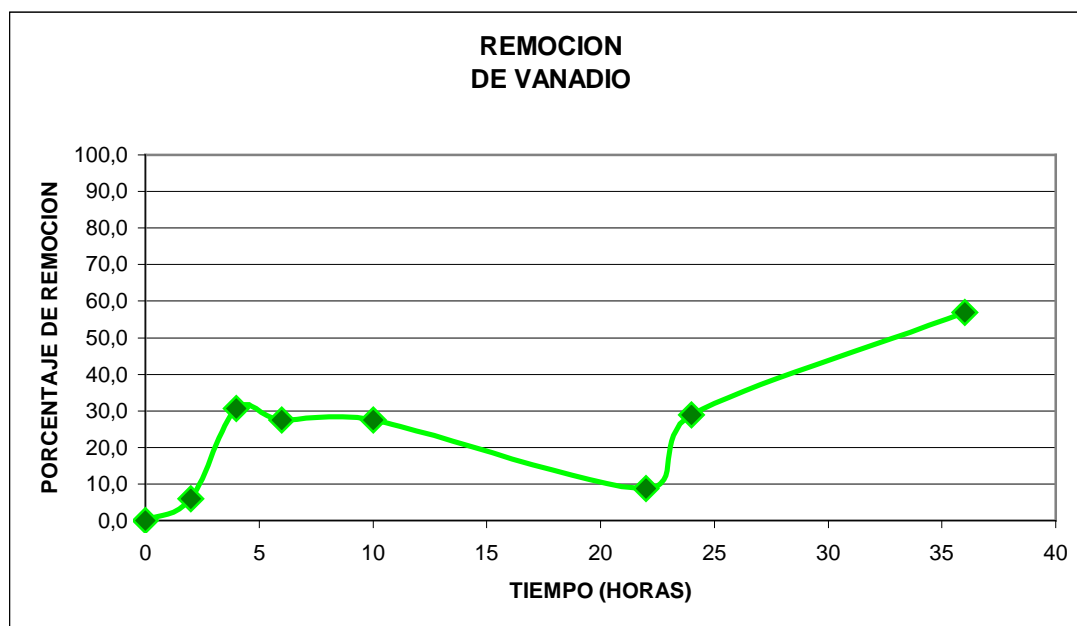
pH 4

Especie: *Eichhornia crassipes* (lirio acuático)

Concentración añadida 1 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	6,0
4	30,7
6	27,5
10	27,5
22	8,7
24	28,9
36	56,9

**Grafico 12: Ensayo 4.**



**Tabla 14: Ensayo 5.**

Porcentaje de remoción.

pH 7

Especie: *Pistia stratiotes* (lechugin)

Concentración añadida 10 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	0,0
4	0,0
12	0,0
16	0,0
22	0,0
26	0,0
36	0,0

**Grafico 13: Ensayo 5.**



**Tabla 15: Ensayo 6.**

Porcentaje de remoción.

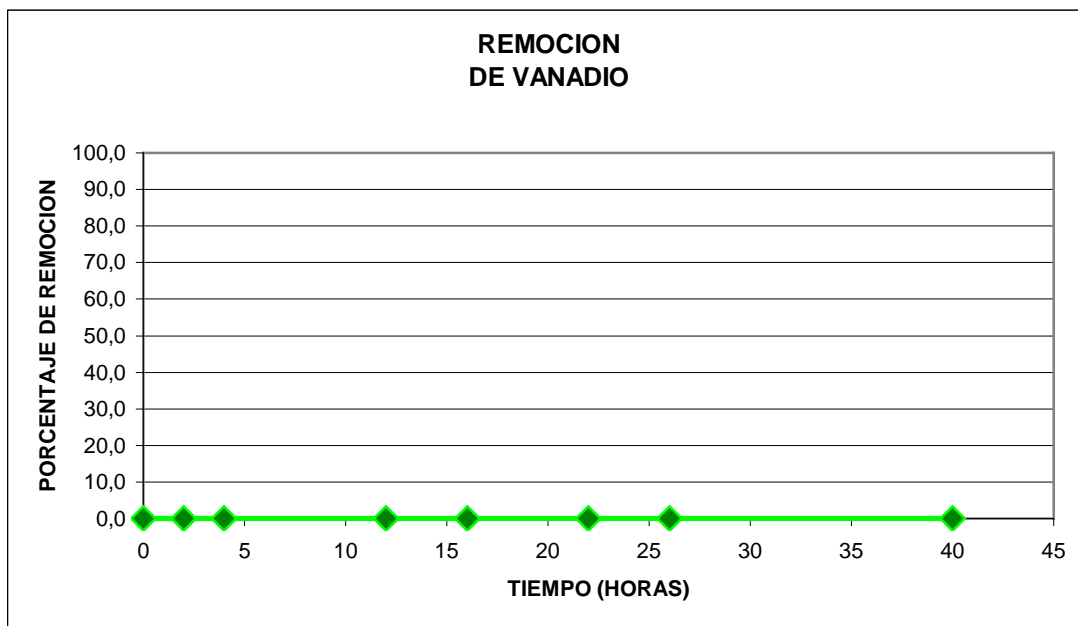
pH 4

Especie: *Pistia stratiotes* (lechugin)

Concentración añadida 10 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	0,0
4	0,0
12	0,0
16	0,0
22	0,0
26	0,0
40	0,0

**Grafico 14: Ensayo 6.**



**Tabla 16: Ensayo 7.**

Porcentaje de remoción.

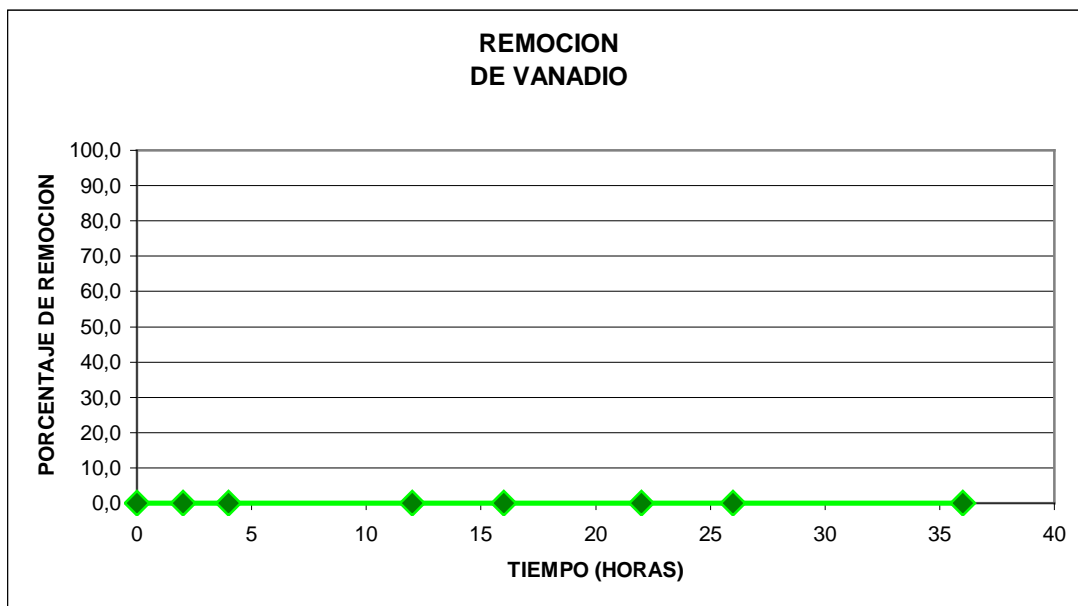
pH 7

Especie: *Pistia stratiotes* (lechugin)

Concentración añadida 3 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	0,0
4	0,0
12	0,0
16	0,0
22	0,0
26	0,0
36	0,0

**Grafico 15: Ensayo 7.**



**Tabla 17: Ensayo 8.**

Porcentaje de remoción.

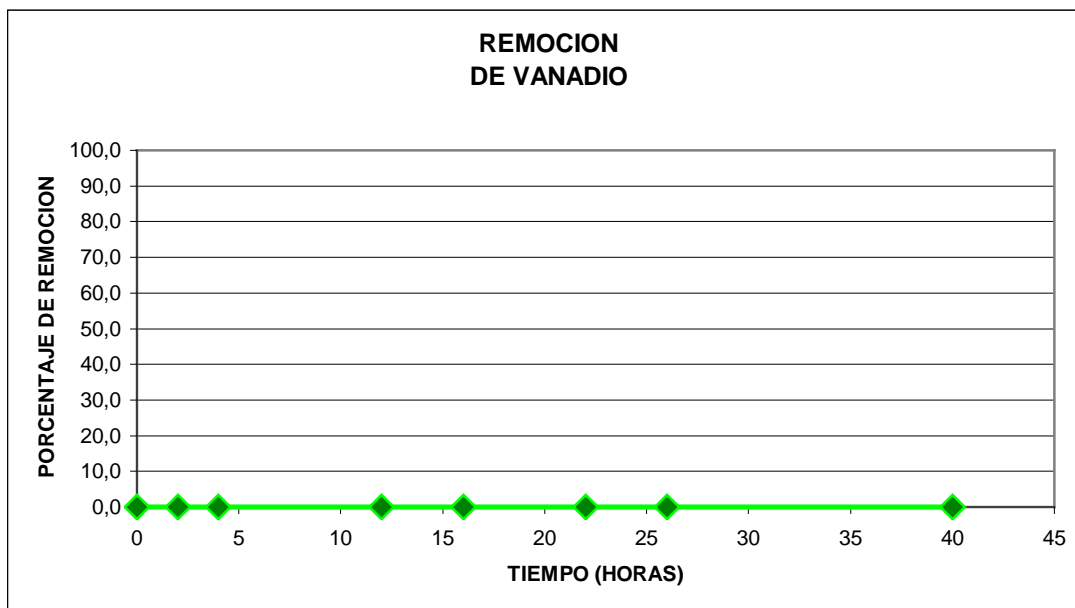
pH 4

Especie: *Pistia stratiotes* (lechugin)

Concentración añadida 3 ppm.

tiempo (horas)	% remoción V
0	0,0
2	0,0
4	0,0
12	0,0
16	0,0
22	0,0
26	0,0
40	0,0

**Gráfico 16: Ensayo 8.**



#### 4.4 Porcentajes máximos de remoción comparados.

Gráfico 17: Ensayos 1 y 2.

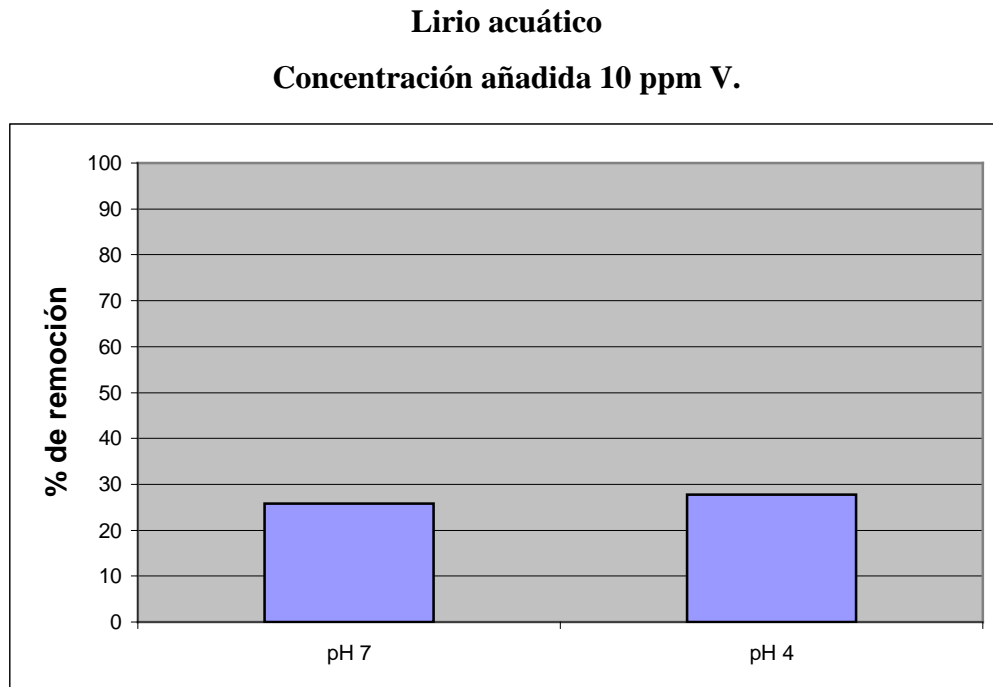
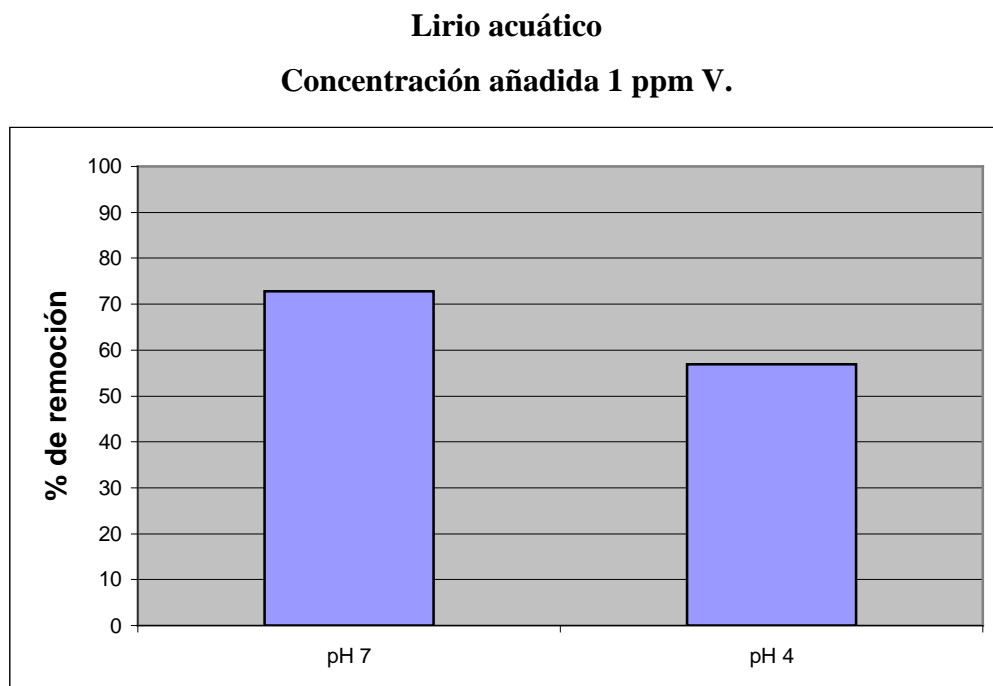
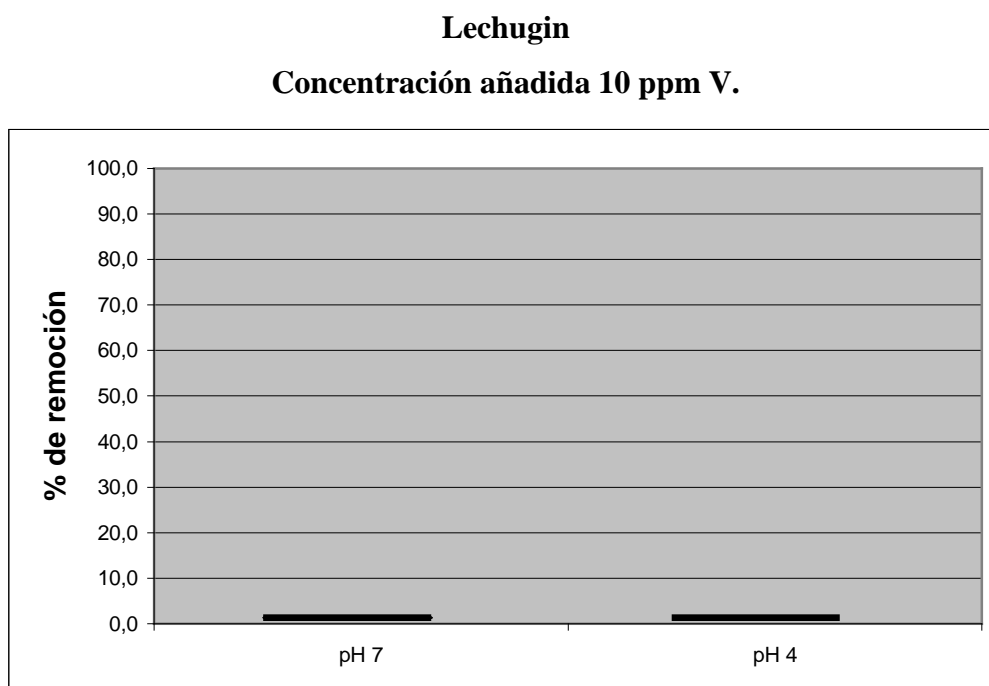


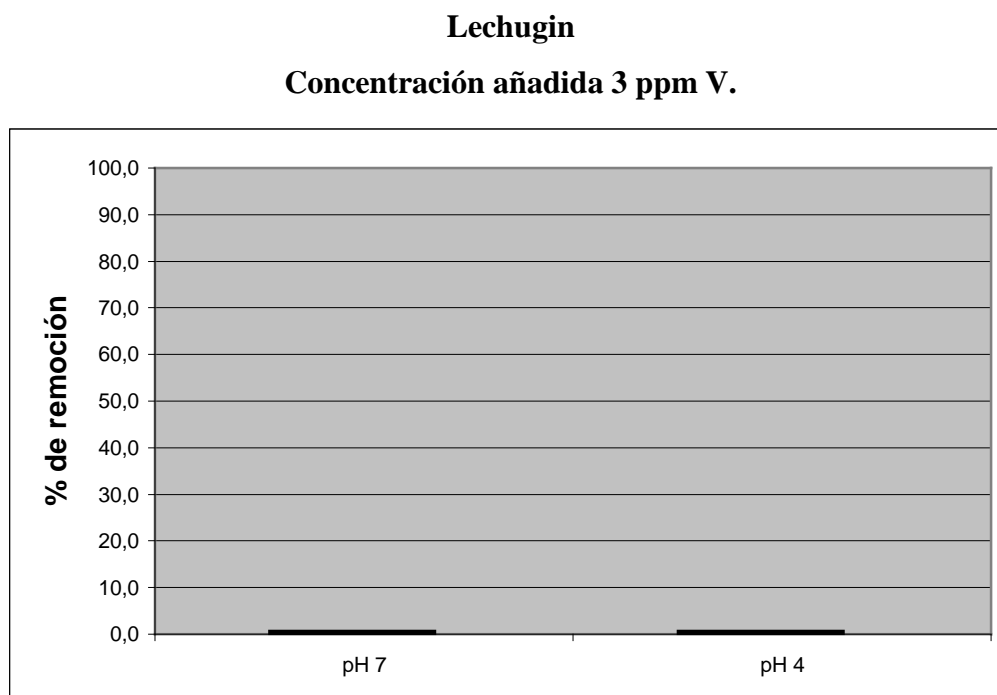
Gráfico 18: Ensayos 3 y 4.



**Gráfico 19: Ensayos 5 y 6.**



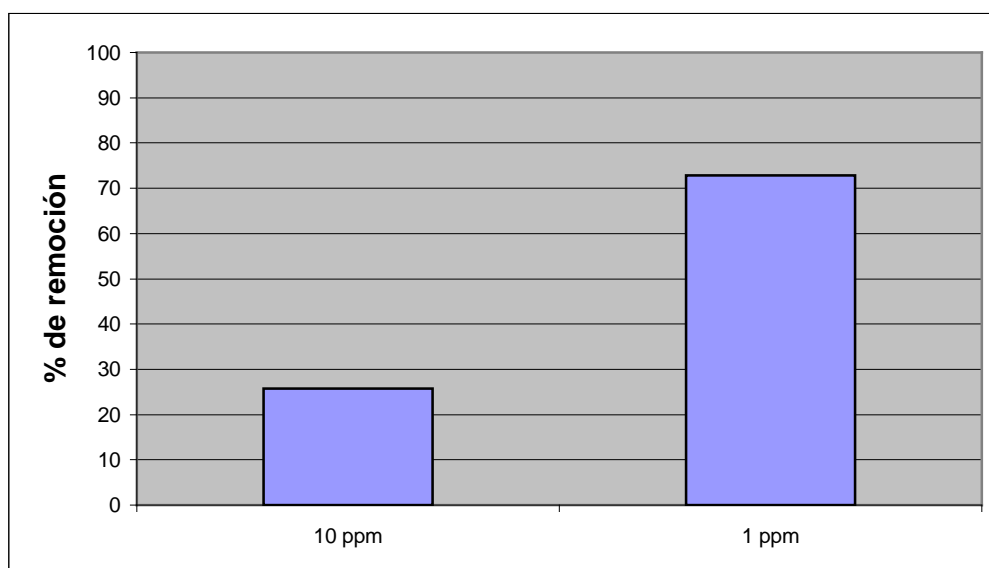
**Gráfico 20: Ensayos 7 y 8.**





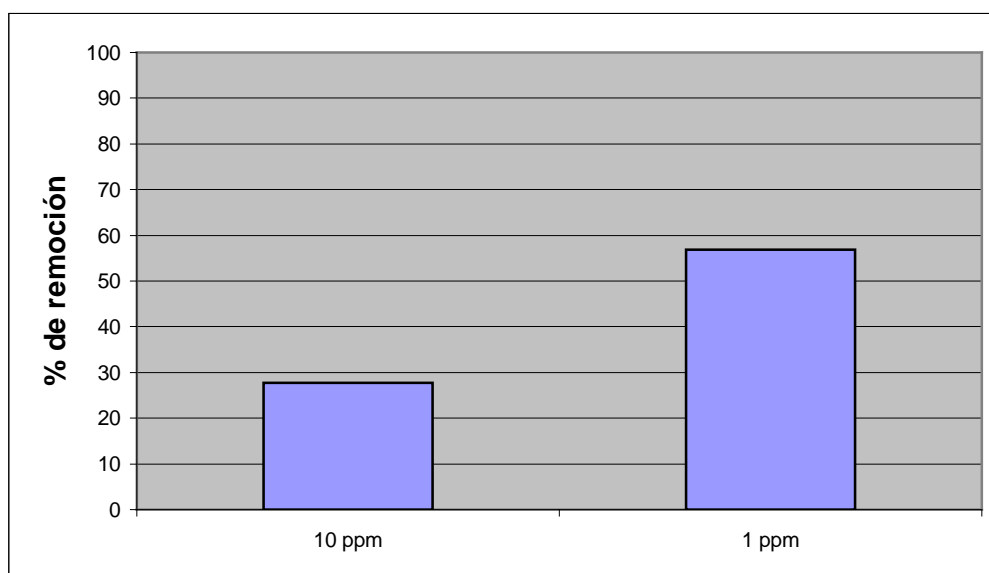
**Gráfico 21: Ensayos 1 y 3.**

**Lirio acuático**  
**pH 7**



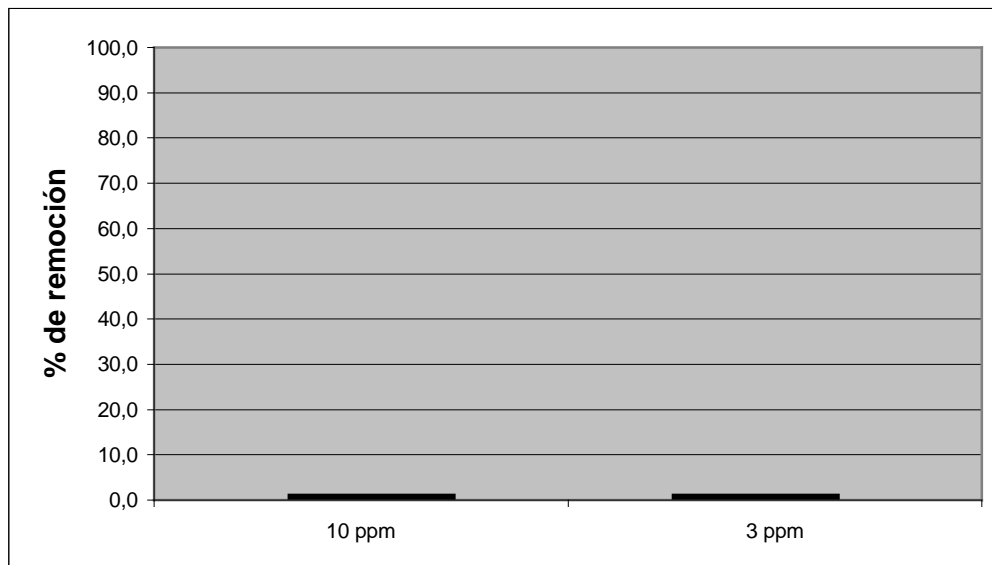
**Gráfico 22: Ensayos 2 y 4.**

**Lirio acuático**  
**pH 4**



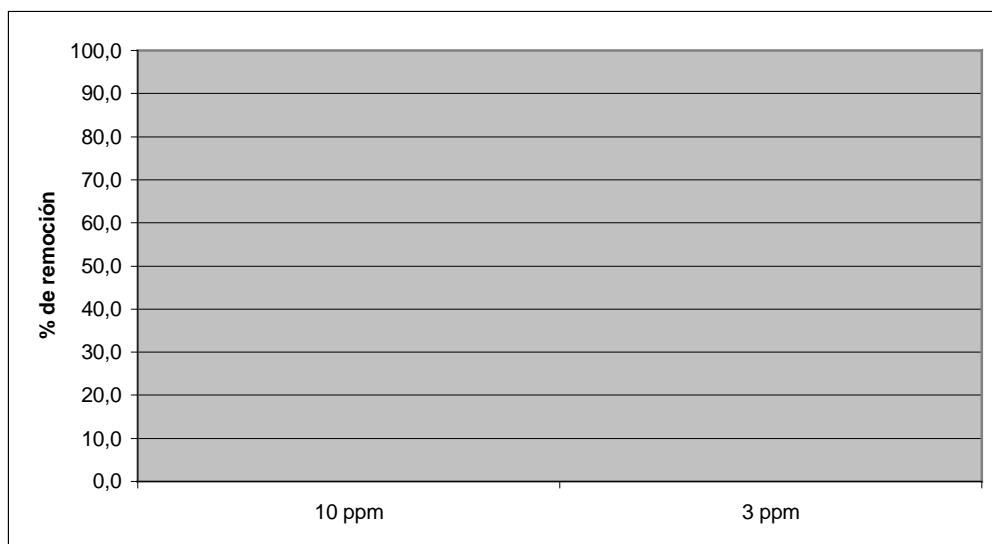
**Gráfico 23: Ensayos 5 y 7.**

**Lechugin**  
**pH 7**



**Gráfico 24: Ensayos 6 y 8.**

**Lechugin**  
**pH 4**




#### 4.4 Índice de Bioacumulación.

El índice de bioacumulación se expresa por la relación entre:

$$I = \frac{\text{cantidad de contaminante en el organismo}}{\text{cantidad de contaminante (suelo o agua)}}$$

Gráfico 25: Ensayo 1.

$$I_1 = \frac{1344 \text{ mg V}}{3888 \text{ mg V}} = 0.35$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa	Grado de Bioacumulación
	0,1		media	
	0,01		ligera	
	0,001		Carencia	

**Gráfico 26: Ensayo 2.**

$$I_2 = \frac{1344 \text{ mg V}}{3600 \text{ mg V}} = 0.4$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa	Grado de Bioacumulación
	0,1	V	media	
	0,01		ligera	
	0,001		carencia	


**Gráfico 27: Ensayo 3.**

$$I_3 = \frac{480 \text{ mg V}}{144 \text{ mg V}} = 3.3$$

Índice de Bioacumulación	1,0	V	intensa	Grado de Bioacumulación
	0,1		media	
	0,01		ligera	
	0,001		carencia	


**Gráfico 28: Ensayo 4.**

$$I_4 = \frac{432 \text{ mg V}}{336 \text{ mg V}} = 1.3$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa	Grado de Bioacumulación
	0,1		media	
	0,01		ligera	
	0,001		carencia	

**Gráfico 29: Ensayo 5.**

$$I_5 = \frac{0 \text{ mg V}}{4896 \text{ mg V}} = 0$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa	Grado de Bioacumulación
	0,1		media	
	0,01		ligera	
	0,001		carencia	

**Gráfico 30: Ensayo 6.**

$$I_6 = \frac{0 \text{ mg V}}{4896 \text{ mg V}} = 0$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa
	0,1		media
	0,01		ligera
	0,001	V	carencia

Grado de Bioacumulación

**Gráfico 31: Ensayo 7.**

$$I_7 = \frac{0 \text{ mg V}}{1584 \text{ mg V}} = 0$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa
	0,1		media
	0,01		ligera
	0,001	V	carencia

Grado de Bioacumulación

**Gráfico 32: Ensayo 8.**

$$I_8 = \frac{0 \text{ mg V}}{1584 \text{ mg V}} = 0$$

Índice de Bioacumulación	1,0		intensa	Grado de Bioacumulación
	0,1		media	
	0,01		ligera	
	0,001	V	carencia	

## V. DISCUSION.

► De acuerdo a la concentración inicial del metal vanadio medida en cada ensayo y la concentración final después de intervalos de tiempo menores a las 48 horas, se determinó la eficiencia de remoción de las dos especies acuáticas utilizadas, el lechugin y el lirio acuático, el porcentaje de remoción máximo de las mismas y el índice de bioacumulación de cada ensayo, todo esto para valores diferentes de pH que son 4 y 7 y diferentes concentraciones iniciales, dependiendo del ensayo. (Tablas 2 a 9. Gráficos 1 al 8)

### ► Ensayo 1.

- Las concentraciones de vanadio en el agua difieren a lo largo del tiempo, al llegar al tiempo final del ensayo, se presenta una remoción del 25.8%, esto nos indica que el lirio acuático si bioacumula este metal en las condiciones presentadas, este valor también representa el porcentaje máximo de remoción de este ensayo. (Tabla 10. Gráficos 9 y 17)
- Con este valor de bioacumulación de la planta y la cantidad de vanadio presente en el agua, se establece que el vanadio presenta un *grado medio de bioacumulación*, en las condiciones de este ensayo. (Gráfico 25)

### ► Ensayo 2.

- A lo largo del ensayo la concentración de vanadio varía, al termino de este su remoción es de 19%, indicando que el lirio acuático bioacumula este metal en estas condiciones. (Tabla 11. Gráfico 10)
- Sin embargo esta remoción presentada en el tiempo final del ensayo, no representa el porcentaje máximo de remoción ya que después de 6 horas de iniciado el ensayo, se registra una remoción del 27.7%. (Gráfico 18)



- Con este valor del porcentaje máximo de remoción, el vanadio en este ensayo y en estas condiciones presenta un *grado medio de bioacumulación*. (Gráfico 26)

► Ensayo 3.

- El vanadio presenta variaciones en su concentración en el agua a lo largo del ensayo, al cabo de las 48 horas presenta una remoción máxima del 72.8%, lo que significa que si existe bioacumulación por parte del lirio acuático. (Tabla 12. Gráficos 11 y 19 )
- De acuerdo al índice de bioacumulación y a los valores de remoción de vanadio en las condiciones en las que fue hecho el ensayo se presenta un *intenso grado de bioacumulación*. (Gráfico 27)

► Ensayo 4.

- Existe bioacumulación de vanadio por parte del lirio acuático en las condiciones en las que se realizó el ensayo, al final del este se presenta una remoción máxima del 56.9%. (Tabla 13. Gráficos 12 y 20)
- Por la relación existente entre la remoción de vanadio por el lirio acuático y la concentración final en el agua, este ensayo presenta un *intenso grado de bioacumulación*. (Gráfico 28)

► Ensayo 5.

- La concentración inicial de vanadio en el agua se mantuvo constante durante todo el ensayo, lo que significa que no existe bioacumulación de vanadio por parte del lechugin en las condiciones en la que se realizó el ensayo. (Tabla 14. Gráficos 13 y 21)

- La relación de remoción de vanadio y concentración del metal en el agua, dan como resultado *carencia en el grado de bioacumulación*. (Gráfico 29)

► Ensayo 6.

- No existe una variación en la concentración inicial de vanadio en el agua durante todo el tiempo que se realizó el ensayo, por esto el lechugin no bioacumula vanadio bajo las condiciones en las que se realizo el ensayo. (Tabla 15. Gráficos 14 y 22)
- La relación de remoción de vanadio y concentración del metal en el agua, dan como resultado *carencia en el grado de bioacumulación*. (Gráfico 30)

► Ensayo 7.

- La concentración inicial de vanadio en el agua se mantuvo constante durante todo el ensayo, lo que significa que no existe bioacumulación de vanadio por parte del lechugin en las condiciones en la que se realizo el ensayo. (Tabla 16. Gráficos 15 y 23)
- La relación de remoción de vanadio y concentración del metal en el agua, dan como resultado *carencia en el grado de bioacumulación*. (Gráfico 31)

► Ensayo 8.

- No existe una variación en la concentración inicial de vanadio en el agua durante todo el tiempo que se realizó el ensayo, por esto el lechugin no bioacumula vanadio bajo las condiciones en las que se realizo el ensayo. (Tabla 17. Gráficos 16 y 24)
- La relación de remoción de vanadio y concentración del metal en el agua, dan como resultado *carencia en el grado de bioacumulación*. (Gráfico 32)

## VI. CONCLUSIONES.

- Las características físico-químicas del medio en que se sembraron las especies acuáticas utilizadas era el adecuado porque tenía los requerimientos necesarios para que las plantas desarrollen su metabolismo con normalidad, ya que este influye mucho en la bioacumulación de sustancias.
- El elemento vanadio no se bioacumula en la especie *Pistia stratiotes* (lechugin) sin importar cual sea la concentración inicial del metal en el agua o si se realiza el ensayo con un pH de 7 o 4. Por esto el lechugin no puede ser usado como bioacumulador de este metal. Esto se puede dar por dos razones, por la gran competencia que existe entre los iones de hidrógeno y los de vanadio por ocupar los espacios libres dentro de la planta o porque el metabolismo de la planta, en este caso el lechugin es muy rápido lo cual dificulta ver la bioacumulación existente por parte de la planta, si la hubiese.
- La especie *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) si removió el elemento vanadio del agua en diferentes porcentajes en todos los ensayos en los que se la utilizó, por esto puede ser usada como una planta bioacumuladora de este metal.
- En los 4 ensayos donde se utilizó el lirio acuático, las concentraciones suben y bajan moderadamente con el transcurso del tiempo, esto se debe a que en el proceso de bioacumulación las plantas tienden a buscar un estado de ósmosis o de equilibrio en el cual los químicos se mueven de un lugar de alta concentración a un lugar de baja concentración.
- Entre las dos especies que se utilizó para realizar los ensayos, el lirio acuático bioacumula mejor que el lechugin, el cual no presentó signos de remoción de vanadio del agua.

- Cuando la concentración inicial es de 10 mg/L de vanadio, existe un mayor porcentaje de bioacumulación por parte del lirio acuático cuando el pH del medio en el que se realizó el ensayo es de 4, sin presentar mucha diferencia cuando el pH del medio es el original, esto se debe a que cuando se trabaja en un medio ácido existe mayor movilidad de los iones del metal lo que facilita la captación de estos por la planta.
- Cuando se utiliza una concentración inicial de 1 mg/L de vanadio, el mayor porcentaje de bioacumulación por parte del lirio acuático es cuando se mantiene el pH original de la laguna, sin embargo cuando se utiliza un pH de 4 el porcentaje de remoción sigue siendo mayor que cuando la concentración inicial es de 10 mg/L, esto se produce porque la bioacumulación depende directamente de la concentración.
- Existe una mayor bioacumulación de vanadio en el lirio acuático cuando la concentración inicial es de 1 mg/L en lugar de que la concentración inicial sea de 10 mg/L, sin importar si se tiene un pH de 4 o el pH original que en este caso es de 7, porque el porcentaje de bioacumulación de vanadio por parte del lirio acuático, depende directamente de la concentración del metal que se encuentre presente en el agua, por eso tenemos que a menor concentración de vanadio en el agua, mayor bioacumulación por la planta y viceversa.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

- La bioacumulación debe ser tomada en cuenta como un sistema de tratamiento para aguas industriales ya que puede manejar volúmenes muy grandes de agua y con tiempos de retención favorables para su tratamiento, además de ser un proceso natural en el que se aprovecha las propiedades de las plantas que muchas veces pueden ser consideradas como plagas.
- Se puede utilizar el lirio acuático, que en este caso fue la especie que mejor bioacumula el vanadio en un proceso de purificación de efluentes contaminados con este metal pesado, siempre y cuando se adapten las condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento de la especie, las mismas que dependerán de las situaciones planteadas para cada caso específico.
- Utilizar el lirio acuático es económicamente viable cuando se quiere tratar agua contaminada con pequeñas concentraciones de vanadio ya que esta especie cuenta con todas las características requeridas para ser usada como bioacumuladora, como son tener una alta productividad, fácil cosecha, buena remoción de contaminantes, aguanta condiciones adversas.
- Si se utiliza la bioacumulación como tratamiento para efluentes contaminados con vanadio, se debe tener listo o buscar un lugar adecuado para la disposición final de las plantas acuáticas utilizadas para el proceso ya que estas van a contener concentraciones muy altas de este metal, pudiendo llegar a ser dañinas e incluso mortales para las personas como es característico de los metales pesados.
- Buscar un óptimo tratamiento para la especie utilizada como bioacumuladora en caso de que se desee recuperar el metal que se encuentra en la planta.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Institution of Chemical Engineers Effluent Treatment and Waste Minimisation, EFCE Publication No.103, 1993, Reino Unido, pag 185.
- “VOGEL, artur”, Química Analítica Cualitativa,. Editorial Kapelusz S.A.quinta edición, Buenos Aires-Argentina, 1974, pag 473-474.
- STANDARD METHODS for the Examination of water and wastewater, American Public Health Association, AWWA, WEF, Washington DC-Estados Unidos, 1995.
- “RIVADENEIRA, Maria Eugenia”, Tesis, Caracterización y Evaluación Físico-Química del agua del sector de Limoncocha, 1999.
- <http://www.unex.es/botanica>
- <http://www.tos.com.ep/snsantarosa>
- <http://www.botany.com/pistia.html>
- <http://homepage.westmont.edu/u/outside/phil.soderman/www/tab.htm>
- [www.igme.es/internet/web\\_aguas/igme/publica/pdflib15/021.pdf](http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdflib15/021.pdf)
- [www.ace.orst.edu/info/extoxnet](http://www.ace.orst.edu/info/extoxnet)
- [www.eco-usa.net/toxics/vanadium.shtml](http://www.eco-usa.net/toxics/vanadium.shtml)
- [www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/v.html](http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/v.html)
- [www.atlantic.net/elifritz/elements/vanadium.htm](http://www.atlantic.net/elifritz/elements/vanadium.htm)
- <http://pest.cabweb.org/archivo/pestoofmonth/waterhy.htm>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### VANADIUM DETERMINATION BY ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY.

#### 3110 METALS BY ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY

*Because requirements for determining metals by atomic absorption spectrometry vary with metal and/or concentration to be determined, the method is presented as follow:*

*Section 3111, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry encompasses:*

- *Determination of aluminum, barium, beryllium, calcium, molybdenum, osmium, rhenium, silicon, thorium, titanium, and vanadium by direct aspiration into a nitrous oxide-acetylene flame (3111D).*

#### 3111 METALS BY FLAME ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY

*In flame atomic absorption spectrometry, a sample is aspirated into a flame and atomized. A light beam is directed through the flame into a monochromator, and onto a detector that measures the amount of the light absorbed by the atomized element in the flame. For some metals, atomic absorption exhibits superior sensitivity over flame emission. Because each metal has its own characteristic absorption wavelength, a source lamp composed of that element is used; this makes the method relatively free from spectral radiation interferences. The amount of energy in the characteristic wavelength absorbed in the flame is proportional to the concentration of the element in sample over a limited concentration range.*

#### 3111 D. DIRECT NITROUS OXIDE-ACETYLENE FLAME METHOD

##### *1. General Discussion.*

*This method is applicable to determination of aluminum, barium, beryllium, calcium, molybdenum, osmium, rhenium, silicon, thorium, titanium and vanadium.*



## 2. Apparatus

- a. Atomic absorption spectrometer and associated equipment.
- b. Nitrous oxide burned head: use special burner head as suggested in manufacturer's manual. At roughly 20 minutes intervals of operation it may be necessary to dislodge the carbon crust that forms along the slit surface with a carbon rod or appropriate alternative.
- c. T-junction valve or other switching valve for rapidly changing from nitrous oxide to air, so that flame can be turned on or off with air as oxidant to prevent flash backs.

## 3. Reagents

- a. Air.
- b. Acetylene.
- c. Metal-free water.
- d. Hydrochloric acid.
- e. Nitric acid,  $\text{HNO}_3$ , conc.
- f. Sulfuric acid,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 %
- g. Nitrous oxide, commercially available cylinders. Fit nitrous oxide cylinder with a special nonfreezable regulator or wrap a heating coil around an ordinary regulator to prevent flashback at the burner caused by reduction in nitrous oxide flow through a frozen regulator.
- h. Standard metal solutions: Prepare a series of standard, metal solutions in the optimum concentration ranges by appropriate dilution of stock metal solutions with water containing 1.5 ml conc.  $\text{HNO}_3$ /L. Stock standard solutions are available from a number of commercial suppliers. Alternatively, prepare as described below.

**Vanadium:** Dissolve 0.2297 g ammonium metavanadate  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ , in a minimum amount of conc  $\text{HNO}_3$ . Add 10 ml conc.  $\text{HNO}_3$ , and dilute to 1000 ml with water.

*When all of these steps are done, we are ready to started the atomic absorption spectrometer, all the procedure is automatic and controlled by a computer that are connected with the equipment <sup>16</sup>.*

---

<sup>16</sup> STANDARD METHODS for the Examination of water and wastewater, section 3-6 to 3-9

## ANEXO 2

FIGURA 1 (Lirio Acuático)



FIGURA 2 (Lechugin)





FIGURA 3 Ensayo con el Lirio Acuático.



FIGURA 4 Ensayo con el Lechuguín

