

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

# Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947  
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



**Ciencias del**  

---

**Agro,**  

---

**Ingeniería**  

---

**y Tecnología**  

---

**Año 14 N° 39**

**Enero - Abril 2023**

**Tercera Época**

**Maracaibo-Venezuela**

## Implementación de una técnica para el aprovechamiento de los alcaloides de Tarwi y posterior complejión de metales pesados

Camilo Pavel Haro Barroso \*

### RESUMEN

Se determinan las condiciones apropiadas para formar complejos con los alcaloides del desamargado de Tarwi y metales pesados presentes en aguas residuales. Se utilizaron para ello soluciones estándares de metales pesados y aguas de desamargado de Tarwi con diferentes concentraciones de alcaloide, además de técnicas volumétricas, potenciométricas y espectrofotométricas para la obtención de datos y construcción de diseños experimentales multifactoriales, tanto para el Cadmio, Plomo y Cromo, utilizados en el presente estudio. Los resultados obtenidos indican que a una concentración de 4,59 mg/ml de alcaloide y a pH 4 precipita Cadmio; a una concentración de 1,24 mg/ml de alcaloide y a pH entre 3 y 4,5 precipita Plomo; y a una concentración de 4,59 mg/ml de alcaloide y a pH 8 precipita Cromo, reduciéndose los niveles de Cromo, Cadmio y Plomo en un 76, 85 y 91 % respectivamente. Las condiciones obtenidas son aplicadas a una muestra de agua de formación de petróleo, reduciéndose el Plomo en un 17%, demostrándose que los alcaloides precipitan metales pesados, además de que existen interferencias que dificultan el tratamiento de metales en la muestra de agua de formación.

PALABRAS CLAVE: Propiedad química, agua residual, planta, metal.

\* Ingeniero en Biotecnología Ambiental por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador; Máster Universitario en Ingeniería para el Ambiente y el Territorio por la Università della Calabria – Italia. Profesor Ocasional en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0510-8438>. E-mail: camilo.haro@epoch.edu.ec

Recibido: 03/10/2022

Aceptado: 08/12/2022

## Implementation of a technique for the use of Tarwi alkaloids and subsequent complexation of heavy metals

### ABSTRACT

The appropriate conditions to form complexes with Tarwi debittering alkaloids and heavy metals present in wastewater are determined. For this purpose, standard solutions of heavy metals and Tarwi debittering waters with different alkaloid concentrations were used, in addition to volumetric, potentiometric and spectrophotometric techniques for data collection and construct multifactorial experimental designs, for Cadmium, Lead and Chromium. used in the present study. The results obtained indicate that at a concentration of 4.59 mg/ml of alkaloid and at pH 4 Cadmium precipitates; at a concentration of 1.24 mg/ml of alkaloid and at a pH between 3 and 4.5 Lead precipitates; and at a concentration of 4.59 mg/ml of alkaloid and at pH 8 Chromium precipitates, reducing the levels of Chromium, Cadmium and Lead by 76, 85 and 91% respectively. The conditions obtained are applied to a sample of petroleum formation water, reducing Lead by 17%, demonstrating that the alkaloids precipitate heavy metals, in addition to the fact that there are interferences that hinder the treatment of metals in the formation water sample.

KEY WORDS: chemical property, wastewater, plant, metal.

### Introducción

Los procesos de lavado del Tarwi producen aguas residuales con una alta concentración de alcaloides que pueden ser recuperados y reutilizados. Los metales pesados presentes en aguas residuales ya sea de procesos orgánicos e industriales se los puede remover por medio de la complejación con alcaloides de Tarwi, pudiendo reducir las altas concentraciones de estos metales, principalmente en aguas de descarga de refinamiento de petróleo, minería, elaboración de pilas y baterías; en procesos de curtiembre, elaboración de tejados decorativos y otros.

Los alcaloides son sustancias orgánicas de origen vegetal que se encuentran presentes en gran parte del reino vegetal, especialmente en las leguminosas (Palacios & Ortega, 2004). Las plantas utilizan estos metabolitos secundarios como mecanismos de defensa ante la presencia de depredadores, por lo que muchos de los alimentos de estas plantas son sometidas a procesos de eliminación de alcaloides para evitar su toxicidad. Los residuales producidos durante estos

procedimientos se los puede reutilizar como complejantes en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

Dentro de las técnicas de identificación y cuantificación de alcaloides se utilizan sales y ácidos de metales pesados para su precipitación, con lo que el proceso de complejación puede darse en condiciones que se definirán durante el desarrollo del presente trabajo.

Al tener una fuente de alcaloides como los procedentes del desamargado de Tarwi, se los puede reutilizar en la complejación de metales pesados, reduciendo la presencia de estos en aguas de descarga sin que sea un tratamiento demasiado costoso; además de reutilizar los remanentes de los procesos de desamargado, con lo que se mitigaría dos problemas ambientales a la vez.

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un estudio por medio de un diseño experimental, en la que utilizaremos concentraciones conocidas de alcaloides de Tarwi y de metales pesados a un pH variable; posterior a esto se determinará el mejor tratamiento posible aplicando para ello análisis de medias y test estadísticos.

El mejor tratamiento obtenido de los diseños experimentales se lo aplicará en una muestra de agua problema proveniente de la extracción de petróleo. Los resultados permiten realizar una proyección clara de los porcentajes de Metales pesados, particularmente de Cadmio, Plomo o de Cromo, que podría reducirse aplicando correctamente el método implementado. De esta manera, se aprovecharían los alcaloides del agua de cocción del Tarwi para la formación de compuestos complejos con metales pesados en aguas contaminadas.

## 1. El Tarwi

El Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) es una leguminosa herbácea erecta de tallos robustos, algo leñoso. Alcanza altura de 0.8 - 2.0 m. Se cultiva principalmente entre 2000-3800 msnm, en climas templado-fríos. Los granos vienen dentro de vainas, es muy parecido a la arveja y se lo conoce también como Chuchis muti. Contienen alcaloides amargos que impiden su consumo directo.

Es un alimento lleno de proteínas, grasas, hierro, calcio y fósforo. Se considera apropiado para los niños en etapa de crecimiento, mujeres embarazadas o que dan de lactar. Combinado

con cereales como la quinua o amaranto, es capaz de reunir las cualidades de la leche, la carne, el queso y el huevo.

Se ha introducido en Argentina desde Perú y Bolivia. Se utiliza, desamargada, en guisos, en purés, en salsas, ceviche serrano, sopas (crema de Tarwi); guisos (pepián), postres (mazamorras con naranja) y refrescos (jugo de papaya con harina de Tarwi). Industrialmente la harina de Tarwi se usa hasta en 15 % en la panificación, por la ventaja de mejorar considerablemente el valor proteico y calórico el producto. Para uso medicinal los alcaloides (esparteína, lupinina, lupanidina, etc.) se emplean para controlar ectoparásitos y parásitos intestinales de los animales.

En la ingeniería agronómica, en estado de floración la planta se incorpora a la tierra como abono verde, con buenos resultados, mejorando la cantidad de materia orgánica, estructura y retención de humedad del suelo. Como combustible casero, los residuos de la cosecha (tallos secos) se usan como combustible por su gran cantidad de celulosa que proporciona un buen poder calorífico.

Vale recalcar la gran utilidad que tienen estos alcaloides en el suelo debido a que los residuos de estas plantas contienen alcaloides que permiten enriquecer a los mismos, mejorando la retención de agua, la calidad de la materia orgánica en el suelo y además de su poder antiparasitante en los animales.

“En un estudio realizado en la Universidad Complutense de Madrid, se empleó semillas de la familia lupinus, entre otros, para la fitorremediación, observándose que además de una gran capacidad de adsorción de Cd, Pb, Cr y Zn, son capaces de germinar en áreas altamente contaminadas y además pueden modificar el pH (en los experimentos realizados lo han variado de 2 a 5,5)” (Manacorda y Cuadros, 2005).

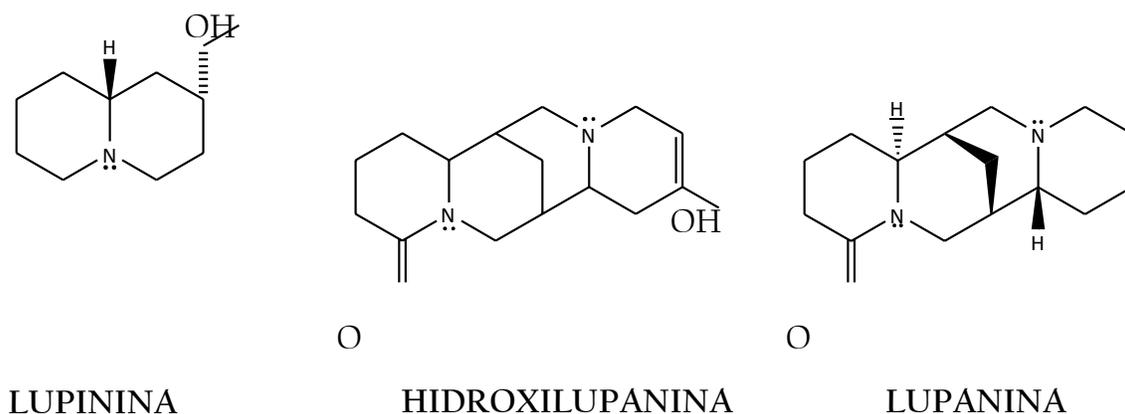
Según se puede observar los estudios con una variedad de lupinus realizado en la península Ibérica da como resultado la adsorción de metales pesados utilizando las semillas de la familia lupinus, estos pudieron germinar en sitios que presentaron una alta concentración de metales pesados, disminuyendo el impacto ambiental y dando lugar a la fitorremediación de suelos contaminados.

### 1.1. Alcaloides del Tarwi

El Tarwi contiene sustancias antinutritivas que limitan el uso directo del grano crudo en la alimentación humana y animal. Entre estas sustancias se encuentran los alcaloides, que son compuestos amargos que tienen propiedades farmacológicas a bajas dosis. “Durante el proceso de desamargado de Tarwi se eliminan gran cantidad de alcaloides presentes en las semillas del mismo, entre los que tenemos a la lupinina, esparteína, lupanidina y anagreína principalmente” (Portal Farma, 2008).

Los alcaloides encontrados en las aguas de desamargado son de naturaleza nor- lupinano, según la clasificación química de los mismos, que a su vez son eliminados hacia los sistemas de alcantarillado o a las fuentes hídricas más próximas provocando un grave impacto en la flora y la fauna de los mismos, debido a que estos son altamente tóxicos para los seres humanos y para la fauna de los sistemas acuáticos.

Gráfico 1.- Estructura de los principales alcaloides del Tarwi



El principal alcaloide que tiene el Tarwi es la lupanina (Gráfico 1), que se puede utilizar como insecticida contra lepidópteros y coleópteros y que, a la planta, le sirve para crear mecanismos de defensa contra insectos, herbívoros y patógenos microbianos. Los agricultores utilizan esta propiedad tóxica para el control de plagas, de ectoparásitos (parásitos que viven en

la superficie de otro organismo), afecciones dermatológicas y parásitos intestinales en los animales.

## 2. Metales pesados

Los metales pesados “son aquellos elementos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios, podemos señalar a los siguientes: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn). Algunos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades; su exceso intoxicaciones” (Thiel, 2008).

A ciertos metales pesados se los consideran como elementos tóxicos porque en elevadas concentraciones pueden provocar trastornos a nivel metabólico en seres vivos, debido principalmente a la asimilación de los mismos, ya sea por procesos de bioacumulación o biomagnificación, degenerando en enfermedades toxicológicas e incluso con la muerte si las concentraciones son elevadas (Whitten, 1998).

El desarrollo tecnológico en los últimos siglos, las crecientes necesidades de una población mundial en aumento, el consumo masivo e indiscriminado de materias y el aumento en la producción desechos, ha provocado que la presencia de M.P. se incremente provocando a su vez efectos sobre la salud y el medio ambiente.

## 3. Contaminación del agua por metales pesados

Los cursos de agua han sido desde tiempos inmemorables los receptores de todo tipo de descargas directa o indirectamente (Jarrín, 2003). En un principio eran capaces de soportar este tipo de descargas porque en su gran mayoría eran de naturaleza doméstica, pero a raíz del tiempo el carácter auto depurativo de cursos hídricos disminuyó considerablemente por el aumento de los vertidos, siendo finalmente mucho más tóxicas.

En lo concerniente a la contaminación del agua se puede decir que es la alteración de la calidad de la misma por factores antropogénicos o naturales, pudiendo provocar daños sobre las especies que estén en contacto con la misma.

La presencia de ciertos elementos en el agua como metales altera en gran medida la calidad de las mismas, pudiendo provocar enfermedades hídricas agudas y crónicas dependiendo del grado de exposición y la concentración de metales a las que hayan estado expuestas. En cuanto a las principales fuentes de contaminación de aguas por metales pesados tenemos que en la industria hidrocarburífera se utiliza metales pesados como: plomo, vanadio, cadmio, entre otros, principalmente como antidetonantes.

El ingreso de metales de alta toxicidad no puede ser eliminado con facilidad, lo que origina daños en los diferentes órganos de almacenamiento, que con el tiempo pueden llevar a desarrollar algunos tipos de cánceres, afecciones hepáticas e incluso la muerte. Gran cantidad de industrias utilizan sustancias peligrosas o dañinas al medio ambiente, en este caso nos centraremos específicamente a la contaminación del agua puesto que es un recurso vital para el desarrollo de la vida y se ha puesto en duda la calidad de la misma.

En la Tabla 1 que se verá a continuación se muestra una serie de alteraciones que se producen debido a las diferentes actividades industriales (Echarri Prim, 2008).

Como se puede observar los principales causantes de contaminación con metales pesados son la industria de textiles, automoción, industria química inorgánica, minería y de pinturas, debido a la evacuación directa de aguas del proceso en los causes hídricos más cercanos, como también en los sistemas de alcantarillado de las ciudades.

Metales tan conocidos y utilizados como: plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo, cobre, aluminio, arsénico o plata, etc., son sustancias tóxicas si se encuentran en altas dosis. Muchos de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las plantas o forma parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por acción humana se acumulan en los suelos, las aguas o en los seres vivos, se convierten en sustancias tóxicas que pueden provocar daños en los seres afectados por los mismos, debido a los factores de bioacumulación y biomagnificación, afectando a las cadenas alimenticias.

Tabla 1.- Sectores industriales y sustancias contaminantes principales

SECTOR INDUSTRIAL	SUBSTANCIAS CONTAMINANTES PRINCIPALES
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Órgano-halogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Órgano-halogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Fuente: Echarri Prim, 2008

#### 4. Método

El presente estudio se realizó en la ciudad de Riobamba (Ecuador) en los laboratorios de la Facultad de Ciencias (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) y es un trabajo netamente experimental. Se detallan los métodos y procedimientos seguidos para la obtención de las

concentraciones de metales pesados aplicados los diferentes tratamientos. Con los resultados conseguidos se procederá a la construcción de los diseños experimentales y al respectivo análisis estadístico, utilizando para esto el análisis de varianzas ANOVA multifactorial, análisis de medias y el test estadístico de Tukey, con un margen de error del 0,05% para cada metal, todo esto realizado en el software M- Stat.

- Determinación cuantitativa de alcaloides de Tarwi; método adoptado por la Escuela Politécnica Nacional. Método basado en la volumetría de valoración indirecta.

- Requerimiento de Oxígeno Químico (DQO); método de reflujo abierto (métodos normalizados APHA, AWWA, WPCF. 5220 B). Método basado en la volumetría de óxido-reducción.

- Requerimiento de Oxígeno Bioquímico (DBO); método volumétrico (métodos normalizados APHA, AWWA, WPCF. 4500 - O C). Método basado en la volumetría de óxido-reducción.

- Determinación de Ph; método potenciométrico (métodos normalizados APHA, AWWA, WPCF. 4500 - H+ B). Método basado en potenciometría.

- Determinación de turbiedad. Método nefelométrico (métodos normalizados APHA, AWWA, WPCF. 2130 B). Método basado en la comparación de la intensidad de luz dispersada.

- Determinación de conductividad. Método de conductimétrico (métodos normalizados APHA, AWWA, WPCF. 2510 D). Método basado en conductimetría.

- Determinación de cromo. Método Fotométrico Merck (Manual Merck Colorimetría. Cromo. Difenil Carbazida) Método basado en colorimetría.

- Determinación de Cadmio. Método Espectrofotométrico Merck (Spectroquant Test Cadmio 1.01745.0001). Método basado en espectrofotometría UV-Visible.

- Determinación de plomo. Método Espectrofotométrico Merck (Spectroquant Test Plomo 1.09717.0001). Método basado en espectrofotometría UV-Visible.

#### 4.1. Procedimientos

##### 4.1.1. Implementación de la técnica

Durante el desarrollo experimental del presente trabajo se desarrollan los siguientes procedimientos:

#### 4.1.2. Extracción del agua de desamargado de Tarwi

- Se pesan 500 gramos de Tarwi seco, se lo deja remojar en un litro de agua durante 12 horas y se procede a hervir durante 30 a 45 minutos.
- Se deja enfriar el agua y se la recoge para el respectivo análisis, siendo esta la primera muestra de agua de desamargado.
- A continuación, nuevamente se hierve con otro litro de agua y recogemos nuestra segunda muestra de agua de desamargado para su posterior análisis.
- Las dos muestras obtenidas (Desamargado 1 y Desamargado 2) se someterán a análisis tanto de DBO, DQO, pH, conductividad, turbiedad y cuantificación de alcaloides totales con los métodos antes mencionados.

#### 4.1.3. Proceso de dosificación de Agua de desamargado de Tarwi con metales pesados

- Como se muestra en el Gráfico 2, se toman en 3 vasos de precipitación diferentes 50 ml de solución madre de los metales Cd, Cr o Pb, se regula el pH de las diluciones a un valor de 4, 6 y 8 respectivamente. En el caso del plomo, se trabajará con diluciones a pH de 3, 4.5 y 6. Para nivelar el pH se utilizan soluciones ácidas de HNO<sub>3</sub> y NH<sub>3</sub>.
- Se colocan 2, 4 y 6 ml de solución madre del metal previamente nivelada el pH en 3 tubos de ensayo diferentes, por lo cual al final del procedimiento tendremos 9 tubos bien etiquetados por cada pH a analizar. Aforar los tubos de ensayo a 6 ml con agua destilada.
- Con los 3 primeros tubos de ensayo a distintas concentraciones de metal se prepara el blanco respectivo, añadiendo 2 ml de agua destilada y se deja reaccionar unos 5 minutos.
- De los 6 tubos de ensayo restantes, se toman los tres siguientes a los que se añaden 2 ml de la primera muestra de agua de desamargado de Tarwi y se deja reaccionar. A los últimos 3 tubos de ensayo se añaden 2 ml de la segunda muestra de agua de desamargado de Tarwi y se deja reposar.

- Para acelerar el proceso de reacción, se someten los tubos a Baño María hasta alcanzar una temperatura de 35 a 40 °C, luego se los enfría y se lleva a la centrífuga a una velocidad de 85 rps durante 2 min. A continuación, se toma el sobrenadante de cada tubo y se lleva a dilución para el siguiente análisis.

#### 4.1.4. Proceso de dilución para análisis espectrofotométrico

De los sobrenadantes obtenidos en el procedimiento anterior (Proceso de dosificación de Agua de desamargado de Tarwi con metales pesados), se realizan diluciones para obtener concentraciones de metal que se encuentren dentro de las curvas de calibración para cada uno de los metales.

- En el caso del cromo y el cadmio, se recoge 2 ml de sobrenadante llevándolo al aforo hasta 100 ml con agua destilada. Nuevamente se toman 2 ml de muestra del aforo anterior y se afora en balones de 50 ml. Estas muestras serán el punto de partida para el análisis cuantitativo del metal con el MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO MERCK (SPECTROQUANT TEST CADMIO 1.01745.0001) y MÉTODO FOTOMÉTRICO MERCK (MANUAL MERCK COLORIMETRÍA. CROMO. DIFENIL CARBAZIDA)

- En el caso del plomo, se toma 1 ml de sobrenadante y se afora hasta 100 ml con agua destilada, estas muestras son el punto de partida para el análisis cuantitativo del metal con el MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO MERCK (SPECTROQUANT TEST PLOMO 1.09717.0001).

#### 4.1.5. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de los procedimientos anteriores son revisados y tabulados según el diseño multifactorial A x B x C. Los datos recopilados se expresan en razón de porcentajes de reducción, mediante la relación agua destilada- muestra tratada.

Gráfico 2. Esquema de la implementación del método

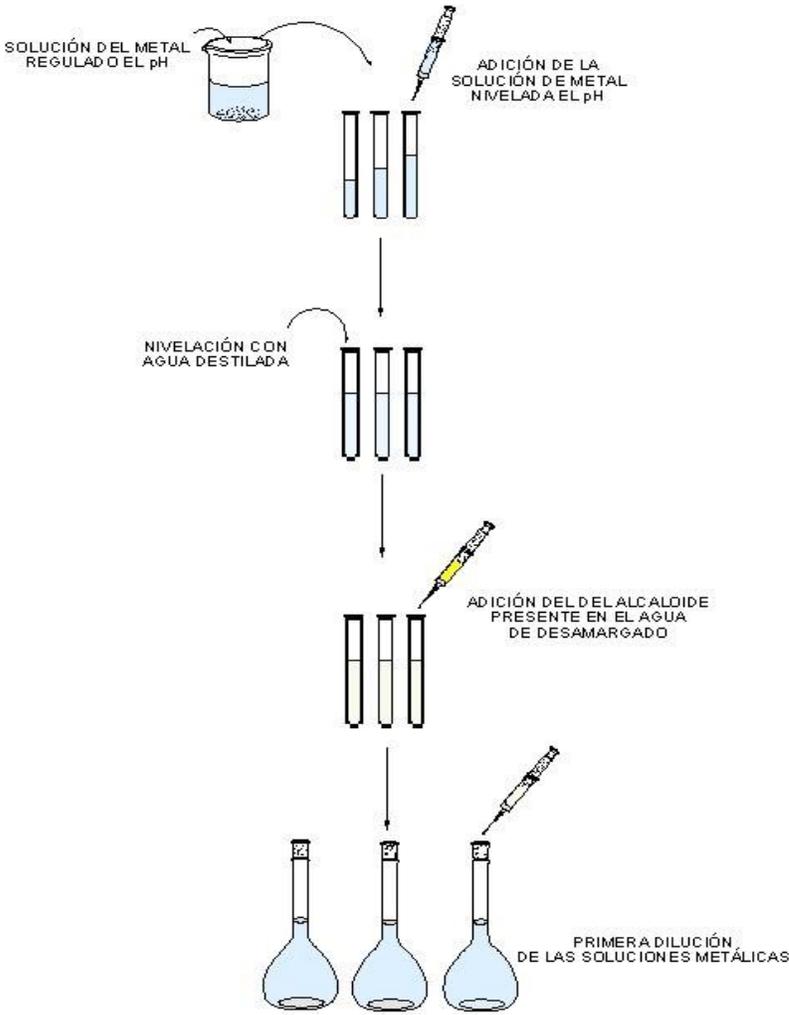
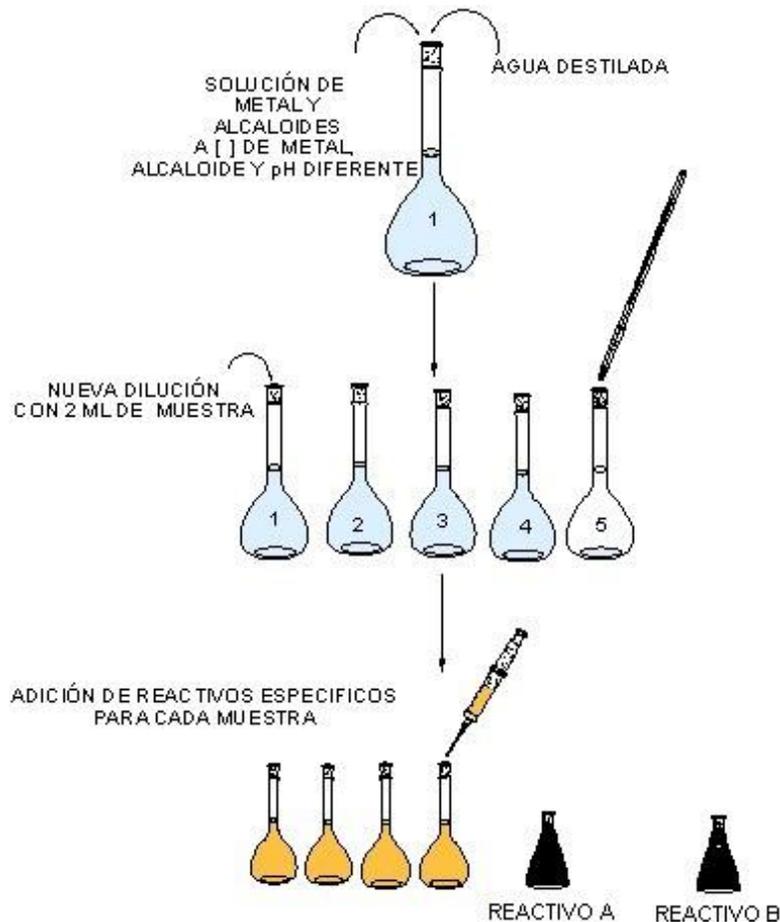


Gráfico 2.- Esquema de la implementación del método (continuación)



## 5. Resultados

### 5.1. Análisis físico químico del agua de desamargado del Tarwi

Mediante el análisis físico-químico de las aguas de desamargado de Tarwi se pudo constatar que poseen alta carga contaminante, tanto la primera como la segunda muestra; estas a su vez presentan valores altos en lo referente a conductividad, turbiedad, DBO y DQO como se observa en la Tabla 2.

Estos valores podrían estar alterados debido a que no se conoce a ciencia cierta qué tipo de agua se utiliza en el proceso de desamargado, en este caso se utilizó agua entubada; por tanto, los valores de la conductividad como DQO estarían afectados.

Tabla 2. Resultados de análisis físico-químico agua de desamargado

PARÁMETRO	RESULTADOS	
	Agua Desamargado 1	Agua Desamargado 2
- Conductividad ( $\mu\text{s}$ )	1750	400
- pH	6.41	7.77
- Turbiedad (UNT)	142	190
- [ ] Alcaloide (mg/ml)	4.59	1.24
- DBO5 (mg/l)	5100	
- DQO (mg/l)	10400	

Como se indica en la Tabla 2, durante los procesos de desamargado de Tarwi, la descarga más tóxica tiende a ser la del primer lavado debido a que los alcaloides están en mayor concentración que en la del segundo lavado; por ello, solamente la primera muestra es sometida al análisis de la DBO y DQO.

Según el TULAS, los valores obtenidos de los análisis físico químicos del agua de desamargado (Troiani, SF) correspondería a una perturbación severa, por lo que es necesario su tratamiento o proceso de recuperación de contaminantes para lograr su disposición final, en este caso se la reutilizó en la complejación con metales pesados.

## 5.2. Construcción de curvas de calibración de cada metal

Para construir una curva de calibración de cada metal se necesitan al menos 5 datos obtenidos de mediciones con concentraciones conocidas de metal y un coeficiente de correlación cercano a 1.

### 5.2.1. Curva de calibración de Cromo

Para la construcción de la curva de calibración de cromo, se procede a la preparación de 5 diferentes estándares con valores entre 0,01 y 0,09 ppm, proporcionándonos los siguientes resultados:

Tabla 3. Resultados curva de calibración cromo

**CURVA DE CALIBRACIÓN DECROMO**

x	y
0,010	0,008
0,030	0,022
0,050	0,042
0,070	0,061
0,090	0,085

**ECUACIÓN DE LA RECTA**

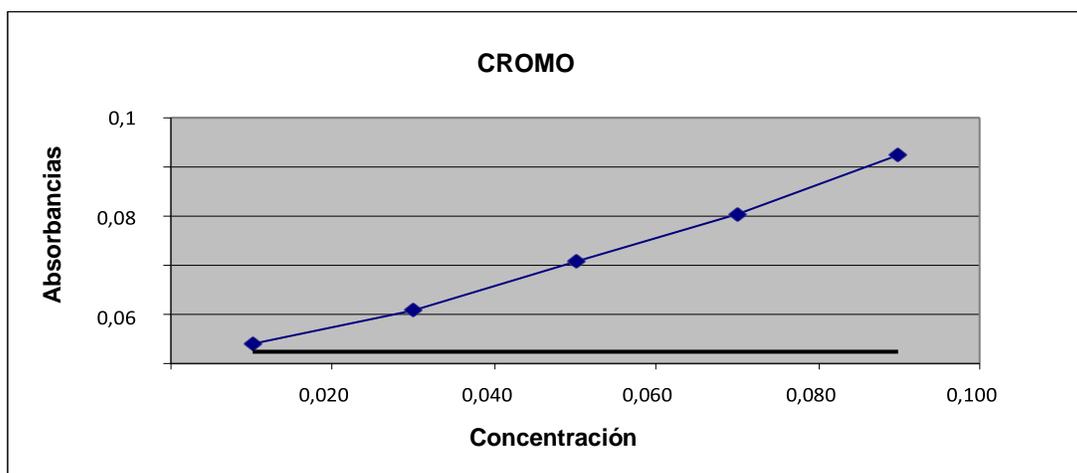
$$y = 0,965x - 0,0046$$

**COEF. DE CORRELACIÓN AL CUADRADO**

$$R^2 = 0,9925$$

En este caso, los valores obtenidos a partir de la medición de los estándares de cromo en el Espectrofotómetro UV-Visible a 540 nm como se detalla anteriormente, se encuentra dentro del rango de confiabilidad, atribuido principalmente al coeficiente de correlación lineal elevado al cuadrado, que en este caso es de 0.9925. Con los valores obtenidos tanto de x como de y, se grafica la línea de tendencia como se observa a continuación:

Gráfico 3.- Línea de tendencia y curva de calibración cromo



### 5.2.2. Curvas de calibración de Plomo

Para la construcción de la curva de calibración de plomo, se procede a la preparación de 5 diferentes estándares con valores entre 0,01 y 0,09 ppm, de los que se obtienen los siguientes resultados:

Los valores obtenidos a partir de la medición de los estándares de plomo en el Espectrofotómetro UV-Visible a 525 nm, se encuentra dentro del rango de confiabilidad, atribuido principalmente al coeficiente de correlación lineal elevado al cuadrado, que en este caso es de 0.9935. Con los valores obtenidos tanto de x como de y, se grafica la línea de tendencia como se observa a continuación (Gráfico 4):

Tabla 4.- Resultados curva de calibración plomo

<b>CURVA DE CALIBRACIÓN DE PLOMO</b>	
<b>x</b>	<b>y</b>
0,010	0,033
0,030	0,052
0,050	0,076
0,070	0,098
0,090	0,128

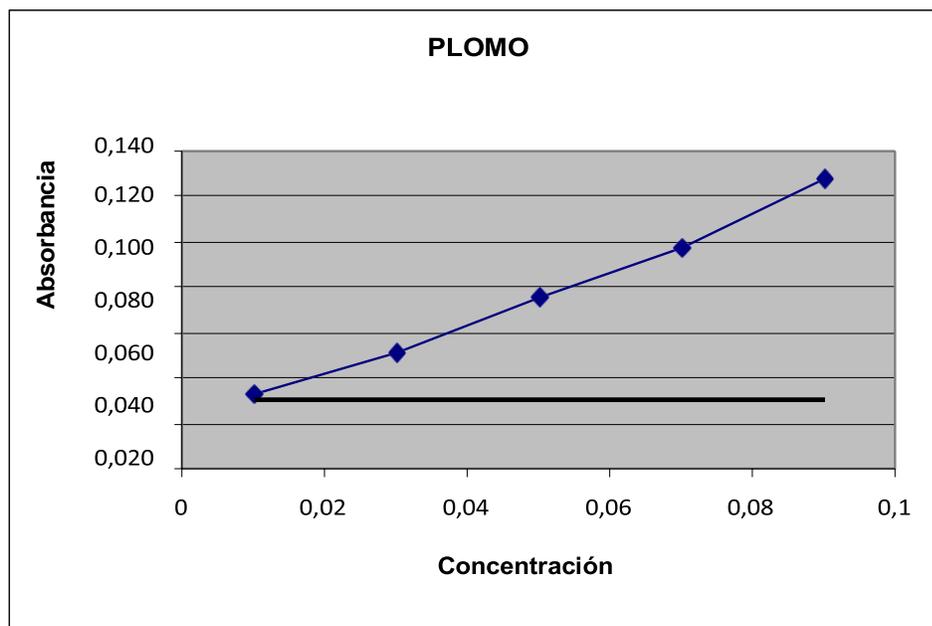
  

<b>ECUACIÓN DE LA RECTA</b>
$y = 1,1825x + 0,0181$

<b>COEF. DE CORRELACIÓN AL CUADRADO</b>
$R^2 = 0,9935$

Gráfico 4.- Línea de tendencia y recta de regresión plomo



### 5.2.3. Curvas de calibración de Cadmio

Para la construcción de la curva de calibración de cadmio, se procede a la preparación de 5 diferentes estándares con valores entre 0,01 y 0,09 ppm, de los que se obtienen los siguientes resultados (Tabla 5).

Los valores obtenidos a partir de la medición de los estándares de cadmio en el Espectrofotómetro UV-Visible a 526 nm como se detalla anteriormente, se encuentra dentro del rango de confiabilidad, atribuido principalmente al coeficiente de correlación lineal elevado al cuadrado, que en este caso es de 0.9909. Con los valores obtenidos tanto de x como de y, se grafica la línea de tendencia como se observa en el Gráfico 5.

Tabla 5.- Resultados curva de calibración cadmio

**CURVA DE CALIBRACIÓN DE CADMIO**

x	y
0,01	0,024
0,03	0,041
0,05	0,071
0,07	0,088
0,09	0,118

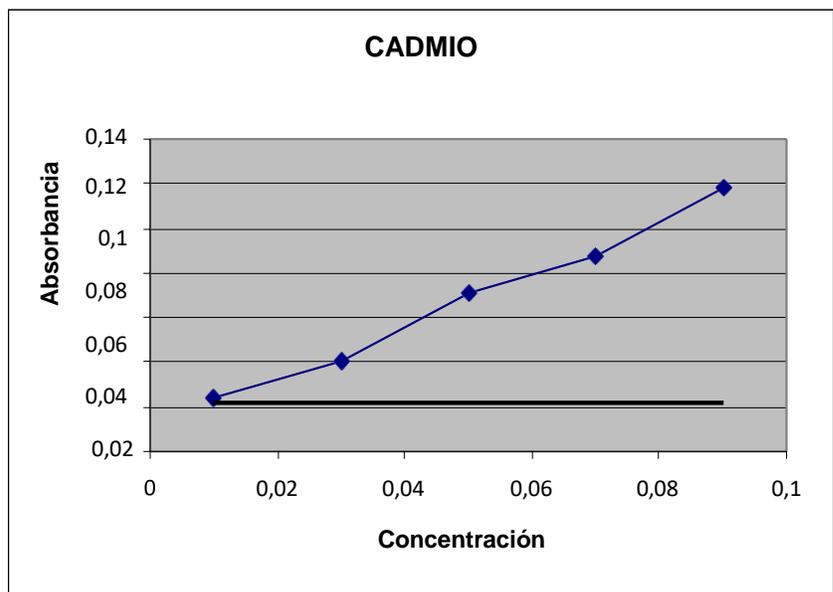
**ECUACIÓN DE LA RECTA**

$y = 1,175x + 0,0096$

**COEF. DE CORRELACIÓN ALCUADRADO**

$R^2 = 0,9909$

Gráfico 5.- Línea de tendencia y recta de regresión cadmio



### 5.3. Mejores tratamientos obtenidos en los diseños experimentales

Los resultados obtenidos muestran claramente las condiciones en las que se logró una mayor remoción de metal; cada metal muestra condiciones distintas y se detallan a continuación (Tabla 6).

Para precipitar metales con alcaloides, en el caso del cromo y del cadmio, la concentración del alcaloide debe ser alta; mientras que en el plomo lo óptimo es una baja concentración.

Con respecto al pH, el comportamiento es distinto; en el caso del plomo y cadmio se logró la formación del complejo a pH medianamente ácido; en el cromo fue en medio ligeramente básico, lo que demuestra que cada metal tiene un comportamiento distinto uno de otro.

Tabla 6. Condiciones de los mejores tratamientos obtenidos

CONDICIONES DEL MEJOR TRATAMIENTO					
	Código Mejor Tratamiento	[ ] Alcaloide mg/ml	[ ] Metal	pH	% Reducción
CROMO	a0b0c2	4.59	Alta	8	76
PLOMO	alb1c1	1.24	Media	4,5	89,5
	alb2c0	1.24	Baja	3	87
	alb2c1	1.24	Baja	4,5	91
CADMIO	a0b1c1	4.59	Media	4	85

### 5.4. Resultados obtenidos al tratar una muestra problema

Para el presente trabajo se utilizó una muestra de agua de formación de petróleo, con la cual se realiza el análisis de Plomo antes y después del tratamiento con alcaloides del Tarwi, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7. Concentración de plomo antes y después del tratamiento

ANTES DE TRATAMIENTO	DESPÚES DE TRATAMIENTO
[ ] PLOMO ppm	[ ] PLOMO ppm
0,0349	0,0290
REDUCCIÓN: 17 %	

El porcentaje de reducción obtenido es del 17 %, mucho menor al porcentaje estimado, debido principalmente a la presencia de sales disueltas en la muestra de agua que puede interferir en la formación de complejos con metales pesados o alterar la naturaleza del alcaloide.

## Conclusiones

-Se demostró que los alcaloides presentes en las aguas de desamalgado de Tarwi forman complejos con metales como Cadmio, Plomo y Cromo, obteniendo valores superiores al 70% de reducción de los metales por reacciones de precipitación durante las pruebas de ensayo; y un 17% de Plomo en una muestra de agua de formación de petróleo.

- Se logró contabilizar la presencia de alcaloides totales en las aguas de desamalgado de Tarwi, siendo necesario realizar una caracterización físico- química de las dos muestras, proyectando los siguientes resultados:

1. Agua del Primer Lavado: [ ] Alcaloides Totales: 4,59 mg/ml; pH: 6,41; Conductividad: 1725  $\mu$ S; Turbiedad: 142 UNT; DQO: 10400 mg/l; y DBO: 5100 mg/l.

2. Agua del Segundo Lavado: [ ] Alcaloides Totales: 1.25 mg/ml; pH: 7,77; Conductividad: 400  $\mu$ S y Turbiedad: 190 UNT

- Los metales reaccionan con los alcaloides del Tarwi formando precipitados de color amarillo en el Cromo; y blanco en el Cadmio y Plomo, lo que afirma la hipótesis planteada.

- Durante el diseño experimental se comprobó que las mejores condiciones para formar complejos con el Plomo fueron a una concentración de 1,24 mg/ml de alcaloide y un pH entre 3 y 4,5, lográndose una remoción del Plomo cercana al 91 %; en el caso del Cadmio, las condiciones fueron a una concentración de 4,59 mg/ml de alcaloide y un pH de 4, lográndose remover el 85 % del Cadmio; en el Cromo, el mejor tratamiento se registró a una concentración de 4,59 mg/ml de alcaloide y a pH de 8, obteniéndose una remoción del 76 % de Cromo.

- El Plomo presente en una muestra de agua de formación de petróleo se reduce en un 17% aplicando el mejor tratamiento obtenido del diseño experimental para este metal, lo que sugiere que existe interferencia por la matriz de la muestra y la interacción de los alcaloides con otros elementos.

## Referencias

Alcaloides. Universidad de Chile. Biblioteca digital. [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias quimicas y farmaceuticas/apbotfarmeva\\_nswc01/31.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apbotfarmeva_nswc01/31.html). 2008-06-04.

APHA, AWWA, WPCF (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17ava ed. España: Días de Santos.

Echarri Prim, L. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. España. [www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm.Naturales](http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm.Naturales) 2008-03-14.

Jarrín, P. (2003). Tratamiento de Aguas de Desamargado de Chocho Proveniente de la Planta Piloto de la Estación Santa Catalina. INIAP. Tesis de doctorado en Bioquímica y Farmacia. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Bioquímica y Farmacia.

Manacorda, Ana María.; Cuadros, Daniela (2005). Técnicas de Remediación Biológicas. Microbiología Ambiental. En: [https://www.academia.edu/1017282/T%C3%A9cnicas\\_de\\_Remediaci%C3%B3n\\_Biol%C3%B3gicas](https://www.academia.edu/1017282/T%C3%A9cnicas_de_Remediaci%C3%B3n_Biol%C3%B3gicas)

Nordberg, G. Metales: propiedades químicas y toxicidad. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Pp.63-10, 63-15, 63-39. [www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/63.pdf](http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/63.pdf).2008-02-12.

Palacios J.; Ortega R. (2004). Efecto del Tiempo de Remojo, Cocción y Lavado sobre el Contenido de Alcaloides y Proteína en Chocho (*Lupinus mutabilis* S). Tesis Ingeniería en Alimentos. Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Escuela de Ingeniería en Alimentos.

Portal Farma. Especies Vegetales con Posible Actividad Hipoglucemiante. [http://www.portalfarma.com/pfarma/taxonomia/general/gp000011.nsf/voDocumentos/DF6B1758D92E61D2C1257003003FF378/\\$File/282\\_plantas.htm](http://www.portalfarma.com/pfarma/taxonomia/general/gp000011.nsf/voDocumentos/DF6B1758D92E61D2C1257003003FF378/$File/282_plantas.htm).2008-06-04.

Thiel, I. Metales Pesados. <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>. 2008-06-04.

Troiani, Rosa M. ( S F ) . QUIMICA III: metabolitos secundarios, alcaloides. Argentina; Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía.

Whitten, K. (1998). Química General. 5<sup>ta</sup> ed. España: Mc Graw-Hill.