

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA PROGRAMAS INGENIERÍA PETROQUÍMICA  
INGENIERÍA AMBIENTAL E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**INGENIERÍA QUÍMICA Y SUS PROGRAMAS ACADÉMICOS  
ING. PETROQUÍMICA, ING. AMBIENTAL E ING. DE  
ALIMENTOS**

**Investigadores: Ing. Paula Cecilia Soto Ríos PhD.  
Alenka Daymira Arano Aquize  
Carolina Amanda Calamani Calamani  
La Paz, 2022**

## **1. Antecedentes**

La propuesta de trabajo se construye considerando solicitud de apoyo en investigación de la empresa japonesa YUFUKIKAKU mediante acuerdo con la carrera de Ingeniería Química y Programas Académicos. Se propuso analizar el potencial de remoción de fosfato con ECOLIMO para aplicarlo posteriormente al Jardín Japonés. Este trabajo de investigación estuvo enmarcado a que la laguna del jardín japonés sirva como modelo para otros parques en el tema de remoción con un producto japonés.

## **2. Objetivo de la investigación**

Evaluar la capacidad adsorbente del ECOLIMO para la disminución de concentraciones de metales pesados y materia orgánica.

## **3. Justificación**

El tratamiento de aguas residuales es un tema importante y es necesaria la investigación de la remoción de contaminantes con sorbentes. La limonita, por ejemplo, se produce en áreas cerca a volcanes y es rica en iones ferrosos del agua subterránea que se mueve a la superficie del suelo y deposita limonita. La limonita es, por lo tanto, un abundante material en Japón. Este material natural se utiliza principalmente para la desulfuración de gases residuales, producido a partir de torres de tratamiento biológico de aguas residuales (Tanaka etl. 2011). Sin embargo, es importante determinar su eficiencia para aplicarlo en el ecosistema.

## **4. Instancias de coordinación**

Se tuvo con EMA VERDE para acceso y toma de muestras de la Unidad de Tratamiento de donde proviene el agua para la laguna en coordinación con el IIDEPROQ y la empresa japonesa YUFUKIKAKU con su representante legal en Bolivia. Asimismo, se presentó los resultados a la comunidad de Viacha para su potencial uso.

## **5. Desarrollo del Plan de trabajo según las funciones**

A continuación, se describen las actividades realizadas conforme a los términos de referencia y ejes de acción propuestos.

### 5.1. Revisión bibliográfica de la limonita con la remoción de contaminantes y caracterización

**Tabla 1**

*Revisión bibliográfica sobre uso de limonita como biosorbente*

<b>Título</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Referencia</b>
Limonite as a source of solid iron in the crystallization of scorodite aiming at arsenic removal from smelting wastewater; Removal of arsenic from water solutions by naturally occurring limonite	Arsénico	(Li, y otros, 2021; Stamboliadis , Pantelaki, & Manutsoglu, 2004),
Removal of hexavalent chromium by limonite in aqueous solutions	Cromo hexavalente	(Baig, Wang, Lv, & Xu, 2013)
Kinetic and adsorption performance of Fluoride in a Fixed-bed column using adsorbent: Limonite	Flúor	(Sahin, Mathew, Bagawan, & Singh, 2012).

*Nota:* La tabla 1 muestra los diversos estudios que utilizaron la limonita como biosorbente para la remoción de contaminantes

Para la caracterización se tomó en cuenta el adsorbente en forma de pellets y en forma granular en la figura 1 se puede observar los ambos productos.

**Figura 1**

*Ecolimo granulado (a) y pellets (b)*



(a)

(b)

*Nota.* Las fotos muestran los distintos tamaños de presentación del Ecolimo en estudio. No se considero el polvo por las características físicas que impedirían su utilización en la unidad de tratamiento de las Cholas.

Se procedió al pesado de masas específicas de Ecolimo granular  $m_1 = 1.0044$  g y Ecolimo Pellets  $m_2 = 1.6427$  g. Las respectivas masas de Ecolimo fueron introducidas en vasos de precipitado de 50 ml de capacidad en

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

conjunto con 30 ml de agua destilada, para verificar si afecta la turbidez del agua. Una vez introducido se agitó lentamente con una varilla de vidrio para establecer la resistencia del material en fase acuosa.

Se observo la turbidez o color del agua a los tiempos:

**Tabla 2**

*Intervalos de tiempos para el estudio*

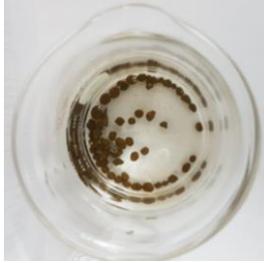
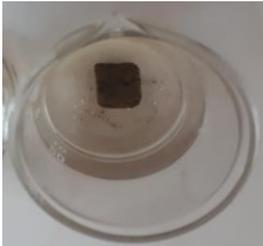
Nº	Tiempo (minutos)
1	5
2	15
3	30
4	45
5	60
6	1440
7	2880
8	4320

**Tabla 3**

*Resumen de Resultados Propiedades Fisicas de Ecolimo granular y pellets*

Tiempo (min)	Fotografía Granular	Fotografía Pellets	Observación
5			No hay cambios en la transparencia del agua destilada.

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

15			<p>Desprendimiento de pequeñas partículas en Ecolimo pellets. Sin cambios en transparencia del agua.</p>
30			<p>No se registran cambios notables con referencia al anterior punto.</p>
45			<p>No se registran cambios notables con referencia al anterior punto.</p>
60			<p>No se registran cambios notables con referencia al anterior punto.</p>
1440			<p>Se observa desprendimiento de partículas en ambas muestras, las cuales permanecen en el fondo del vaso de precipitado, pero no causa una turbidez notable.</p>

2880			No se registran cambios notables con referencia al anterior punto.
------	---	--	--

## 5.2. Ensayos de sorción Batch y columna

### 5.2.1 Ensayos de sorción Batch

El presente informe muestra los resultados de las pruebas Batch del adsorbente Ecolimo, se realizó la evaluación de la adsorción de iones fosfato preparando agua sintética, para lo cual se utilizó  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , con una concentración de 1 ppm de Fosfato, con un volumen de 50 ml de agua sintética a pH 7 sometidos a agitación constante para observar el comportamiento del adsorbente a través del tiempo y determinar el tiempo de equilibrio de adsorción de Fosfato.

Las condiciones del experimento se detallan en la siguiente tabla:

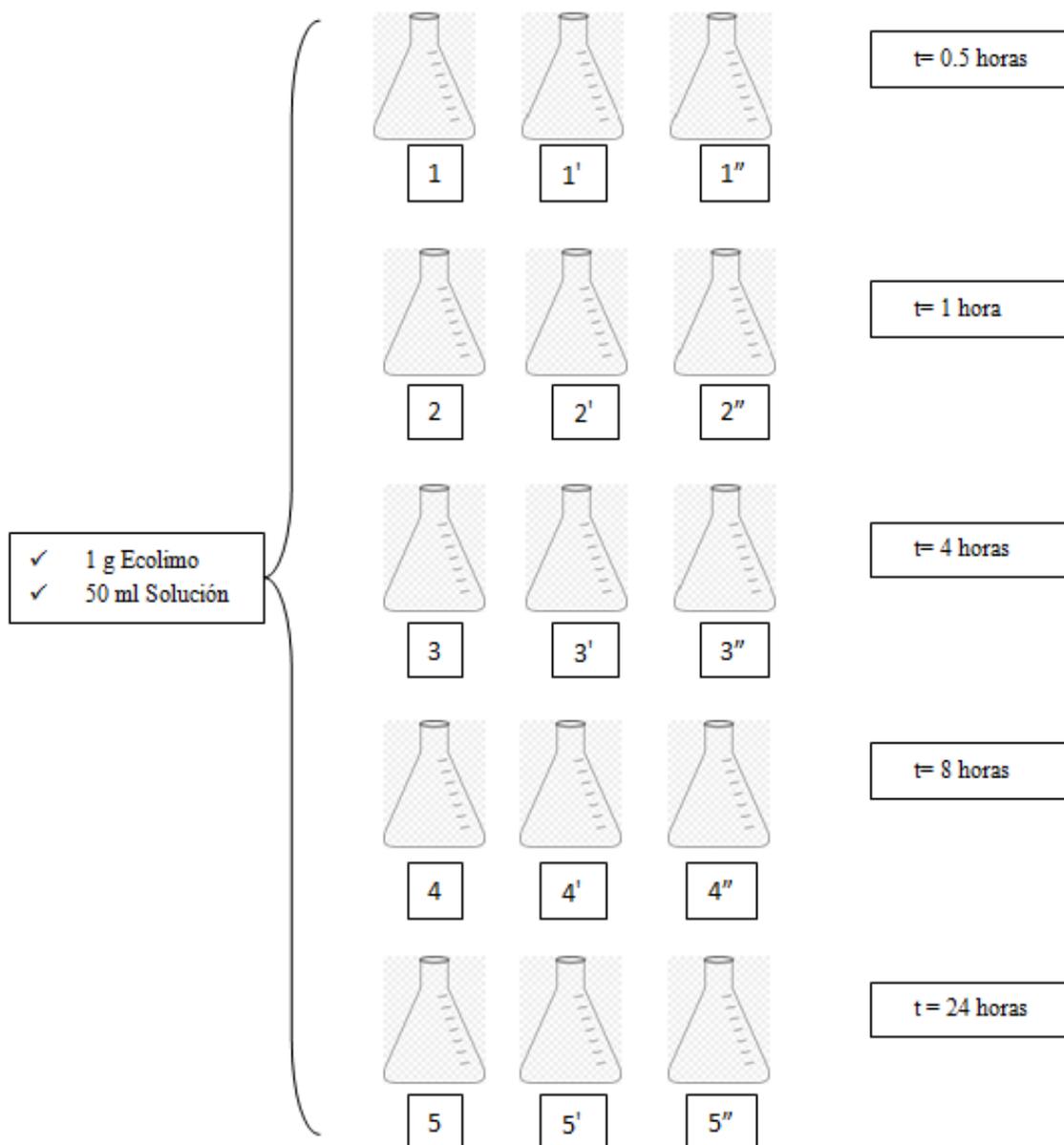
**Tabla 4**

*Condiciones del experimento Batch*

Parámetro	Valor	Justificación
Concentración Solución Fosfato	1 ppm	Límite máximo Permisible (RMCH Ley 1333)
Masa ecolimo ( $m_1$ )	1 g	
Volumen Solución Sintética ( $V_1$ )	50 ml	Valor definido
Agitación	180 rpm	
Temperatura ( $T_1$ )	17 °C	Condiciones efluente PTAR “Las Cholas”
pH	7	

*Nota.* Esta tabla muestra las condiciones a las que se sometió Ecolimo en prueba Batch.

La masa definida de ecolimo  $m_1$  se introduce al matraz Erlen Meyer correspondiente junto a  $V_1=50$  ml de solución sintética se someten a agitación constante variando el tiempo de contacto entre adsorbato y adsorbente según el esquema de la Figura 2.

**Figura 2***Esquema general del experimento*

*Nota.* La Figura 2 muestra el esquema general del experimento, cada muestra tiene sus réplicas y varían de acuerdo intervalos de tiempo de contacto definido.

Una vez finalizado el tiempo de agitación determinado, las muestras son filtradas con papel filtro, para separar el adsorbente de la solución de Fosfato, una vez filtrado se toma una alícuota de 10 ml de solución para su respectivo análisis de determinación de Fosfato por el Método de Ácido Ascórbico o Método colorimétrico (Standart Method 4500-P).

### 5.2.1.1. Resultados Estudio Batch

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 5**

*Absorbancia obtenida por método espectrofotométrico*

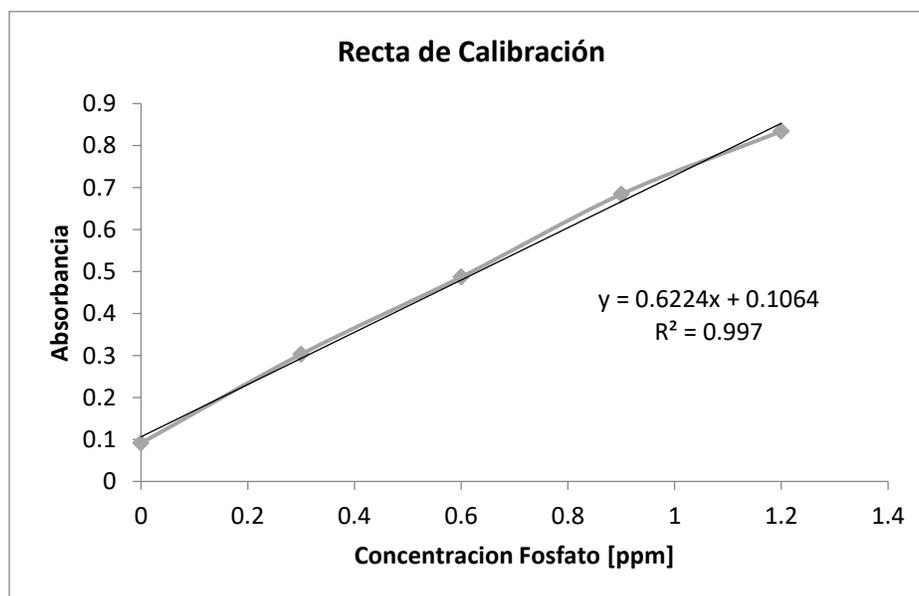
Tiempo (hrs)	Abs1	Abs2	Abs3
0	0	0	0
0.5	0.2233	0.2292	0.2287
1	0.1994	0.2001	0.2037
4	0.1802	0.1827	0.1819
8	0.1819	0.1827	0.1839
24	0.1814	0.1852	0.1821

*Nota.* La Tabla 5 muestra los valores de absorbancia obtenidas por el espectrofotómetro UV-VIS de las distintas muestras y sus respectivas replicas.

Una vez determinadas se procede al cálculo de las concentraciones correspondientes de cada muestra mediante el modelo de la recta de calibración obtenida como se puede observar en la Figura 3.

**Figura 3**

*Curva de Calibración y modelo matemático de la Recta obtenida.*



CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

Ecuación de la recta de calibración:

$$\text{Absorbancia} = 0.6224 (\text{Concentración ppm}) + 0.1064$$

La tabla 6 muestra las que el Ecolimo entra en el equilibrio en 4 horas en las pruebas batch, considerando una remoción del 80% después de los 30 minutos.

**Tabla 6**

*Concentraciones y porcentaje de remoción obtenidas*

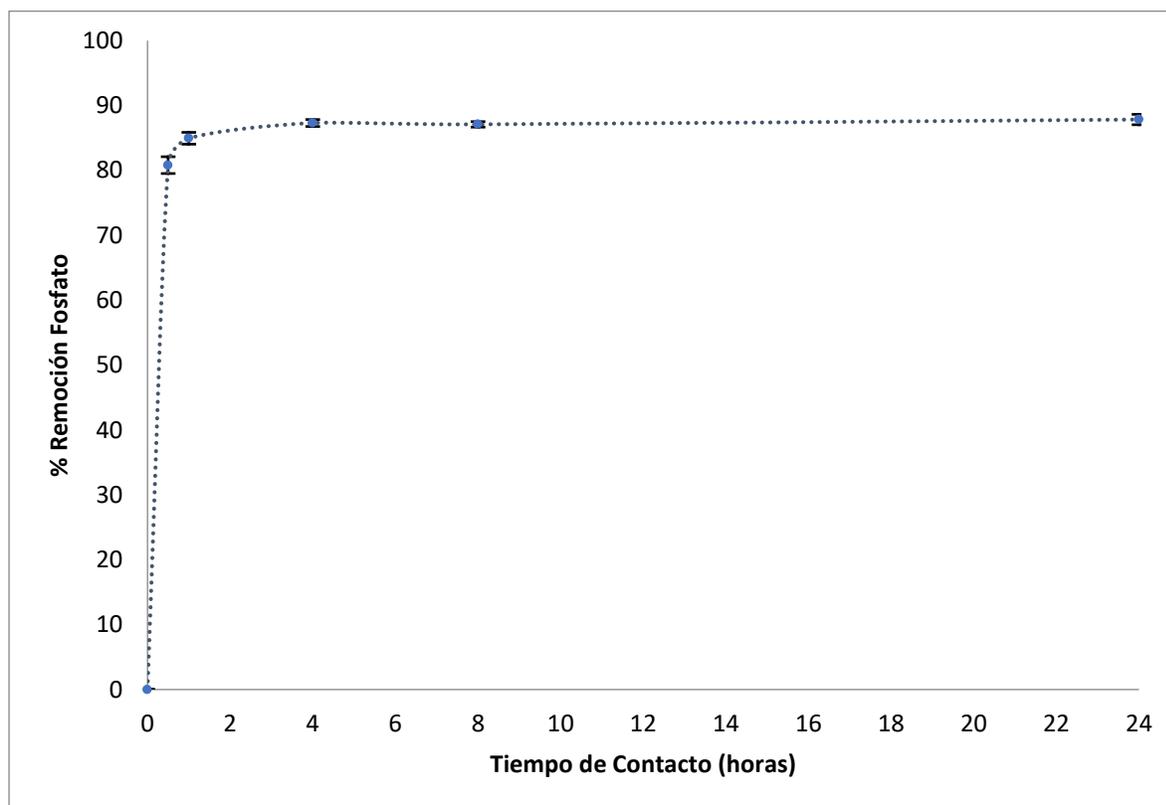
<b>Tiempo (hrs)</b>	<b>CR1</b>	<b>CR2</b>	<b>CR3</b>	<b>% Remoción</b>
0.5	0.1878	0.1973	0.1965	80.8100 ± 1.2926
1	0.1494	0.1505	0.1563	84.9449 ± 0.9116
4	0.1186	0.1226	0.1213	87.2980 ± 0.5357
8	0.1213	0.1226	0.1245	87.0897 ± 0.4224
24	0.1205	0.1266	0.1216	87.8340 ± 0.7990

*Nota.* La Tabla 6 muestra las concentraciones calculadas mediante la recta de calibración y los porcentajes de remoción promedio obtenidos en cada intervalo de tiempo.

En la figura 4 se puede observar el porcentaje de remoción de fosfato en función del tiempo con un rápido avance en los primeros 30 minutos, seguido de una fase en equilibrio de adsorción a los 60 minutos continuando incluso a las 24 horas.

**Figura 4**

*Porcentaje de Remoción de Fosfato vs Tiempo de contacto (horas)*



La remoción de Fosfato de una solución de 1 mg/L de Fosfato en 1 g de Ecolimo se muestra en la Figura 2. Se puede observar un rápido avance en los primeros 30 minutos, seguido de una fase lenta de adsorción, alcanzando el punto de equilibrio hasta las 4 horas.

### 5.2.2. Estudio de sorción en Columna

#### a) Estudio con agua sintética de Fosfato

El presente informe muestra los resultados de las pruebas en una Columna de Adsorción del adsorbente Ecolimo con un flujo continuo de solución sintética de Fosfato, para observar el comportamiento del empaque del adsorbente a través del tiempo y determinar el tiempo de mayor remoción de Fosfato.

Se realiza un experimento en medio continuo para evaluar la adsorción de iones Fosfato en un empaque de Ecolimo, se preparan soluciones de Fosfato (agua sintética), para lo cual se utiliza  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , con una concentración de 1 ppm de Fosfato, la cual se utiliza como alimentación de la columna.

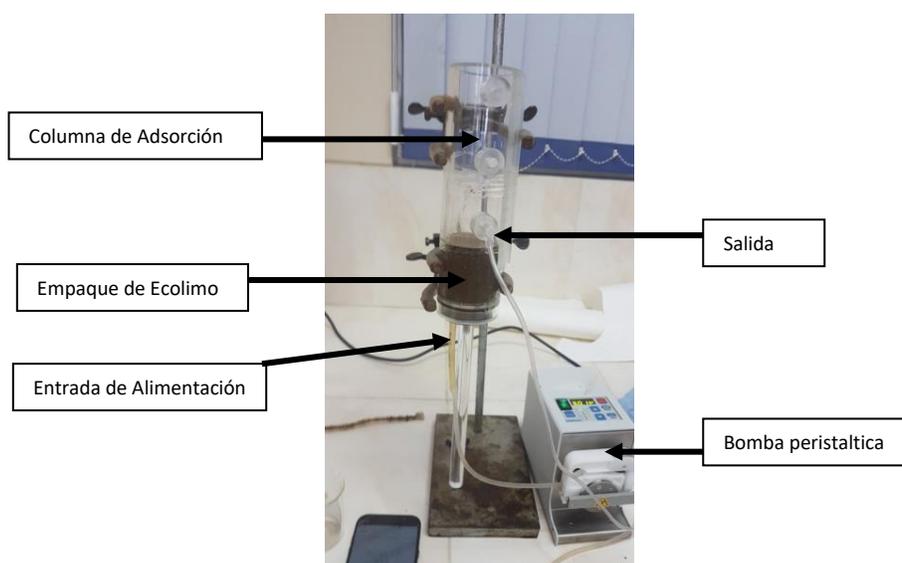
Las condiciones del experimento se detallan a continuación:

**Tabla 7***Condiciones del experimento en Columna de Adsorción*

Parámetro	Valor	Justificación
Concentración Solución Fosfato	1 ppm	Límite máximo Permisible (RMCH Ley 1333)
Masa Ecolimo ( $m_2$ )	100 g	
Altura de empaque ( $h_1$ )	5 cm	
Caudal Solución Sintética ( $q_1$ )	1 ml/min	Valor definido
Temperatura ambiente ( $T_2$ )	16-20 °C	
pH	7	

Nota. Esta tabla muestra las condiciones a las que se sometió Ecolimo en la Columna de Adsorción

El sistema armado consta de la columna de adsorción, con un empaque de Ecolimo, la cual esta sujeta con pinzas de nuez junto a un soporte universal. La alimentación ingresa por la parte inferior de la columna, la solución sintética que alimenta la columna es impulsada por una bomba peristáltica a un caudal de  $q_1= 1$  ml/min. el esquema se muestra en la Figura 5 :

**Figura 5***Esquema del experimento en medio continuo*

La figura 5 muestra es sistema armado, donde se observa el empaque de Ecolimo y los puntos donde ingresa la alimentación y la salida. Se toman en cuenta dos puntos de toma de muestra (Ver Anexo B) Punto R y Punto AB, las muestras son tomadas con ayuda de jeringas de 10 ml y son trasvasadas a vasos de

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

precipitados (Volumen de muestra 10 ml) para su respectivo análisis de determinación de Fosfato por el Método Colorimétrico de Acido Ascórbico (Standart Method 4500-P).

**5.2.2.1. Resultados de Sorción en Columna con agua sintética.**

Las muestras fueron tomadas por triplicado, cada 5 días, para observar el comportamiento de las concentraciones de Fosfato a través del tiempo.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 8**

*Concentraciones obtenidas PUNTO R (Salida)*

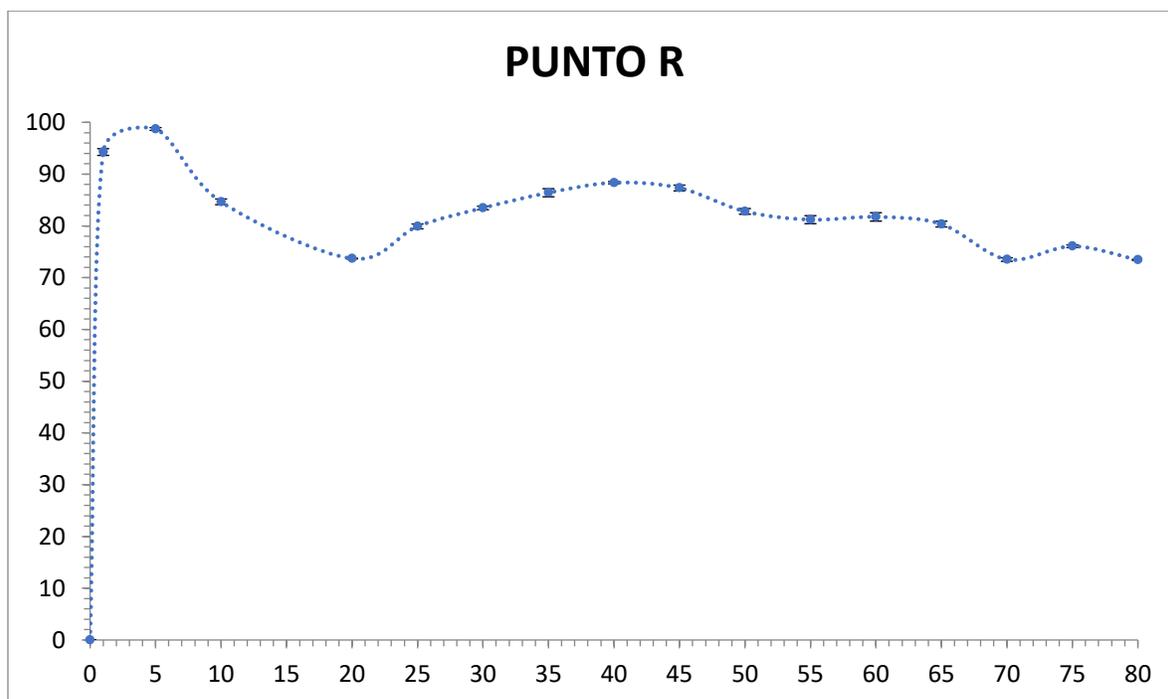
Tiempo (Días)	Co	CR1	CR2	CR3	Valor Real
1	0.7518	0.0435	0.0410	0.0448	96.4879 ± 1.2273
5	0.7333	0.0088	0.0090	0.0103	98.7219 ± 0.2685
10	0.8498	0.1284	0.1309	0.1321	84.6474 ± 0.5538
20	0.9169	0.2413	0.2410	0.2415	73.6873 ± 0.0665
25	1.2195	0.2425	0.2465	0.2465	79.8988 ± 0.4710
30	1.0287	0.1716	0.1698	0.1689	83.4655 ± 0.3345
35	1.0924	0.1493	0.1515	0.1448	86.4049 ± 0.7814
40	1.0845	0.1256	0.1261	0.1274	88.3454 ± 0.2093
45	0.9409	0.1170	0.1211	0.1197	87.3236 ± 0.5601
50	1.0476	0.1775	0.1817	0.1814	82.7977 ± 0.5513
55	1.1647	0.2148	0.2204	0.2216	81.2018 ± 0.7712
60	1.3365	0.2392	0.2457	0.2476	81.7315 ± 0.8132
65	1.3629	0.2714	0.2657	0.2664	80.3475 ± 0.5611
70	1.3085	0.3446	0.3480	0.3475	73.5027 ± 0.3465
75	1.3265	0.3159	0.3180	0.3184	76.0698 ± 0.2559
80	1.3492	0.3588	0.3583	0.3578	73.4444 ± 0.0888

Nota. La Tabla 8 muestra las concentraciones calculadas y los porcentajes de remoción promedio obtenidos en cada intervalo de tiempo

La Figura 6 muestra que la remoción de Fosfato inicia rápidamente con una remoción  $96.4879 \pm 1.2273$  % al primer día, el día 5 presenta el valor máximo de remoción ( $98.7129 \pm 0.2685$ ), desde el día 10 hasta el 25 se observa una reducción en el porcentaje de remoción, a partir del día 40 vuelven a incrementarse los valores llegando a  $88.3453 \pm 0.2093$  como valor mas elevado, a partir del día 45 comienza el descenso de los valores de remoción de Fosfato, llegando hasta el día 80.

**Figura 6**

*Grafica % Remocion de Fosfato vs Tiempo (Dias)*



*En la tabla 9 se muestran los resultados de las muestras extraidas de la columna:*

**Tabla 9**

*Concentraciones obtenidas PUNTO AB (Columna)*

Tiempo (Días)	C o	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Valor Real
1	0.7518	0.1190	0.1225	0.1255	0.1128	0.1138	0.1135	97.5529 ± 1.1967
10	1.1412	0.0730	0.0750	0.0784	0.0750	0.0795	0.0828	93.2274 ± 0.3316
15	1.2831	0.0880	0.0923	0.0975	0.1133	0.1099	0.1091	92.0755 ± 0.8598
20	1.1549	0.1630	0.1771	0.1848	0.1714	0.1888	0.1790	84.6425 ± 0.8448
25	1.0991	0.2226	0.2264	0.2237	0.2276	0.2366	0.2391	79.1340 ± 0.6577
30	1.0287	0.1880	0.1926	0.1866	0.1809	0.1886	0.1898	81.7493 ± 0.3972
35	1.0924	0.1154	0.1168	0.1158	0.1071	0.1096	0.1083	89.7312 ± 0.4127
40	1.0845	0.0582	0.0609	0.0601	0.0637	0.0681	0.0677	94.1808 ± 0.3992
45	0.9409	0.0586	0.0670	0.0697	0.0687	0.0555	0.0639	93.2078 ± 0.6379
50	1.0478	0.1296	0.1376	0.1419	0.1263	0.1382	0.1412	87.0379 ± 0.6424
55	1.1647	0.2164	0.2277	0.2309	0.1972	0.2300	0.2326	80.8981 ± 1.2311

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

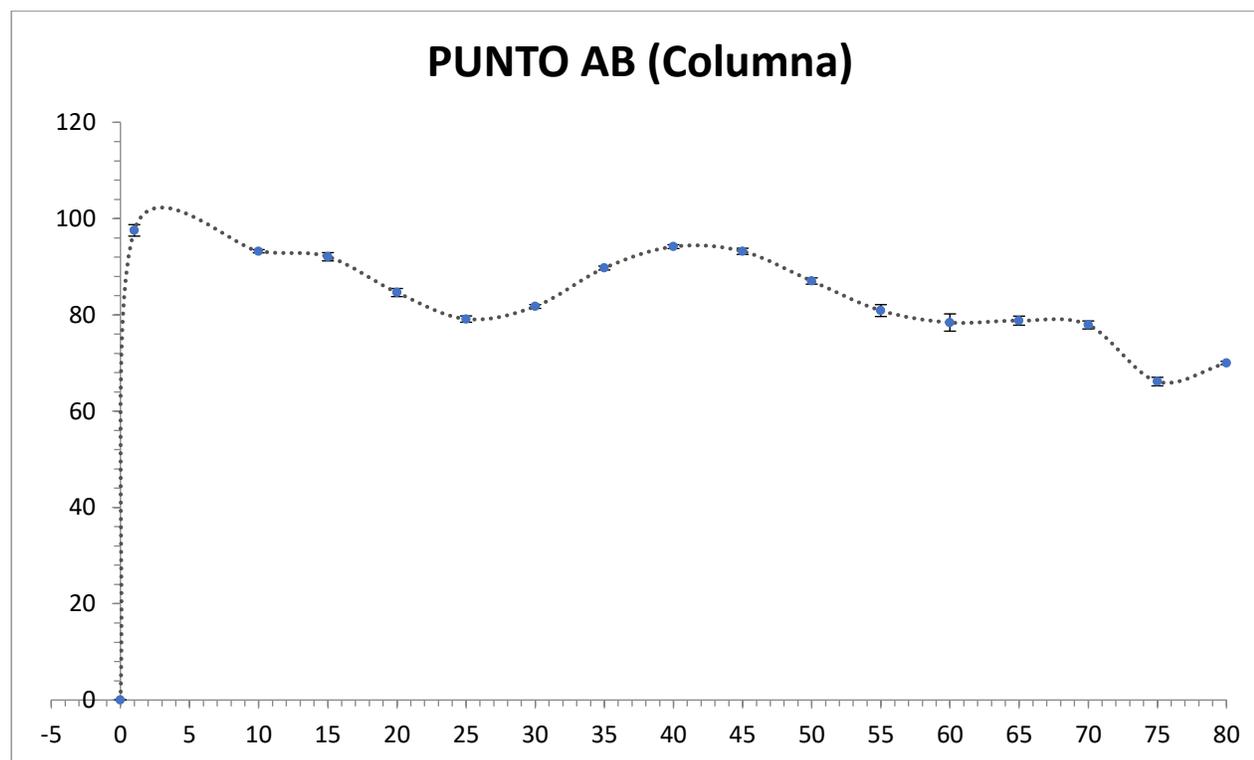
60	1.3365	0.2805	0.3028	0.3037	0.2451	0.2985	0.3001	78.4175 ± 1.7972
65	1.3629	0.2798	0.2772	0.2767	0.2987	0.3025	0.2987	78.7993 ± 0.9420
70	1.3085	0.2685	0.2877	0.2951	0.2934	0.2946	0.2944	77.916 ± 0.8321
75	1.3265	0.4555	0.4605	0.4610	0.4368	0.4421	0.4385	66.1464 ± 0.8847
80	1.3492	0.3997	0.4028	0.4011	0.4033	0.4095	0.4102	70.0225 ± 0.3420

Nota. La Tabla 9 muestra las concentraciones calculadas mediante la recta de calibración y los porcentajes de remoción promedio obtenidos en cada intervalo de tiempo

La variación de la remoción de Fosfato en el Punto AB, se muestra en la Figura 7, donde se observa un rápido avance en la remoción de Fosfato en el primer día con un 97.5529 % ±1.1967 de remoción, al llegar a las 24 horas el avance es mas lento pero la remoción no sufre variaciones notables, hasta el día 10 con 93.2274 % ± 0.3316 de remoción, a partir del día 10 hay un descenso del porcentaje de remoción hasta el día 25, llegando a 79.1340 % ± 0.6577, el día 30 se observa un incremento en la remoción hasta el día 40, llegando a un segundo pico con 94.1808 % ± 0.3992, a partir del día 45 los valores de remoción descienden hasta llegar a 70.0225 % ± 0.3420 el día 80.

**Figura 7**

*% Remoción de Fosfato vs Tiempo (Dias) Punto AB*



**b) Estudio con Agua Residual de la Unidad de Tratamiento de Las Cholas**

El presente informe muestra los resultados de las pruebas en una Columna de Adsorción del adsorbente Ecolimo con un flujo continuo de agua residual de Fosfato, para observar el comportamiento del empaque del adsorbente a través del tiempo y determinar el tiempo de mayor remoción de Fosfato.

Se realiza un experimento en medio continuo para evaluar la adsorción de iones Fosfato en un empaque de Ecolimo, se recolecta agua residual de la Unidad de Tratamiento de Agua “Las Cholas”, con concentraciones iniciales variables, la cual se utiliza como alimentación de la columna.

Las condiciones del experimento se detallan a continuación:

**Tabla 10**

*Condiciones del experimento en Columna de Adsorción*

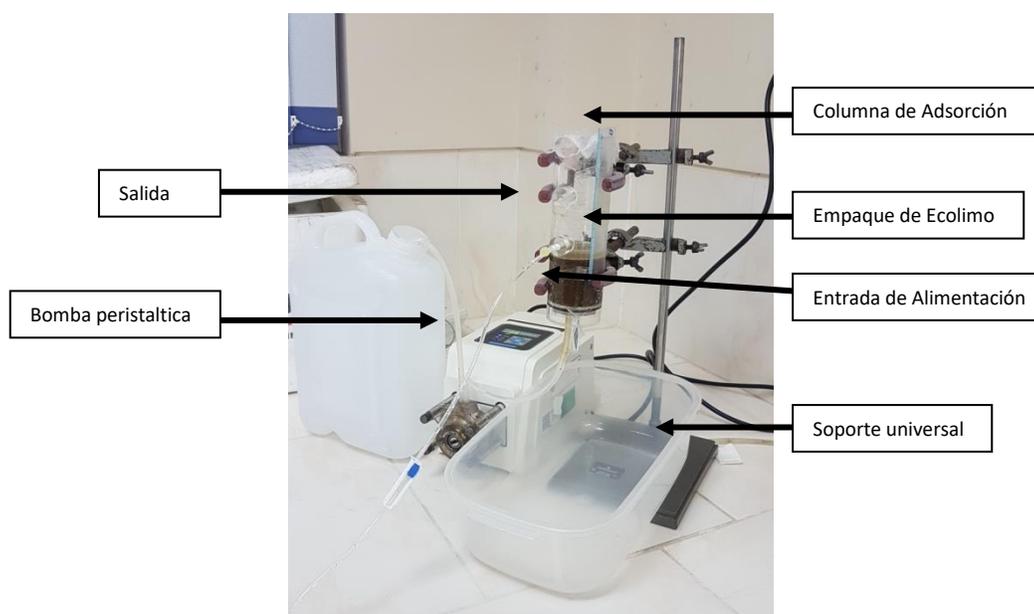
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Concentración Solución Fosfato	Variable
Masa Ecolimo	100 g
Altura de empaque	5 cm
Caudal Alimentación	1 ml/min
Temperatura ambiente	18-23 °C
pH	7-8

Nota. Esta tabla muestra las condiciones a las que se sometió Ecolimo en la Columna de Adsorción

El sistema armado consta de la columna de adsorción, con un empaque de Ecolimo, la cual esta sujeta con pinzas de nuez junto a un soporte universal. La alimentación ingresa por la parte inferior de la columna, la alimentación que ingresa a la columna es impulsada por una bomba peristáltica a un caudal de 1 ml/min. El esquema se muestra a continuación:

**Figura 8**

*Esquema del experimento en medio continuo*



La Figura 8 muestra el sistema armado, donde se observa el empaque de Ecolimo y los puntos donde ingresa la alimentación y la salida. Se toman en cuenta dos puntos de toma de muestra (Ver Anexo B) Punto R y Punto AB, las muestras son tomadas con ayuda de jeringas de 10 ml y son trasvasadas a vasos de precipitados (Volumen de muestra 10 ml) para su respectivo análisis de determinación de Fosfato por el Método Colorimétrico de Acido Ascórbico (Standart Method 4500-P).

#### 5.2.2.2. Resultados de sorción en Columna con agua residual

Las muestras fueron tomadas por triplicado, inicialmente cada 24 horas, para observar el comportamiento de las concentraciones de Fosfato a través del tiempo.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 11**

Absorbancias obtenidas por método espectrofotométrico (PUNTO R)

Tiempo (Días)	Abs inicial	Abs 1	Abs 2	Abs 3
1	0.1961	0.1012	0.1007	0.1008

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

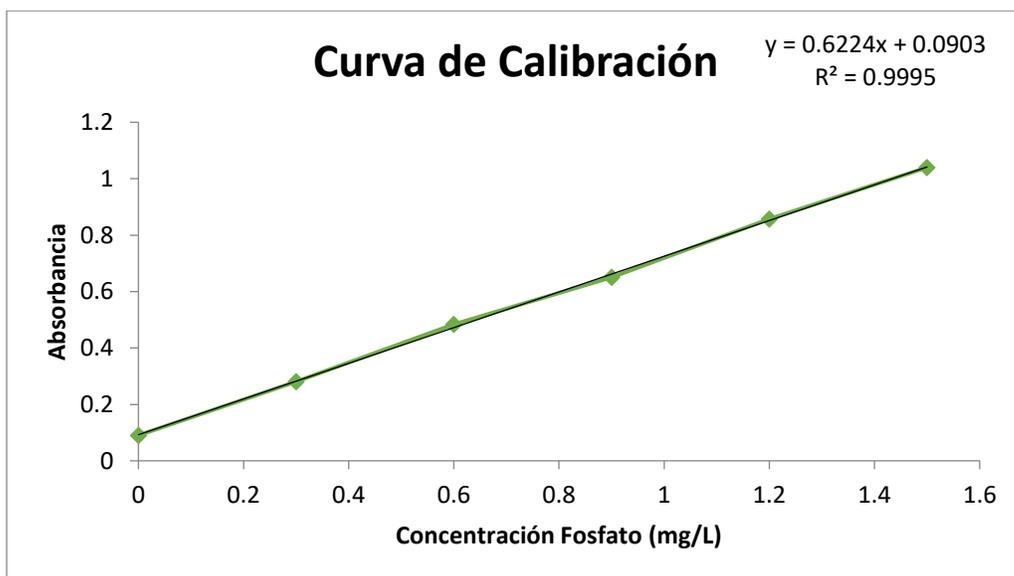
2	0.2041	0.0971	0.0952	0.0953
3	0.2112	0.0969	0.0978	0.097
4	0.2116	0.0956	0.0956	0.096
8	0.3177	0.0982	0.0984	0.099
9	0.701	0.0927	0.0922	0.093
10	0.693	0.0914	0.0919	0.091
11	0.6774	0.0945	0.0947	0.0947
12	0.6953	0.0941	0.0944	0.0945
15	0.7962	0.1212	0.1213	0.1216
16	0.8825	0.099	0.0992	0.0995
18	0.8343	0.104	0.1042	0.1045
22	0.8779	0.1274	0.1277	0.1285
23	0.8839	0.1337	0.132	0.1326
24	0.9492	0.1224	0.1225	0.1222
25	0.9817	0.1146	0.1164	0.1174
26	0.9546	0.1287	0.1285	0.1288

Nota. La Tabla 11 muestra los valores de absorbancia obtenidas por el espectrofotómetro UV-VIS de las distintas muestras y sus respectivas replicas.

Una vez determinadas se procede al cálculo de las concentraciones correspondientes de cada muestra mediante el modelo de la recta de calibración obtenida como se puede observar en la Figura 9.

**Figura 9**

*Curva de Calibración y modelo matemático de la Recta obtenida.*



CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

Ecuación de la recta de calibración:

$$\text{Absorbancia} = 0.6224 (\text{Concentración ppm}) + 0.0903$$

La tabla 12 muestra las que el Ecolimo llega a un máximo de remoción de  $99.8120 \% \pm 0.1859$  el día 10.

**Tabla 12**

*Concentraciones obtenidas en Punto R*

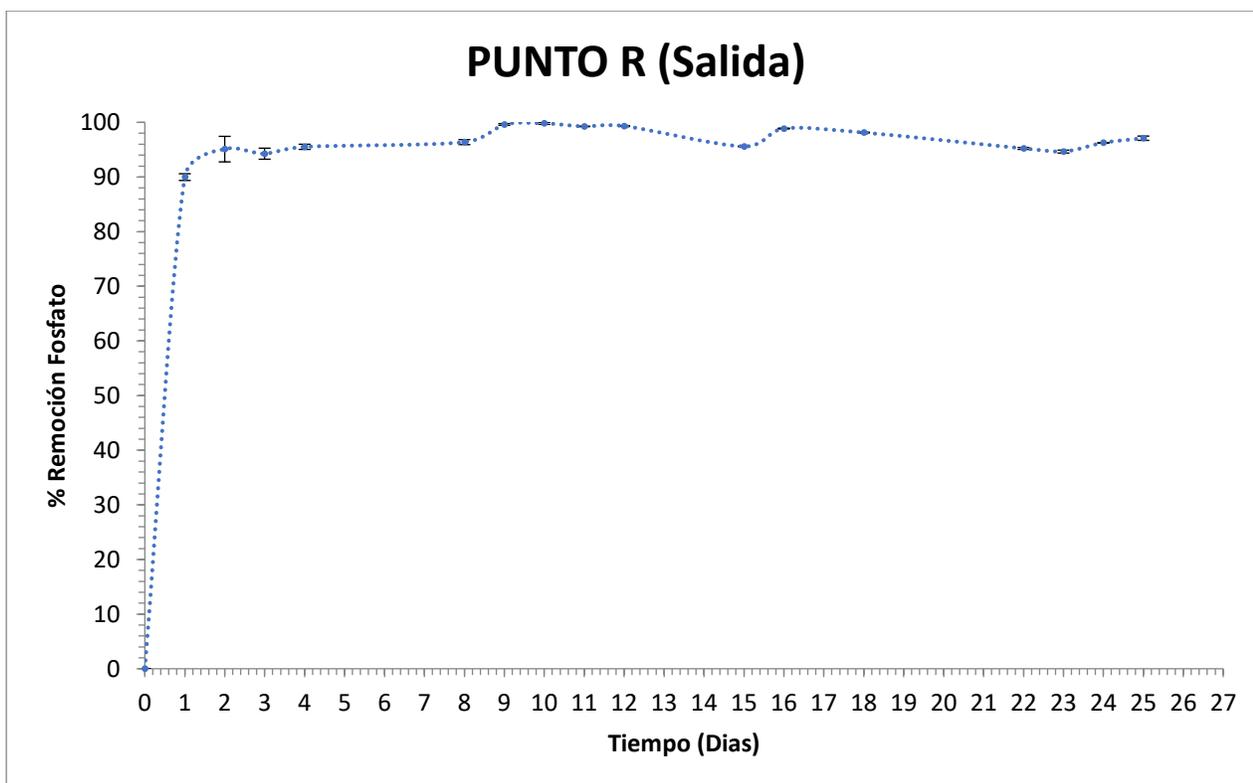
<b>Tiempo (Días)</b>	<b>C o</b>	<b>CR1</b>	<b>CR2</b>	<b>CR3</b>	<b>Valor Real</b>
<b>1</b>	0.1700	0.0175	0.0167	0.0169	$89.9811 \pm 0.6213$
<b>2</b>	0.1828	0.0109	0.0079	0.0080	$95.1084 \pm 2.3343$
<b>3</b>	0.1942	0.0106	0.0121	0.0108	$94.2652 \pm 1.0136$
<b>4</b>	0.1949	0.0085	0.0085	0.0092	$95.5207 \pm 0.4730$
<b>8</b>	0.3654	0.0127	0.0130	0.0140	$96.3794 \pm 0.4548$
<b>9</b>	0.9812	0.0039	0.0031	0.0043	$99.6179 \pm 0.1644$
<b>10</b>	0.9683	0.0018	0.0026	0.0011	$99.8120 \pm 0.1859$
<b>11</b>	0.9433	0.0067	0.0071	0.0071	$99.2619 \pm 0.0489$
<b>12</b>	0.9720	0.0061	0.0066	0.0067	$99.3333 \pm 0.0855$
<b>15</b>	1.1342	0.0496	0.0498	0.0503	$95.5990 \pm 0.0733$
<b>16</b>	1.2728	0.0140	0.0143	0.0148	$98.8723 \pm 0.0789$
<b>18</b>	1.1954	0.0220	0.0223	0.0228	$98.1272 \pm 0.0840$
<b>22</b>	1.2654	0.0596	0.0601	0.0614	$95.2302 \pm 0.1794$
<b>23</b>	1.2751	0.0697	0.0670	0.0680	$94.6489 \pm 0.2699$
<b>24</b>	1.3800	0.0516	0.0517	0.0513	$96.2665 \pm 0.0442$
<b>25</b>	1.4322	0.0390	0.0419	0.0435	$97.1019 \pm 0.3955$
<b>26</b>	1.3886	0.0617	0.0614	0.0619	$95.5608 \pm 0.0439$

Nota. La Tabla 12 muestra las concentraciones calculadas mediante la recta de calibración y los porcentajes de remoción promedio obtenidos en cada intervalo de tiempo.

En la Figura 10 se observa que el primer día hay una remoción de  $89.9811 \% \pm 0.6213$ , va ascendiendo lentamente hasta llegar al máximo de  $99.8120 \% \pm 0.1859$  el día 10, manteniéndose hasta el día 12, el día 23 desciende hasta  $94.6489 \% \pm 0.2699$ .

**Figura 10**

*%Remoción de Fosfato vs Tiempo (Dias) PUNTO R*



En la tabla 13 se muestran los resultados de las muestras extraídas de la columna:

**Tabla 13**

Absorbancias obtenidas por método espectrofotométrico (PUNTO AB)

Tiempo (Min)	Abs inicial	Abs 1	Abs 2	Abs 3	Abs 4	Abs 5	Abs 6
0	0.7169	0	0	0	0	0	0
1	0.1961	0.0914	0.0919	0.0937	0.0931	0.0935	0.0932
2	0.2041	0.092	0.0926	0.0921	0.0927	0.0928	0.0925
3	0.2112	0.0926	0.0926	0.0922	0.0919	0.0917	0.092
4	0.2116	0.0936	0.0931	0.0934	0.0936	0.0941	0.094
8	0.3177	0.0932	0.0935	0.0937	0.0913	0.0935	0.0913
9	0.701	0.0953	0.0944	0.0948	0.0932	0.094	0.0937
10	0.693	0.0979	0.0972	0.097	0.0965	0.0975	0.098

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

<b>11</b>	0.6774	0.098	0.0982	0.0982	0.0951	0.0952	0.0953
<b>12</b>	0.6953	0.0996	0.0994	0.0977	0.1000	0.0989	0.0999
<b>15</b>	0.7962	0.136	0.1373	0.1378	0.1344	0.1354	0.1216
<b>16</b>	0.8825	0.108	0.1082	0.1083	0.104	0.1057	0.1054
<b>18</b>	0.8343	0.1306	0.1315	0.1314	0.1348	0.1347	0.1349
<b>22</b>	0.8779	0.2196	0.2278	0.2294	0.2198	0.2236	0.2245
<b>23</b>	0.8839	0.2077	0.2096	0.2115	0.2066	0.2072	0.2076
<b>24</b>	0.9492	0.2259	0.2298	0.2282	0.225	0.2272	0.2278
<b>25</b>	0.9817	0.2022	0.2014	0.2014	0.197	0.1999	0.1987
<b>26</b>	0.9646	0.1963	0.198	0.2003	0.1849	0.1884	0.1863

Nota. La Tabla 13 muestra los valores de absorbancia obtenidas por el espectrofotómetro UV-VIS de las distintas muestras y sus respectivas replicas.

Una vez determinadas se procede al cálculo de las concentraciones correspondientes de cada muestra mediante el modelo de la recta de calibración obtenida como se puede observar en la

**Figura 9.**

La tabla 14 muestra las que el Ecolimo llega a su remoción máxima de  $99.3559 \% \pm 0.1307$  el día 9.

**Tabla 14**

*Concentraciones obtenidas y porcentaje de remoción promedio PUNTO AB*

<b>Tiempo (Días)</b>	<b>Co</b>	<b>Conc 1</b>	<b>Conc 2</b>	<b>Conc 3</b>	<b>Conc 4</b>	<b>Conc 5</b>	<b>Conc 6</b>	<b>Valor Real</b>
1	0.1700	0.0018	0.0026	0.0055	0.0045	0.0051	0.0047	97.6371 ± 0.9221
2	0.1828	0.0027	0.0037	0.0029	0.0039	0.0040	0.0035	98.1107 ± 0.3017
3	0.1942	0.0037	0.0037	0.0031	0.0026	0.0022	0.0027	98.4560 ± 0.3233
4	0.1949	0.0053	0.0045	0.0050	0.0053	0.0061	0.0059	97.2520 ± 0.3222
8	0.3654	0.0047	0.0051	0.0055	0.0016	0.0051	0.0016	98.9226 ± 0.5236
9	0.9812	0.0080	0.0066	0.0072	0.0047	0.0059	0.0055	99.3559 ± 0.1307
10	0.9683	0.0122	0.0111	0.0108	0.0100	0.0116	0.0124	98.8303 ± 0.0990
11	0.9433	0.0124	0.0127	0.0127	0.0077	0.0079	0.0080	98.9156 ± 0.2878
12	0.9720	0.0149	0.0146	0.0119	0.0156	0.0138	0.0154	98.5207 ± 0.1483
15	1.1342	0.0734	0.0755	0.0763	0.0709	0.0725	0.0503	93.8447 ± 0.9040
16	1.2728	0.0284	0.0288	0.0289	0.0220	0.0247	0.0243	97.9424 ± 0.2401
18	1.1954	0.0647	0.0662	0.0660	0.0715	0.0713	0.0717	94.2630 ± 0.2843
22	1.2654	0.2077	0.2209	0.2235	0.2081	0.2142	0.2156	83.0096 ± 0.5361
23	1.2751	0.1886	0.1917	0.1947	0.1869	0.1878	0.1885	85.1226 ± 0.2428
24	1.3800	0.2179	0.2241	0.2216	0.2164	0.2200	0.2209	84.0474 ± 0.2086
25	1.4322	0.1798	0.1785	0.1785	0.1714	0.1761	0.1742	87.6823 ± 0.2319

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

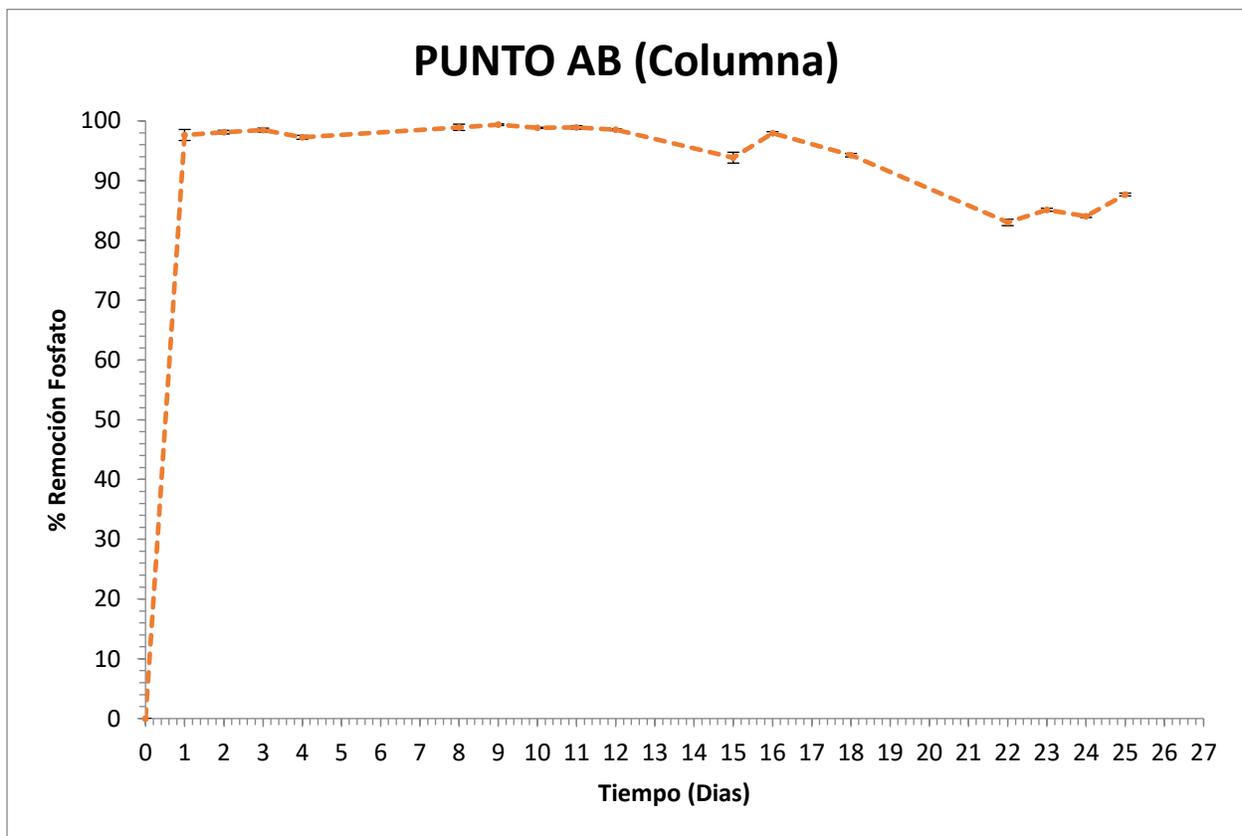
26	1.4047	0.1703	0.1730	0.1767	0.1520	0.1576	0.1542	88.3259 ± 0.7935
----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	------------------

Nota. La Tabla 14 muestra las concentraciones calculadas mediante la recta de calibración y los porcentajes de remoción promedio obtenidos en cada intervalo de tiempo.

En la Figura 11 se puede ver que el primer día se llega a una remoción de 97.6371 % ± 0.9221, hasta el día 9 donde se presenta la remoción máxima, desde el día 10 la remoción va descendiendo hasta el día 26 que llega al 88.3259 % ± 0.7935.

**Figura 11**

*% Remoción de Fosfato vs Tiempo (Dias) PUNTO AB*



**5.3. Análisis eco toxicológico**

Se llevó a cabo pruebas de ecotoxicología teniendo como bioindicador bulbos de cebolla (*Allium sp*) se estudió la inhibición de crecimiento de sus raíces, en presencia de Ecolimo (Pellets y polvo). El experimento fue sometido a un periodo de 72 a 190 horas para analizar su comportamiento, ya que el cuerpo de agua a

estudio (Laguna del Jardín Japonés) contiene gran concentración de nutrientes. Se tomó como control agua de pila doméstica.

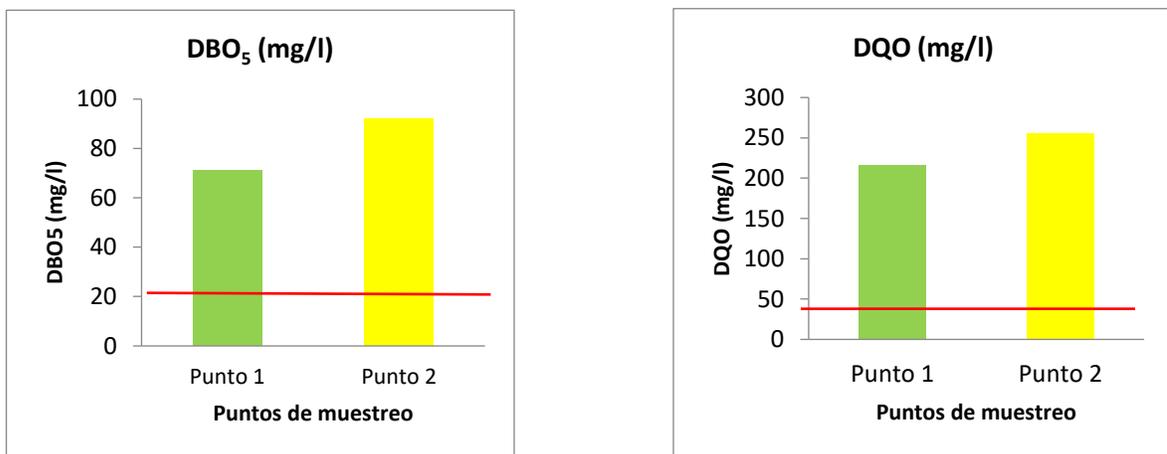
### 5.3.1. Metodología

#### - Área de estudio

El área de estudio correspondió a la Laguna del Jardín Japonés ubicado en la calle 8 de Calacoto, Zona Sur. Se realizó un muestro previo de acuerdo a puntos de muestreo según Anexo 1. Los resultados indicaron que en la laguna existe concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO, como se muestra a continuación:

**Figura 12**

*Resultados obtenidos del muestreo en noviembre 2021*



*Nota:* Límite permisible DBO<sub>5</sub> Clase “C” (RMCH): < 20 mg/L; Límite permisible DQO (RMCH) Clase “C”: < 40 mg/L

De acuerdo a la Figura 12 y según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), los puntos 1 y 2 sobrepasan los límites permisibles de acuerdo a los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 71,3 y 92,2 mg/l y de Demanda Química de Oxígeno (DQO) con 216 y 256 mg/l, respectivamente.

### **5.3.2. Recolección de muestras**

Las muestras de agua fueron colectadas en frascos ambar de 1000 ml previamente esterilizados en los laboratorios del Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos de la Universidad Mayor de San Andrés.

### **5.3.3. Selección de bioindicador**

Se selecciono como bioindicador bulbos de cebolla (*Allium sp*) de apariencia, tamaño y forma similar. Cuando este bioindicador se rehidrata produce una estimulación de crecimiento de células permitiendo la elongación de sus raíces. Sin embargo, cuando la hidratación se realiza en presencia de sustancias tóxicas, provoca la inhibición de las raíces porque retarda el proceso de mitosis o destruye las células de los meristemas radiculares del bioindicador. Estas alteraciones impiden el crecimiento de las raíces y por tanto su elongación (Fiskesjö, 1985).

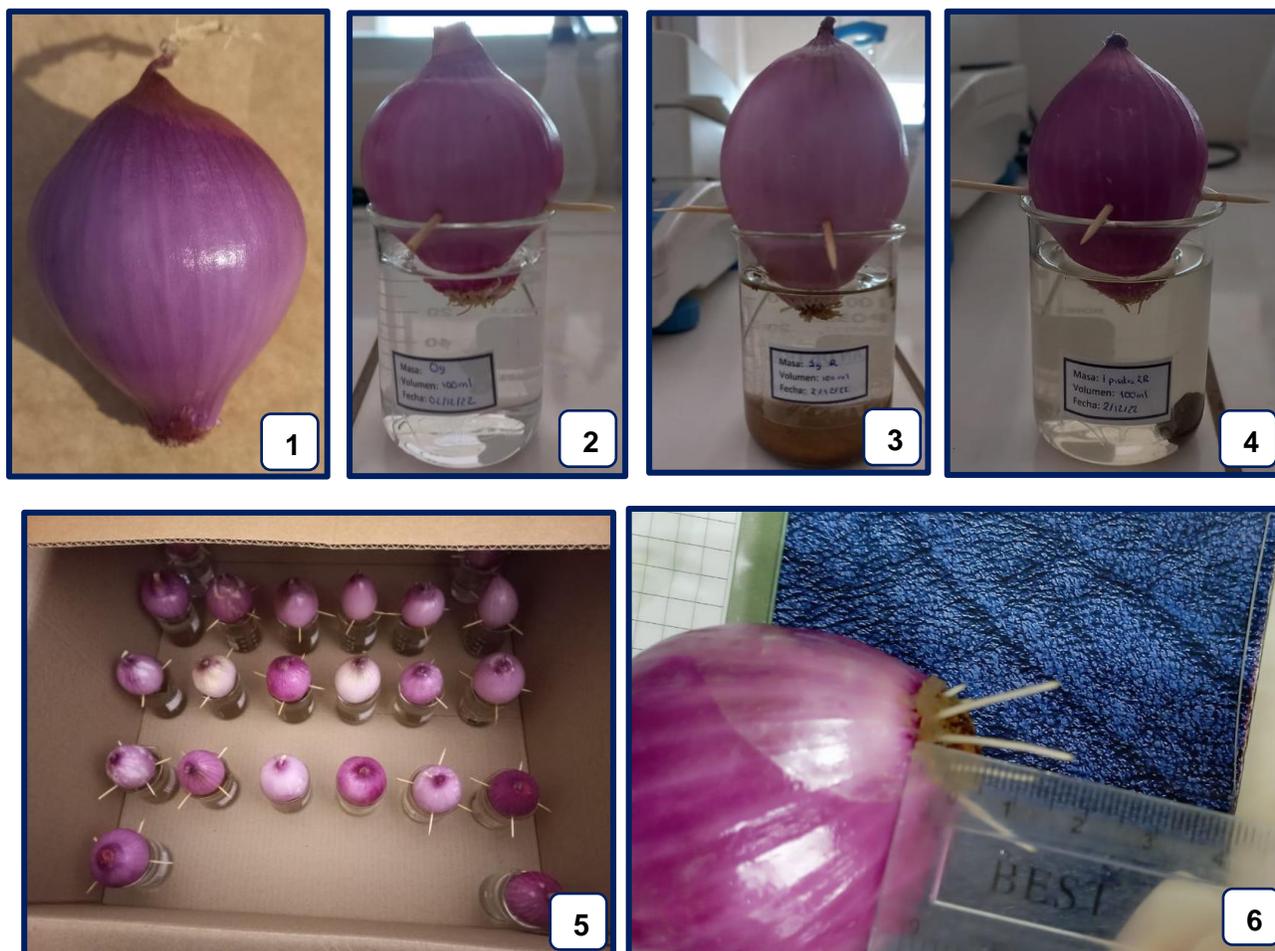
### **5.3.4. Prueba ecotoxicológica**

El Ecolimo es una roca volcánica a base de limonita, el cual tiene propiedades para tratar agua residual y ser utilizado como alimento para ganado vacuno y peces. La limonita es rica en hierro en un 82,31% de su composición total y comprende otros minerales como calcio y magnesio (Limonite, 2022). Según el acuerdo que se tiene entre la carrera de Ingeniería Química y la empresa japonesa “YUFU”, se llevaron a cabo pruebas ecotoxicológicas para estudiar el efecto de inhibición del Ecolimo en cuanto a su interacción con seres vivos.

La prueba consistió en someter el bulbo a una muestra de agua en presencia de ecolimo (Pellet o polvo). Primero, se pelaron los bulbos de cebolla (*Allium sp*) de apariencia, tamaño y forma similar evitando dañar la zona radicular. Se colocaron los bulbos en vasos precipitados con 100 ml de muestra de agua y ecolimo para cada prueba. Es importante mantener la zona radicular cubierta por la muestra de agua y tener una prueba de control con agua destilada o doméstica. Finalmente, se someten los bulbos a oscuridad en un periodo determinado y se miden las raíces existentes de cada bulbo con una regla. A continuación, se detalla el procedimiento general en la siguiente figura:

**Figura 13**

*Procedimiento para pruebas de ecotoxicología con bulbos de cebolla*



La figura 13 describe el procedimiento realizado para cada prueba experimental. (1) Limpieza y pelado de bulbos; (2) Se colocan los bulbos en vasos precipitados con 100 ml de muestra, en este caso se observa el bulbo de control, el cual no contiene ecolimo y solo agua doméstica o destilada; (3) y (4) Se observa el bioindicador en presencia de ecolimo en polvo y en forma de Pellet respectivamente; (5) Se procede a la siembra de bulbos, se los colocó en una caja a manera de someterlos a oscuridad en un periodo determinado; (6) Al finalizar el tiempo de exposición en oscuridad, se miden la longitud de las raíces y se las compara con la prueba de control. Para obtener el efecto de inhibición se realizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición} = \left( \frac{\text{Longitud de control} - \text{Longitud de la muestra}}{\text{Longitud de control}} \right) \times 100\%$$

Donde:

**% Inhibición:** El porcentaje de inhibición al finalizar la prueba (%).

**Longitud de control:** La elongación de las raíces de la prueba control con agua destilada o doméstica (cm).

**Longitud de la muestra:** La elongación de las raíces de la prueba experimental (cm)

### 5.3.5. Resultados

#### 1) Primera prueba (Pellets -190 horas)

La primera prueba fue realizada en un periodo de 190 horas a temperatura ambiente de 17°C. variando el número de pellets de ecolimo en presencia de agua de la laguna del Jardín Japonés, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 15**

*Resultado de inhibición a 190 horas (Ecolimo en Pellets)*

PRUEBA N° 1						
t = 190 h						
Muestra	N° Pellets	Masa (gr)	Elongación (cm)	Inhibición (%)	Promedio de Inhibición (%)	Promedio de crecimiento de raíz (cm)
Control	0	0	4,1	0	0	4,1
1	1	2,54	1,4	65,85	52,44	1,95
	1	2,30	2,5	39,02		
2	2	4,95	1,2	70,73	79,27	0,85
	2	4,94	0,5	87,80		
3	3	7,93	1,3	68,29	75,61	1
	3	7,92	0,7	82,93		

En la tabla 15 se contempla que el mayor porcentaje de inhibición corresponde a la muestra 2 con una masa de 4,94 gramos de ecolimo . Por otro lado, el menor porcentaje corresponde a la muestra 1 con una masa de 2,30 gramos de ecolimo.

**Tabla 16***Tratamiento estadístico a 190 horas (Ecolimo en Pellets)*

<b>N° Pellets</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
MIN	1,4	0,5	0,7
MAX	2,5	1,2	1,3
MEDIA	1,95	0,85	1
MEDIANA	1,95	0,85	1
%IC	52,44	79,27	75,61
RANGO	1,1	0,7	0,6
VARIANZA	0,605	0,245	0,18
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,777817459	0,49497475	0,42426407

La tabla 16 describe el tratamiento estadístico de la prueba experimental a 190 horas. La desviación estándar junto con la varianza es mayor para la muestra 1 de un pellet.

**Figura 14***Resultados al finalizar la prueba de 190 h*

En la Figura 14 se aprecia el resultado final de las cebollas al terminar el experimento, si hubo crecimiento de raíces, pero también se formó una capa negra alrededor de las mismas, lo que indicó el inicio de descomposición del bioindicador.

## 2) Segunda prueba (Pellets - 72 horas)

La segunda prueba fue realizada en un periodo de 72 horas a temperatura ambiente de 17°C variando la cantidad de pellets de ecolimo en presencia de agua del jardín, mostrando los siguientes resultados:

**Tabla 17**

*Resultados de inhibición a 72 horas (Ecolimo en Pellets)*

PRUEBA N° 2						
t = 72 h						
Muestra	N° Pellets	Masa (gr)	Elongación (cm)	Inhibición (%)	Promedio de Inhibición (%)	Promedio de elongación de raíz (cm)
Control	0	0	1,9	0	0	1,9
1	1	2,38	2,7	-42,11	n/d	2
	1	2,18	1,3	31,58		
2	2	4,70	2,8	-47,37	n/d	2,3
	2	4,63	1,8	5,26		
3	3	7,53	1,9	0,00	7,895	1,75
	3	7,55	1,6	15,79		

La tabla 17 indica valores negativos de porcentaje de inhibición para las muestras 1 y 2 con masas de 2,38 y 4,70 gr de ecolimo respectivamente. Por otro lado, la muestra 3 indica menor porcentaje de inhibición con una masa de 7,53 gr de ecolimo. A comparación de la primera prueba, los porcentajes de inhibición son menores. Sin embargo, la muestra 1 y 2 muestran un comportamiento irregular con respecto al porcentaje de inhibición.

**Figura 15**

Resultados al finalizar la prueba de 72 horas



CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

En la Figura 15 muestra las cebollas al finalizar el experimento en un periodo de 72 horas. Se obtuvieron resultados favorables a consideración de la prueba de 190 horas, ya que no hubo indicios de descomposición del bioindicador.

Al finalizar las pruebas correspondientes, se pesaron los pellets de ecolimo para determinar el porcentaje de pérdida de masa, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 18**

*Resultados de pérdida de Ecolimo entre Prueba 1 y 2*

Muestras	Masa (gr)		% Pérdida
	Prueba N° 1	Prueba N° 2	
1	2,54	2,38	6,58
	2,30	2,18	5,40
2	4,95	4,70	5,05
	4,94	4,63	6,26
3	7,93	7,53	5,03
	7,92	7,55	4,73

En la Tabla 18, se observa que el mayor porcentaje de pérdida corresponde a la muestra 1 con 6,58%. En general, los datos obtenidos no superaron ni el 10%, indicando que el pellet no pierde una masa considerable en contacto con agua.

**Tabla 19**

*Tratamiento estadístico a 72 horas (Ecolimo en Pellets)*

N° Pellets	1	2	3
MIN	1,3	1,8	1,6
MAX	2,7	2,8	1,9
MEDIA	2	2,3	1,75
MEDIANA	2	2,3	1,75
%IC	n/d	n/d	7,90
RANGO	1,4	1	0,3
VARIANZA	0,98	0,5	0,045
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,98994949	0,70710678	0,21213203

La tabla 19 describe el tratamiento estadístico de la prueba experimental a 72 horas. La desviación estándar junto con la varianza es mayor para la muestra 1 de un pellet al igual que la primera prueba.

**3) Tercera prueba (Pellets - 72 horas)**

La tercera prueba fue realizada en un periodo de 72 horas a temperatura ambiente de 24°C variando la cantidad de pellets de ecolimo en presencia de agua del jardín, por triplicado, mostrando los siguientes resultados:

**Tabla 20**

*Resultados de inhibición a 72 horas (Ecolimo en Pellets)*

<b>PRUEBA N° 3</b>						
<b>t = 72 h</b>						
<b>Muestra</b>	<b>N° Pellets</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Elongación (cm)</b>	<b>Inhibición (%)</b>	<b>Promedio de Inhibición (%)</b>	<b>Promedio de elongación de raíz (cm)</b>
Control	0	0	2,2	0	0	2,2
	1	1,92	0,5	77,27		
	1	2,08	2,1	4,55	34,85	1,43
1	1	1,7	1,7	22,73		
	2	4,39	1,7	22,7		
	2	3,79	0,5	77,3	36,36	1,40
2	2	4,69	2	9,1		
	3	8,02	1,78	19,09		
	3	7,02	0,3	86,36	57,12	0,94
3	3	6,95	0,75	65,91		

La tabla 20 indica que el mayor porcentaje de inhibición corresponde a la muestra 3 con 57,12%. Por otro lado, el menor porcentaje corresponde a la muestra 1 con 34,85%.

**Tabla 21**

*Tratamiento estadístico a 72 horas (Ecolimo en Pellets)*

<b>N° Pellets</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
MIN	0,5	0,5	0,3
MAX	2,1	2	1,78
MEDIA	1,43	1,4	0,94
MEDIANA	1,7	1,7	0,75
%IC	34,85	36,36	57,12
RANGO	1,6	1,5	1,48
VARIANZA	0,69333333	0,63	0,57563333
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,8326664	0,79372539	0,75870504

La tabla 21 describe el tratamiento estadístico de la prueba experimental a 72 horas. La desviación estándar junto con la varianza es mayor para la muestra 1 de un pellet al igual que la primera y segunda prueba.

#### 4) Primera prueba (Polvo - 72 horas)

La primera prueba fue realizada en un periodo de 72 horas a temperatura ambiente de 20°C, tomando en cuenta distintas masas de ecolimo en polvo, en presencia de agua doméstica, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 22**

*Resultados de inhibición a 72 horas, duplicado (Ecolimo en polvo)*

Masa (gr)	Prueba	Elongación (cm)	Inhibición (%)	Promedio de Inhibición (%)	Promedio de elongación de raíz (cm)
0	Control	2	0	0	2
0,1	1	1,7	15	57,5	0,85
	2	0	100		
0,3	1	0,7	65	82,5	0,35
	2	0	100		
0,5	1	0,7	65	65	0,7
	2	0,7	65		
1	1	0,7	65	67,5	0,65
	2	0,6	70		

En la tabla 22, se observa que el mayor porcentaje de inhibición corresponde a la masa de 0,3 gr de ecolimo en polvo.

**Tabla 23**

*Tratamiento estadístico a 72 horas, duplicado (Ecolimo en polvo)*

Masa (gr)	0,1 g	0,3 g	0,5 g	1 g
MIN	0	0	0,7	0,6
MAX	1,7	0,7	0,7	0,7
MEDIA	0,85	0,35	0,7	0,65
MEDIANA	0,85	0,35	0,7	0,65
%IC	57,5	82,5	65	67,5
RANGO	0,85	0,35	0	0,05
VARIANZA	1,445	0,245	0	0,005

DESVIACIÓN ESTÁNDAR 1,202081528 0,49497475 0 0,07071068

La tabla 23 describe el tratamiento estadístico de la prueba experimental a 72 horas. La desviación estándar junto con la varianza es mayor para la muestra de 0,1 gr.

### 5) Segunda prueba (Polvo - 72 horas)

La segunda prueba fue realizada en un periodo de 72 horas a temperatura ambiente de 21°C , tomando en cuenta distintas masas de ecolimo en polvo, en presencia de agua doméstica, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 24**

*Resultados de inhibición a 72 horas, triplicado (Ecolimo en polvo)*

Masa (g)	Prueba	Elongación (cm)	Inhibición (%)	Promedio de Inhibición (%)	Promedio de elongación de raíz (cm)
0	Control	2,3	0,0	0	2,3
0,1	1	1,3	43,5	65,2	1,2
	2	1,1	52,2		
	3	0	100,0		
0,3	1	0,6	73,9	71,0	0,65
	2	0,7	69,6		
	3	0,7	69,6		
0,5	1	0,7	69,6	82,6	0,6
	2	0,5	78,3		
	3	0	100,0		
1	1	0,5	78,3	76,8	0,6
	2	0,7	69,6		
	3	0,4	82,6		

En la tabla 24, se observa que el mayor porcentaje de inhibición corresponde a la masa de 0,5 gr de ecolimo en polvo difiriendo con la primera prueba, cuyo mayor porcentaje correspondía a 0,3 gr.

**Tabla 25**

*Tratamiento estadístico a 72 horas, triplicado (Ecolimo en polvo)*

Masa (g)	0,1 g	0,3 g	0,5 g	1 g
----------	-------	-------	-------	-----

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

MIN	0	0,6	0	0,4
MAX	1,3	0,7	0,7	0,7
MEDIA	0,8	0,67	0,4	0,53
MEDIANA	1,1	0,7	0,5	0,5
%IC	65,2	71	82,6	76,8
RANGO	1,3	0,1	0,7	0,3
VARIANZA	0,49	0,0033	0,13	0,023
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,7	0,05773503	0,13	0,15275252

La tabla 25 describe el tratamiento estadístico de la prueba experimental a 72 horas. La desviación estándar junto con la varianza es mayor para la muestra de 0,1 gr. Al igual que la primera prueba.

**6) Tercera prueba (Polvo - 72 horas)**

La tercera prueba fue realizada en un periodo de 72 horas, tomando en cuenta distintas masas de ecolimo en polvo, en presencia de agua del jardín, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 26**

*Resultados de inhibición a 72 horas, triplicado (Ecolimo en polvo)*

Masa (g)	Prueba	Elongación (cm)	Inhibición (%)	Promedio de Inhibición (%)	Promedio de elongación de raíz (cm)
0	Control	2,2	0	0	2,2
0,1	1	1,2	45,5	59,1	0,9
	2	0,4	81,8		
	3	1,1	50,0		
0,5	1	2,5	-13,6	68,2	0,7
	2	0,75	65,9		
	3	0,65	70,5		
1	1	0,4	81,8	57,6	0,93
	2	1	54,5		
	3	1,4	36,4		

La tabla 26 indica un valor negativo de porcentaje de inhibición para la prueba 1 de 0,5 gramos de ecolimo, se calculó el promedio de inhibición sin tomar en cuenta tal dato. Por otro lado, existe mayor porcentaje de inhibición para una masa de 0,5 gr al igual que la segunda prueba. A comparación de la primera y segunda prueba, los porcentajes de inhibición son menores.

**Tabla 27**

*Tratamiento estadístico a 72 horas, triplicado (Ecolimo en polvo)*

<b>Masa (g)</b>	<b>0,1 g</b>	<b>0,5 g</b>	<b>1 g</b>
MIN	0,4	0,65	0,4
MAX	1,2	2,5	1,4
MEDIA	0,9	1,30	0,93
MEDIANA	1,1	0,75	1
%IC	59,1	68,2	57,6
RANGO	0,8	1,85	1
VARIANZA	0,19	1,0825	0,253333333
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,43588989	1,040432602	0,253333333

La tabla 27 describe el tratamiento estadístico de la prueba experimental a 72 horas. La desviación estándar junto con la varianza es mayor para la muestra de 0,5 gr.

#### **5.4. Conclusiones**

Después de observar los cambios correspondientes se puede concluir que el Ecolimo no sufre cambios notables en medios acuosos, las muestras a temperatura ambiente presentan desprendimiento de partículas bajo, no hay alteración notable de la transparencia del agua destilada. Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente 16-18 °C y pH neutro.

El Ecolimo granular se convierte en una buena opción para utilizarlo como adsorbente de iones fosfatos por el gran porcentaje de Hierro presente en su composición química (Japan Limonite Product Introduction, s.f.), ya que los cationes de Hierro y los iones Fosfato tienen una gran afinidad por la atracción electrostática de las cargas eléctricas presentes. Por esta razón, el adsorbente presenta altos porcentajes de remoción de este contaminante, en los primeros 30 minutos se observa una adsorción rápida llegando al 80%, transcurrido el tiempo, después de los 60 minutos inicia el estado de equilibrio debido a la saturación de los poros presentes en la superficie del adsorbente, llegando a una remoción máxima de 87.83% a las 24 horas. Se debe resaltar que, después de finalizar la agitación, las soluciones presentan cierta turbidez por el desprendimiento de partículas del Ecolimo. (Ver Anexo A).

La limonita contiene varios minerales como calcio y magnesio. Por ello, es usado como fertilizante en suelos, permite la purificación de agua y actúa como un agente aditivo en la alimentación de animales como peces, perros o ganado vacuno (Limonite, 2022). Sin embargo, la concentración o dosis de ecolimo, varía

CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA Y PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INGENIERIA PETROQUÍMICA INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS

de acuerdo a la especie animal o vegetal. Por ejemplo, para peces se recomienda que se mezcle 0.5 % de ecolimo del total de sus alimentos ya que es rica en hierro en un 82,31% de su composición total.

Las pruebas de ecotoxicología indican que el ecolimo (Pellet o polvo) provoca la inhibición del bioindicador en estudio y provoca la descomposición del mismo. De acuerdo a los resultados obtenidos, existe un alto porcentaje de inhibición a menores cantidades, indicando que existe un alto riesgo de toxicidad si se somete a tales concentraciones, se debe trabajar con cantidades menores a las estudiadas.

### 5.5. Referencias

Baig, Wang, Lv, & Xu, (2013). Removal of hexavalent chromium by limonite in aqueous solutions. *Hydrometallurgy*, 138, 33-39.

Fiskesjö, G. (1985). The Allium test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*, 102(1), 99–112. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x>

Li, X., Cai, G., Li, Y., Zhu, X., Qi, X., Zhang, X., . . . Wang, H. (2021). Limonite as a source of solid iron in the crystallization of scorodite aiming at arsenic removal from smelting wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 1-13.

Limonite. (2022). *Product Introduction* (pp. 1–11).

Sahin, R., Mathew, A., Bagawan, A., & Singh, S. (2012). Kinetic and adsorption performance of Fluoride in a Fixed-bed column using adsorbent: Limonite. *Iffans International Journal of food and nutritional sciences*, 3179-3196.

Stamboliadis, E. T., Pantelaki, O., & Manutsoglu, E. (2004). Removal of arsenic from water solutions by naturally occurring limonite. *Advances in mineral resources management and environmental geotechnology*, 583-587.

# ANEXOS

ANEXO A

Figura 16

Reporte fotográfico de la experimentación Batch del Ecolimo- Fosfato



Muestras después de 30 minutos de agitación

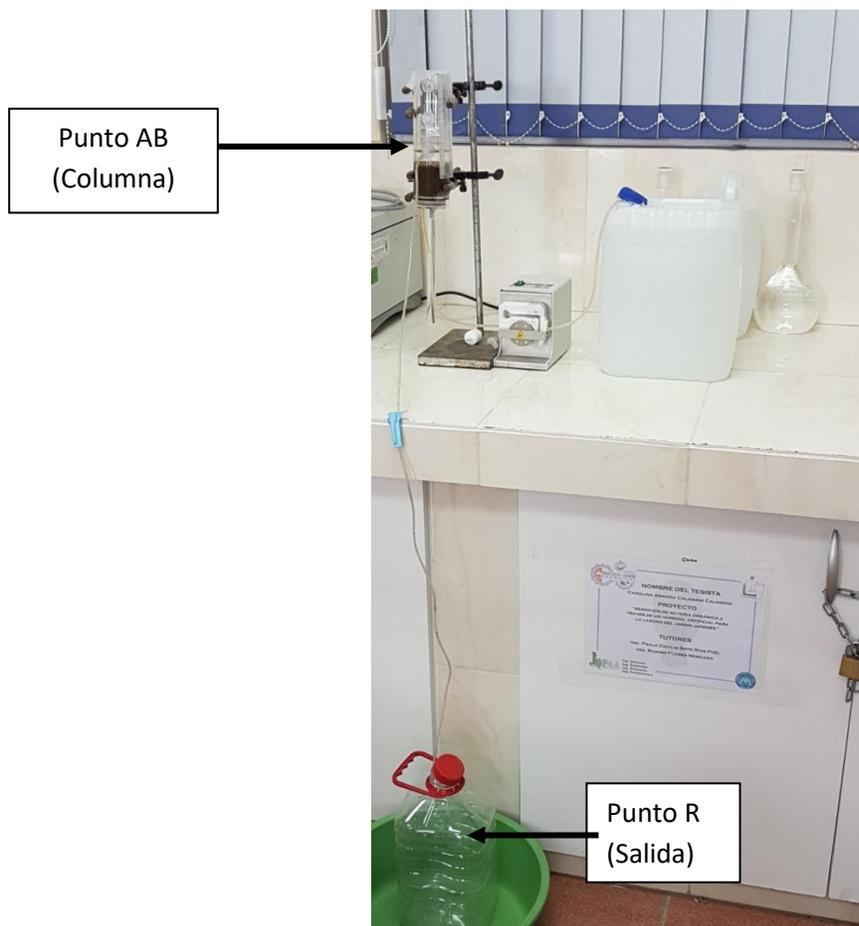


Muestras después de 4 horas de agitación

ANEXO B

Figura 17

*Puntos de Toma de muestra de la columna de Adsorción*



**ANEXO C**

**Tabla 28**

Puntos de monitoreo en la Laguna del Jardín Japonés

<b>Laguna del Jardín Japonés</b>		
<i>Punto</i>	<b>Fotografía</b>	<b>Coordenadas</b>
1		19S 596939 8171004
2		19S 596891 8170989