

Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa¹

Hugo Apaza² - UCSM

Foto Andina



Las aguas servidas domésticas que se vierten sin tratamiento al río Chili representan el 90% del total de las aguas servidas de la ciudad de Arequipa.

En los últimos años, el río Chili viene soportando una fuerte contaminación debido al vertido de aguas residuales domésticas (principalmente materia fecal), aguas residuales industriales (desechos químicos de cromo, cadmio, zinc, mercurio, ácidos, etc.) y residuos sólidos (basura), que lo están dañando seriamente y comprometiendo la salud de la población arequipeña. Por otro lado, los agricultores utilizan el agua del río Chili para el riego de sus cultivos.

Las aguas servidas domésticas que se vierten sin tratamiento al río Chili representan el 90% del total de

«Las aguas del río Chili son utilizadas en distintas actividades económicas y productivas, especialmente de carácter agrícola, ya que con ellas se riegan cerca de 16,000 hectáreas de cultivo que abastecen a la ciudad.»

las aguas servidas de la ciudad de Arequipa. El tramo que tiene mayor grado de contaminación está comprendido entre los puentes Grau y Uchumayo. Según análisis realizados por la Dirección General de Salud Ambiental en la estación de Uchumayo en el año 2008, se observaron resultados que están por encima de los 24'000,000 por cada 100 mililitros de agua de coliformes totales, y por encima de los 13'000,000 por cada 100 mililitros de agua de coliformes fecales (Autoridad Nacional del Agua, 2008). Estos valores sobrepasan ampliamente los estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), definidos, según el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, en 5,000 NMP/100mL para coliformes totales para vegetales de tallo bajo y alto, y en 2,000 NMP/100mL y 1,000 NMP/100mL para coliformes fecales (termotolerantes) y para vegetales de tallo alto y bajo, respectivamente (Ministerio del Ambiente del Perú, 2008).

Desde Chilina hasta el puente Tingo se registran unos 50 puntos de vertimiento de aguas servidas domésticas comerciales e industriales, que suman unos 30 l/s, aproximadamente 2,500 m³/día (Olivera, 2006). Las aguas del río Chili son utilizadas en distintas actividades económicas y productivas, especialmente de carácter agrícola, ya que con ellas se riegan cerca de 16,000 hectáreas de cultivo que abastecen a la ciudad. Además, en los sectores rurales, sus aguas son destinadas al consumo humano mediante un pésimo proceso de potabilización previo. Como consecuencia de ello, las acequias que son subcorrientes del río Chili están totalmente contaminadas con materia fecal. Estas aguas van destinadas a los reservorios de agua, que son utilizados en el riego de sus cultivos y el lavado de las verduras antes de venderlas.

En función a ello, en la investigación se desarrolló un sistema que permita la purificación de estas aguas para liberarlas de patógenos y materia fecal y que, por tanto, puedan ser utilizadas para el riego de cultivos agrícolas. Lo novedoso de este proyecto es la aplicación de alto impacto con la reducción de demanda química de oxígeno, sin necesidad de un tratamiento químico.

El proceso de tratamiento de aguas potables y residuales se basa en un tratamiento químico inicial, a

1 Artículo basado en la investigación del mismo nombre, desarrollada en el marco del I Premio a la Investigación Ambiental, financiado por el Fondo Nacional del Ambiente - FONAM, categoría ecoeficiencia.

2 Ingeniero Biotecnólogo.

base de coagulantes y floculantes, para remover la mayoría de contaminantes. En el mundo se utiliza como coagulante tradicional el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), llamado comúnmente Alúmina. La Alúmina (sulfato de aluminio) es un coagulante que se utiliza tanto a nivel de hogares como en las plantas de tratamiento del agua. Sin embargo, la oferta de este coagulante en países en vías de desarrollo no logra satisfacer la demanda total, ya que las cantidades disponibles se utilizan en los acueductos de las grandes ciudades, generando escasez en algunas zonas rurales y periurbanas. Otro tipo de coagulantes son los naturales, que incluyen semillas en polvo del árbol *Moringa olifera* y tipos de arcilla tales como la bentonita.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesaria la búsqueda de alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de tecnologías amigables con el medio ambiente, de ahí la importancia de este trabajo, en donde se aprovecha al máximo el nopal, tanto para purificar el agua como para la obtención de productos como la tuna y la cochinilla.

La metodología empleada se clasifica en dos principales etapas: de laboratorio e *in situ*. Se realizó el análisis fisicoquímico de las aguas del río Chili de la zona del puente de Tiabaya–Arequipa, se obtuvo un coagulante–floculante natural a partir de las pencas del nopal, se determinó la concentración óptima para el tratamiento de aguas, se evaluó la eficiencia de filtros mediante la cuantificación de remoción de contaminantes.

El objetivo principal del estudio fue diseñar, construir y evaluar un sistema de tratamiento ecológico como alternativa sustentable para la purificación de

aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa.

A continuación, se presentan los principales resultados de esta primera etapa, que comprende la evaluación de los contaminantes presentes en el río Chili, la evaluación del sistema a nivel de laboratorio, el acondicionamiento de terreno de ejecución, y la plantación del nopal.

Análisis fisicoquímico de las aguas del río Chili-Arequipa

El río tiende a ser inestable en los meses de enero y febrero, ya que por las lluvias aumenta y disminuye el flujo de caudal. La contaminación a simple vista es enorme, ya que numerosas tuberías clandestinas de desechos domésticos van a parar directamente a las aguas del río Chili.

Figura 1

Tubería de desechos domésticos perteneciente a la zona del puente de Tiabaya



La Tabla 1 corresponde al análisis de los metales totales, donde resaltan el aluminio, con una concentración de 0.952 mg/L; el hierro, con 0.909 mg/L, proveniente de los desechos del parque industrial de Arequipa que está al lado del río Chili; y la presencia de fósforo, con 1.114 mg/L, debido al uso de pesticidas y fertilizantes químicos que son aplicados en los cultivos (ver Tabla 2).

De acuerdo al D.S.N° 002-2008-MINAM, sobre Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua para riego de vegetales, se refieren valores de DBO5 y DQO de 15 mg/L y 40 mg O₂/L, respectivamente (Ministerio

Foto CIES



Es necesaria la búsqueda de alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de tecnologías amigables con el medio ambiente.

del Ambiente del Perú, 2008). Así, los valores obtenidos de las muestras superan los ECA, con 32 mg/L de DBO5 y 70 mg O2/L de DQO, respectivamente.

Tabla 1

Resultados de la determinación de metales totales

Metales	Límite de detección	Unidad	Resultado
Aluminio (Al)	0.004	mg/L	0.952
Antimonio (Sb)	0.003	mg/L	ND
Arsénico (As)	0.004	mg/L	ND
Bario (Ba)	0.0005	mg/L	0.0981
Berilio (Be)	0.00002	mg/L	ND
Bismuto (Bi)	0.002	mg/L	ND
Boro (B)	0.002	mg/L	0.452
Cadmio (Cd)	0.0003	mg/L	ND
Calcio (Ca)	0.02	mg/L	32.54
Cobalto (Co)	0.0007	mg/L	ND
Cobre (Cu)	0.002	mg/L	ND
Cromo (Cr)	0.0008	mg/L	ND
Estaño (Sn)	0.0007	mg/L	0.0636
Estroncio (Sr)	0.0005	mg/L	0.2972
Fósforo (P)	0.003	mg/L	1.114
Hierro (Fe)	0.006	mg/L	0.909
Litio (Li)	0.008	mg/L	ND
Magnesio (Mg)	0.008	mg/L	9.893
Manganeso (Mn)	0.003	mg/L	0.213
Molibdeno (Mo)	0.0009	mg/L	ND
Níquel (Ni)	0.002	mg/L	ND
Plata (Ag)	0.002	mg/L	ND
Plomo (Pb)	0.001	mg/L	ND
Potasio (K)	0.05	mg/L	8.49
Selenio (Se)	0.006	mg/L	ND
Silicio (Si)	0.004	mg/L	13.64
Sodio (Na)	0.02	mg/L	45.37
Talio (Tl)	0.003	mg/L	ND
Titanio (Ti)	0.0007	mg/L	0.0433
Vanadio (V)	0.002	mg/L	ND
Zinc (Zn)	0.0007	mg/L	0.0203

Tabla 2

Resultados de la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno

Parámetros orgánicos	Límite de detección	Unidad	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	mg/L	32
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O2/L	70

«En cuanto al parámetro de coliformes totales, el valor para el caso de agua para riego de vegetales es de 5,000, pero en nuestro resultado se determinó un valor de 22'000,000, que es demasiado alto.»

Tabla 3

Resultados de la determinación de coliformes fecales y totales

Parámetros microbiológicos	Límite de detección	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	1.8	NMP/100 mL	17'000,000
Coliformes totales	1.8	NMP/100 mL	22'000,000

En cuanto al parámetro de coliformes totales, el valor para el caso de agua para riego de vegetales es de 5,000, pero en nuestro resultado se determinó un valor de 22'000,000, que es demasiado alto.

En el curso del río Chili por la ciudad de Arequipa existen numerosas tuberías de desechos domésticos, que vierten su contenido directamente al río Chili, sin ningún tipo de tratamiento. Los principales puntos en donde se han identificado estas tuberías son la zona de Alata, el parque industrial y la zona de Tiabaya.

Determinación de la actividad del nopal opuntia ficus como coagulante-floculante

Se prepararon distintas concentraciones del extracto a 10%, 20%, 30%, 40%, 60% y 80%. Para la obtención del mucílago de nopal es bueno dejar macerar las pencas, ya que así se obtiene la mayor cantidad de extracto y se aprovecha su capacidad coagulante-floculante.

La actividad como coagulante y floculante de parte del extracto de nopal es relativamente lenta, a comparación de los coagulantes y floculantes químicos. El aclaramiento de las aguas se da cuando se disminuye la velocidad de la agitación y cuando se deja en reposo la muestra.

Con el transcurso del tiempo, en el proceso de coagulación-floculación, el aclaramiento de la muestra fue aumentando. A las 24 horas ya se lograba diferenciar capas, llegándose a apreciar sedimentación de materia en la parte baja. Tras haber terminado el ensayo de jarras, se determinó que la mejor concentración fue el extracto al 80%, lográndose reducir la turbidez a 18.34 y el pH a 7.11, lo cual es favorable, ya que el resto de contaminantes se logrará purificar mediante el filtro.

Tabla 4

Análisis fisicoquímico del extracto de nopal al 80%

Parámetros	Unidades	Extracto de nopal
Oxígeno disuelto	mg/L	4.20
Porcentaje de saturación	%	58.60
Temperatura	°C	18.80
Conductividad	mS/cm	4.80
Sal	Valor	2.80
Sólidos totales disueltos	mg/L	OFL
pH	Valor	4.72
Turbidez	NTU	172.00

Paralelamente se cultivó el nopal *in situ*, una vez desarrolladas las pencas, que se infestaron con la cochinilla, como se puede apreciar en la Figura 2.

Determinación de parámetros fisicoquímicos pre y post-tratamiento con el sistema *in situ*

Como se puede apreciar en la Figura 3, el agua del río Chili, en general, presenta un color oscuro y con bastante carga de materia orgánica, que se puede apreciar a simple vista.

Figura 2

Desarrollo de la cochinilla transcurridos más de cuatro meses

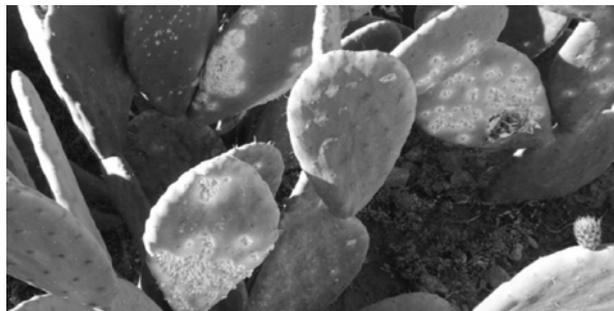


Figura 3

Terreno donde se llevó a cabo el proceso *in situ*



Muestras antes de ser tratadas con el sistema (M1: resultados del análisis fisicoquímico del agua a ser tratada con el extracto de nopal agua de río, M2: acequia proveniente del río, M3: agua de reservorio antes de aplicar el extracto de nopal, M4: inmediatamente después de aplicar el extracto de nopal). Muestras después de transcurrir 24 horas al ser tratadas con el extracto de nopal (M5: agua de río, M6: acequia proveniente del río, M7: agua del reservorio después

Tabla 5

Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras tratadas en condiciones *in situ*

Parámetros	Unidades	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Oxígeno disuelto	mg/L	4.67	4.02	4.47	2.59	4.86	4.05	1.31	4.78	4.25	2.35
Saturación D.O.	%	68.10	53.20	51.50	34.70	65.20	53.10	17.50	62.30	47.20	21.20
Temperatura	°C	19.20	18.90	15.60	18.80	16.10	16.10	18.80	16.70	16.50	17.30
Conductividad	µS/cm	520.00	503.00	470.00	868.00	497.00	495.00	929.00	485.00	489.00	860.00
Sal	valor	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20
Sólidos totales disueltos	mg/L	543.00	521.00	476.00	847.00	512.00	509.00	911.00	503.00	510.00	810.00
pH	valor	7.12	7.25	7.23	6.92	7.20	7.26	6.95	7.22	7.24	6.97
Turbidez	NTU	65.00	67.00	68.50	57.00	68.00	72.00	32.20	65.00	69.00	17.40

de haber transcurrido 24 horas). Muestras después de haber pasado por el filtro (M8: agua de río, M9: acequia proveniente del río, M10: agua obtenida después de haber pasado por el filtro).

Como podemos apreciar en la Figura 4, la materia orgánica se sedimenta en el fondo del reservorio después de aplicar el extracto de nopal al 80%.

Las tablas 6, 7 y 8 corresponden a los resultados de la evaluación en general del sistema *in situ*. Resultado 1, representa antes de aplicar el extracto de nopal *in situ*; Resultado 2, corresponde a luego de haber transcurrido 24 horas de haber aplicado el extracto

Figura 4

Fotografía del sedimento de materia orgánica



Tabla 6

Resultados de la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno

Parámetros orgánicos	Límite de detección	Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	mg/L	48	47	37
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O2/L	90	75	52

Tabla 7

Resultados de la determinación de metales totales

Metales totales	Límite de detección	Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Aluminio (Al)	0,004	mg/L	0,958	0,44	0,425
Antimonio (Sb)	0,003	mg/L	ND	ND	ND
Arsénico (As)	0,004	mg/L	ND	ND	ND
Bario (Ba)	0,0005	mg/L	0,0518	0,0343	0,0356
Berilio (Be)	0,00002	mg/L	ND	ND	ND
Bismuto (Bi)*	0,002	mg/L	ND	ND	ND
Boro (B)	0,002	mg/L	0,437	0,509	0,402
Cadmio (Cd)	0,0003	mg/L	ND	ND	ND
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	23,91	33,23	33,81
Cobalto (Co)	0,0007	mg/L	ND	ND	ND
Cobre (Cu)	0,002	mg/L	0,01	0,006	0,006
Cromo (Cr)	0,0008	mg/L	0,0051	0,0069	0,0036
Estaño (Sn)	0,0007	mg/L	ND	ND	ND
Estroncio (Sr)	0,0005	mg/L	0,2077	0,2049	0,2275
Fósforo (P)	0,003	mg/L	1,667	1,054	0,946
Hierro (Fe)	0,006	mg/L	0,926	0,467	0,392
Litio (Li)	0,008	mg/L	0,039	0,039	0,042
Magnesio (Mg)	0,008	mg/L	9,876	11,32	11,68
Manganeso (Mn)	0,003	mg/L	0,151	0,1	0,088
Molibdeno (Mo)	0,0009	mg/L	ND	ND	ND
Níquel (Ni)	0,002	mg/L	0,033	0,039	0,037
Plata (Ag)	0,002	mg/L	ND	ND	ND
Plomo (Pb)	0,001	mg/L	ND	ND	ND
Potasio (K)	0,05	mg/L	9,25	23,72	24,51
Selenio (Se)	0,006	mg/L	ND	ND	ND
Silicio (Si)	0,004	mg/L	16,95	18,77	19,06
Sodio (Na)	0,02	mg/L	40,1	41,94	44,39
Talio (Tl)	0,003	mg/L	ND	ND	ND
Titanio (Ti)	0,0007	mg/L	0,0463	0,0203	0,0216
Vanadio (V)	0,002	mg/L	ND	ND	ND
Zinc (Zn)	0,0007	mg/L	0,0307	0,0196	0,0164

Tabla 8

Resultados de la determinación de coliformes fecales y totales

Parámetros microbiológicos	Límite de detección	Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Coliformes fecales	1,8	NMP/100 mL	2,80E+07	5,40E+05	5,40E+04
Coliformes totales	1,8	NMP/100 mL	3,30E+07	5,40E+05	9,20E+04

de nopal *in situ*; y Resultado 3, corresponde a las muestras obtenidas después de haber pasado por el filtro *in situ*.

Test de jarras para sulfato de aluminio

Se realizó una evaluación del extracto de nopal con respecto a un tratamiento convencional, que es usado en las plantas de tratamiento de aguas residuales, y en el que, generalmente, se utiliza como agente coagulador y floculador el sulfato de aluminio. A continua-

ción, se muestran los resultados obtenidos al realizar ensayos con sulfato de aluminio.

M11, muestra de agua empleada para los tratamientos con sulfato de aluminio. Se realizó el test de jarras con sulfato de aluminio a distintas concentraciones, siendo 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%.

En general, en todos los tratamientos con sulfato de aluminio hubo la disminución de la turbidez, permitiendo el aclaramiento de las aguas. A una concentración de 1% los mejores tratamientos son T3 y T4, los tratamientos T5 y T6 están regulares, en cambio T1 y T2 están opacos.

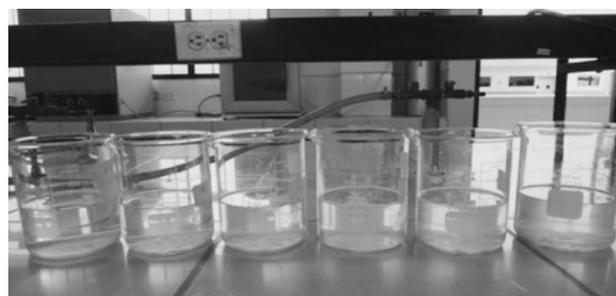
Tabla 9

Análisis fisicoquímico de la muestra de agua empleada para el test de jarras con sulfato de aluminio

Parámetros	Unidades	M11
Oxígeno disuelto	mg/L	3.72
Saturación D.O.	%	48.20
Temperatura	°C	16.40
Conductividad	µS/cm	492.00
Sal	valor	0.00
Sólidos totales disueltos	mg/L	482.00
pH	valor	7.36
Turbidez	NTU	68.00

Figura 5

Fotografía de los seis tratamientos con sulfato de aluminio al 8%

**Tabla 10**

Resultados de los valores de turbidez y pH a distintas concentraciones de sulfato de aluminio

Concentración de Al ₂ (SO ₄) ₃	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	Turbidez	pH										
1%	NTU	valor										
	9.01	7.58	5.12	7.55	0.10	7.37	0.28	7.18	0.40	6.70	1.65	5.85
2%	2.86	7.43	0.76	7.44	1.26	7.23	2.22	4.69	2.27	4.49	3.96	4.34
5%	0.54	7.00	1.75	4.56	4.65	4.31	8.70	4.35	12.94	4.20	13.56	4.26
8%	1.11	4.74	4.19	4.33	10.34	4.20	16.38	4.16	14.33	4.15	14.46	4.16
11%	3.36	4.38	5.77	4.29	8.23	4.14	8.13	4.14	7.80	4.12	7.60	4.09

T1: 1ml., T2: 2ml., T3: 3ml., T4: 4ml., T5: 5ml. y T6: 6ml.

Aplicación de sulfato de aluminio *in situ*

En la Tabla 11, se muestran los resultados de la aplicación de sulfato de aluminio *in situ* a una concentración de 1%.

Resultados del análisis fisicoquímico del agua a ser tratada con el sulfato de aluminio *in situ* (M12: agua de río, M13: acequia proveniente del río, M14: reservorio antes de aplicar el sulfato de aluminio, M15: reservorio inmediatamente después de aplicar el sulfato de aluminio). Resultados del análisis de las aguas tras haber transcurrido 24 horas de haber aplicado el sulfato de aluminio *in situ* (M16: agua de río, M17: acequia proveniente del río, M18: agua de reservorio después de 24 horas de haber aplicado el sulfato de aluminio).

En la Tabla 12 se muestran los resultados de la determinación de coliformes fecales y totales antes y después del tratamiento con sulfato de aluminio.

Resultado 1, correspondiente a la determinación de coliformes fecales y totales antes de aplicar el sulfato de aluminio; Resultado 2, correspondiente a 24 horas de haber aplicado el sulfato de aluminio.

Se requiere relativamente una buena cantidad de sulfato de aluminio para la dosis para aguas residuales,

Figura 6

Fotografía del reservorio con tratamiento de sulfato de aluminio al 1% tras haber transcurrido 24 horas



que es de 100-300g por m³, esto según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad (Castillo, 2011).

Obtención de productos secundarios

Se llegaron a obtener, como productos del cultivo de nopal, la cochinilla y los frutos de ésta, así como la tuna, como se aprecia en la Figura 7. Del área de cultivo, que es de 36 m², tras haber transcurrido cinco meses desde la infestación con chinilla, se logró obtener un total de 261.90g. Se debe considerar que de haber infestado las nuevas pencas que ya esta-

Tabla 11

Resultados del análisis fisicoquímico de diversas muestras de agua en condiciones *in situ*

Parámetros	Unidades	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Oxígeno disuelto	mg/L	4.49	4.54	4.53	4.77	3.93	3.53	4.83
Saturación D.O.	%	56.70	57.30	53.90	60.60	50.70	44.50	63.50
Temperatura	°C	14.40	14.50	14.30	14.20	15.90	16.10	16.00
Conductividad	µS/cm	490.00	488.00	491.00	514.00	501.00	496.00	535.00
Sal	valor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sólidos totales disueltos	mg/L	479.00	478.00	481.00	504.00	491.00	486.00	526.00
pH	valor	7.45	7.47	7.44	6.63	7.40	7.42	6.98
Turbidez	NTU	59.00	56.00	48.07	73.00	69.00	74.00	5.40

Tabla 12

Resultados de la determinación de coliformes fecales y totales antes y después del tratamiento

Parámetros microbiológicos	Límite de detección	Unidad	Resultado 1	Resultado 2
Coliformes fecales	1,8	NMP/100 mL	7,90E+05	2,40E+02
Coliformes totales	1,8	NMP/100 mL	5,40E+06	3,50E+02

Figura 7

Fotografía de los productos obtenidos: la tuna y la cochinilla



ban listas para ser infestadas, la producción hubiera aumentado fuertemente.

En general, el extracto de nopal presenta grandes beneficios frente al uso de otros compuestos químicos para el tratamiento de aguas, ya que no solo se logra reducir la carga contaminante al aplicar el extracto de nopal, como se puede apreciar en la Figura 8, sino que el mismo cultivo puede ser fuente de ingresos económicos, ya que la cochinilla producida tiene un valor económico, al igual que los frutos de la tuna, como se puede apreciar en la Figura 7. Pero entre lo más resaltante está que el nopal no requiere de mucha agua ni de mayor atención para su cultivo se desarrollan solas; además, se sabe que ayuda a restaurar los suelos. Viendo estas ventajas, el nopal podría ser una alternativa atractiva para ser propagada masivamente en Arequipa.

Figura 8

Sedimentación de una muestra de agua tratada con extracto de nopal (izquierda) y una penca de nopal presentando cochinilla y el fruto de la tuna (derecha)



Relevancia del resultado producido y su aporte

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad que tiene el sistema. Cabe resaltar que los agricultores

«En general, el extracto de nopal presenta grandes beneficios frente al uso de otros compuestos químicos para el tratamiento de aguas.»

riegan sus cultivos con aguas directamente del río Chili, sin ningún tipo de tratamiento, por lo que la presencia, principalmente de coliformes, es elevada en los cultivos, que en su mayoría son de tallo corto, como la cebolla, el ajo, el perejil, la lechuga, entre otras, que son los que más se cultivan en Arequipa. De ahí la importancia de tratar estas aguas, ya que al regar los cultivos con agua contaminada se generan enfermedades, como las que padece la población, de tipo gastrointestinales, cánceres, entre otros.

Con este sistema vemos que se logran disminuir los niveles de estos contaminantes. Se resalta la importancia de usar coagulantes-floculantes naturales, como es el extracto de nopal, ya que es una tecnología biodegradable y amigable con el medio ambiente. Aplicar este sistema puede reducir la contaminación que provocan las aguas no tratadas. Habrá una restauración ecológica del agua y proporcionará una alternativa sustentable.

El sistema, en general, sirve para disminuir la carga contaminante, principalmente materia orgánica. El agua purificada permitiría el riego de cultivos y, a su vez, se lograrían aprovechar los cultivos de nopal, ya que se obtendría la cochinilla y la tuna, que tienen valor económico, como se ha mostrado en el presente trabajo.

Conclusiones

Primero:

Se corroboró que a lo largo del río Chili existen numerosas tuberías de desechos domésticos que vierten su contenido directamente al río, sin ningún tipo de tratamiento. En las zonas de Alata, parque industrial, y Tiabaya hay más presencia de estas tuberías. El análisis inicial que se realizara a las aguas del río Chili muestran su grado de contaminación, en especial de coliformes fecales y totales, alcanzando valores de 17'000,000 y 22'000,000 NMP/100mL, respectivamente. La presencia de metales como el aluminio, con una concentración de 0.952 mg/L; y hierro, con 0.909 mg/L, quizás se deba a los desechos del parque industrial de Arequipa. La presencia de fósforo, con



En el curso del río Chili por la ciudad de Arequipa existen numerosas tuberías de desechos domésticos, principalmente en las zonas de Alata, el parque industrial y la zona de Tiabaya.

1.114 mg/L, se debe al uso de pesticidas, fertilizantes químicos que son aplicados en los cultivos.

Segundo:

El nopal resultó ser un buen coagulante-floculante, encontrándose la dosis óptima con una concentración de 80% y lográndose reducir la turbidez hasta un valor de 18.34 y un pH de 7.11, lo cual es favorable, ya que el resto de contaminantes se logrará purificar mediante el filtro.

Tercero:

El tratamiento *in situ*, al aplicar el sistema, redujo el nivel de contaminantes en los parámetros microbiológicos, pasando de una concentración inicial de coliformes fecales y totales de $2,80E+07$ y $3,30E+07$ NMP/100 ml, hasta llegar a tener una concentración final de $5,40E+04$ y $9,20E+04$ NMP/100 ml, respectivamente. En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, se observó una reducción de 90 mgO₂/l y 48 mgO₂/l, hasta 52 mgO₂/l y 37 mgO₂/l, respectivamente.

Cuarto:

De los ensayos para la determinación de la concentración óptima de sulfato de aluminio, se determinó que es a una concentración de 1%, llegándose a reducir de una turbidez de 68 NTU a 0.10 NTU.

Quinto:

Este sistema podría ser una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas, ya que actualmente las aguas empleadas para el riego de cultivos, especialmente en el distrito de Tiabaya, presentan un alto índice de contaminación, que puede ser reducido por este sistema.