

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL E INFORMATIZADA DE LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO TOTAL EN EL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO DE QUEQUEÑA, AREQUIPA, UTILIZANDO SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN CARBÓN ACTIVADO DE CORONTA DE MAÍZ BLANCO (*Zea mays* L) Y CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*)

Tesis presentada por las Bachilleres:

Gonzales Fuentes, Cinthia Sofía
Segovia Alcázar, Claudia Alejandra

Para Optar El Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Roque Rodríguez, Francisco
Javier

Arequipa – Perú

2020

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 11 de Junio del 2020

Dictamen: 000666-C-EPIA-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000666, presentado por:

2012601022 - SEGOVIA ALCAZAR CLAUDIA ALEJANDRA

2012600902 - GONZALES FUENTES CINTHIA SOFIA

Titulado:

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL E INFORMATIZADA DE LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO TOTAL EN EL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO DE QUEQUEÑA, AREQUIPA, UTILIZANDO SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN CARBÓN ACTIVADO DE CORONTA DE MAÍZ BLANCO (ZEA MAYS L) Y CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA)

Nuestro dictamen es:

APROBADO

2028 - ROQUE RODRIGUEZ FRANCISCO JAVIER
DICTAMINADOR



2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR



DEDICATORIAS

*A DIOS, por su guía y ánimo durante el tiempo del desarrollo de la tesis.
A mis padres Felipe y Charo, pilares fundamentales de mi vida, quienes con su amor,
paciencia y esfuerzo me han permitido alcanzar una meta más.
A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional durante este proceso.*

Cinthia Sofía Gonzales Fuentes

*A Dios, por habernos dado la vida, y la bendición más grande que es nuestra familia,
A mi madre Gladys que es la persona más importante y especial que tengo, a mi padre
Gine que desde el cielo me guía por el camino de la vida, ellos son mis motores de la vida,
a mis hermanos Andrea, Luis y mi abuela Martha que son mi fuente de apoyo, todos ellos
son la muestra de amor incondicional en mi vida y fortaleza.*

Claudia Alejandra Segovia Alcazar

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud en primer lugar a Dios por un logro más en nuestras vidas, por ser nuestro guía, por darnos la fortaleza y sabiduría para concluir esta etapa de nuestra carrera como profesionales.

Agradecimiento especial a nuestros padres, que han sido nuestra mayor motivación y gracias a ellos hemos logrado llegar hasta aquí pudiendo cumplir nuestras metas.

A nuestro Asesor Ing. Francisco Javier Roque Rodríguez, por dedicarnos su tiempo, la orientación y ayuda brindada para la realización de nuestra investigación, por sus conocimientos y fortaleza en el camino de toda nuestra investigación.

A la Universidad Católica Santa María y los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales, crecer como seres humanos y transmitirnos los conocimientos adquiridos durante nuestra formación universitaria.

RESUMEN

El arsénico y sus compuestos son considerados como cancerígenos para los humanos y en ciertas regiones existe evidencia epidemiológica de alteraciones a la salud ante el consumo prolongado de aguas arsenicales. En el distrito de Quequeña, el agua potable distribuida a la población excede la concentración máxima permisible dada por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la reducción de arsénico total en el agua potable distribuida en el distrito de Quequeña – Arequipa, utilizando sistemas de tratamiento basados en carbón activado de coronta de maíz blanco (*Zea mays l*) y cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) y finalmente realizar una propuesta de diseño de la planta de tratamiento de agua potable del distrito.

En los ensayos realizados se utilizó 03 precursores: cáscara de plátano, coronta de maíz y una mezcla de ambos, se realizó la variación de cantidades de cada precursor en un tratamiento de 1 litro de agua, la concentración inicial de arsénico fue de 0.014 mg/L. De los resultados obtenidos el precursor que realizó una mejor remoción de la concentración de arsénico fue el carbón activado de coronta de maíz, el cual logró reducir un 48.8% la concentración de arsénico en el agua, permitiendo que la calidad de agua potable cumpla con la normativa vigente.

A partir de los resultados obtenidos y su análisis mediante regresiones lineales con valor de $R > 0.90$, se realizó un diseño de la Planta de Tratamiento de Agua potable del Distrito, incluyendo este proceso en su tratamiento y mejorando algunas etapas de la misma, con la finalidad de que cumpla con el Reglamento de Calidad de Agua Potable.

Palabras clave: bioadsorción, arsénico, carbón activado, planta de tratamiento de agua potable.

ABSTRACT

Arsenic and its compounds are considered carcinogenic to humans and in certain regions there is epidemiological evidence of changes in health due to prolonged consumption of arsenic waters. In the Quequeña district, the drinking water distributed to the population exceeds the maximum allowable concentration given by the Regulations for the Quality of Water for Human Consumption.

The objective of this work was to evaluate the reduction of total arsenic in the drinking water distributed in the Quequeña - Arequipa district, using treatment systems based on activated charcoal from white maize (*Zea mays l*) and banana peels (*Musa paradisiaca*). and finally make a design proposal for the district's drinking water treatment plant.

In the tests carried out, 03 precursors were used: banana peel, corn kernel and a mixture of both, the quantities of each precursor were varied in a treatment of 1 liter of water, the initial concentration of arsenic was 0.014 mg / L. Of the results obtained, the precursor that performed the best removal of the concentration of arsenic was activated corn crown charcoal, which managed to reduce the concentration of arsenic in the water by 48.8%, allowing the quality of drinking water to comply with the regulations in force.

Based on the results obtained and their analysis using linear regressions with a value of $R > 0.90$, a design of the District's Drinking Water Treatment Plant was carried out, including this process in its treatment and improving some stages of it, with the purpose of complying with the Drinking Water Quality Regulation.

Keywords: bioadsorption, arsenic, activated carbon, drinking water treatment plant

INTRODUCCION

Actualmente, uno de los principales problemas ambientales a nivel global es la contaminación de las fuentes de agua natural por lo que contaminantes, como metales pesados, generan una gran preocupación debido a la persistencia que presentan. Según la OMS, el arsénico es una de las 10 sustancias químicas más preocupantes para la salud pública.

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico (OMS, 2017).

El arsénico (As) puede aparecer en el agua a través de procesos de meteorización química o por disolución de minerales. También puede estar presente por contaminación antrópica debido a actividades como la minería o el uso de plaguicidas (Francisca, F & Carro, M, 2014).

Estudios epidemiológicos han permitido desarrollar conocimientos a partir de los cuales la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la última década ha recomendado el límite de concentración de As para agua de bebida en 0.01 mg/L (OMS, 2011). El consumo prolongado de agua con arsénico ha sido asociado con el cáncer de piel, pulmones, riñones e hígado, además de problemas de piel y vejiga (Smith, et al. 2000).

Las tecnologías usuales para remoción de este contaminante son coagulación-filtración, intercambio iónico, adsorción en alúmina activada y ósmosis inversa. Si bien cualquiera de ellas tiene alta eficiencia también tienen limitaciones en términos de sus altos costos de inversión, mantenimiento y el requerimiento de personal calificado para la operación de las plantas (Rivera, M & Piña, M, 2005).

Además, los materiales y compuestos utilizados en procedimientos aplicados actualmente provienen de fuentes no renovables y no son biodegradables lo que presenta un problema para su depósito (EPA, 2001). Los residuos con Arsénico (As) son difíciles de manejar, ya que no es posible la "destrucción" del material. Los lodos residuales obtenidos en las plantas de tratamiento deben ser deshidratados, por ejemplo, en lechos de secado (Iliná et al. 2009).

En esta coyuntura se hace necesaria la búsqueda de materias primas renovables y de bajo costo que reemplacen a las tradicionales utilizadas para producir estos materiales para el tratamiento de agua. Una de las alternativas es el uso de residuos agrícolas, como precursores de carbones activados. Se ha comprobado que estos materiales lignocelulósicos son precursores idóneos para la producción de carbones activados con alta porosidad, y sobre todo alta mesoporosidad, además han sido usados exitosamente en la adsorción de contaminantes de aguas (Cruz et al. 2016).

Teniendo en cuenta esta situación, se busca desarrollar e implementar nuevas tecnologías con las cuales se puedan llevar a cabo la reducción del arsénico en las aguas de forma más económica, eficiente y amigable con el medio ambiente para así prevenir enfermedades relacionadas con la ingesta de arsénico, por lo que en la presente investigación se pretende evaluar el tratamiento de las aguas contaminadas con arsénico a través de un sistema de filtrado con carbón activado generado a partir de la coronta de maíz y cáscara de plátano, las cuales son uno de los residuos generados en mayor producción en la ciudad de Arequipa.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
CAPÍTULO I	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1. Diagnóstico Situacional	7
1.2. Formulación del problema	9
1.3. Hipótesis	10
1.4. Objetivos	10
1.5. Justificación	10
1.6. Variables	11
1.7. Alcances de la investigación	12
1.8. Limitaciones de la investigación	12
CAPÍTULO II	13
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes de la investigación	13
2.2. Marco teórico	14
2.2.1. Arsénico en aguas contaminadas	14
2.2.2. Toxicidad de Arsénico en aguas	16
2.2.3. Remoción de metales pesados y de Arsénico	29
2.2.4. Método Espectrofotométrico - Generador Gutzeit	39
2.2.5. Carbón Activado	40
2.2.6. Mecanismos de adsorción	58
2.3. Marco Conceptual	59
2.3.1. Área de influencia	59
2.3.2. Ubicación	59
2.3.3. Cuenca Hidrográfica	59
2.3.4. Demanda de agua potable para población de Quequeña	60

2.3.5.	Sistema de Tratamiento del Agua Potable de Quequeña.....	62
2.3.6.	Calidad del Agua Potable	63
CAPÍTULO III		66
3.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	66
3.1.	Tipo de Investigación	66
3.2.	Campo de verificación (ubicación y unidades de estudio).....	66
3.2.1.	Ubicación espacial.....	66
3.2.2.	Unidades de estudio	66
3.3.	Población, muestreo y muestra.....	66
3.3.1.	Población.....	66
3.3.2.	Muestreo.....	67
3.3.3.	Muestra.....	67
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	67
3.4.1.	Técnicas.....	67
3.4.2.	Instrumentos	67
3.5.	Materiales y equipos.....	67
3.5.1.	Materiales de Estudio	67
3.5.2.	Materiales y Equipos de campo.....	67
3.5.3.	Material y equipo de laboratorio	68
3.6.	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	69
A.	Obtención y caracterización de la muestra de agua inicial.....	69
B.	Obtención de Carbón Activado	70
C.	Diseño y Configuración experimental del Sistema de Adsorción.....	71
D.	Diseño y Configuración experimental del método del generador Gutzeit y determinación de capacidad de adsorción por medio de Espectrofotometría	72
E.	Simulación en 3D el comportamiento dinámico de la reducción de las aguas contaminadas con arsénico en operación optimizada.....	73
CAPÍTULO IV		75
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	75
A.	Obtención y caracterización de la muestra de agua inicial.....	75
B.	Obtención de Carbón Activado	77
C.	Diseño y Configuración experimental del Sistema de Adsorción.....	79
D.	Diseño y Configuración experimental del método del generador Gutzeit y determinación de capacidad de adsorción por medio de Espectrofotometría	80

E. Simulación en 3D el comportamiento dinámico de la reducción de las aguas contaminadas con arsénico en operación optimizada.....	95
CAPÍTULO V	101
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS.....	114



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables dependientes del proceso.....	11
Tabla 2. Países que han reportado arsénico en aguas subterráneas (Petruservi et al, 2007)	20
Tabla 3. Promedio del reporte del análisis de Calidad del agua potable asociada al As para distintas EPS (1995-2003).....	26
Tabla 4. Concentraciones máximas permisibles de arsénico (mg/l) según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua Perú (MINAM, 2017).....	27
Tabla 5. Condiciones experimentales de intercambio iónico a través de resinas (Zewail, T & Yousef, N, 2015)	30
Tabla 6. Condiciones experimentales de algunos carbones (Karnib et al., 2014).....	32
Tabla 7. Remociones de metales pesados empelando técnicas de precipitación química (Chen et al., 2009).....	33
Tabla 8. Remoción de metales pesados mediante Coagulación- Floculación (Castro de Esparza, M.L. & Wong, M., 1999).....	34
Tabla 9. Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico (Castro de Esparza, M.L. & Wong, M., 1999)	35
Tabla 10. Remoción de metales pesados mediante técnica de Flotación (Polat, H & Erdogan, D, 2007).....	36
Tabla 11. Principales materias primas y tecnologías con las que se fabrican carbones activados y valores típicos de las principales propiedades obtenidas (Sevillano, A & Torres, P, 2013).....	45
Tabla 12. Principales aplicaciones de carbón activado en tratamiento de agua de acuerdo con su origen (Ramirez, C, 2009).....	46
Tabla 13. Composición química de la cáscara del plátano (Monsalve, et al. 2006).....	48
Tabla 14. Área y Producción por regiones productoras de Plátano – 2007 (FAO).....	50
Tabla 15: Principales países productores de Plátano (FAO)	50
Tabla 16. Resultados del Análisis de la calidad de Agua de Bebida del Distrito de Quequeña (ALS CORPLAB, 2016)	63
Tabla 17. Distribución de muestras de Carbón Activado.....	71
Tabla 18. Número de repeticiones por muestra de Carbón Activado.....	71
Tabla 19. Resultados de parámetro de campo	75
Tabla 20. Resultados de concentración de arsénico	76
Tabla 21. Porcentaje de pérdida de humedad de cada precursor.....	77
Tabla 22. Pesos de cada precursor por proceso	78
Tabla 23. Composición de cada cartucho de carbón activado.....	79
Tabla 24. Volumen estimado para cada fiola	80
Tabla 25. Absorbancias de la curva patrón.....	80
Tabla 26. Absorbancias de cada muestra.....	82
Tabla 27: Concentraciones de Arsénico obtenidas.....	83
Tabla 28: Concentración obtenida de cada precursor.....	85
Tabla 29: Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz.....	86

Tabla 30: Concentración de Arsénico usando carbón activado de Cáscara de plátano.....	87
Tabla 31: Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz y cáscara de plátano.....	88
Tabla 32. Comparación de la concentración inicial y final de Arsénico en el agua.....	89
Tabla 33. Porcentaje de Arsénico removido.....	91
Tabla 34. Comparación porcentaje de Arsénico removido con Muestra de Coronta de Maíz	92
Tabla 35: Cantidad de coronta de maíz necesaria para el diseño	96
Tabla 36: Parámetros de diseño del Filtro	97
Tabla 37: Resultados investigación (Aguilar et al, 2016)	115
Tabla 38: Resultados investigación N°03 (Parravacini, J, 2016).....	115

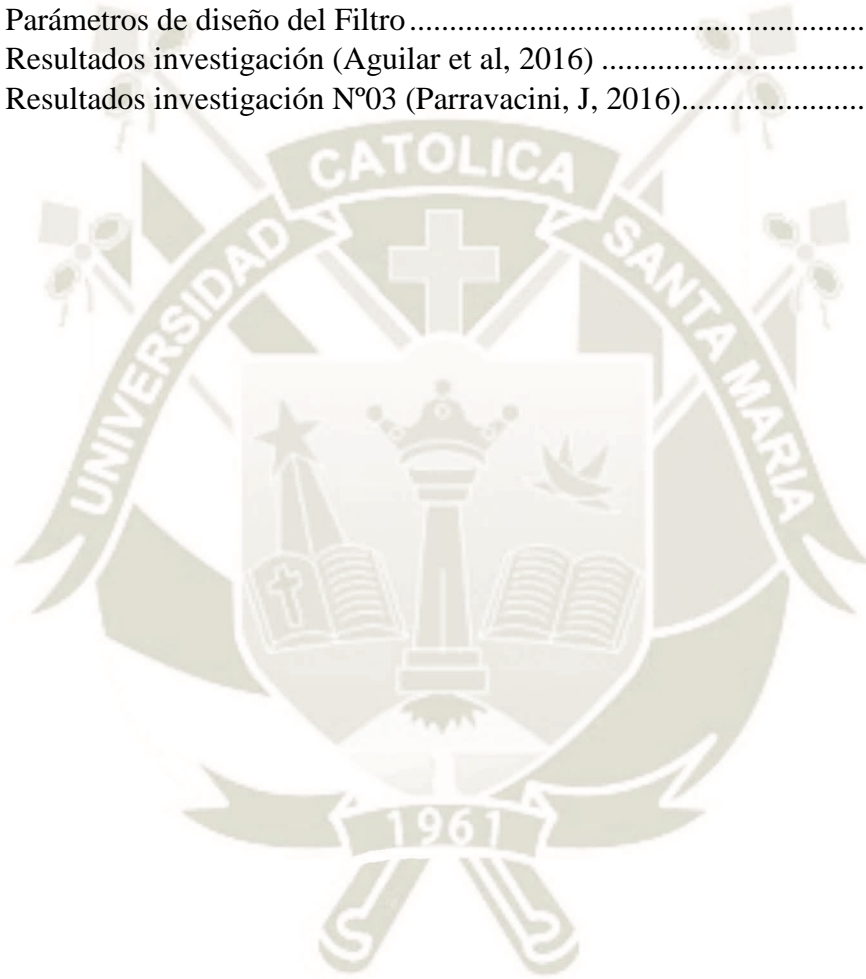


Figura 1. Presencia de especies de arsénico en agua en el sistema As-O ₂ -H ₂ O a 298.15 °K (25°C) y 1 atm (Smedley & Kinniburgh, 2002)	16
Figura 2. Países en los que se ha reportado presencia de arsénico en agua subterránea o superficial (Petruševski et al, 2007)	21
Figura 3. Población cronológica estimada, expuesta a concentraciones de arsénico >50ug/l en aguas de consumo humano. (McClintock et al 2012).	23
Figura 4. Sistema método Gutzeit	40
Figura 5. Fórmula Química de la Celulosa (Mendez, K, 2008)	48
Figura 6. Fórmula Química de Hemicelulosa (Tapia, N, 2003)	49
Figura 7. Fórmula Química de la Pectina (Tapia, N, 2003)	49
Figura 8. Países con mayor producción de plátano en 2016 (Olmo Axayacatl, 2016) ..	52
Figura 9. Data histórica de producción de Plátano en el Perú (Actualitix, 2016)	53
Figura 10. Superficie instalada para el cultivo de plátano a nivel nacional según Datos del Minagri (MINAGRI, 2015)	53
Figura 11. Mapa Hidrográfico ¹	60
Figura 12. Ubicación del Sistema de Tratamiento	62
Figura 13. Comparación de la concentración de Arsénico Total	76
Figura 14. Curva patrón.....	81
Figura 15. Curva N°1	83
Figura 16. Curva N°2.....	84
Figura 17. Curva N°3.....	84
Figura 18. Concentración de Arsénico en las muestras tratadas	85
Figura 19. Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz.....	87
Figura 20. Concentración de Arsénico usando carbón activado de cáscara de plátano .	88
Figura 21. Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz y cáscara de plátano	89
Figura 22. Comparación de la concentración inicial y final de Arsénico en el agua	90
Figura 23. Porcentaje de Arsénico removido	91
Figura 24. Comparación porcentaje de Arsénico removido con Muestra de Coronta de Maíz.....	93
Figura 25: Propuesta de diseño del sistema de Tratamiento de Agua Potable de Quequeña	98
Figura 26. Precursor coronta de maíz.....	126
Figura 27. Precursor cascara de plátano	126
Figura 28. Proceso de molienda de precursores	126
Figura 29. Proceso de tamizado de precursor de cáscara de plátano.....	127
Figura 30. Proceso de tamizado de precursor de coronta de maíz	127
Figura 31. Uso de mufla para la obtención de carbón activado de los precursores.....	127
Figura 32. Obtención de carbón activado de los precursores	128
Figura 33. Proceso de secado del carbón activado	128
Figura 34. Proceso de tamizado del carbón activado	128
Figura 35. Almacenamiento del carbón activado	129
Figura 36. Proceso de armado de filtros con carbón activado.....	129
Figura 37. Sistema de montaje del proceso de filtración usando carbón activado.....	129
Figura 38. Sistema de generador Gutzeit para remoción de arsénico	130

Figura 39. Sistema de captación del río Yarabamba para la PTAP de Quequeña.....	130
Figura 40. Inicio del sistema de tratamiento de la PTAP de Quequeña	130
Figura 41. Canales de inicio del Sistema y proceso de cribado de la PTAP de Quequeña	131
Figura 42: Pozos de tratamiento primario de filtración de la PTAP	131
Figura 43: Sistema de salida del tratamiento primario (sedimentación) de la PTAP de Quequeña.....	131
Figura 44: Sistema de cloración del agua.....	132
Figura 45: Tanque de dosificación de cloro para el reservorio de agua.....	132
Figura 46. Simulación 3D del sistema de tratamiento de agua potable de Quequeña..	133



ANEXO 1. Antecedentes del uso del carbón activado generado por la Cáscara de Plátano para remoción de metales pesados	114
ANEXO 2. Antecedentes del uso del carbón activado generado por la Coronta de Maíz para remoción de metales pesados	116
ANEXO 3. Ubicación del sistema de Tratamiento de Agua Potable de Quequeña	118
ANEXO 4. Informe de antecedentes de la calidad de agua distribuida a la población de Quequeña.....	119
ANEXO 5. Informe de Ensayo inicial de muestra de agua distribuida a la población de Quequeña.....	122
ANEXO 6: Informe de Monitoreo de Arsénico en agua del tratamiento realizado con carbón de Coronta de Maíz	124
ANEXO 7: Galería Fotográfica.....	126
ANEXO 8: Simulación 3D del sistema de tratamiento de agua potable de Quequeña	133

As	:	Arsénico
DEDTCP	:	Dietilcarbamato de plata
DIGESA	:	Dirección General de Salud
ECA	:	Estándares de Calidad Ambiental
Eh	:	Potencial redox
EPS	:	Empresa Prestadora de servicio
FAO	:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
LMP	:	Límites Máximos Permisibles
mg/L	:	unidad miligramo por litro
MINAGRI	:	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	:	Ministerio del Ambiente
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas
MMM	:	Mercado Mayorista Metropolitano
MVCS	:	Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento
OMS	:	Organización Mundial de Salud
PAC	:	Carbón Activado tipo polvo
ppm	:	unidad partes por millón
TM	:	Tonelada métrica
ug/L	:	Unidad microgramo por litro
us/cm	:	unidad microsiemens por centímetro
v/v	:	concentración volumen

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este capítulo presenta una revisión bibliográfica de la problemática de las aguas con arsénico a nivel regional y nacional y en específico en la zona de estudio, en el segundo punto se muestra las evidencias que ayudan a definir el problema; seguidamente del objetivo principal del trabajo de investigación, como los pasos a realizar que son considerados como los objetivos específicos. Como punto final se presenta el porqué de nuestra investigación a través de la justificación en distintos ámbitos.

1.1. Diagnóstico Situacional

El arsénico es un elemento que clasifica como un metaloide, ya que posee propiedades químicas y físicas tanto de los metales como de los no metales. Es un elemento tóxico a la salud que persiste en el ambiente como resultado de contaminación natural y antropogénica (Francisca, F & Carro, M, 2014)

Debido a que el arsénico se encuentra en el ambiente, los posibles modos de exposición son contacto, digestión e inhalación. Dependiendo de la concentración del arsénico este puede afectar la salud del hombre. Aun cuando el arsénico se encuentra en concentraciones bajas la cantidad total ingerida a través del agua puede resultar apreciable, puesto que, por término medio, una persona consume diariamente dos litros de agua, correspondiendo un 60% de esta ingesta a agua potable. Agrava este hecho el que este elemento se presenta en el agua en forma iónica, por lo que es fácilmente absorbible (Flores, E & Pérez, J, 2009).

A su vez, una exposición prolongada de arsénico produce alteraciones de la piel (dilatación de capilares cutáneos) irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético; además una acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones; también se lo ha relacionado con cáncer de la vejiga, pulmón, piel, renal, fosas nasales, hígado, y próstata (Castro, M, 2006). A fin de eliminar o minimizar este problema de arsénico en agua de consumo, diversas instituciones responsables de salud y ambiente de diferentes países revisan continuamente sus valores de arsénico en agua para consumo. En nuestro país la

institución responsable es la Dirección General de Salud y Ambiente (DIGESA),

tal motivo se estableció mediante el Decreto Supremo N°031-2010-SA el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que establece un límite máximo permisible de arsénico de 0.01 mg As/L (DIGESA, 2011).

El distrito de Quequeña, uno de las más antiguos de Arequipa, cuya población es de 1473 habitantes, según reporte del INEI del 2018, cuenta con un sistema de captación y distribución de agua potable a cargo de la Municipalidad del Distrito, el agua de captación es proveniente del río Yarabamba, su sistema de tratamiento solamente consiste en la sedimentación, filtro lento y finalmente la cloración (Municipalidad Distrital de la Villa de Quequeña - Arequipa, 2017).

El principal problema de la localidad son las enfermedades de origen hídrico, el cual es causado por consumo de agua de mala calidad, corroborado por medio de entrevistas hechas a los especialistas técnicos del centro de salud de la Municipalidad Distrital de Quequeña, quienes afirmaron que el principal motivo de las visitas al puesto de salud, es a consecuencia de las enfermedades parasitarias y gastrointestinales (Municipalidad Distrital de la Villa de Quequeña - Arequipa, 2017).

Según el Informe de Monitoreo de Calidad de Agua de Bebida, realizado en la plaza de la localidad de Quequeña, teniendo como muestra el agua potable ya tratada, se encontró que la concentración de arsénico total fue de 0.02351mg As/L, la cual excede la concentración máxima permisible dada por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA (0.01 mg As/L) (ALS CORPLAB, 2016).

Por otra parte, según el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la provincia de Arequipa, el tipo de residuo que se genera en mayor proporción en la provincia es de materia orgánica (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2019).

En el caso de la coronta de maíz, en el último mes del año 2017, la producción de maíz totalizó 108 mil 739 toneladas, cifra que significó un incremento de 37,4% al compararlo con el mismo mes del 2016; dio a conocer el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) mediante el Informe Técnico Perú: Panorama Económico Departamental, elaborado con información proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT), entre otros. (INEI, 2018). Lo mismo sucede con el caso de la cáscara de

plátano, la cual, en los últimos 17 años, la producción nacional de plátano creció a un ritmo de 2,1% anual, de modo que en el 2000 se produjo 1,44 millones de tn. Hasta que, en el 2016 se llegó a producir 2,07 millones de tn. Este mayor crecimiento se debió al incremento en las áreas cosechadas (1,5% por año) y a la mejora en el rendimiento (1%) de esta fruta. Arequipa importa de las principales regiones como San Martín, Loreto, Ucayali, Piura y Huánuco este producto. (MINAGRI, 2017), por otro lado, la cáscara de plátano además de ser un residuo barato y altamente disponible, cuenta en su composición con hidroxila y carboxila de pectina, que son elementos capaces de absorber no sólo metales pesados sino también compuestos orgánicos.

En este sentido, una de las alternativas para el reciclaje de estos materiales es su potencial utilización para la elaboración de carbón activado, un material de alta área superficial que tiene múltiples aplicaciones en los campos del tratamiento de agua y aire contaminados.

Los sistemas de tratamiento de agua basados en materiales adsorbentes son costosos, que dificulta su empleo generalizado por la población. Esta desventaja podría superarse con el uso de materiales de bajo costo que permitan hacer rentable la utilización de los mismos a mayor escala. Adicionalmente constituye una alternativa para el remplazo o complemento del tratamiento convencional de potabilización de agua o tratamiento de aguas residuales domésticas, de tal forma que permitiría la reducción de contaminantes específicos difíciles de eliminar con tratamientos convencionales (Cruz, et al. 2015).

Por este motivo, en la presente investigación se planteará como solución a la contaminación de aguas con arsénico, un sistema de tratamiento implementando un sistema de filtrado por medio de carbón activado tipo Polvo (PAC) generado por la coronta de maíz y la cáscara de plátano, para el cumplimiento de la Normativa ambiental vigente, para consumo de agua potable.

1.2. Formulación del problema

La concentración de Arsénico en el agua genera diversas enfermedades patológicas convirtiéndose en un problema ambiental al ser un metal pesado; sobre todo en el ámbito social ya que tiene propiedades bioacumuladoras, para ello nos centraremos

en la reducción de este metal pesado por medio del reaprovechamiento de residuos vegetales y frutales a partir del PAC como medio adsorbente.

1.3. Hipótesis

Aplicando la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) y la coronta de maíz blanco (*Zea mays l.*) como bioadsorbente en aguas contaminadas con arsénico total, se logra reducir la concentración de este metal pesado.

1.4. Objetivos

Objetivo General:

Evaluar experimentalmente e informativamente la reducción de arsénico total en el agua potable distribuida en el distrito de Quequeña – Arequipa, utilizando sistemas de tratamiento basados en carbón activado de coronta de maíz blanco (*Zea mays l.*) y cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*).

Objetivos Específicos:

- Generar carbón activado en polvo a partir de coronta de maíz blanco (*Zea mays l.*) y cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*).
- Caracterizar el agua cruda potable del distrito de Quequeña.
- Evaluar el porcentaje de remoción de arsénico del carbón activado generado a partir de los compuestos orgánicos seleccionados.
- Diseñar un sistema de tratamiento para la reducción de aguas contaminadas con arsénico en la localidad de Quequeña.
- Simular en 3D el comportamiento dinámico de la reducción de las aguas contaminadas con arsénico en operación optimizada.

1.5. Justificación

Ambiental: Teniendo en cuenta que la presencia de arsénico en las fuentes de agua presenta diversos efectos negativos en el ambiente como en la salud de las personas debido a sus propiedades hiperacumuladoras, el proyecto pretende la reducción de arsénico en el agua de consumo de la Localidad de Quequeña, a partir de la elaboración de carbón activado de tipo polvo PAC, generado a partir de residuos

orgánicos tanto frutales como vegetales que son producidos en mayor cantidad en la ciudad, aprovechando sus propiedades para su reutilización.

Social: La presente investigación está enfocada en mejorar la calidad de vida de la población, ya que permitirá la reducción de la proliferación de roedores y vectores ocasionada por una disposición inadecuada de los residuos, y a su vez prevenir diversas enfermedades gastrointestinales, diarreicas, neurológicas y dérmicas causadas por el consumo de agua con arsénico en la localidad de Quequeña.

Económico: En el ámbito económico el sistema de tratamiento a implementar en nuestra investigación es de bajo costo, ya que se reaprovechará los residuos orgánicos generados en mayor cantidad en la población, y no empleará un sistema de tratamiento convencional que representa los coagulantes, floculantes, etc. Reduciendo los costos entre un 25–30% en relación a los coagulantes sintéticos como sulfato de aluminio y cloruro férrico (Ramirez, H & Jaramillo, J, 2015).

Institucional: La investigación tratada es de carácter importante para la Municipalidad Distrital de Quequeña, ya que sus aguas para consumo humano no cumplen el límite máximo permisible de Arsénico, por lo que se podrá implementar nuestra investigación a su sistema de tratamiento de agua potable, y a su vez servir de base para los distritos aledaños que tienen la misma fuente de captación.

Técnico-Científico: El método de filtración por medio de carbón activado generado a partir de residuos orgánicos, busca la reducción del arsénico y el aprovechamiento de la disposición inadecuada de los residuos en los mercados y en los viveros donde se puede potencializar su uso.

1.6. Variables

Tabla 1. Variables dependientes del proceso

	Variable	Definición	Indicadores
Dependiente	Bioadsorción de arsénico	Capacidad de remoción de arsénico por	%

gramo de
biosorbente

Independiente	Concentración del bioadsorbente	Cantidad del bioadsorbente presente en un litro de solución	g/l
	Tiempo		Minutos

Fuente: Elaboración propia

1.7. Alcances de la investigación

Se realizará la comparación de la elaboración de carbón activado tipo polvo PAC, a partir de dos residuos orgánicos generados en gran cantidad en la ciudad; para determinar la eficiencia de reducción de arsénico para aguas de consumo humano. Se realizará el diseño del sistema de tratamiento a modelo piloto en 3D.

1.8. Limitaciones de la investigación

La presente investigación simulará un análisis a pequeña escala de un sistema de tratamiento para aguas contaminadas con un rango bajo de arsénico, más no para concentraciones mayores del metal pesado, a su vez solo se limita a las aguas distribuidas a los centros poblados de Quequeña y Fernando Belaunde Terry.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Este capítulo presenta una revisión de los contenidos teóricos analizados en la literatura en los últimos 20 años, y se distribuye en las experiencias con los filtros de carbón activado purificadores de agua en diferentes localidades, el segundo punto trata de las aguas contaminada con arsénico, su toxicidad, posteriormente se presenta métodos de tratamiento de remoción de aguas con arsénico. Finalmente se realiza un análisis general del estado actual del sistema de tratamiento del agua potable de Quequeña.

2.1. Antecedentes de la investigación

En años recientes se ha reportado el uso de residuos agrícolas como precursores de carbón activado, a partir del bagazo, madera, cascara de coco y la turba son los más comunes (Vitela, A, 2011).

Los filtros purificadores de agua que emplean carbón activado como medio filtrante son muy eficaces debido a que este medio filtrante presenta una alta porosidad y área superficial en su estructura interna que permite mayor adsorción de las impurezas (Romero, J, 2006) .

Se probó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado vía activación química con $ZnCl_2$ generado a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable producido en la ciudad de Tumbes, el filtro construido logró reducir eficientemente los niveles de concentración de turbidez, cloro residual en el agua potable llegando a valores entre 46.9 y 68.9 % y entre 87.5 hasta 100 % respectivamente. La cantidad inicial de bacterias heterótrofas en el agua también se logró reducir en niveles de 32,8 y 66,7 % (Cruz, et al. 2015).

Caso similar se empleó en la ciudad de Ecuador en dos muestras de agua de tomadas de los ríos Daule y Tenguel. La adsorción del carbón activado, según la isoterma de Langmuir, proveniente de las semillas de zapote y la cascara de plátano en comparación con el carbón activado comercial (NORIT GAC 830) fueron las más eficientes reduciendo los parámetros analizados: turbidez, DBO, Coliformes totales, Dureza, arsénico y cobre, logrando una reducción de arsénico de una concentración inicial de

0.0600 a menos 0.0031 de la semilla del zapote, con la cascarilla de arroz fue hasta 0.0035 y con cascara de plátano fue de menos 0.0031 al igual que las semillas del zapote. La semilla de zapote obtuvo la mayor cantidad de resultados satisfactorios para ser utilizado como medio filtrante en el proceso de interés. Sin embargo, con la cáscara de plátano y la cascarilla de arroz se obtuvieron también resultados bastante favorables, tomando en cuenta que todos los materiales empleados como insumos son considerados como desechos sólidos generados por la agroindustria (Aguilar, et al. 2016).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Arsénico en aguas contaminadas

El arsénico es un elemento químico considerado entre los veinte más abundantes sobre la tierra. Alrededor de un tercio del arsénico presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales como reacciones ambientales, actividad biológica, emisiones volcánicas, y el resto proviene de un amplio rango de actividades antropogénicas como son la minería, la combustión de combustibles fósiles, el uso de pesticidas, herbicidas y el curado de maderas (Bolaños, 2016).

El arsénico es introducido en el agua a través de la disolución de rocas y depósitos naturales en el suelo, minerales de hierro provenientes de efluentes industriales (incluyendo desagües industriales) y por deposición atmosférica. (Trelles, J, 2013)

La contaminación de aguas con arsénico por causas no naturales se da como parte del procesamiento de materiales geológicos como el carbón y otros minerales. En minería, la contaminación puede ocurrir por la disposición inapropiada de los desechos ricos en minerales sulfúricos. Cuando se encuentran expuestos al aire y al agua de lluvia, los sulfuros se oxidan y producen drenaje ácido de mina, rico en sulfatos que a menudo contienen altas concentraciones de arsénico. La contaminación del aire por arsénico se da debido a la fundición de minerales sulfúricos. El arsénico contenido en el aire puede ser inhalado, pero también se acumula como sedimento en el suelo, de donde puede ser recogido por cultivos o ingresar en los cuerpos de agua a través del agua de escorrentía (Trelles, J, 2013).

2.2.1.1. Química del arsénico en el agua

El arsénico se clasifica como un metaloide, ya que posee propiedades químicas y físicas tanto de los metales como de los no metales; está ubicado en el Grupo VA de la tabla periódica, su número atómico es 33 y su peso atómico es 74.9. Los compuestos de arsénico se catalogan en inorgánicos u orgánicos, dependiendo de la ausencia o presencia de enlaces arsénico-carbono (Paredes, 2012).

En el ambiente natural, el arsénico se encuentra raramente como elemento libre y es estable en cuatro estados de oxidación (-3, 0, +3, +5), pero los dos estados de oxidación comunes en agua son arsénico trivalente y arsénico pentavalente (Rimachi, C, 2009).

La presencia del arsénico en el agua se encuentra asociada a la interacción de la roca con el agua; esto ocurre principalmente en aguas subterráneas por los depósitos sedimentarios y de minerales de sulfuro derivados de rocas volcánicas, a su vez, los acuíferos por sus características físicas y geoquímicas favorecen la movilización y acumulación del arsénico. Altas concentraciones de arsénico en aguas subterráneas se han encontrado en áreas geotérmicas (10 hasta 370 $\mu\text{g/L}$) o de actividad minera (284 $\mu\text{g/L}$) (Zapana, R, 2016).

La abundancia de las especies de arsénico en el agua, es debido al pH del agua y al potencial redox (Eh). El arsénico pentavalente predomina en condiciones oxidantes, las cuales se dan en aguas superficiales; mientras en condiciones reductoras (aguas subterráneas) el arsénico trivalente se encuentra en mayor cantidad. La figura N°1 ilustra las relaciones entre Eh, el pH y las especies acuosas del arsénico (Smedley, P & Kinniburgh, D, 2002).

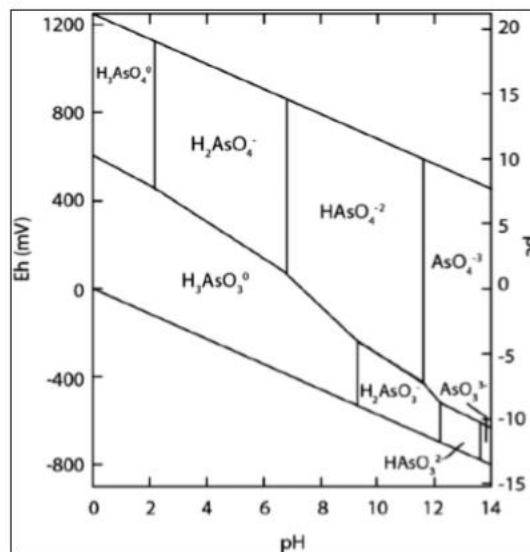


Figura 1. Presencia de especies de arsénico en agua en el sistema As-O₂-H₂O a 298.15 °K (25°C) y 1 atm (Smedley & Kinniburgh, 2002)

La figura N°1, nos muestra las diversas especies de arsénico que se pueden encontrar en relación al pH del agua y al potencial redox. A potenciales redox moderados o altos, el arsénico se puede estabilizar como una serie de oxianiones pentavalentes (V) o de arsenato como: AsO_4^{-3} , HAsO_4^{-2} , $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-}$ y H_3AsO_4 ; mientras que en condiciones reductoras (ácidas y levemente alcalinas) y menor potencial redox, predominan las especies trivalentes (III) o de arsenito como: AsO_3^{-3} , HAsO_3^{-2} , $\text{H}_2\text{AsO}_3^{-}$, y H_3AsO_3 , considerado el más tóxico (Mandal, B & Suzuki, K, 2002).

2.2.2. Toxicidad de Arsénico en aguas

2.2.2.1. El arsénico y sus efectos sobre la salud y efectos biológicos.

La toxicidad del arsénico disminuye en función de las especies químicas, siendo aquellas inorgánicas más tóxicas que las orgánicas. Se ha establecido que los compuestos de As (+3) pueden resultar hasta 10 veces más tóxicos que los de As (+5), la dosis letal para adultos es de 1-4 mg As/Kg (Rimachi, C, 2009). La forma de arsénico más tóxica es la arsina (AsH_3), un compuesto gaseoso, inodoro e inflamable; seguido por los arsenitos (As III), arseniatos (As V) y compuestos de arsénico orgánico (WHO, 2001).

La exposición humana al arsénico puede darse por ingestión, inhalación o adsorción a través de la piel. Con excepción de aquellos individuos con exposición ocupacional al arsénico, la ruta de exposición más importante es a través de la ingesta de alimentos y agua de bebida (Petrukevski et al, 2007).

La toxicidad por arsénico se puede dar en dos formas: aguda, la cual surge como consecuencia de la ingesta de una alta concentración de arsénico en un tiempo corto; y crónica que se da como consecuencia de la ingesta de pequeñas cantidades de arsénico en un largo periodo de tiempo.

a. Efectos a corto plazo:

Los síntomas de la ingestión de dosis elevadas de arsénico por lo general se presentan en un plazo de 30 a 60 minutos. La intoxicación aguda generalmente comienza con un sabor metálico, sensación quemante en los labios y disfagia, luego pueden sobrevenir diversos síntomas gastrointestinales, entre ellos, dolor abdominal y cólicos, diarrea profusa, náusea y vómitos violentos, después de los síntomas iniciales, pueden ocurrir fallos múltiples de órganos especialmente en los sistemas cardiovascular, renal y hepático, causando la muerte. (Saha et al, 2010)((Abernathy,C & Morgan, A, 2001)

b. Efectos a largo plazo:

Una infinidad de efectos sobre la salud están relacionados con la exposición crónica al arsénico afectando casi todos los órganos y principales sistemas del cuerpo (Medina-Pizzali et al, 2018). En varias partes del mundo las enfermedades producidas por arsénico constituyen un problema de salud pública (OMS, 2011). La exposición crónica por arsénico presenta diversos efectos en la salud humana, entre ellas están:

b.1. Enfermedades Cancerígenas:

En 1980, el Centro Internacional para la Investigación sobre Cáncer (CIIC, e IARC por sus siglas en inglés) registro oficialmente al arsénico como sustancia cancerígena (IARC, 2004). Actualmente, el CIIC clasifica a los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo I (cancerígenos para el ser humano). Hasta la fecha, el CIIC ha confirmado la asociación de la exposición al arsénico con

los cánceres de piel, pulmones y vejiga, mientras que las investigaciones sobre la relación con el cáncer de hígado, riñón y próstata siguen siendo limitados (Young-Seoub et al, 2014).

- **Cáncer de piel:** Varios estudios han reportado una asociación entre la exposición al arsénico y el cáncer de piel. Específicamente, se encontró que la exposición al arsenito trivalente se asociaba con la aparición de cáncer de piel inducidos por UV (Rossman et al, 2004). Además, la incidencia de cáncer de piel aumentó significativamente en una región que estaba infectada con la enfermedad del pie negro, tenía concentración de arsénico en el agua potable y exposición acumulada al arsénico (Young-Seoub et al, 2014).
- **Cáncer al Pulmón:** El cáncer de pulmón es el cáncer más conocido asociado con la exposición al arsénico. Se ha estudiado principalmente la relación entre el cáncer de pulmón y la exposición a altos niveles de arsénico, la relación entre este cáncer con la exposición a bajos niveles es insuficientes. A su vez, podría existir sinergia entre la ingesta de arsénico y el tabaquismo (Medina-Pizzali et al, 2018).
- **Cáncer a la Vejiga:** La incidencia de este tipo de cáncer con la exposición al arsénico a través del agua potable han sido verificados por estudios en Taiwán y Bangladesh (Chiang et al, 1993). Sin embargo, estos estudios solo han verificado la asociación después de la exposición a altas concentraciones de arsénico; sin embargo, se cree que no hay asociación con bajas exposiciones al arsénico (100 a 200 $\mu\text{g} / \text{L}$) (Young-Seoub et al, 2014).

b.2. Otras enfermedades:

- **Efectos Neurológicos:** La neuritis causada por el arsénico es una complicación reconocida de la toxicidad del arsénico y se sabe que afecta las funciones sensoriales de los nervios periféricos. La investigación en niños mexicanos ha indicado una asociación entre la exposición al arsénico y los déficits en el coeficiente de inteligencia verbal y la memoria a largo plazo. Además, el efecto fue proporcional a la dosis. (Wasseman et al, 2004).

- **Efectos en la piel:** Por medio de numerosos estudios se sabe que una exposición de arsénica a largo plazo causa lesiones características en la piel, incluyendo modificaciones en la pigmentación, principalmente en el tronco y las extremidades, queratosis en las palmas de las manos y plantas de los pies, hiperqueratosis e hiperpigmentación (Galetovic, A & De Fernicola, N, 2003).
- **Enfermedades Cardiovasculares:** Una exposición prolongada a concentraciones de arsénico inorgánico dentro del valor sugerido por la OMS en el agua de bebida puede causar efectos cardiovasculares, incluyendo arritmias, hipertensión, isquemia cardíaca y cerebral (Galetovic, A & De Fernicola, N, 2003).
- **Efectos en el sistema reproductivo:** La ingestión de agua con arsénico puede llevar a un incremento de abortos espontáneos y de recién nacidos muertos. (Galetovic, A & De Fernicola, N, 2003). También se encontró que la exposición al arsénico durante el embarazo afecta la excreción de orina y la distribución de los metabolitos, afecta el desarrollo del feto (Young-Seoub et al, 2014).

2.2.2.2. Problemática de la contaminación de agua de bebida por arsénico a nivel global, nacional y regional.

A. Contaminación del agua por arsénico a nivel mundial

Se estima que 200 millones de personas en todo el mundo están expuestas a concentraciones de arsénico en el agua potable que exceden el límite de 10 $\mu\text{g/l}$ según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017).

El agua subterránea contaminada con arsénico se utiliza en muchos países como agua potable. Cientos de millones de personas, en su mayoría en países en vías de desarrollo, utilizan diariamente agua potable con concentraciones de arsénico superiores al límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud, por lo tanto, esto debe considerarse como un problema global. Se ha reportado arsénico en aguas subterráneas en diversos países como se aprecia en la tabla N°2: (Petrusevski, B et al, 2007).

Tabla 2. Países que han reportado arsénico en aguas subterráneas (Petruserovski et al, 2007)

Continente	País
Asia	Afganistán, Arabia Saudita, Bangladesh, Camboya, China, Filipinas, India, Irán, Japón, Kazajstán, Laos, Malasia, Mongolia, Myanmar, Nepal, Pakistán, Sri Lanka, Tailandia, Taiwán, Turquía, Vietnam
América	Alaska, Argentina, Canadá, Chile, Dominica, El Salvador, Estados Unidos de América, Honduras, México, Nicaragua, Perú
Europa	Alemania, Austria, Bélgica, Croacia, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Republica Checa, Rumania, Rusia, Reino Unido, Serbia, Suecia, Suiza
África	Camerún, Etiopía, Ghana, Nigeria, Sudáfrica, Zimbabue
Oceanía	Australia, Nueva Zelanda

En la Tabla N°2 se aprecia que existen diversos países que han reportado la presencia de arsénico en aguas subterráneas, de los cuales existen reportes sobre diversas poblaciones afectadas por este metal siendo los principales continentes Asia, América y Europa.



Figura 2. Países en los que se ha reportado presencia de arsénico en agua subterránea o superficial (Petruservski et al, 2007)

La figura N°2 nos muestra de una manera más esquematizada los países con presencia de arsénico tanto en aguas superficiales como subterráneas, donde se aprecia que Perú es uno de los 3 países en Sudamérica con presencia de este metal pesado en sus aguas.

En distintos lugares se han identificado un gran número de áreas con aguas subterráneas que presentan contenidos de arsénico. Los problemas más importantes se sitúan en: Asia, incluyendo Bangladesh, India (Bengala Oeste), Nepal, China. En América, EE.UU., Argentina, Chile, Perú, el Salvador y México. En Europa, Grecia, Hungría, Rumania y España.

También se ha identificado áreas con arsénico en aguas debido a procesos hidrotermales, como en Argentina, Chile, Japón, Nueva Zelanda, EE.UU., Islandia, Francia, Dominica y Kamchatka. Áreas con problemas de arsénico en relación a depósitos minerales y minería han sido reconocidas en numerosas partes del mundo, siendo los casos más sobresalientes los de Ghana, Grecia, Tailandia, Chile, Perú, Bolivia, Brasil, México y EE.UU (Alarcón et al, 2013).

- **Contaminación por arsénico en Bangladesh e India:** Uno de los casos más serios sobre la afección a la salud debido a la ingesta de arsénico en agua potable se dio en Bangladesh y Bengal del Oeste, India.

Durante la década de 1970, UNICEF instaló en Bangladesh más de cuatro millones de pozos entubados para extraer agua subterránea y poder prevenir la morbilidad y mortalidad debido a las enfermedades gastrointestinales por la ingestión de aguas superficiales. Años después, se empezaron a reportar casos de arsenicosis en Bengal del Oeste y luego Bangladesh, los mismos que, en 1993 fueron relacionados con los pozos instalados (Smith, et al. 2000).

A principios de los 2000, se estima que, de un total de 125 millones de personas en Bangladesh, entre 35 y 77 millones de personas habían sido expuestos crónicamente al arsénico en el agua potable, considerado como el envenenamiento masivo más grande en la historia (Smith, et al. 2000) (Flanagan, et al. 2016).

En el 2008, UNICEF analizó 4.75 millones de pozos en Bangladesh para determinar la presencia de arsénico, de los cuales, 1.4 millones fueron encontrados con niveles de arsénico por sobre los 50 $\mu\text{g/l}$, sobrepasando el valor establecido por la Organización Mundial de la Salud (UNICEF, 2008). A partir de las investigaciones, un creciente número de actividades para la mitigación de arsénico vienen siendo incluidas de manera transversal en los programas de agua y saneamiento a nivel nacional; incluyendo los programas de UNICEF orientados directamente al problema de arsenicosis, análisis de nuevas tecnologías para su remoción y la efectividad y aceptación social de los filtros de remoción de arsénico a nivel local (Trelles, J, 2013).

B. Contaminación del agua por arsénico en Latinoamérica

En general, en América Latina la presencia del arsénico en el ambiente y específicamente en las fuentes de agua captadas para consumo humano se debe a factores naturales de origen geológico (Argentina, Chile, México, Perú), así como a actividades antropogénicas que involucran la explotación minera y refinación de metales por fundición (Bolivia, Chile y Perú), procesos electrolíticos de producción de metales de alta calidad como cadmio y cinc

(Brasil), y en menor proporción en la agricultura el empleo de plaguicidas arsenicales orgánicos (México) (Castro, M, 2006)

En Latinoamérica, se estima que por lo menos 4,5 millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud (Medina-Pizzali et al, 2018), siendo Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia los países más afectados. La magnitud de la contaminación por arsénico en países como México y Argentina es tal que se le considera como un problema de salud pública nacional (Trelles, J, 2013).

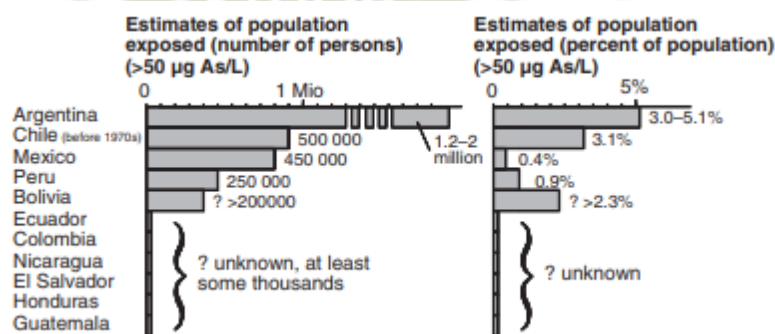


Figura 3. Población cronológica estimada, expuesta a concentraciones de arsénico >50ug/l en aguas de consumo humano. (McClintock et al 2012).

De la figura N°3 se aprecia que el país de América con mayor población expuesta a arsénico es Argentina con un aproximado de 1.2 – 2 millones de personas, mientras que el Perú tiene aproximadamente 250000 personas expuestas a arsénico, ubicándose así entre los 4 países con mayor población expuesta a arsénico en América.

- Contaminación por arsénico en Argentina:** En Argentina, cerca de 4 millones de personas están expuestas a altos niveles de Arsénico a partir del agua potable, siendo la mayor población expuesta a arsénico en Latino América. (McClintock et al, 2012), La presencia de arsénico en aguas en esta zona, se debe principalmente a las cenizas volcánicas, aunque los pesticidas que contienen As también contribuyen al problema (Castro, M, 2006).

Las primeras enfermedades que presentaban los síntomas de una intoxicación por arsénico se dieron en el año 1913 y la enfermedad llegó a ser conocida como

enfermedad de Bell Ville y luego como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), llegándose a la conclusión de que la etiología de la enfermedad era debida a la ingestión de agua con arsénico (Galetovic, A & De Fernicola, N, 2003). Las provincias más afectadas por contaminación de aguas con arsénico son: Salta, La Pampa, Córdoba, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Santiago del Estero, Chaco, Tucumán (McClintock et al, 2012).

- **Contaminación por arsénico en Chile:** En Chile el arsénico está presente en todos los ecosistemas en el norte del país debido a la predominancia del volcanismo cuaternario en la zona. Entre 1955 y 1978 la población de Antofagasta fue expuesta a altas concentraciones de Arsénico (90–860 $\mu\text{g/L}$) en el agua potable. La población expuesta a la contaminación por arsénico en Chile es de aproximadamente 500.000 habitantes. Las ciudades con exposición más alta a arsénico corresponden a Antofagasta, Calama, Santiago, Rancagua, Taltal, Tocopilla, San Pedro de Atacama. (McClintock et al, 2012).
- **Contaminación por arsénico en México:** En México, el arsénico está presente dentro del cinturón volcánico donde los suelos ricos en arsénico contaminan el agua subterránea, otra posible fuente de contaminación son los pesticidas basados en arsénico (Trelles, J, 2013). La presencia de arsénico en el agua se encuentra en los acuíferos de Durango, Coahuila, Zacatecas, Morelos, Aguas Calientes, Chihuahua, Puebla, Nuevo León, Guanajuato, San Luis Potosí, Sonora y la Región Lagunera, donde se han detectado concentraciones superiores 0,05 mg As/l, la población expuesta a la contaminación por arsénico en México es de aproximadamente 450.000 habitantes (McClintock et al, 2012).

C. Contaminación del agua por arsénico a nivel Nacional

En el Perú, se estima que el número de personas expuestas a concentraciones de arsénico superior a los niveles recomendados en el agua es aproximadamente de 250 000 habitantes (McClintock et al, 2012). Los casos de contaminación más relevantes se presentan en los departamentos del sur del país, relacionados con la actividad volcánica de la zona. Otros casos relacionados con la presencia de

arsénico por la actividad humana, se asocian principalmente a las actividades minero-metalúrgicas (Trelles, J, 2013).

En el 2012 se realizó un estudio en 12 distritos del Perú ubicados en zonas con presencia de actividad minera y en el río Rímac – Lima que se encontraría asociado a las actividades minero-metalúrgicas en la cabecera de cuenca y presencia de industrias en la parte baja de la cuenca. Como resultado de esta investigación, se realizó 151 muestras de agua, de las cuales, 116 muestras (80%) presentaron concentraciones de arsénico mayores al límite de 10 $\mu\text{g/L}$ y el 41% contenía más de 50 $\mu\text{g/L}$, cinco veces mayor al estándar de la OMS. las concentraciones de Arsénico más elevadas se encontraron en pozos en Juliaca (rango: 1.2–193.1 $\mu\text{g/l}$), en los pozos en Caracoto (rango: 31.9-113.1 $\mu\text{g/l}$) y en los pozos en San Antonio (rango: 45.6-59.4 $\mu\text{g/l}$), estos distritos están ubicados en Puno y son zonas con alta presencia de actividad minera, a su vez el río Rímac presento niveles de arsénico entre 14.6-42.5 $\mu\text{g/l}$, por lo que se puede asegurar que los relaves de las minas dan como resultado elevadas concentraciones de arsénico, cobre y plomo en el río y sus afluentes. A su vez, se encontró altas concentraciones de arsénico en el agua potable en la Oroya, donde existe una fundición para el procesamiento de cobre, zinc y plomo (George et al, 2014).

En cuanto a las fuentes de agua con arsénico de origen natural, diversas fuentes de agua usadas por las poblaciones de los departamentos de Tacna (ríos Toquela, Aruma, Ancoma, Caplina, Locumba, Sama, Callazas y Salado, laguna Aricota), Puno (río Callacame y pozos) y Moquegua (particularmente Ilo, que se abastece de las aguas de la laguna Aricota) han reportado concentraciones de arsénico de alrededor 0.2 mg/l (200 $\mu\text{g/l}$) llegando hasta niveles tan altos como 0.388 mg/l (388 $\mu\text{g/l}$).

Por otra parte, las plantas de tratamiento de agua potable suministradas por diversas empresas prestadoras de servicio en el país también reportan niveles de arsénico elevados, en la tabla N°3 se aprecia las concentraciones promedio de As realizado en el análisis de la Calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú 1995-2003.

Tabla 3. Promedio del reporte del análisis de Calidad del agua potable asociada al As para distintas EPS (1995-2003)

Nº	EPS	Arsénico (µg/l) Promedio
1	Piura, EPS Grau S.A.	1.0
2	La Libertad, SEDALIB S.A.	3.0
3	Cajamarca, EPS Sedacaj S.A.	0.3
4	Ancash, EPS Chavin S.A.	1.0
5	Lima, SEDAPAL	19.0
6	Tarma, EPS Sierra Central S.A.	2.0
7	Pasco, EMAPA PASCO S.A.	2.0
8	Ica, EMAPICA S.A.	5.0
9	Arequipa, SEDAPAR S.A.	28.0
10	Juliaca, EPS SEDAJULIACA S.A.	15.0
11	Ilo, EPS Ilo S.A	43.0
12	Tacna, EPS Tacna S.A.	16.0

Fuente: Adaptado del Informe de Análisis de la Calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995-2 (SUNASS, 2004).

De la tabla N°3 se aprecia que de 12 empresas que fueron analizadas, 5 empresas prestadoras de servicio presentaron concentraciones de arsénico promedio superiores a los 10 µg/l, entre ellas: SEDAPAL (Lima), SEDAPAR (Arequipa), SEDAJULIACA (Juliaca), EPS Ilo (Ilo) y EPS Tacna (Tacna). (SUNASS, 2004), la EPS de Arequipa presento una concentración promedio de 28 µg/l, sobrepasando lo permitido por la OMS.

2.2.2.3. Normatividad sobre la contaminación del agua de bebida

A nivel mundial, las Guías para la Calidad de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud, indican como valor de referencia de 0.01 mg/l (10 µg/l) de arsénico en el agua de consumo (OMS, 2006).

La Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos (EPA) establece como nivel permisible de As en el agua de bebida una concentración de 10 ppb (0,01 mg/L) como nivel máximo contaminante (EPA, 2001).

La Agencia Internacional para la Investigación del cáncer (IARC) sitúa al As inorgánico en su clasificación más alta de sustancias cancerígenas (Grupo I). Incluso la OMS, expresa que una concentración de As de 0,17 g/L se asocia con el riesgo individual de contraer cáncer de piel en el orden de 1/100.000, para una persona de 70 Kg, con una ingesta de 2 l/día durante 70 años (Bolaños, 2016).

A. Legislación nacional

A nivel nacional, los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM) incluyen al arsénico dentro de los parámetros inorgánicos indicados para las cuatro categorías de uso de aguas.

Tabla 4. Concentraciones máximas permisibles de arsénico (mg/l) según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua Perú (MINAM, 2017)

Categorías / Sub-categorías	As (mg/l)
Categoría 1: Uso poblacional y recreacional	
Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	
A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	0.01
A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	0.01
A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	0.15
Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación	
B1: Contacto primario	0.01
B2: Contacto secundario	**
Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	
C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	0.05
C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	0.05
C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	0.05
C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas	0.1
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	

D1: Riego de Vegetales	0.1
D2: Bebidas de animales	0.2
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático	
E1: Lagunas y lagos	0.15
E2: Ríos	
Costa y Sierra	0.15
Selva	0.15
E:3 Ecosistemas costeros y marinos	
Estuarios	0.036
Marinos	0.036

*** Se entenderá que para esta sub-categoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine*

De la tabla N°4 se aprecia que los valores de concentración máxima de arsénico son de 0.15 mg/l (150 µg/l) para fuentes destinadas para producción de agua potable y 0.15 mg/l (150 µg/l) para las aguas para conservación del ambiente acuático (MINAM, 2017).

Del mismo modo, la Dirección General de Salud y Ambiente (DIGESA) estableció mediante el Decreto Supremo N°031-2010-SA el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, en donde se considera al arsénico dentro de los parámetros (inorgánicos) adicionales de control obligatorio (PACO), a su vez en este mismo reglamento se establece un límite máximo permisible de arsénico de 0.01 mg As/L (10 µg/l); indicándose además que los sistemas existentes deberán establecer en sus Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr este LMP como parte de su tratamiento (DIGESA, 2011).

Finalmente, el Valor Máximo Admisible (VMA) determinado mediante DS N° 010-2019-VIVIENDA, establece para la descarga de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario para el arsénico un valor de 0.5 mg/l (MVCS, 2019).

2.2.3. Remoción de metales pesados y de Arsénico

Los metales pesados a bajas concentraciones provocan efectos tóxicos para animales, plantas y seres humanos; todo ello, a través de la cadena alimenticia. Metales como plomo (Pb), cromo (Cr), mercurio (Hg), talio (Tl), selenio (Se), Zinc (Zn), arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu) y níquel (Ni) son considerados un grave problema ambiental debido a la que no son degradables. Los metales pesados se remueven del agua usualmente por precipitación, transformándolos en los hidróxidos respectivos; sin embargo, este método causa mayores problemas ambientales y de salud, por su corrosividad y reactividad (Nava, C & Mendez, M, 2011) (Sing, K, 2004). Las técnicas para remoción de metales pesados son las siguientes:

- **Filtración por Membrana:** Esta tecnología presenta altas eficiencias, requiere poco espacio, no es selectiva y es de fácil operación, pero genera una gran cantidad de lodos que contienen metales. Se emplea en procesos para el tratamiento de agua potable, aguas residuales industriales y en menor medida aguas residuales domésticas. Las membranas pueden clasificarse de acuerdo a diferentes características como su peso molecular de corte, material de la membrana (sintéticos o polímeros naturales modificados, acoplados y estructurados), permeabilidad y solubilidad del soluto y el solvente en la película, superficie y espesor activo de la película, así como la carga de su superficie (Taylor, J & Wiesner, M, 2002). La separación por membrana se emplea comúnmente para tratar y recuperar sales metálicas de residuos generados en procesos galvanoplásticos, en el reciclaje de aceites, en la producción alimentos y bebidas y en la explotación y producción de hidrocarburos (Nemerow, N & Dasgupta, A, 1998) (Ji, Y, 2015).
- **Electrodiálisis:** Es una técnica de descontaminación que puede remover componentes iónicos de soluciones acuosas empleando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante (Guastalli et al., 2004). Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta 0,0001 μm , mediante hojas o laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua (Taylor, J & Wiesner, M, 2002).

- **Osmosis Inversa:** Es un proceso de permeación a través de membrana para la separación por difusión controlada o cribado. Tiene la capacidad de seleccionar elementos de tan solo 0.0001 mm, lo que le otorga un amplio abanico de capacidades de tratamiento (Nemerow, N & Dasgupta, A, 1998).
- **Intercambio Iónico:** Es el proceso a través del cual los iones en solución se transfieren a una matriz sólida que, a su vez liberan iones de un tipo diferente, pero de la misma carga. El intercambio iónico es un proceso de separación física en la que los iones intercambiados no se modifiquen químicamente. Las principales ventajas de intercambio iónico son la recuperación del valor del metal, la selectividad, menos volumen de lodos producidos y la reunión de las especificaciones de descarga estrictas (Zewail, T & Yousef, N, 2015). En la tabla N°5 se exponen las condiciones de tres estudios mediante este método.

Tabla 5. Condiciones experimentales de intercambio iónico a través de resinas (Zewail, T & Yousef, N, 2015)

Especie	Condiciones				%Eficiencia de Remoción	Ref.
	pH	Concentración inicial	tTr* (h)	T° (°C)		
Fe ⁺² , Cu ⁺² , Zn ⁺² , Cd ⁺² , Pb ⁺²	4,5	24-58 mg/l	4h	25	Resina THQSA sintetizada por reacción de epoxi propil éter de tamarindo con ácido 8-hidroxiquinolina-5-sulfónico.	Chahar & Singh, 2014
Cd ⁺²	3	30 mg/l	24h	26	Adsorción y desorción de Cd (II) con resina D001.	Zhen, et al, 2015

Cr ⁺³ ,	5,	0,5-20 Mm.	24h	26	Resina sintetizado	En un	Ceglowski
Ni ⁺² ,	6				en la reacción de	rango de	&
Cu ⁺² ,					poli metil	29,95 –	Schroeder,
Cd ⁺² ,					vinileter alt	157,25	2015
Co ⁺²					anhídrido maleico	mg/g	
					(MVE-alt-MA),		
					polímero con una		
					base de Schiff.		

* tTr: Tiempo de Tratamiento

Como se observa en la Tabla N°5, el proceso de intercambio iónico usando la resina THQSA por reacción epoxi, en un menor tiempo de 4 horas presento una eficiencia de remoción entre un rango de 60%-90%; en comparación de los otros dos métodos utilizando las resinas D001 y la resina sintetizada (MVE-alt-MA); tomando un mayor tiempo de 24h.

- **Adsorción:** La técnica presenta remoción de una amplia variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva dependiendo de adsorbente de lo cual también depende su rendimiento, básicamente por la estructura física del mismo (Liu & Lee, 2014). Los carbones activados, arcillas, biopolímeros, Zeolitas, perlas de sílice y plantas o desechos lignocelulósicos son algunos de los adsorbentes, generalmente con procesos variados de modificación química (Wan Ngah et al., 2011), comúnmente empleados para remover colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos entre otros contaminantes orgánicos e inorgánicos generados por diferentes tipos de industrias (Osei Boamah et al., 2015).
- **Carbón Activado:** ha demostrado ser un adsorbente eficiente para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático. Debido a sus áreas superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500 m² / g, así como la presencia de un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos (Karnib et al., 2014). En la tabla N°6 se exponen las condiciones de tres estudios mediante este método.

Tabla 6. Condiciones experimentales de algunos carbones (Karnib et al., 2014)

Especie	Condiciones				Método y Complemento	%Eficiencia de Remoción	Ref.
	pH	Concentraci ón inicial	tTr*	T° (°C)			
Cu⁺², Zn⁺², Cd⁺², Pb⁺²	5	10-180 mg/L	24h	20	Carbono mesoporoso ordenado CMK- 3	Desde 29mg/g de Zn ⁺² a 177mg/g de Pb ⁺²	Bareza k, et al: 2015.
Cr	7,8	0.12 mg/L	2 min	Amb	Fe-BC (hierro a base de carbón de bambu)	>0.05 mg/L	Wang, et al; 2011.
Pb⁺²	4	100 mg/L	6h	Amb	Carbón activado procedente de huesos de vaca	50%	Prado, et al; 2014.
Cu⁺², Ni⁺², Zn⁺²	5,5	10-100 mg/L	5min -20h	20- 40	Carbón activado producido a partir de piedras tunecinas	18,68 mg/g de Cu, 16,12 mg/g de Ni y 12,19 mg/g de Zn.	Bouha med, et al; 2015.

*tTr: Tiempo de Tratamiento

Como se observa en la tabla N°6, el método por el carbón activado expuesto, el tipo de CA que presenta mayor porcentaje de remoción es el mesoporoso ya que presento una mayor capacidad de remoción de Cu, Zn, Cd y Pb +2. El de menor capacidad de adsorción presentado en la tabla fue el carbón activado producido a partir de piedras tunecinas, ya que solo logro remover 18.68 mg/g de Cu; 16.12 mg/g de Ni; y de 12.12 mg/g de Zn, en comparación con sus concentraciones iniciales de 10-100 mg/L.

- **Precipitación química:** Es la técnica más utilizada en los procesos industriales ya que es relativamente sencilla de operar, económica y selectiva, aunque su

mantenimiento si es costoso debido a la alta generación de lodos. En la Tabla N°7 se presentan rendimientos de tratamientos como precipitación de hidróxido, técnica de bajo costo, fácil control del pH y eliminación por floculación y sedimentación (Huisman et al., 2006). Igualmente se emplea la precipitación por sulfuros, aunque con solubilidades bajas y precipitados no anfóteros, por lo que puede lograr altos rendimientos; también se han empleado sustancias quelantes aunque presentan desventajas considerables como la carencia de uniones necesarias y demasiados riesgos ambientales (Chen et al., 2009).

Tabla 7. Remociones de metales pesados empleando técnicas de precipitación química (Chen et al., 2009)

Especie	Condiciones				Método y Complemento	%Eficiencia de Remoción	Ref.
	pH	Concentración inicial	tTr*	T° (°C)			
Ni, Zn, Al	12	22 mg/L	1 h	Amb.	Precipitación por galvanoplastia servoasistida por LDH	80-90	Xu, et al; 2015
Hg ⁺²	4,7- 6,4	65,6 ug/L	1h	Amb.	Precipitación por 1,3-benzenediamido ethanethiolate	>99.9	Blue, et al; 2008.
As ⁺² , Cu ⁺² , Cd ⁺² ; Pb ⁺²	1	As: 6,080 mg/L; Cd: 95 mg/L; Cu: 70 mg/L; Pb: 45 mg/L;	1h	Amb.	Reactor distribuidor multiarranque sumergido para la alimentación de sulfuro	>99.9	Gou, et al; 2015.
Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Hg	4	1 mg/L	5 min	Amb.	Nanocompuestos como macropartículas superparamagneticas que actúan como semillas para precipitados de hidróxido de hierro	95-99	Mandel, et al; 2013.

* tTr: Tiempo de Tratamiento

Como se observa en la tabla N°7, según el método de precipitación química, el que obtuvo mayor porcentaje de remoción fue por utilizando el 1,3-benzenediamido ethanethiolate, para la remoción de mercurio; al igual que utilizando un reactor alimentado con sulfuro, logra la remoción de As, Cu, Cd y Pb; alcanzando un porcentaje de 99.9 %.

- Coagulación-Floculación:** Es el método mediante el cual se logra desestabilizar el coloide y aglomerar posteriormente. En la primera etapa la coagulación elimina la doble capa eléctrica que caracteriza a los coloides y con la floculación se aglomeran los coloides mediante la atracción de partículas con el aglutinamiento de los floculantes. Los factores más importantes que se deben tener en cuenta para esta técnica son la dosis química apropiada, el efecto energético de la mezcla y el tiempo de la mezcla; los coagulantes químicos que se utilizan comúnmente en el tratamiento de aguas residuales incluyen alumbre ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (Ismail et al., 2012). Se presentan dos casos en la tabla N°8:

Tabla 8. Remoción de metales pesados mediante Coagulación- Floculación (Castro de Esparza, M.L. & Wong, M., 1999)

Especie	Condiciones				Método y Complemento	%Eficiencia de Remoción	Ref.
	pH	Concentración inicial	tTr*	T° (°C)			
Fe, Zn, Ni	7	Fe: 15.2 mg/L; Zn: 5,8 mg/L; Ni: 6,7 mg/L	30 min	Amb.	Se utilizaron tres coagulantes (alumbre, cloruro férrico y cloruro de polialuminio) y poliacrilamida anionico como floculante	Fe: 98%; Zn: 83%; Ni: 63%.	Bakar, et al; 2013
Mg, Fe	8 9	Mg: 308.7 mg/L Fe: 145,6 mg/L	2-15 min	28	Se utiliza como coagulante $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Mg: 91,3% Fe: 100%	Carrera, et al; 2012

* tTr: Tiempo de Tratamiento

Como se observa en la tabla N°8, el coagulante de mayor porcentaje de remoción del metal Fe fue $\text{Ca}(\text{OH})_2$, lográndose un 100% de remoción, en comparación de los tres coagulantes usados como el cloruro férrico, cloruro de polialuminio y alumbre.

En las plantas de tratamiento de agua, el As^{+5} puede ser removido en forma efectiva por coagulación con sulfato de aluminio o hierro. Los coagulantes señalados se hidrolizan formando hidróxidos, sobre los cuales el As^{+5} se absorbe y coprecipita con otros iones metálicos, mejorando las eficiencias de remoción, con valores semejantes a los señalados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico (Castro de Esparza, M.L. & Wong, M., 1999)

Coagulante	Arsenato (As^{+5})		Arsenito (As^{+3})	
	Remoción (%)	PH	Remoción (%)	PH
Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2\text{SO}_4)_5$	100	<9	20	<9
Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	90	<7	50	<7

Como se observa en la tabla N°9, con el coagulante sulfato férrico, la remoción del arsenato es del 100% que en comparación del arsenito es a un 20% a un pH menor a 9, en ambos casos; en cambio utilizando el sulfato de aluminio la remoción de arsenato es de 90% y de un 50% para el caso del arsenito a un pH menor a 7. Por lo que el coagulante más eficiente para remoción de arsenato es sulfato férrico y en caso del arsenito es el sulfato de aluminio (Castro de Esparza, M & Wong, M, 1999)

- **Flotación:** El proceso de flotación ion se basa en impartir las especies iónicas de metal en las aguas residuales hidrófobas mediante el uso de agentes activos de superficie (tensoactivos) y la posterior eliminación de estas especies hidrófobas por burbujas de aire (Polat, H & Erdogan, D, 2007). En la Tabla N°10 se observan dos casos experimentales de la técnica de flotación.

Tabla 10. Remoción de metales pesados mediante técnica de Flotación (Polat, H & Erdogan, D, 2007)

Especie	Condiciones				Método y Complemento	%Eficiencia de Remoción	Ref.
	pH	Concentración inicial	TTr*	T° (°C)			
Cu⁺²	-	1763 mg/L	2 h	Amb.	Flotación en sedimentos degradados	60.1 – 70.4	Palakkeel, et al; 2012
Mg, Fe	1 a 3; 10 a 12	8.542 mg/L; 0.063 mg/L; 0.349 mg/L; 0.142 mg/L; 0.00138 mg/L; 0.025 mg/L; 0.599 mg/L.	2 h	Amb.	Ensayos de flotación por aire disuelto (FAD) con 300mg/L de cloruro férrico como coagulante y 3 valores de pH ácidos y 3 alcalinos	37-4; 43-2; 25.7; 24.3; 84.6; 90.1; 52.1.	Méndez et al: 2008

* tTr: Tiempo de Tratamiento

- **Ablandamiento con cal**

Método usado para remover la dureza del agua que consiste en adicionar cal (Ca (OH)₂) al agua. Este método es efectivo también para remover As⁺³ ó As⁺⁵ y su eficiencia está en función del pH. Tiene un alto rendimiento para remover concentraciones de As de 0,050 ppm; sin embargo, para reducir a 0,010 ppm se necesita de un tratamiento secundario. La remoción de As⁺⁵ es mayor al 90 % a un pH de 10.5 o más, siendo el pH óptimo de operación mayor que 10.5. Por debajo del rango del pH óptimo la remoción disminuye a menos del 20%. En el sistema de ablandamiento con cal se produce una considerable cantidad de lodo es la principal desventaja que presenta este método (Benitez, et al. 2008).

Este método es eficiente cuando trabaja a un $\text{pH} > 10.5$, mostró una alta remoción de As^{+5} hasta 95% en un agua con una concentración inicial de 12 mg/L de arsénico (Kirchmer, C & Castro de Esparza, M.L., 1978).

El mecanismo principal en la remoción del arsénico mediante el ablandamiento de aguas que contienen magnebiosio es la adsorción del arsénico dentro del hidróxido de magnesio que se forma durante el ablandamiento (McNeil, L & Edwards, M, 1997)

2.2.3.1. Adsorción

La adsorción consiste en la transferencia de masa de sustancias en solución a una fase sólida generalmente, donde el adsorbato es aquella sustancia a remover de la fase líquida y el adsorbente es la fase sólida en el cual el adsorbato se acumula. El proceso de adsorción tiene lugar en tres etapas según (Patrick, J, 1995) :

- Macrotransporte. Se refiere al movimiento por advección (transporte horizontal) y difusión de la materia orgánica a través del líquido hasta alcanzar la interfase líquido sólido.
- Microtransporte. Hace referencia a la difusión del material orgánico a través del sistema de macroporos del carbón activado granular hasta alcanzar las zonas de adsorción que se encuentran en microporos de los gránulos del carbón activado.
- Sorción. Ocurre en la superficie del gránulo, en sus macros y mesoporos. Las superficies del adsorbente son generalmente física o químicamente heterogéneas por tanto las energías de enlace varían de un sitio a otro.

La adsorción es distinta de la absorción y entre ellas debe establecerse una clara diferencia. En este último proceso la sustancia no se retiene en la superficie, sino que pasa hacia el interior de la superficie, la penetra (rellenado de poros) y se distribuye por todo el cuerpo de un sólido o líquido (Maron, S & Prutton, C, 1968).

La adsorción es un fenómeno de gran importancia tecnológica. Es así como algunos de estos adsorbentes son utilizados a gran escala como desecantes o soportes para catalizadores; otros son usados para la separación de gases, para la purificación de líquidos, el control de contaminantes o para la protección respiratoria (VIC05).

2.2.3.1.1. Mecanismo de Adsorción

La adsorción puede ser física (fisisorción), por medio de fuerzas de van der Waals, o química (quimiosorción), por medio de enlaces químicos.

A. Fisisorción: Las moléculas del adsorbato se mantienen unidas en la superficie del sólido por medio de las fuerzas intermoleculares de Van der Waals (Castellan, G, 1998), que son similares a las fuerzas de cohesión estando presentes en la condensación de vapores.

Según (Castellan, G, 1998) los principales aspectos que caracterizan la fisisorción son los siguientes:

- Entalpías de adsorción desde -4 hasta -40 KJ/mol.
- Solo se aprecia a temperaturas inferiores a la de ebullición de la sustancia adsorbida.
- La cantidad de la adsorción sobre una superficie depende más de la sustancia que se adsorbe que del adsorbente.
- No se aprecia energía de activación de adsorción.
- Se forman capas múltiples adsorbidas.
- No es específica

B. Quimiosorción: Se produce una reacción química entre el adsorbato y la superficie del adsorbente produciéndose así enlaces relativamente fuertes que conducen a procesos irreversible. La unión formada entre el adsorbato y el adsorbente es esencialmente una unión química y por tanto mucho más fuerte que la fisisorción.

De acuerdo a (Basso et al., 2001) este tipo de adsorción se caracteriza por:

- Entalpías de adsorción que van desde -40 hasta -800 KJ/mol.
- Se observa a temperaturas elevadas.
- La cantidad de adsorción sobre una superficie depende tanto de la sustancia que se adsorbe como del adsorbente.
- Se manifiesta energía de activación de adsorción.
- La adsorción da lugar a lo sumo a una monocapa.

C. Desorción: La desorción es la operación “inversa” donde uno o más componentes de la fase líquida se transfieren selectivamente a la fase gaseosa.

Los estudios de adsorción-desorción (Batch) constituyen una de las técnicas más frecuentes utilizadas en la caracterización de la sorción de los compuestos orgánicos e inorgánicos (Condeso M.T, 1996)(Wang, et al. 1998).

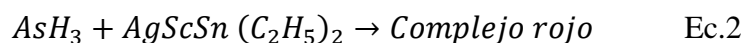
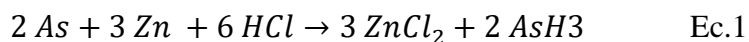
2.2.3.1.2. Equilibrio de Adsorción

El estado de equilibrio entre el adsorbato y el adsorbente, así como la función de distribución de las energías de adsorción se puede describir mediante una isoterma de adsorción. Esta isoterma consiste en cuantificar la cantidad de adsorbato adsorbido (a cierta presión parcial) en equilibrio a temperatura constante. Con una isoterma de adsorción se puede estimar área superficial, volumen de poro, información sobre la química de la superficie del adsorbente, eficiencia en adsorción entre otros. (Patrick, J, 1995).

2.2.4. Método Espectrofotométrico - Generador Gutzeit

La técnica de Generación de Hidruro, basada en la reacción de Marsh y Gutzeit en la cual se emplea zinc como reductor, se conoce bien desde hace bastantes años (Burguera et al., 1991).

El arsénico inorgánico se reduce a arsina, utilizando zinc en solución ácida como reductor. La arsina es absorbida por una solución de dietilcarbamato de plata en piridina. La sal de plata reacciona con la arsina y se produce un complejo rojo con absorción máxima a 535 nm, que se puede emplear para la determinación espectrofotométrica de arsénico. Este método es aplicable a la determinación de arsénico en muestras de agua potable, superficial, subterránea y residual (Wong et al, 2000).



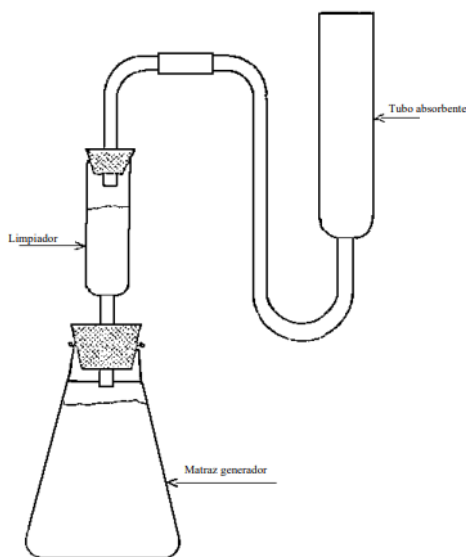


Figura 4. Sistema método Gutzeit

En la Figura N°4 se aprecia el Sistema del método Gutzeit, cuyo procedimiento se encuentra validado por la Norma Mexicana AA-046-1981 “Análisis de agua.- Determinación de arsénico.- (método espectrofotométrico)” el cual consiste en tomar 25 cm³ de muestra o una alícuota y pasarla al frasco generador, agregar 5 cm³ de HCl concentrado y agitar cuidadosamente, al mismo agregar 0.5 cm³ de la solución de KI y 0.25 cm³ de la solución de SnCl₂ y agitar cuidadosamente, dejar reposar 15 minutos para que el arsénico se reduzca a estado trivalente. En el aparato generador de arsina se debe medir con pipeta 5 cm³ del reactivo de dietilcarbamato de plata en el tubo absorbente. Se agrega 5g de zinc metálico al frasco generador e inmediatamente conectarlo al tubo limpiador asegurándose que estén herméticamente unidos. Se deja durante 30 minutos que se genere la arsina y se vierte la solución del tubo absorbedor a una celda y mide la absorbancia de la solución a 535nm (Norma Mexicana NMX-AA-46-1981, 1992).

2.2.5. Carbón Activado

2.2.5.1. Definición

El carbón activado (CA) es una sustancia de amplio uso en la industria debido a que es un material con excelentes propiedades adsorbentes. Este material se caracteriza por poseer una alta superficie interna, variedad de grupos funcionales y una buena

distribución de poros, propiedades que le permiten atrapar una gran diversidad de moléculas (Padrón et al, 2013).

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante (Rodríguez & Molina, 2012).

2.2.5.2. Composición Química

La composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas. La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 6% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno.

Su capacidad absorbente se ve muy favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares, dada su estructura química (Grupo TAR, 1997)

2.2.5.3. Composición Física

Se pueden describir dos tipos de estructuras porosas para el carbón activado:

El primer tipo de estructura está formado por microcristalitas que en dos planos son semejantes al grafito constituido por capas paralelas de átomos de carbono ordenadas hexagonalmente; El segundo tipo de estructura se describe como un retículo tridimensional de hexágonos de carbono desordenados como resultado del ordenamiento al azar de las estructuras bencénicas condensadas que se forman durante la carbonización. Entre los microcristales que constituyen el carbón, existen huecos o espacios vacíos los cuales se denominan poros. El área superficial total de estos poros, incluida el área de sus paredes, es muy amplia, siendo ésta la principal razón de su gran capacidad de absorción. (Grupo TAR, 1997)

Los poros presentes en el Carbón Activado se clasifican (establecida por la IUPAC), según el diámetro de los mismos, en: microporos (menores de 2 nm de radio), mesoporos (de 2 a 50 nm de radio) y macroporos (mayores de 50 nm, típicamente de 200 a 2000 nm) (Groso, G & Brosa, J, 1999).

2.2.5.4. Tipos de Carbón Activado

Los carbones activos pueden clasificarse atendiendo al tamaño de las partículas en carbón activado en polvo (CAP) y carbón activado granular (CAG). Los CAP presentan tamaños menores de 100 μ m, siendo los tamaños típicos entre 15 y 25 μ m. Los CAG presentan un tamaño medio de partícula entre 1 y 5 mm. Los CAG pueden dividirse en dos categorías:

- I carbón activado troceado (o sin forma)
- II carbón activado conformado (o con una forma específica, cilindros, discos, etc.).

Los carbones activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de carbón o de trozos más grandes. Los carbones conformados pueden obtenerse por peletización o por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes. (Giner, G, 2017).

Existen además otras formas de clasificación de los carbones activados; los carbones activados fabricados a partir de maderas poco duras, forman poros de diámetro grande, y son particularmente adecuados para decolorar líquidos. Los carbones minerales, tienden a presentar una amplia gama de poros; suelen ser más adecuados para aplicaciones en las que los compuestos que buscan retenerse son de distintos tamaños moleculares (Aguas residuales principalmente); y por último los que parten de cáscaras o huesos duros, forman poros pequeños y medianos, y se aplican en el tratamiento de gases o en la potabilización de aguas que provienen de pozos y municipios previamente tratadas. (Carbon Activado, 2009)

2.2.5.5. Propiedades del Carbón Activado

La estructura del carbón activado está constituida por un conjunto irregular de capas de carbono, con espacios que constituyen la porosidad. Este ordenamiento al azar de las capas y el entrecruzamiento entre ellas impiden el ordenamiento de la

estructura para dar grafito, aun cuando se someta a tratamientos térmicos de hasta 3000°C. Es precisamente, esta característica del carbón activado la que contribuye a su propiedad más importante, la estructura porosa interna altamente desarrollada y al mismo tiempo, accesible para los procesos de adsorción (Reinoso, F, 2005)

El carbón activado presenta en su estructura átomos de carbono con valencia insaturada y, además, grupos funcionales (principalmente de oxígeno y nitrógeno) y componentes inorgánicos provenientes de las cenizas, todos ellos con un efecto importante en los procesos de adsorción.

Los grupos funcionales se forman durante el proceso de activación por interacción entre los radicales libres de la superficie del carbón que hacen que la superficie del carbón se haga químicamente reactiva y es la razón por la que afectan las propiedades adsorbentes, especialmente para moléculas de cierto carácter polar (Luna et al,2007).

2.2.5.6. Importancia y uso del carbón activado

El carbón activado tiene una amplia gama de aplicaciones tanto en polvo como granular en medio líquido y gaseoso. Las aplicaciones de los diferentes tipos de carbón pueden ser para aspectos tales como:

- Remoción de color, olores y sabores indeseables en líquidos y bebidas como: refrescos, cerveza, vinos, jugos, vinagre, etc.
- En la clarificación de jarabes y azúcar refinada
- En mejorar las propiedades de diferentes líquidos en la industria de alimentos.
- En la remoción de contaminantes en aguas potables y residuales tratadas y no tratadas.
- En la remoción de contaminantes en emisiones gaseosas.
- En la filtración y acondicionamiento de aire en lugares públicos y cerrados.

(Carbon Activado, 2009)

Los carbones activados son utilizados generalmente en procesos de descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones,

decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos, entre otros procesos (Groso, G & Brosa, J, 1999)

El carbón activado es un sólido que tiene dos propiedades que lo han hecho muy útil en el tratamiento de aguas. La primera consiste en que atrapa todo tipo de contaminantes orgánicos en sus paredes, con una avidez tal que puede dejar un agua prácticamente libre de estos compuestos. La segunda, es que destruye el cloro libre residual que no ha reaccionado después de que dicho compuesto haya realizado una acción desinfectante. En estas funciones se ha considerado desde hace muchos años la tecnología más rentable. Debido a ello, prácticamente todas las industrias que requieren agua potable utilizan carbón activo como uno de los procesos básicos de purificación. (Grupo TAR, 1997)

El carbón activado tiene múltiples aplicaciones en diversos campos como la medicina, el tratamiento de aguas, la eliminación de olores y sabores, como agente decolorante en la industria del azúcar, así como para uso en máscaras de adsorción de gases tóxicos, entre otras (Prías-Barragán et al., 2011)

La aplicación de carbón activado constituye un tratamiento terciario y tiene por propósito, obtener una calidad de efluente mejor que la conseguida en los tratamientos primarios y secundarios convencionales. Su aplicación se realiza en lechos empacados, tipo columnas, cargados con gránulos del material adsorbente (carbón activado) y se bombea, a través del filtro empacado, el efluente a tratar. A medida que el agua fluye a través de la columna, los químicos se adsorben a la superficie porosa de los gránulos. Cuando la superficie disponible del carbón activado se llena de químicos, se dice que el carbón está gastado. Este carbón gastado debe reemplazarse o limpiarse para permitir que el filtro se reutilice. (Bansal, R & Goyal, M, 2005)

2.2.5.7. Fuentes de Generación de Carbón Activado

La producción de carbón depende, entre otros aspectos, de la disponibilidad, la calidad y los costos de la materia prima, parámetros que de acuerdo a las propiedades intrínsecas del precursor determinan las propiedades físicas y químicas del carbón resultante (Prías-Barragán et al., 2011).

Los carbones activados comerciales son preparados a partir de materiales precursores con un alto contenido en carbono, especialmente, materiales orgánicos como, madera, huesos, cáscaras de semillas de frutos, como también, carbón mineral, breas, turba, etc. (Giner, G, 2017)

Actualmente el carbón activado puede ser producido a partir de cualquier material rico en carbono, pero sus propiedades estarán muy influenciadas por la naturaleza de la materia prima con que es producido y por la calidad del proceso de activación.

La selección de la materia, que se utilizará para la obtención del producto final, dependerá de un grupo de factores que deben ser considerados, como son: Disponibilidad y costo de la materia prima; la tecnología disponible y la demanda en el mercado de un determinado tipo de carbón activado. (Ramirez, C, 2009)

En la tabla N°11 se muestran las principales materias primas y tecnologías de activación utilizadas en la producción de carbones activados, así como la dureza, el radio medio de poro y el radio de poro dominante de los productos obtenidos.

Tabla 11. Principales materias primas y tecnologías con las que se fabrican carbones activados y valores típicos de las principales propiedades obtenidas (Sevillano, A & Torres, P, 2013)

MATERIA PRIMA	METODO DE ACTIVACION	DUREZA O RESISTENCIA A LA ABRASION	RADIO MEDIO DE PORO (nm)	RADIO DE PORO DOMINANTE (nm)
Madera de pino	Deshidratación química ¹	30-50	200 a 2000	50-10000
Carbón mineral Lignítico	Térmica ²	40-60	3.3	1-1000
Carbón mineral bituminoso	Térmica ²	70-85	1.4	1- 100
Concha de coco	Térmica ²	90-99	0.8	<10

¹Generalmente con ácido fosfórico y en ocasiones con cloruro de zinc. También hay empresas que lo activan térmicamente.

²En atmósfera saturada de vapor de agua o con gases de combustión.

En la tabla N°12 se muestran las principales aplicaciones de los distintos tipos de carbón activado en tratamiento de agua, de acuerdo con su origen y, por lo tanto, con el tamaño de sus poros predominantes. Precusores, lignocelulosos y para remover metales pesados.

Tabla 12. Principales aplicaciones de carbón activado en tratamiento de agua de acuerdo con su origen (Ramirez, C, 2009)

TIPO DE CARBON ACTIVADO DE ACUERDO CON SU ORIGEN	PRINCIPAL APLICACIÓN EN TRATAMIENTO DE AGUA	OBSERVACIONES
Vegetal (madera de pino)	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual con colores intensos y/o con cantidades sustanciales de grasas, aceites y otros compuestos de alto P.M. - Potabilización de agua superficial con alto contenido de materia orgánica natural 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere un carbón activado macro poroso, ya que los contaminantes mencionados tienen un tamaño molecular relativamente grande. - Usado en la industria textil, de alimentos y de petróleo. - Como este carbón activado es poco duro, normalmente se aplica como polvo.
Mineral lignítico	<p>Agua residual cuyos contaminantes sean muy diversos, como las de procedencia municipal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Este carbón activado tiene poros de muy diversos tamaños, por lo que es el adecuado cuando los contaminantes sean de una gran gama de tamaños moleculares. - La dureza de este carbón es relativamente baja.
Mineral bituminoso	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual en la que predominen contaminantes de P.M. intermedio. 	<ul style="list-style-type: none"> - La mayoría de los poros de este carbón activado están en el rango bajo de la meso porosidad.

	- Potabilización de agua superficial o con un ligero color producido con algas.	- Es menos duro que el de concha de coco, pero más adecuado cuando hay una alta proporción de contaminantes no volátiles
Concha de coco	<ul style="list-style-type: none"> - Potabilización de agua de pozo. - Eliminación de olor, sabor y compuestos volátiles en agua superficial. - Agua residual contaminada con solventes volátiles o con otras moléculas de bajo peso molecular. - Decoloración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es el carbón con más proporción de micro poros, por lo tanto, es el más adecuado para retener moléculas pequeñas. - Es el carbón utilizado cuando solamente se requiere decolorar, ya que es el más duro y resistente a la abrasión.

En la Tabla N°12, se muestra las principales aplicaciones en el tratamiento de agua de los distintos tipos de carbón activado, el que presenta mayores aplicaciones para la potabilización de agua, eliminación de olor, sabor y COV del agua, descontaminar agua residual y para decoloración es el tipo de CA concha de coco, mientras que solo del material lignítico se encarga solo de descontaminar agua residual

La remoción de metales pesados utilizando materiales naturales ha sido analizada de manera intensiva en las últimas décadas; son numerosos los estudios desarrollados para describir los procesos de biosorción e identificar materiales con alta capacidad de remoción, bajo costo y ampliamente disponibles.

2.2.5.7.1. La Cáscara de Plátano (*Musa paradisiaca*) y la coronta de maíz (*Zea mays l*) como fuentes de generación de carbón activado.

I. Cáscara de Plátano (*Musa paradisiaca*)

a. Generalidades

La cáscara de plátano es un compuesto lignocelulósico compuesta de: celulosa, hemicelulosa y lignina, pero su composición varía con el origen del material. La

cáscara de banana maduro es el material lignocelulósico, que representa alrededor del 40 % del peso total de la fruta (Monsalve et al, 2006). La composición química de la cascara del plátano se detalla a continuación:

Tabla 13. Composición química de la cáscara del plátano (Monsalve, et al. 2006)

Componentes	(% base seca)
Almidón	39.89
Humedad	89.1
Hemicelulosa	14.8
Celulosa	13.2
Lignina	14
Magnesio	0.16
Calcio	0.26
Cenizas	11.37

Celulosa: Es un homopolisacarido de cadenas largas sin ramificaciones de β -D-glucosa; se distingue del almidón por tener grupos $-CH_2OH$ alternando por arriba y por debajo del plano de la molécula. La ausencia de cadenas laterales permite a las moléculas de celulosa acercarse unas a otras para formar estructuras rígidas (Mendez, K, 2008).

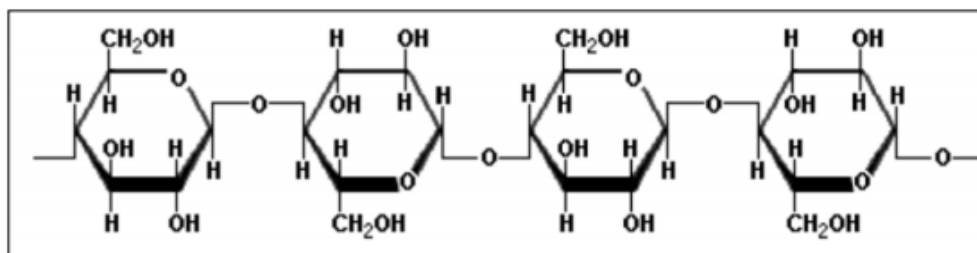


Figura 5. Fórmula Química de la Celulosa (Mendez, K, 2008)

Hemicelulosa: Es un heteropolisacarido, formado por glucosa, xilosa, arabinosa, excluyendo la celulosa, constituyen las paredes celulares de las plantas y se pueden extraer mediante hidrolisis ácido o enzimática. Las hemicelulosas forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes leñosas de las plantas. Su estructura química consiste de cadenas largas con una gran variedad de

pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos urónicos. (Tapia, N, 2003)

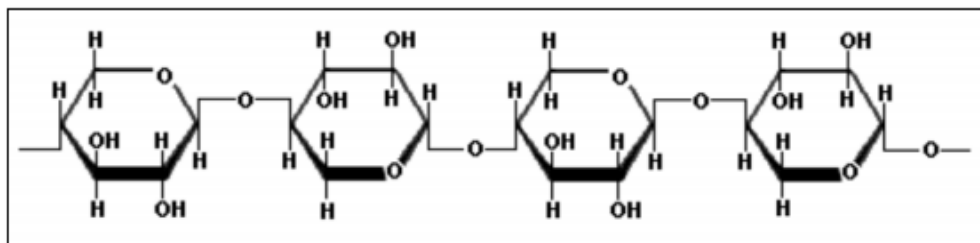


Figura 6. Fórmula Química de Hemicelulosa (Tapia, N, 2003)

Pectina: son polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30 % de masa seca de la pared celular primaria de las células vegetales. Determinan la porosidad de la pared y, por tanto, el grado de disponibilidad de los sustratos de las enzimas implicadas en las modificaciones de la misma. Las pectinas, también, proporcionan superficies cargadas que regulan el pH y balance iónico (Tapia, N, 2003).

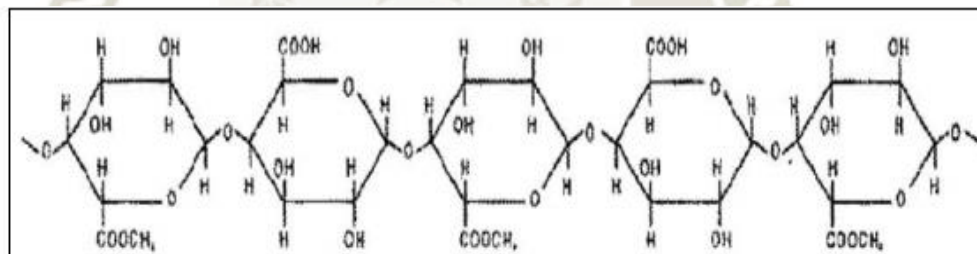


Figura 7. Fórmula Química de la Pectina (Tapia, N, 2003)

b. Producción Mundial de Plátano

Los plátanos se producen a lo largo del trópico húmedo, concentradas fundamentalmente en África, América Latina y el Caribe. Constituyen una importante fuente de carbohidratos y contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas. Las formas de su consumo varían ampliamente entre países, de acuerdo a los hábitos alimenticios. Los sistemas de producción son en su mayoría tradicionales, y se dan frecuentemente en asocio con otro tipo de productos agrícolas, como el café, cacao, entre otros. En algunos países se da el esquema de monocultivo de plantación. Para el 2007, en el mundo el plátano se cultivó en 5.4 millones de hectáreas y se obtuvo 33.92 millones de toneladas. (Cardenas, F, 2007).

Tabla 14. Área y Producción por regiones productoras de Plátano – 2007 (FAO)

Regiones	Área (miles de Ha)	Participación	Producción (miles de TM)	Participación
<u>Mundial</u>	<u>5,375.11</u>	<u>100.00%</u>	<u>33,924.86</u>	<u>100.00%</u>
<u>África</u>	<u>4,308.45</u>	<u>80.16%</u>	<u>24,377.64</u>	<u>71.86%</u>
África del Este	2,418.00	44.58%	13,336.00	39.31%
África del Centro	614.88	11.44%	3,055.86	9.01%
África del Oeste	1,257.57	23.73%	7,985.78	23.54%
<u>América</u>	<u>956.18</u>	<u>17.79%</u>	<u>8,394.38</u>	<u>24.74%</u>
América del Centro	57.87	1.08%	785.92	2.32%
Caribe	175.14	3.26%	1,531.62	4.51%
América del Sur	723.16	13.45%	6,076.83	17.91%
<u>Asia</u>	<u>109.42</u>	<u>2.04%</u>	<u>1,148.72</u>	<u>3.39%</u>
Asia del Sur	49.42	0.92%	518.72	1.53%
Asia del Sudeste	60.00	1.12%	630.00	1.86%
<u>Oceanía</u>	<u>1.06</u>	<u>0.02%</u>	<u>4.13</u>	<u>0.01%</u>

En el año 2007, se produjeron casi los 34 millones de toneladas métricas de plátano en el mundo, de las cuales el 71.86% se produjo en el continente africano, 24.74% en América, 3.39% en Asia y 0.01% en Oceanía (Cardenas, F, 2007).

Tabla 15: Principales países productores de Plátano (FAO)

2005			2006			2007		
Posición	Región	Producción (TM)	Posición	Región	Producción (TM)	Posición	Región	Producción (TM)
1	Uganda	9045000	1	Uganda	9054000	1	Uganda	9231000
2	Colombia	3457185	2	Ghana	2900000	2	Nigeria	2991000
3	Ghana	2792000	3	Nigeria	2785000	3	Ghana	2930000
4	Rwanda	2593080	4	Colombia	2704172	4	Rwanda	2600000
5	Nigeria	2591000	5	Rwanda	2653348	5	Colombia	2780642

6	Perú	1697120	6	Congo	1918080	6	Perú	1834511
7	Cote divoire	1569866	7	Perú	1778159	7	Cote divoire	1510778
8	Camerún	1355660	8	Cote divoire	1540039	8	Camerún	1400000
9	Congo	1193024	9	Camerún	1400000	9	Congo	1204860
10	Ecuador	708012	10	Myanmar	625000	10	Myanmar	630000
11	Myanmar	650000	11	Kenya	600000	11	Kenya	605000
12	Kenya	600000	12	Tanzania	600000	12	Tanzania	600000
13	Tanzania	600000	13	Ecuador	580664	13	Cuba	605000
14	Sri Lanka	545280	14	Rep. Dominic.	542756	14	Sri Lanka	518720
15	Cuba	484487	15	Cuba	532283	15	Ecuador	595027
16	Venezuela	491983	16	Sri Lanka	504480	16	Rep. Dominic.	504631
17	Guinea	430000	17	Bolivia	443819	17	Guinea	436000
18	Bolivia	443369	18	Guinea	435000	18	Bolivia	445898
19	Rep. Dominic.	412045	19	Venezuela	335275	19	Venezuela	390319
20	Malawi	300000	20	Malawi	300000	20	Malawi	300000

Los 10 países con mayor producción obtenida de plátano a nivel mundial durante año 2016 (TM), Camerún fue el país con la mayor producción de plátano en el mundo, con el 12.3% del total. Le siguieron Ghana con 11.3%, Uganda con 10.6%, Colombia con 10.1%, y Nigeria y Filipinas con 8.8% (Olmo Axayacatl, 2016).

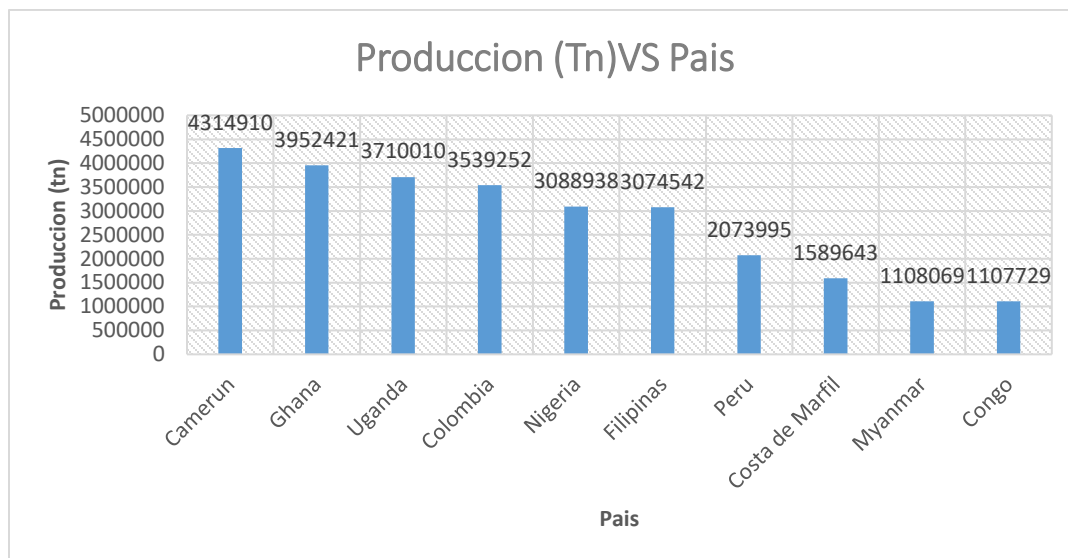


Figura 8. Países con mayor producción de plátano en 2016 (Olmo Axayacatl, 2016)

En la figura N°8 se aprecia que durante el 2016 Uganda fue el país con la mayor superficie cosechada de plátano en el mundo, con el 18.0% del total. Le siguieron Nigeria con 10.2%, Costa de Marfil con 9.0%, Colombia con 8.6% y Ghana con 7.7%, según los datos que se presentaron fueron extraídos de FAOSTAT, la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (Olmo Axayacatl, 2016)

c. Producción Nacional de Plátano

En el Perú, el cultivo de plátano y banano se caracteriza por ser un producto agrícola de gran expansión en la región selva y norte del país, este cultivo exige un clima cálido y una constante humedad en el aire característicos de estas zonas.

El cultivo del plátano y banano en el Perú, así como la adecuada oferta del producto, tienen una gran importancia social y económica, por ser uno de los productos fundamentales en la dieta alimentaria del poblador peruano, principalmente del habitante de la selva. (Cardenas, F, 2007)

Según el año 2010 la producción de plátano fue de 78 000 TM, para el año 2011, 2012 y 2013 fue de 100 000 TM, 200 000 TM y 239 257 TM según datos de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (Actualitix, 2016).

Perú - Plátano - Producción (Toneladas)

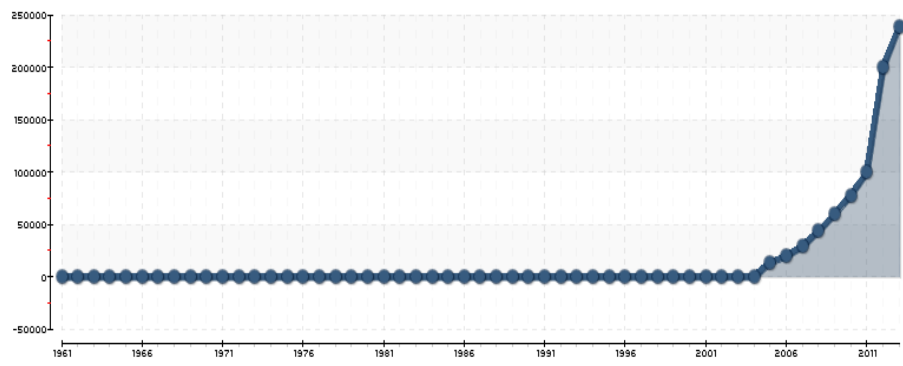


Figura 9. Data histórica de producción de Plátano en el Perú (Actualitix, 2016)

La superficie instalada para el cultivo de plátano a nivel nacional según Datos del Minagri, durante la campaña de los años 2014 y 2015, la provincia de San Martín mantiene la mayor superficie instalada con 35,313 ha, con una participación del 21.39 %, seguida por Loreto con 26,389 ha (15.89%), Ucayali con 21,579.74 ha (13%), Junín con 17,090 ha (10.29%), Amazonas con 12,012.4 ha (7.23%) y Piura con 11802 ha (7.11); estos departamentos concentran el 74.91 % de toda la superficie instalada nacional.

El departamento de Ica mantiene el mejor rendimiento promedio con 29,335 kg/ha, seguida por Tumbes con 27,185 kg/ha, Piura con 20,530 kg/ha, La Libertad con 15,675 kg/ha y San Martín con 13,055 kg/ha. El rendimiento promedio nacional es de 12.803 kg/ha según el año 2013 (MINAGRI, 2015).

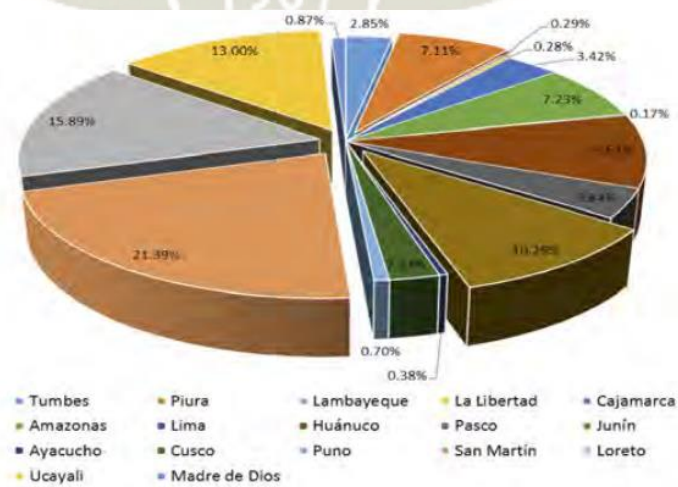


Figura 10. Superficie instalada para el cultivo de plátano a nivel nacional según Datos del Minagri (MINAGRI, 2015)

Según el Minagri, en 2016, este producto alcanzó 169,646 ha de superficie de cosecha, un 36.5% del total de la superficie de frutas y nueces en el Perú, con el departamento de San Martín como el de mayor concentración, al representar un 18.4% del total de superficie cosechada de bananos y plátanos a nivel nacional. Lo siguen Loreto (15%), Ucayali (12.3%) y Piura (8.9%). Igualmente, la producción en 2016 alcanzó las 2, 073,995 t, las cuales se concentraron en San Martín, con 385,532t (18.6% del total de producción); Loreto (13.3%), Piura (13.2%) y Ucayali (12.7%). (Actualitix, 2016)

d. Investigaciones de aplicación de Cáscara de Plátano como carbón activado

Esta fruta tropical posee una gran cantidad de investigaciones, como se puede apreciar en el Anexo 01, a su vez esta fruta cuenta con una excelente combinación de minerales y vitaminas que proporcionan energía y la convierten en un alimento indispensable en cualquier dieta. Es importante remarcar que la ingesta de plátano favorece regímenes y tratamientos para la diabetes y reducción de obesidad. Es, además, el complemento perfecto para personas con gran actividad física, como niños y deportistas

La cáscara de plátano, además de ser un residuo barato y altamente disponible, tiene en su composición hidroxila y carboxila de pectina, elementos capaces de adsorber no sólo metales pesados sino también compuestos orgánicos (Renata, y otros, 2009). La cáscara de plátano, cuando se seca y muele, hasta obtener un polvo muy fino, tiene la capacidad de limpiar las aguas contaminadas con metales pesados de una manera eficaz y barata. En Brasil se aprovecha este desecho para la limpieza de uno de los principios básicos de la física-química: los polos opuestos, se atraen. En la cáscara de plátano existe un gran número de moléculas con carga negativa como carbonil, carboxil, sulfidril, fosfato e hidroxil (Ministerio Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014)

Estas moléculas tienen la capacidad de atracción sobre la carga positiva de los metales pesados (Annadurai et al, 2002).

Una de las investigaciones realizadas en las muestras de agua tomadas de los ríos

Daule y Tenguel para su posterior filtración con carbón generado a partir de materiales de desecho como son las cascara de plátano, la cascarilla de arroz y las pepas de zapote, los cuales fueron activados químicamente de manera independiente, obtenido así tres variedades de carbón activado.

Los resultados de los análisis de turbidez, DBO5, dureza total, y los iones As y Cu del producto obtenido después del filtrado en los tres tipos de carbón activado cumplen con los límites máximos permisibles dictado por la legislación para el agua potable. Logrando concluir que la adsorción del carbón activado, según la isoterma de Langmuir, proveniente de las semillas de zapote y la cascara de plátano en comparación con el carbón comercial (NORIT GAC 830) fueron las más eficientes. La cascara de plátano logro reducir de la cantidad inicial de la muestra de agua contaminada con arsénico de 0.06 mg/L a <0.031 mg/L. (Aguilar, et al. 2016).

Referencialmente otra de las investigaciones realizadas fue enfocada en la retención de los metales pesados (cromo y plomo) por parte de cáscara de plátano maduro en polvo. En este estudio se comprobó que la harina de cáscara de plátano maduro presenta un gran potencial para la remoción de Pb (II) y Cr (VI), debido a los grupos funcionales (hidroxilos, carboxilos y alquilo) presentes en su estructura molecular, este tipo de residuo agroindustrial se puede considerar como una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales con contenido de iones de plomo y cromo debido a que la presencia de los grupos funcionales carboxil, carbonil, sulfidril, fosfato e hidroxil, pueden contribuir a enlazar los contaminantes los contaminante como el plomo y cromo (Junxioing, et al. 2009).

Consiguientemente la relación de gramos de adsorbente por litro de solución es un factor muy importante en el proceso de adsorción; esta variable limita la cantidad máxima de iones de plomo (II) y Cromo (VI) que la cáscara de banano puede adsorber; a mayor relación g/L mayor porcentaje de adsorción; es necesario encontrar una relación para el equilibrio entre la cantidad de cáscara gastada y el porcentaje obtenido de remoción; de acuerdo con los resultados en esta investigación, se encontró que con la relación de 20 g/L, se obtuvieron los porcentajes mayores de remoción, los cuales fueron de 80 % Pb del y 51,2 % del Cr, respectivamente (Castro, B, 2015).

II. Coronta de maíz (*Zea mays L.*)

El maíz es un alimento fundamental de la dieta de muchos países Latinoamericanos, tanto por su alto valor nutricional, como por sus importantes propiedades medicinales (FAO).

a. Generalidades

El maíz contiene un 85% de granos y un 15% de coronta, esta planta contiene antocianinas que se encuentran dispersas en diferentes proporciones en los tallos, hojas y mazorca, las antocianinas con grupos hidroxilo fenólicos vecinos pueden secuestrar diversos metales (Sánchez et al, 2014).

De acuerdo a (Vera et al. 2016), los grupos funcionales presentes en el marlo de maíz son los siguientes: Alquilo, -OH o -NH-, Alcohol, Éter, Celulosa, Lignina.

b. Producción Mundial de Maíz

El maíz es uno de los cultivos con mayor producción en el mundo, generando residuos agrícolas como coronta de maíz, hoja y bagazo de maíz, los cuales son incinerados en una gran proporción (Zheng et al., 2010).

El maíz es el cultivo de mayor área sembrada, el más producido y consumido en el mundo, desde que supero al trigo en volumen de producción; además, ha venido incrementándose su producción en los últimos años. Se estima que el 92% de las siembras corresponden a maíz amarillo y el 8% restante al maíz blanco. El maíz se produce en todos los continentes; siendo 168 los países que lo cultivan (Ripusudan, L, 2001).

c. Producción Nacional de Maíz

El maíz es un vegetal oriundo del Perú, posee propiedades funcionales, nutritivas y medicinales actúa como antioxidante, representa una de las fuentes de alimentación más importante en nuestro país (Sanchez et al, 2014).

d. Investigaciones de aplicación de Coronta de Maíz como carbón activado

La coronta de maíz posee una gran cantidad de investigaciones, como se puede apreciar en el Anexo 02, a su vez, la coronta de maíz es un subproducto agrícola renovable, ampliamente disponible y de bajo costo, para el cual se han reportado

capacidades de adsorción de colorantes y metales pesados tanto para el material nativo como para el modificado, que señalan su uso alternativo como potencial adsorbente (Zheng et al, 2010).

El 2015, se realizó una investigación de materiales adsorbentes para eliminar metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando para ello (Vera et al, 2016).

Un grupo de investigadores probó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado generado a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable producido en la ciudad de Tumbes. Cuyos resultados lograron reducir eficientemente los niveles de concentración de turbidez, cloro residual en el agua potable llegando a valores entre 46.9 y 68.9 % y entre 87.5 hasta 100 % respectivamente. La cantidad inicial de bacterias heterótrofas en el agua también se logró reducir en niveles de 32,8 y 66,7 % en los primeros 50 min del experimento (Cruz et al, 2015).

Otra investigación se realizó en Apurímac donde analizaron la capacidad de remoción del molibdeno de las aguas del río Challhuahuacho de Cotabambas – Apurímac con carbón activado de tusa de maíz (*Zea mays l*), donde determinaron que el carbón activado de tusa de maíz ofrece excelentes condiciones para el tratamiento de aguas contaminadas con molibdeno, ya que con pH 9 logro una remoción del 92% utilizando 1g. de carbón activado (Janqui, G, 2018).

Jesús Trelles realizó una investigación el 2013 para analizar la viabilidad de ocho especies vegetales para remover arsénico en medio acuoso, una de las cuales fue el carbón activado obtenido de la panca del maíz, la cual logro una remoción máxima de 23.1%, disminuyendo la concentración de Arsénico de 50 $\mu\text{g As/l}$ a 38.45 $\mu\text{g As/l}$, en un tiempo de 330 minutos usando 3.333 g/l de sorbente (Trelles, J, 2013).

William Huallpa realizó una investigación para determinar en qué medida la biosorción con panca de maíz (*Zea mays l.*) remueve arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, para ello modificó el biosorbente generado de la panca de maíz con una solución de H_2SO_4 esto con el propósito de incrementar el porcentaje de Lignina y activar los grupos funcionales presentes en el biosorbente, con un tiempo de contacto de 60 minutos y velocidad de agitación de 200 rpm, se

demonstró que el tratamiento que mostró la mayor capacidad de remoción de arsénico fue el que tuvo una dosis de 1,5g y condiciones de tamaño de partícula de 250um, ya que llegó a alcanzar un porcentaje de remoción de 37,16% (Huallpa, W, 2017).

2.2.6. Mecanismos de adsorción

2.2.6.1. Isotermas de adsorción

La adsorción es generalmente descrita por medio de una isoterma. Las isotermas de adsorción indican como las moléculas adsorbidas se distribuyen entre la fase líquida y la sólida cuando el proceso de adsorción alcanza un estado de equilibrio. (Rivas et al, 2014).

Una isoterma de adsorción es una curva inestimable describiendo el fenómeno que rige la retención (o liberación) o la movilidad de una sustancia desde los medios porosos acuosos o ambientes acuáticos a una fase sólida a una temperatura y pH constante (Altamar, et al. 2016).

Las isotermas han de obtenerse a partir de la interpolación de datos experimentales, aunque existen también modelos teóricos, de los que se pueden obtener las propiedades del sistema. Para el análisis termodinámico, cualquier modelo de isoterma puede ser utilizado para fines de correlación, siempre y cuando la ecuación tenga una pendiente definida en el origen, que se denomina constante de Henry. Las ecuaciones de isotermas que tienen una pendiente infinita en el origen implican afinidad infinita para las moléculas de gas con el sólido, lo que es imposible desde el punto de vista termodinámico (Talu, O, 1998).

Los parámetros fisicoquímicos junto con los supuestos termodinámicos dan una idea del mecanismo de adsorción, las propiedades de la superficie, así como el grado de afinidad de los adsorbentes

Se han descrito un gran número de modelos de isotermas de equilibrio: Isotermas de Langmuir, Freundlich, Brunauer-Emmett-Teller, Redlich-Peterson, DubininRadushkevich, Temkin, Toth, Koble-Corrigan, Sips, Khan, Hill, Flory-Huggins y Radke-Prausnitz. (Foo, K & Hameed, B, 2010).

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Área de influencia

El distrito de Quequeña es uno de los más antiguos de Arequipa, cuya población es de 1473 habitantes, según Base de Datos de Censos Nacionales 2018 reportado por el INEI. El área de estudio son las aguas del río Yarabamba que son utilizadas en el distrito de Quequeña para el abastecimiento de agua potable a cargo de la Municipalidad del Distrito.

2.3.2. Ubicación

- Departamento: Arequipa
- Provincia: Arequipa
- Distrito: Quequeña
- Coordenadas Geográficas: 16°33'17"S
71°28'04"O

2.3.3. Cuenca Hidrográfica

El agua que utiliza la Municipalidad Distrital de Quequeña para el abastecimiento de agua potable a la población, corresponde al río Yarabamba, perteneciente a la cuenca Hidrográfica Quilca-Chili, Sub cuenca Yarabamba.

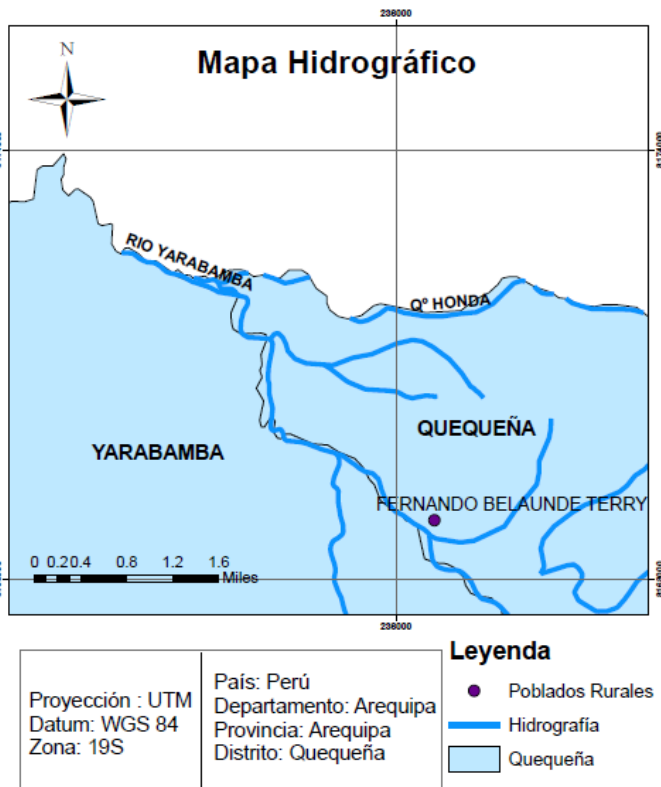


Figura 11. Mapa Hidrográfico¹

1: Elaboración propia

En la Figura N°11 se aprecia el mapa hidrográfico de la zona, donde se aprecia que Quequeña utiliza las aguas del río Yarabamba cuyo caudal disponible de la fuente de agua es 3.77 l/s (Municipalidad Distrital de la Villa de Quequeña - Arequipa, 2017).

2.3.4. Demanda de agua potable para población de Quequeña

2.3.4.1. Demanda Actual de agua potable para población de Quequeña

Según el INEI para el año 2018 la población actual de la localidad de Quequeña es de 1473 habitantes, por lo que para estimar la demanda actual nos basaremos en los datos de SEDAPAL quienes consideran que un Peruano consume un promedio diario de 250 litros de agua o 0.25 m³/día (SEDAPAL, 2014), por lo que la demanda actual que necesitarían los habitantes de Quequeña sería de 368.25 m³/día de agua potable.

2.3.4.2. Demanda Futura de agua potable para población de Quequeña

Para determinar la demanda Futura de Agua Potable primero se calculará el número de población futura, para ello el método más utilizado es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. A través de este método, sólo se necesita el tamaño de la población en dos tiempos distintos, en este caso 2018 tiempo actual y la proyección será 10 años por lo tanto será 2029.

La población futura a través de este método se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Pd = Pa + r.t \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

Pd = Población de diseño (hab.)

Pa = Población actual (hab.)

r = Tasa de crecimiento (hab./año)

t = Período de diseño (años)

El coeficiente de la tasa de crecimiento (r) de acuerdo al Ministerio de Salud para Arequipa es de 15. Por lo que, en base a ello, se calcula la población futura en un periodo de tiempo de 10 años, por lo que sería la siguiente formula.

$$Pd = 1473 + (15 * 10)$$

$$Pd = 1623 \text{ hab.}$$

La segunda etapa para determinar la demanda hídrica actual es a partir de los datos establecidos por Sedapal; por lo que en total se necesitaría abastecer a los 1623 habitantes de la localidad de Quequeña un promedio de 405.75 m³/día de agua por habitante, este dato representa la demanda hídrica proyectada para un periodo de tiempo de 10 años.

2.3.5. Sistema de Tratamiento del Agua Potable de Quequeña

El sistema de tratamiento que administra la Municipalidad Distrital de Quequeña es solamente primario. El cual inicia con la captación del agua del río Yarabamba, la cual es derivada por un canal abierto hacia la planta de tratamiento, este canal cuenta con un sistema de rejillas que permite el cribado de partículas gruesas, en la planta de tratamiento el proceso inicia en la etapa de sedimentación, luego las aguas pasan por un sistema de filtración lenta en el cual utilizan grava, arena fina y gruesa, finalmente el efluente es llevado hacia el reservorio donde le adicionan cloro para su potabilización y se distribuye a la población de Fernando Belaunde Terry y el pueblo de Quequeña (Municipalidad Distrital de la Villa de Quequeña - Arequipa, 2017).



Figura 12. Ubicación del Sistema de Tratamiento

En la figura N°12 se aprecia que la distancia desde el punto de captación de agua del río Yarabamba al sistema de tratamiento es una distancia de 2 km, el cual se distribuye a través de canales de concreto abiertos, del sistema de tratamiento de la Planta de Tratamiento hacia el reservorio es una distancia 1 km. Para mayor detalle se puede apreciar en el Anexo 03.

2.3.6. Calidad del Agua Potable

El principal problema de la localidad son las enfermedades de origen hídrico, el cual es causado por consumo de agua de mala calidad, corroborado por medio de entrevistas hechas a los especialistas técnicos del centro de salud de la Municipalidad Distrital de Quequeña, quienes afirmaron que el principal motivo de las visitas al puesto de salud, es a consecuencia de las enfermedades parasitarias y gastrointestinales (Municipalidad Distrital de la Villa de Quequeña - Arequipa, 2017).

Según el Informe de Monitoreo de Calidad de Agua de Bebida, realizado el 2016 en la plaza de la localidad, teniendo como muestra el agua potable distribuida a la población, se obtuvieron los resultados que se observan en la tabla N°16. Se adjunta informe en Anexo 4:

Tabla 16. Resultados del Análisis de la calidad de Agua de Bebida del Distrito de Quequeña (ALS CORPLAB, 2016)

Parámetros Analizados	Unidad	Resultado	LMP ¹
Parámetros Físicos			
Cloro Total	Mg/L	0.57	
Conductividad	μS/cm	891.0	1500
Oxígeno Disuelto	Mg/L	7.72	-
PH	Unidades PH	8.51	6.5-8.5
Sólidos Totales Disueltos	Mg/L	532	1000
Turbidez	NTU	0.68	5
Parámetros Químicos			
Aluminio (Al)	Mg/L	0.0139	0.2
Arsénico (As)	Mg/L	0.02351 ²	0.01
Bario (Ba)	Mg/L	0.08920	0.700
Boro (B)	Mg/L	2.243	1.5
Calcio (Ca)	Mg/L	66.19	-
Cobre (Cu)	Mg/L	0.0036	2.0
Cromo (Cr)	Mg/L	0.0064	0.05
Hierro (Fe)	Mg/L	0.374	0.3

Mercurio (Hg)	Mg/L	<0.0001	0.001
Plomo (Pb)	Mg/L	< 0.00003	0.01
Sodio (Na)	Mg/L	62.05	200
Zinc (Zn)	Mg/L	0.0095	3.0
Parámetros Microbiológicos			
Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	170	500
Coliformes Totales	NMP/100 mL	<1.1	<1.8
Huevos y Larvas de Helmintos	Org/L	<1	0
Organismos de Vida Libre, Algas	Org/L	13043	0

- 1: Reglamento de la Calidad para consumo Humano (DIGESA, 2011).
2: Metal pesado que supera los límites máximos permisibles.

De la Tabla N°16 que presenta los resultados del monitoreo realizado en el agua de bebida de la población, se puede apreciar que las aguas distribuidas a la población cumplen la mayoría de parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA determinado por la Dirección General de Salud Ambiental; los parámetros que exceden lo permitido son algunos metales como el arsénico total cuyo resultado fue de 0.02351 mg As/L (23 µg As/L) y según el reglamento la concentración máxima permisible es de 0.01 mg As/L (10 µg As/L), igualmente con el Boro cuyo resultado fue de 2.2.43 mg B/L y según el Reglamento la concentración permisible es de 1.5 mg B/L, así mismo sucede con el hierro cuya concentración obtenida es de 0.374 mg Fe/L y lo permitido es de 0.3 mg Fe/L; con respecto a los parámetros microbiológicos se observa que el parámetro de organismos de Vida Libre Algas excede la concentración permisible siendo el resultado 13043 org/L y el valor permitido es 0org/L.

La presencia del metal de Arsénico en la fuente de agua es por la presencia del proyecto minero Lubrajo de la pequeña minera subterránea Chindin SAC que desde el año 2012 inicio trabajos de extracción de minerales metalíferos no ferrosos principalmente oro y

cobre abarcando un área de 100 hectáreas que abarca los principales ojos de agua que abastece a la población y a la zona agrícola (Guzman, J, 2011).



CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Este capítulo presenta una base metodológica describiendo el campo de verificación experimental, el diseño, técnicas y materiales, equipos e instrumentos utilizados en el trabajo de investigación.

3.1. Tipo de Investigación

La investigación realizada es de tipo experimental debido a que se realizó ensayos experimentales en el laboratorio para la recolección de la información cuantitativa para su análisis respectivo.

3.2. Campo de verificación (ubicación y unidades de estudio)

3.2.1. Ubicación espacial

Nuestra investigación se llevó a cabo en el Sistema de Tratamiento de Agua Potable del Distrito de Quequeña, situado en la provincia de Arequipa

3.2.2. Unidades de estudio

Mercado Mayorista Metropolitano (MMM- Rio Seco) situado en el distrito de Cerro Colorado en la vía Yura Km. 8.5 Pueblo Joven Rio Seco.

Mercado 13 de Enero situado en el distrito de José Luis Bustamante Rivero en la Calle Mariscal Castilla 107 Urb. 13 De Enero.

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Quequeña en el distrito de Quequeña.

La investigación se llevó a cabo en los Laboratorios H-301 y H-101 de la Universidad Católica de Santa María del distrito de Cercado.

3.3. Población, muestreo y muestra

3.3.1. Población

El abastecimiento de agua potable solo se da en 02 centros poblados: Fernando Belaunde Terry y Quequeña.

3.3.2. Muestreo

Para la toma de muestra del agua potable de Quequeña se realizó basándonos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales (DIGESA, 2007).

3.3.3. Muestra

Se recolectó un total de 7 litros de muestra de agua en el centro poblado de Quequeña en la misma Municipalidad.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Se utilizó como principales técnicas la observación y manipulación científica, el manejo de campo espacial, la experimentación en laboratorio y análisis de laboratorio de ensayo y manipulación del campo informático.

3.4.2. Instrumentos

Los principales instrumentos utilizados en esta investigación fueron:

- Registro de campo
- Registro de laboratorio
- Software informático
- Galería fotográfica.

3.5. Materiales y equipos

3.5.1. Materiales de Estudio

- Residuos de cascara de plátano generados en el MMM-Rio Seco
- Residuos de coronta de maíz generados en el M 13 de enero–J.L.B.y R.
- Agua potable obtenida de la Municipalidad Distrital de Quequeña

3.5.2. Materiales y Equipos de campo

- Saquillos de 36 x 60 cm
- Botellas de material PVC para muestreo para monitoreo ambiental
- Multiparámetro marca Hanna Instruments modelo HI 9812-5
- Balanza de plataforma electrónica (rango de pesaje de 0 a 200 kg), precisión +/- 0.1

3.5.3. Material y equipo de laboratorio

3.5.3.1. Materiales

- Solución de Ácido Fosfórico al 40% v/v
- Ácido Clorhídrico
- Solución de Hidróxido de Sodio al 0.1% v/v
- Piridina
- Granallas de Zinc
- Yoduro de Potasio
- Cloruro de estaño
- Agua destilada
- Ácido Nítrico

3.5.3.2. Equipos de laboratorio

- Beakers de 500ml
- Beakers de 1000 ml
- Probetas de 1000 ml
- Bagueta
- Piceta
- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Pipeta volumétrica de 5 ml
- Propipeta
- Papel filtro
- Soporte metálico y aro
- Embudo de 50mm
- Fiola de 1L
- Fiola de 10 ml
- Crisoles
- Capsulas de porcelana
- Balanza marca Scout Pro Modelo SP202, rango de medición 200g
- Mufla de secado marca H.W Kassel SAC modelo SEL-HORN R-32
- Sistema de molido “Molinete “marca Moulinex
- Licuadora marca Oster

- Estufa de secado Marca Fisher Scientific Modelo 516G.
- Espectrofotómetro Marca Boeco, Modelo S200
- Centrifuga Marca Hettich Modelo EBA20
- Sistema de filtros de 36.9 cm³ y de 31.8 cm³.
- Bomba peristáltica marca Stenner modelo SVP1 de 6.9 bar/100PSI
- Tamiz marca Retsch, apertura de 250 um, malla N°60
- Tamiz marca Retsch, apertura de 400 um malla N°100
- Termómetro Marca Giardino rango de medición -10°C a 100°C
- Cinta de medición de PH

3.5.3.3. Otros materiales

- Mangueras de plástico de 4 cm diámetro.
- Guantes de nitrilo
- Cinta teflón
- Espigas de bronce

3.5.3.4. Software

El software que representara la simulación de nuestro sistema es Lumion, el cual representara la realidad de nuestro proyecto.

3.6. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A. Obtención y caracterización de la muestra de agua inicial

Para la toma de muestra del agua potable de Quequeña se realizó basándonos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales (DIGESA, 2007). primeramente, se obtuvo material para la obtención de la muestra, para ello se esterilizo 07 botellas de PVC grueso herméticas de 1L.

La toma de muestra del agua potable se realizó en la fuente de agua de la Municipalidad Distrital de Quequeña, ya que esa misma fuente es la que llega a todos los domicilios del distrito. Se recolectaron 07 litros de agua, de los cuales 06 litros se utilizaron para el análisis experimental, mientras que 1 litro fue llevado para su análisis de concentración de arsénico en el Laboratorio de Investigación y Servicios – LABINVSERV de la Universidad Nacional de San Agustín – UNSA, a su vez con el

Multiparametro se realizó la medición de los parámetros de campo del agua como son pH, conductividad y Sólidos Totales Disueltos.

B. Obtención de Carbón Activado

- **Obtención de los precursores de Carbón Activado (Coronta de Maíz -P1 y Cascara de Plátano -P2)**

Se recolecto la materia prima de diferentes puntos de acopio, las cascaras de plátano se obtuvieron en el Mercado Terminal Pesquero de Río Seco y la coronta de maíz se obtuvo del mercado 13 de Enero de J.L.B. y Rivero, los residuos fueron recolectados en saquillos de 36 x 60 cm, de la coronta de maíz (P1) se obtuvo 10.36 kg y de la cáscara de plátano (P2) se obtuvo 12.58 kg.

- **Pretratamiento de Precursores P1 y P2**

Ambos precursores se lavaron con agua destilada para retirar las impurezas, en una proporción de 01 litro por cada kg de cascara de plátano obtenida y para el caso de la coronta de maíz fue de 02 litros por cada kg; seguidamente se dejaron secar al sol por un periodo de 02 semanas, determinándose la humedad antes y después del secado. Luego para reducir el tamaño de ambos precursores se procedió a realizar el molido por medio del molino de cuchillos y licuadora, finalmente se tamizo cada precursor molido con la malla N°60.

- **Preparación de Carbón Activado C1 y C2**

Para realizar la preparación del Carbón Activado proveniente de los precursores de cáscaras de plátano y coronta de maíz se procedió a mezclar las muestras tamizadas con ácido Fosfórico al 40% en razón de 1:2 y se dejó en contacto por un periodo de 24 horas, una vez transcurrido el tiempo de activación se colocó los precursores en la estufa de secado a 80°C para quitar la humedad por un periodo de 04 horas.

Finalmente, se inicia el proceso de carbonización, el cual consistió en colocar los precursores en la mufla a 500°C por una hora y después se deja enfriar a temperatura ambiente, seguidamente se realizó el lavado con agua destilada caliente a 70°C y 0.1 mol/L de Hidróxido de sodio NaOH, con el fin de eliminar los agentes químicos usados, ajustando un pH=4, después, se llevaron los carbones a la estufa de secado por un lapso de 48 horas, para remover toda la humedad. Por último, se procedió a

realizar un molido y tamizado final; para el almacenamiento se utilizó frascos ámbar.

- **Preparación de adsorbentes mixtos o híbridos con muestra de CA: CA1, CA2 y CA3**

Se prepararon 3 combinaciones diferentes para evaluar su efecto en reducción de As en agua caracterizada del Distrito de Quequeña, generando de este modo 3 Adsorbentes denominados: CA1, CA2, CA3. La Tabla N°17, muestra la distribución de carbón activado que se trabajó y sus porcentajes de composición.

Tabla 17. Distribución de muestras de Carbón Activado

Adsorbente puro		Mezcla		Adsorbente puro	
CA1		CA3		CA2	
Carbón activado de	50%	C.A. Coronta de	Carbón Activado de	Carbón Activado de	
Coronta de Maíz	Maíz / 50%	C.A. Cáscara de Plátano	Cascara de Plátano		

Fuente: Elaboración propia

C. Diseño y Configuración experimental del Sistema de Adsorción

El tratamiento de las muestras de agua con los carbones activados generados, se realizo por duplicado para cada carbon activado, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 18. Número de repeticiones por muestra de Carbón Activado

Sistema	N° de repeticiones
CA1	2
CA2	2
CA3	2
Total	6

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedio a realizar el sistema de adsorción, en el cual 01 litro de la muestra de agua a traves de una bomba peristaltica paso mediante mangueras a un filtro metalico en cuyo interior tenia 01 cartucho de papel filtro que contenia 10g de la muestra de carbon activado.

Posteriormente del tratamiento, las muestras de agua tratadas se recolectaron en los frascos PVC blanco para su conservación, seguidamente se procedió a realizar la centrifugación de las muestras de agua para separar las partículas insolubles por un tiempo de 3 min y a 3000 RPM.

D. Diseño y Configuración experimental del método del generador Gutzeit y determinación de capacidad de adsorción por medio de Espectrofotometría

- **Obtención de la Curva Patrón del Método del Generador Gutzeit**

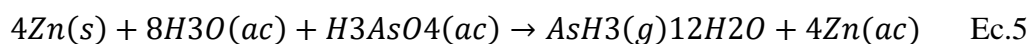
Para este proceso se hizo una solución de 0.01 mg de Arsenito Acido de sodio en 0.25 litros de agua, luego se procedió a realizar 06 disoluciones en fiolas de 0.010L, para obtener diferentes concentraciones, por ello, para obtener el volumen correspondiente para cada fiola se utilizó la siguiente ecuación:

$$C1V1 = C2V2 \quad \text{Ec.4}$$

Cada solución se vació a una celda limpia y seca del espectrofotómetro, y se midió la absorbancia a 535 nm aproximadamente, utilizando el reactivo piridina como blanco de referencia.

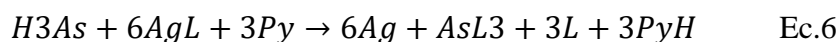
- **Análisis de las muestras de agua tratadas con Carbón activado**

Para el análisis de las muestras de agua con arsénico se utilizó el método espectrofotométrico del dietilcarbamato de plata (DEDTCP) establecido como normativa para la determinación de arsénico en aguas de consumo humano. En este método, el arsénico se reduce a arsina por el zinc en medio ácido, de acuerdo a la siguiente ecuación:



La arsina se pasa a través de un depurador que contiene disolución de acetato de plomo para la retención de S^{-2} que pudiera introducir interferencias en la cuantificación como principal interferencia para esta técnica, y después a un tubo absorbente que contenga una disolución de Dietilcarbamato de Plata (DEDTCP) en

piridina, para la formación de un complejo rojo soluble, cuya intensidad de color es proporcional al contenido de arsénico en la muestra:



El método Gutzeit, consta de dos partes: el generador y el tubo de absorción.

Primeramente, el generador consta de un matraz de capacidad de 50 ml al cual se colocó 25 ml de la muestra de agua tratada de la localidad de Quequeña, agregando 5 ml de HCl concentrado, 0.5 ml de solución de IK diluido en agua y 0.25 ml de SnCl₂ y se esperó 10-15 minutos hasta que la mezcla quedo transparente.

Por otra parte, en el tubo de adsorción se colocó 5 ml de Dietilcarbamato de plata (DEDTCP).

Se agregó, 5 granallas de Zn en el generador y se conectó inmediatamente con el tubo de absorción. Asegurándonos que no haya pérdidas de gas, se dejó burbujear aproximadamente 30 minutos o hasta que dejen de burbujear.

Se vació la solución del tubo de adsorción a una celda limpia y seca del espectrofotómetro, y se midió la absorbancia a 535 nm aproximadamente, utilizando el reactivo piridina como blanco de referencia. Se determinó la concentración de la muestra directamente de la curva de calibración obtenida con la solución patrón de arsénico. Este procedimiento se realizó para las 06 muestras tratadas.

E. Simulación en 3D el comportamiento dinámico de la reducción de las aguas contaminadas con arsénico en operación optimizada.

La modelación es una representación simplificada de un sistema que permite predecir el comportamiento del mismo sin recurrir a la experimentación sobre dicho sistema.

La simulación es el proceso de experimentar con un modelo. (NORLEAN, 2017)

Para la simulación en 3 dimensiones se utilizó el programa Lumion, el cual es un híbrido entre "entorno de modelado 3D, motor de renderizado e incluso un juego tipo SimCity". Lumion es un modelador de terrenos o quizás, la mejor frase para definirlo es "modelador de escenarios". Es el software de renderizado 3D más rápido del mundo. En segundos, puedes visualizar tus modelos CAD en un vídeo o imagen con entornos realistas, o con un estilo artístico. (Chanes, M)

Lumion cuenta con 2 tipos de renders, como son el render en tiempo real, que es aquel que veremos todo el tiempo en el espacio de trabajo, ya que nunca se trabaja con mallas, sino directamente con objetos que contienen texturas, arrojan sombra, etc. (Chanes, M)

Los renders de Lumion son pioneros en cuanto a flujos de trabajo de arquitectura y mejora de calidad visual. Ya sea para imágenes, animaciones y panoramas 360°, Lumion de vida a modelos 3D en con paisajes y contextos realistas. (LUMION, 2019)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Este capítulo muestra los resultados obtenidos en la presente investigación. En primer lugar, se detalla la toma de muestra de agua potable del Quequeña y su conservación de la misma; en segundo lugar, la obtención del carbón activado a partir de los precursores detallados a escala laboratorio; en tercer lugar, la propuesta del diseño y configuración del sistema de adsorción para la obtención de la muestra de aguas a escala laboratorio; en quinto lugar se presenta el ensamblamiento del diseño del método del Generador Gutzeit para determinar la concentración de arsénico de las muestras de aguas obtenidas por medio de Espectrofotometría; posteriormente se realizó el análisis estadístico de los resultados obtenidos y finalmente, se presenta la simulación en 3D del sistema de tratamiento propuesto para el agua potable distribuida en Quequeña.

A. Obtención y caracterización de la muestra de agua inicial

Se obtuvo un total de 7 litros de muestra inicial de agua potable del Distrito de Quequeña, 6 litros se utilizaron para la investigación y un litro se llevó a analizar al laboratorio acreditado para determinar las características iniciales del agua.

Para la caracterización inicial del agua potable, se tomó parámetros de campo, por medio del equipo Multiparámetro.

Tabla 19. Resultados de parámetro de campo

Parámetros	Resultado	Unidad
PH	7.4	-
Conductividad eléctrica	890	us/cm
Sólidos Totales disueltos	440	ppm

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla N° 19, se puede observar que los parámetros de campo evaluados cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad para consumo Humano (DIGESA, 2011).

Paralelamente para el análisis de la concentración de Arsénico se realizó por medio del Laboratorio de Investigación y Servicios – LABINVSERV de la Universidad Nacional de San Agustín – UNSA; cuyo informe de ensayo se adjunta en el Anexo 05, para ello el valor de arsénico detectable en la muestra de agua de la Municipalidad Distrital de Quequeña se comparó con los Límites Máximos Permisibles (Parámetros químicos inorgánicos y orgánicos) como se muestra a continuación:

Tabla 20. Resultados de concentración de arsénico

Parámetro	Resultado	LMP	Método
Arsénico Total (As)	0.014 mg/L	0.010 mg/L	Método de Dietilcarbamato de plata

Fuente: Elaboración propia

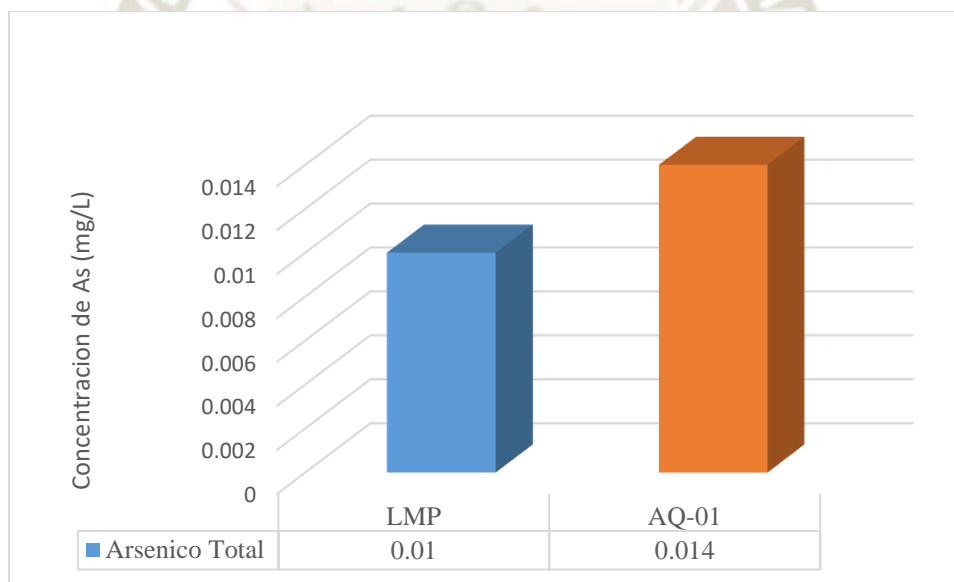


Figura 13. Comparación de la concentración de Arsénico Total

Como se observa en la figura N°13, el valor actual del parámetro de Arsénico Total de la calidad de agua de Quequeña es de 0.014 mg/L, superando un 40% más de la normativa actual –LMPs.

El valor del arsénico total en el agua a pesar del tiempo sigue superando los LMPs, de acuerdo al anexo 04, de los resultados del Análisis de la Calidad de Agua realizados en

el 2016, presentaba una concentración de arsénico de 0.02351 mg/l, actualmente la calidad de agua en el distrito presenta una concentración de arsénico de 0.014 mg/L; esto se puede deber a la presencia del complejo minero subterráneo Chindin SAC que inicio sus actividades en el año 2012 en el distrito de Yarabamba, esta pequeña minera abarca los principales ojos de agua, en su Estudio Ambiental solo concreto que iban usar 57 m³ de agua, pero debido a sus actividades de extracción de los minerales como son oro y cobre; ha generado los pasivos ambientales, como se comprueba en el listado de pasivos ambientales publicado por el MINAM (2012), la minera Chindin junto con otros 15 titulares de complejos mineros están dentro de un grupo del pasivo ambiental minero Espinal N°3 que abarca la cuenca de Tambo en el distrito de Yarabamba, cuenca que abastece al distrito de Quequeña; entonces por consiguiente los pasivos ambientales de esta minera han ocasionado que persista esta acumulación del arsénico en los ojos de agua que abastece a la población.

B. Obtención de Carbón Activado

Para obtener carbón activado se utilizó 02 materias primas como precursores, los cuales se recolectaron del Mercado Terminal Pesquero de Río Seco y del mercado 13 de Enero de J.L.B. y Rivero, se recolecto 10.36 kg de coronta de maíz (P1) y 12.58 kg de cáscara de plátano (P2).

Para obtener el carbón activado, primeramente, se determinó la perdida de humedad de los precursores (Coronta de maíz y cascara de plátano), según se detalla en la tabla N°21.

Tabla 21. Porcentaje de pérdida de humedad de cada precursor

Precursor	Cantidad inicial (kg)	Cantidad final (Kg)	% Perdida de humedad
Coronta de Maíz (C1)	10.36	1.018	90.17 %
Cascara de Plátano (C2)	12.58	1.233	90.20%

Fuente: Elaboración propia

Los pesos que se obtuvieron en cada proceso de la elaboracion de carbon activado a partir de los precursores C1 y C2, se detallan en la tabla N°22:

Tabla 22. Pesos de cada precursor por proceso

Precursor	Peso inicial	Peso despues de la Molienda y Tamizado	Peso final
C1 - Coronta de Maiz	1.018 kg	0.222 kg	0.168 kg
C2 - Cascara de platano	1.233 Kg	0.340 kg	0.134 kg

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N°22 se observa la reduccion de la cantidad inicial de los precursores manejados; de la coronta de maiz se obtiene el 1.62% de carbon activado y de la cascara de platano se obtuvo 1.07% de carbon activado.

Para realizar esta etapa de la investigación se tomó las características usadas por varios investigadores como Daifullah y Girgis (2003), quienes han establecido que la temperatura de pirolización optima es de 450 °C para la preparación de carbón activado a partir de residuos agrícolas mediante la activación con ácido fosfórico (H3PO4). De acuerdo a investigaciones como la de los autores Diao (2002) y Gottipati (2012), informaron una reducción de la porosidad con el aumento de la temperatura, que se atribuyó a la descomposición de la estructura de micro poros que por consiguiente resulta en un área superficial interna baja.

Según Gottipati (2012), manifiesta que a temperaturas de pirolización superior de 500°C el volumen de poros disminuye; a su vez, Porras & Martínez (2019), señala que la disminución del volumen de poros se deba al colapso de los micro poros formados a baja temperatura y a la intensa combustión de carbono, que conduce al ensanchamiento de los poros y la destrucción de las paredes del poro.

De acuerdo a Porras y Martínez (2019), quienes investigaron la remoción de Plomo a través de carbón activado utilizando temperaturas de 400°C, 450°C y 500°C, y concentraciones iniciales distintas que van desde 220 a 50 mg/L de Plomo (Pb), en las cuales manifiestan que el carbón activado que trabajo con temperaturas de 500°C, alcanzo una mayor efectividad en la remoción de este metal cuyo porcentaje (%) de remoción mayor alcanzando fue un 86.73% y la más baja de 65.45%.

Por otra parte, en el trabajo de Investigación de García (2015), utilizó dos tamaños de partículas de coronta de maíz para la adsorción de plomo, con tamaño $<0.044\text{mm}$ logró una remoción de 89.5% de plomo Pb (II), mientras que con tamaños de 0.42 – 0.25 mm logró una remoción de 65.6%.

En base a los antecedentes de los trabajos de investigación mencionados cuyos resultados dieron la remoción efectiva de metales pesados, se ha trabajado los residuos agrícolas como coronta de maíz y cáscara de plátano para generar carbón activado a una temperatura de 500°C , con un tamaño de partícula de 0.25 mm y con una activación con ácido fosfórico H_3PO_4 , para una mayor efectividad en remoción de arsénico.

C. Diseño y Configuración experimental del Sistema de Adsorción

El sistema se maneja por medio de 02 bombas peristálticas y 02 filtros de volumen de 31.8 cm^3 – Filtro 01 y 36.9 cm^3 - filtro 02, para cada filtro se armo sus cartuchos con ayuda de papel filtro los cuales contenían el carbon activado correspondiente; como se maneja 3 sistemas por duplicado en total se armo 6 cartuchos, la composición se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 23. Composición de cada cartucho de carbón activado

Filtro	Sistemas		
	C1	C3	C2
N°01 y	10 gr de Carbón	05 gr de carbón	10 gr de Carbon
N°02	Activado de Coronta de Maiz	Activado de Cáscara de Plátano y 05 gr de carbon activado de Coronta de Maiz	Activado de Cáscara de Plátano

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de trabajo de las bombas peristálticas según el tiempo de residencia del agua fue de 53 segundos y 62 segundos, para el primer y segundo filtro correspondiente; y el caudal de trabajo de las bombas fue de 0.595 ml/s.

Luego de la obtención de las muestras de aguas posteriormente adsorbidas se recolectaron en los frascos de PVC blanco para su conservación, seguidamente se

procedió a realizar la centrifugación de la muestras de aguas para separar las partículas insolubles por un tiempo de 3 min a 3000RPM.

El diseño de adsorción ejecutado se realizó con la finalidad que se permita un mayor tiempo de contacto del agua a tratar con el carbón activado, permitiendo se dé una eficiente adsorción; a su vez la centrifugación final se realizó con la finalidad de separar las partículas insolubles.

D. Diseño y Configuración experimental del método del generador Gutzeit y determinación de capacidad de adsorción por medio de Espectrofotometría

• **Obtención de la Curva Patrón del Método del Generador Gutzeit**

Para obtener el volumen correspondiente para cada fiola se utilizó la ecuación (04) del acápite 3.6C, los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Volumen estimado para cada fiola

Fiolas	Concentración (mg/l)	Volumen (ml)
F1	0.005	1.25
F2	0.01	2.5
F3	0.015	3.75
F4	0.025	6.25
F5	0.035	8.75
F6	0.04	10

Fuente: Elaboración propia

En base a la tabla N°24, se preparó las disoluciones correspondientes para proceder a realizar la medición de las absorbancias para obtener la curva patrón del sistema y su ecuación.

Tabla 25. Absorbancias de la curva patrón

Fiolas	Concentración (mg/l)	Absorbancia
F1	0.005	0.1
F2	0.01	0.13
F3	0.015	0.16

F4	0.025	0.18
F5	0.035	0.22
F6	0.04	0.25

Fuente: Elaboración propia

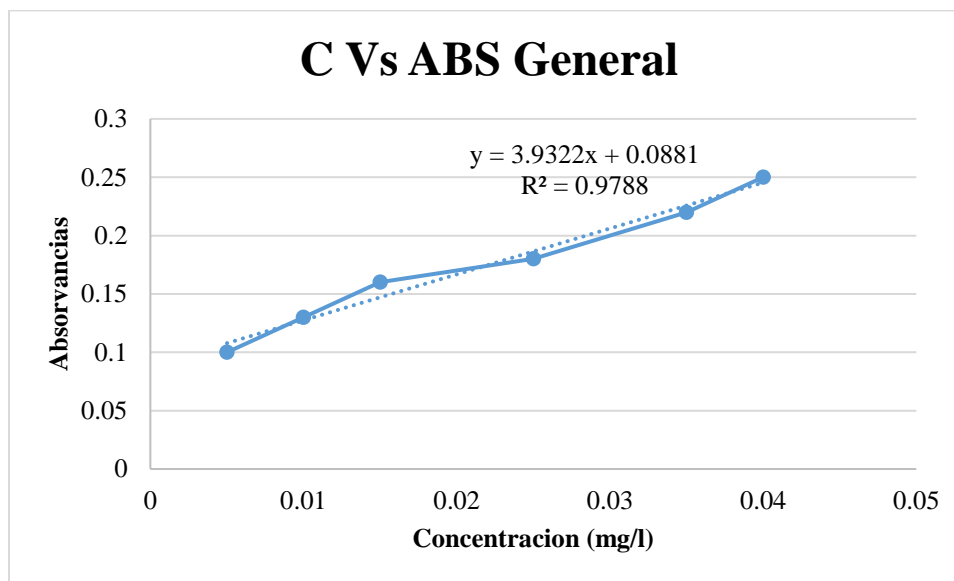


Figura 14. Curva patrón

De la figura N°14, se aprecia que R^2 es cercano a la unidad por lo que el nivel de confianza es mayor, a su vez se obtuvo la línea de tendencia lineal cuya ecuación es la siguiente:

$$y = 3.9322x + 0.0881 \quad \text{Ec. 7}$$

Este procedimiento, permite obtener la ecuación de la recta, la cual permitirá obtener las concentraciones de arsénico en las muestras de agua tratadas.

- **Análisis de las muestras de agua tratadas con Carbón activado**

El uso del método espectrofotométrico del Dietilcarbamato de plata para la determinación de arsénico es usado en diferentes investigaciones, de acuerdo a Rodríguez (2012), este método ha sido muy usado debido al bajo costo instrumental requerido y a su buena sensibilidad, a su vez, en base a la investigación realizada por Wong, et al (2000), este método permite determinar el arsénico en un rango de 5 a 200 μg de As L-1 y, por dilución, mayores concentraciones de arsénico, indica que el

límite de detección está entre 1 y 10 $\mu\text{g L}^{-1}$. A su vez, IBEROARSEN (2009) menciona que las interferencias en este método se producen por las siguientes especies: cromo, cobalto, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, platino, plata y selenio; pero sólo en altas 29 concentraciones. El antimonio también forma un complejo coloreado con absorción máxima a 510nm., por lo que puede interferir en la determinación de arsénico. Debido a que las concentraciones de estos compuestos en aguas son muy bajas, no supone que interfieran de manera significativa en el método. De acuerdo a las investigaciones mencionadas, se realizó la determinación de arsénico a través del método de espectrofotometría con Dietilcarbamato de plata, ya que las aguas analizadas presentaban valores que oscilan en el rango de detección de dicho método y presentan bajas concentraciones de los químicos que podrían interferir dicha medición.

Luego de realizar el procedimiento para determinar la concentración de arsénico por medio de espectrofotometría, los resultados de las absorbancias obtenidas en el espectrofotómetro se detallan a continuación:

Tabla 26. Absorbancias de cada muestra

Muestra con	Repetición	Absorbancia
Carbón Activado		
Coronta de Maíz C1	CM-01	0.113
	CM-02	0.116
Mezcla C3	CPCM-01	0.14
50% C1/ 50% C2	CPCM-02	0.138
Cascara de Plátano	CP-01	0.129
C2	CP-02	0.131

Fuente: Elaboración propia

En base a la ecuación de la recta general, Ec. 7, con el dato de Absorbancia se halló las concentraciones que logro absorber el carbón activado de cada precursor.

Tabla 27: Concentraciones de Arsénico obtenidas

Muestra con Carbón Activado	Repetición	Absorbancia	Concentración As
Coronta de Maíz C1	CM-01	0.113	0.00633233
	CM-02	0.116	0.00709526
Mezcla C3	CPCM-01	0.14	0.01319872
50% C1/ 50% C2	CPCM-02	0.138	0.0126901
Cascara de Plátano C2	CP-01	0.129	0.0104013
	CP-02	0.131	0.01090992

Fuente: Elaboración propia

Para una mayor precisión de los sistemas establecidos se fragmento los resultados, por lo que se obtuvo tres figuras con 3 ecuaciones lineales, con la finalidad de buscar que el R^2 sea cercano a la unidad y tener una mayor confiabilidad de las concentraciones finales de arsénico absorbida por los sistemas de carbones activados

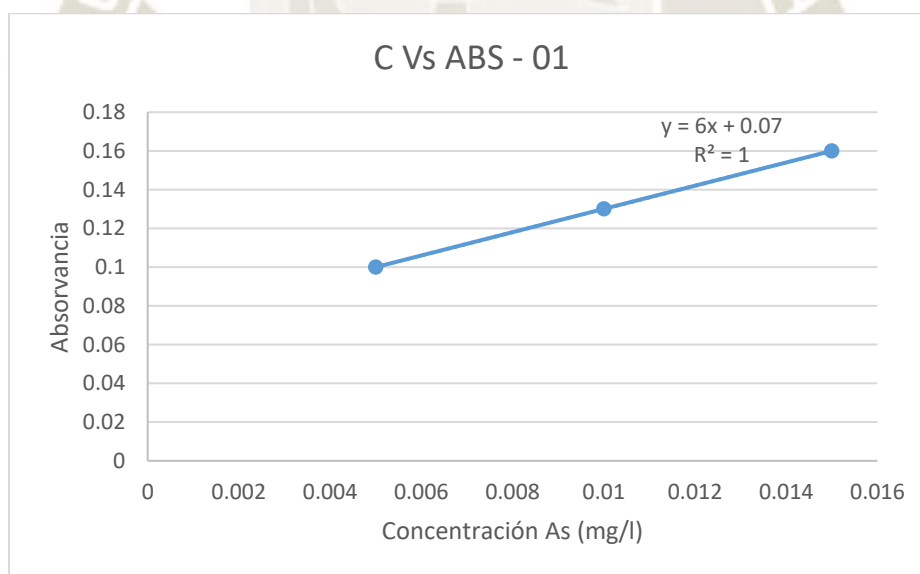


Figura 15. Curva N°1

De la figura N°15, se puede observar que su R^2 es la unidad, y los datos que abarca son las concentraciones de 0.05mg/L hasta 0.015 mg/L.

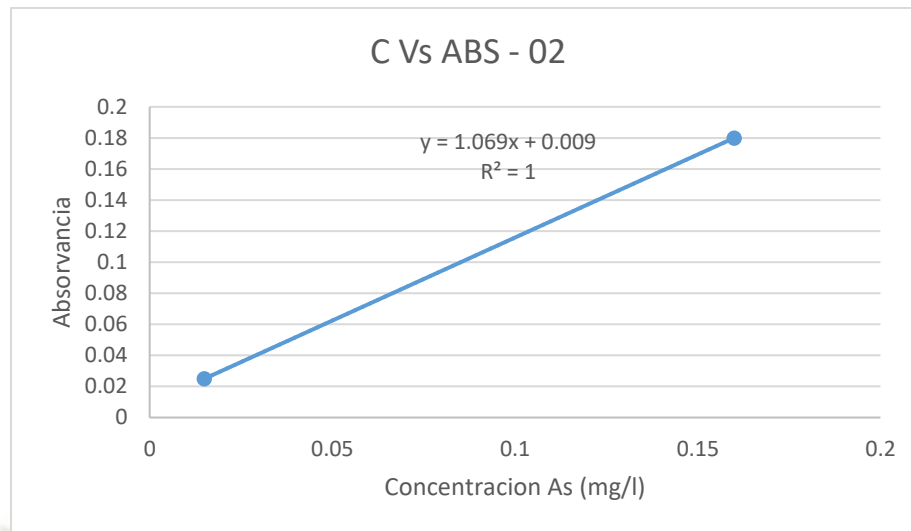


Figura 16. Curva N°2

De la figura N°16, se observa al igual su R^2 es la unidad y las concentraciones que abarca de 0.015 mg/L a 0.025 mg/L.

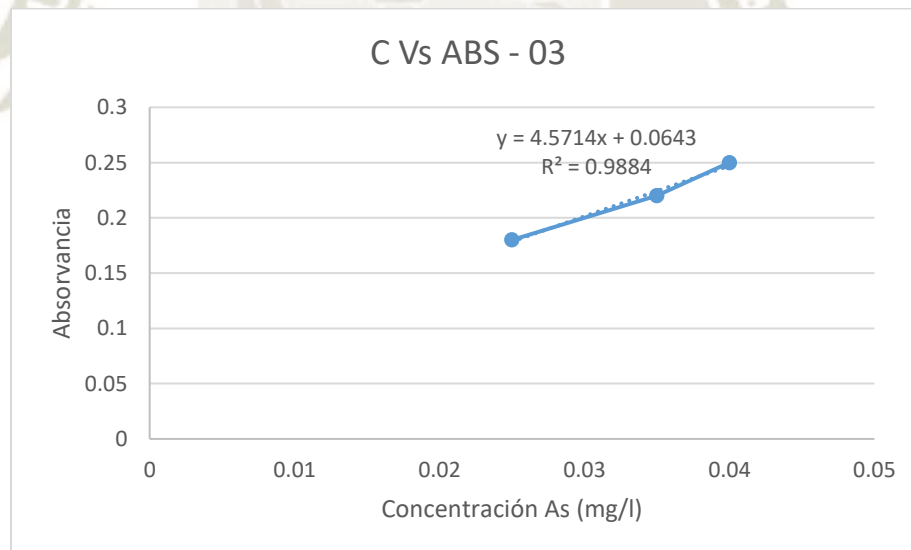


Figura 17. Curva N°3

De la figura N°17, se puede observar que su R^2 es 0.9884, lo cual es cercano a la unidad, las concentraciones que abarca van de 0.025 mg/L a 0.04 mg/L.

En consecuencia, basándonos en las tres figuras, nuestras concentraciones obtenidas después de aplicar los sistemas de absorción de carbones activados van de un rango

de 0.06 mg/L hasta 0.011 mg/L, por lo que solo tomamos la ecuación de la figura N°15, ya que las concentraciones obtenidas están en el rango de 0.005 mg/L hasta 0.015 mg/L, en base a la ecuación de la recta se reemplazó las absorbancias y se obtuvo las nuevas concentraciones más exactas.

Tabla 28: Concentración obtenida de cada precursor

Muestra con Carbón Activado	Repetición	Absorbancia	Concentración de As (mg/L)
Coronta de Maíz C1	CM-01	0.113	0.0071667
	CM-02	0.116	0.0076667
Mezcla C3	CPCM-01	0.14	0.0116667
50% C1/ 50% C2	CPCM-02	0.138	0.0113333
Cascara de Plátano C2	CP-01	0.129	0.0098333
	CP-02	0.131	0.0101667

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N°28, se concluyó que el carbón activado que mayor absorbió fue el de coronta de maíz de la repetición N°01, ya que presenta una concentración menor de arsénico.

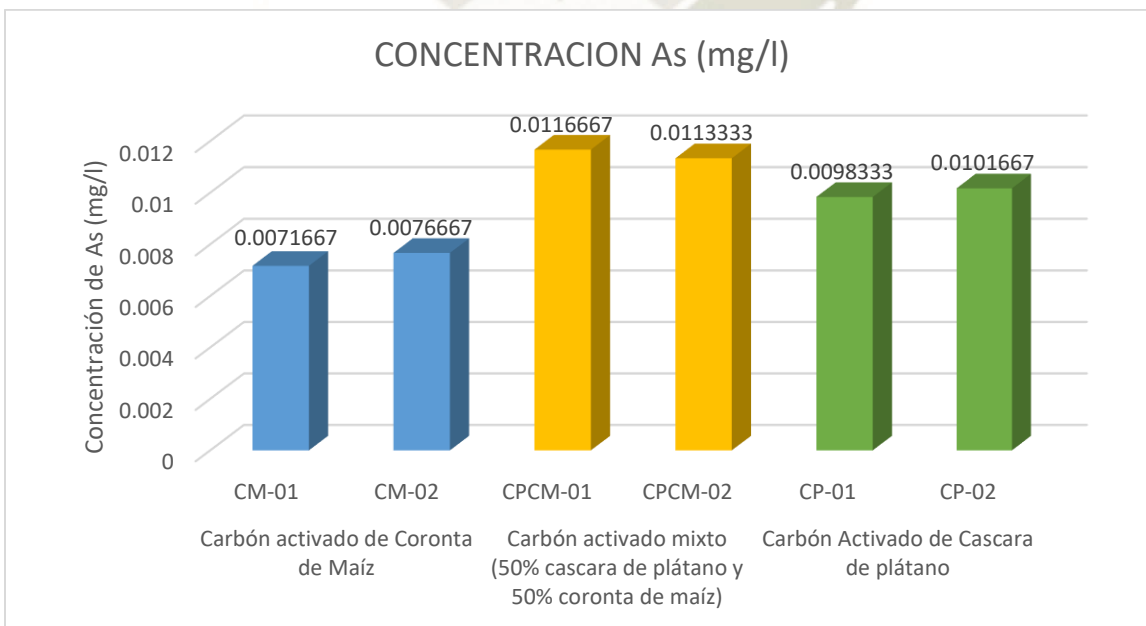


Figura 18. Concentración de Arsénico en las muestras tratadas

Se observa en la figura N° 18, que después de la aplicación del tratamiento mediante carbón activado, el sistema que mayor efectividad tuvo fue el de Carbón activado de Coronta de Maíz con resultados de concentración de arsénico de 0.0071667 mg/l en la muestra 1 y 0.0076667 mg/l en la muestra 2.

Para el análisis estadístico se trabajó en base a los dos sistemas montados de cada precursor y el de la mezcla, por lo que se comparó los resultados de cada repetición de cada sistema para enfocar significativamente la confiabilidad de los resultados y si son similares o no.

El primer sistema que se analizó fue el de la absorción de arsénico utilizando carbón activado generado con coronta de maíz C1.

Tabla 29: Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz

Sistema de Coronta de Maíz	Concentración As (mg/L)
CM-01	0.0071667
CM-02	0.0076667
PROMEDIO	0.00741667

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla N°29, la concentración de arsénico en el agua ha presentado como valor máximo una concentración máxima de 0.0076667 mg/l, mientras que la mínima fue de 0.0071667 mg/l; el promedio de los dos datos del sistema de carbón activado con coronta de maíz es 0.00741667 mg/l.

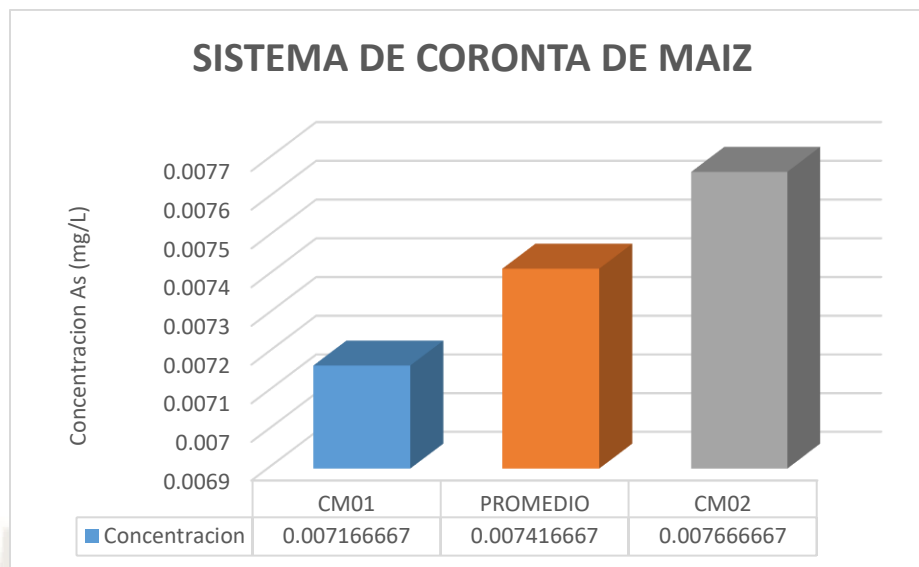


Figura 19. Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz

Como se observa en la figura N° 19, se representó las concentraciones y el promedio de los dos datos, en base a ello las dos concentraciones del sistema son similares ya que solo difieren en 0.0005mg/l, entonces los datos obtenidos son confiables debido a la similitud y poca diferencia en sus cifras.

El segundo sistema que se analizo fue el de la absorción de arsénico utilizando carbón activado generado con cascara de plátano C2.

Tabla 30: Concentración de Arsénico usando carbón activado de Cáscara de plátano

Sistema Mezclas C2	Concentración As (mg/L)
C2-1	0.0116667
C2-2	0.0113333
PROMEDIO	0.0115

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla N°30, la concentración de arsénico en el agua ha presentado como valor máximo una concentración máxima de 0.011667 mg/l, mientras que la mínima fue de 0.0113333 mg/l; el promedio de los dos datos del sistema de carbón activado con cáscara de plátano es 0.0115 mg/l.

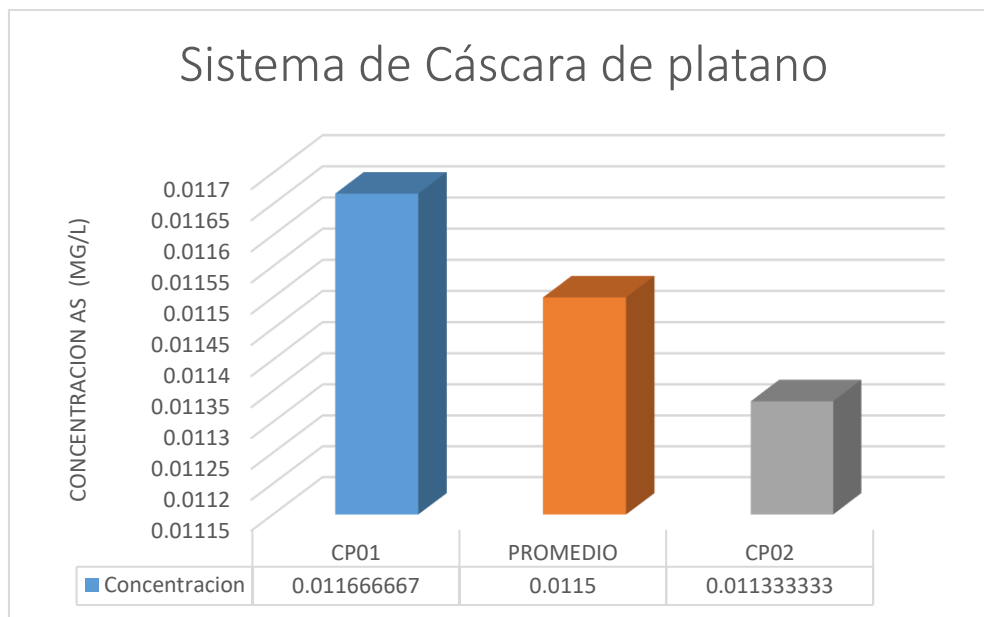


Figura 20. Concentración de Arsénico usando carbón activado de cáscara de plátano

Como se observa en la figura N° 20, se representó las concentraciones y el promedio de los dos datos del sistema; por consiguiente, las dos concentraciones del sistema son similares ya que solo difieren en 0.00033mg/l, al igual que el sistema de las mezclas entonces los datos obtenidos son similares, y las dos repeticiones ejecutadas arrojaron una significativa cercanía en los dos datos, al igual que los otros dos sistemas desarrollados.

Finalmente, el último sistema analizado fue el de la absorción de arsénico utilizando carbón activado generado con 50% de coronta de maíz y 50% de cáscara de plátano (C3).

Tabla 31: Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz y cáscara de plátano

Sistema Mezclas C3	Concentración As (mg/L)
C3-1	0.0098333
C3-2	0.0101667
PROMEDIO	0.01

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla N°31, la concentración de arsénico en el agua ha presentado como valor máximo una concentración máxima de 0.0098333 mg/l, mientras que la mínima fue de 0.0101667 mg/l; el promedio de los dos datos del sistema de carbón activado con cáscara de plátano es 0.01 mg/l.

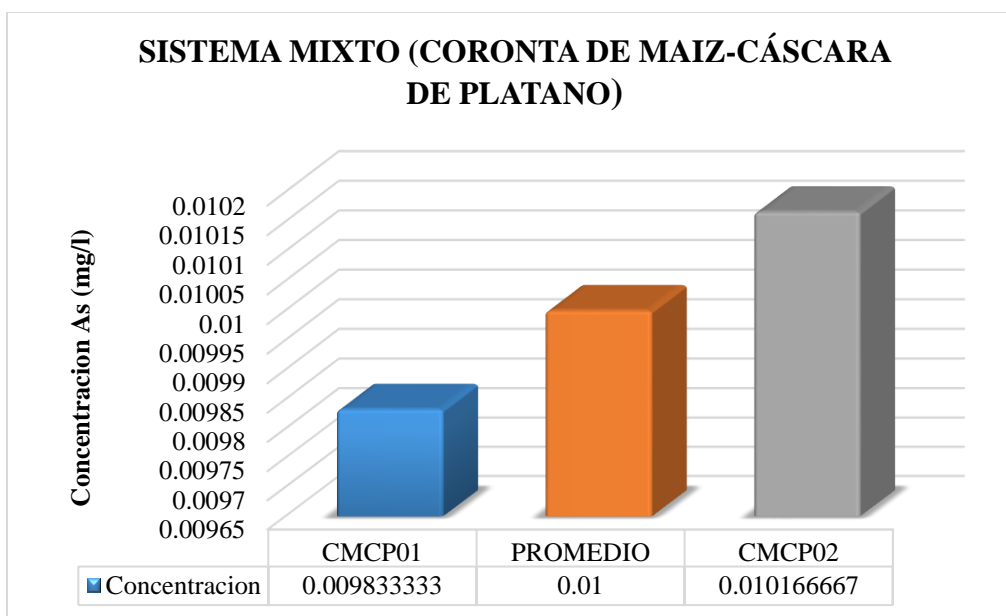


Figura 21. Concentración de Arsénico usando carbón activado de coronta de Maíz y cáscara de plátano

Como se observa en la figura N° 21, se representó las concentraciones y el promedio de los dos datos; por consiguiente, las dos concentraciones del sistema son similares ya que solo difieren en 0.00033mg/l, entonces los datos obtenidos son similares, y las dos repeticiones ejecutadas arrojaron una significativa cercanía en los dos datos.

Tabla 32. Comparación de la concentración inicial y final de Arsénico en el agua

Muestras	CONCENTRACION	CONCENTRACION
	INICIAL As (mg/l)	FINAL As (mg/l)
CM-01	0.014	0.0071667
CM-02	0.014	0.0076667
CPCM-01	0.014	0.0116667
CPCM-02	0.014	0.0113333

CP-01	0.014	0.0098333
CP-02	0.014	0.0101667

Fuente: Elaboración propia

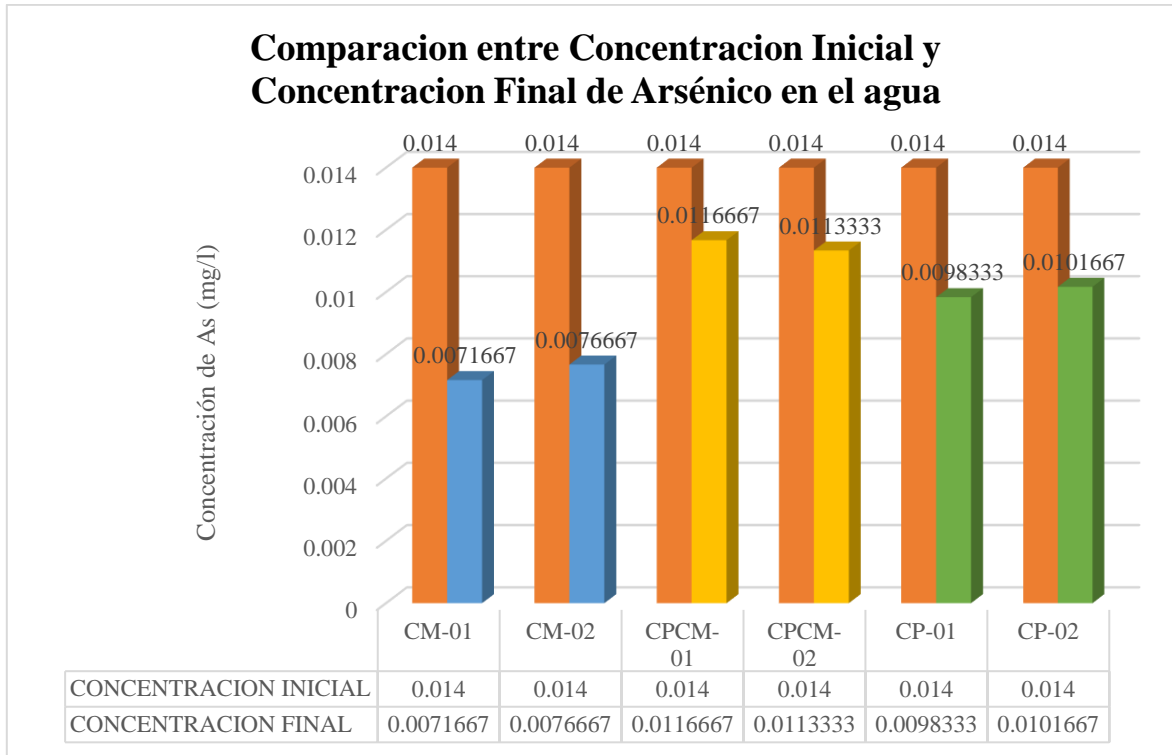


Figura 22. Comparación de la concentración inicial y final de Arsénico en el agua

Según la figura N°22, observamos que se tiene como resultado para la comparación de concentración inicial y concentración final que las 6 muestras aplicadas dos por cada sistema tiene alto índice de efectos en la reducción de concentración de arsénico sin embargo el sistema que mejor funciona es el Carbón activado de Coronta de Maíz.

Tabla 33. Porcentaje de Arsénico removido

Muestras	CONCENTRACION INICIAL AS (mg/l)	CONCENTRACION FINAL AS (mg/l)	% DE ARSENICO REMOVIDO	DIFERENCIA (%)	MINIMO (mg/l)	MAXIMO (mg/l)
CM-01	0.014	0.0071667	48.8092857	3.57142857	45.2378571	48.8092857
CM-02	0.014	0.0076667	45.2378571			
CPCM-01	0.014	0.0116667	16.6664285	2.38142857	16.6664285	19.0478571
CPCM-02	0.014	0.0113333	19.0478571			
CP-01	0.014	0.0098333	29.7621428	2.38142857	27.3807142	29.7621429
CP-02	0.014	0.0101667	27.3807142			

Fuente: Elaboración propia

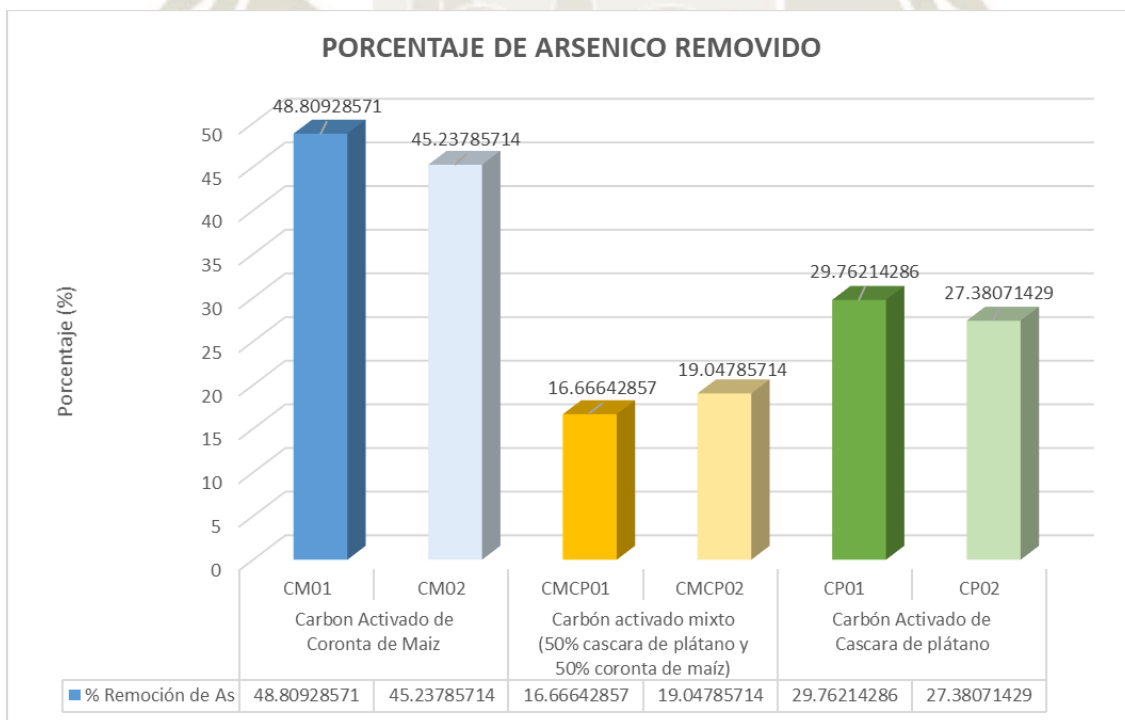


Figura 23. Porcentaje de Arsénico removido

De la figura N°23, se tiene como resultado que en la muestra CM-01 existe un porcentaje de disminución de arsénico de 48.80928571% mientras que en la muestra CM-02 existe un porcentaje de disminución de arsénico de 45.23785714%, para la muestra CPCM-01 existe un porcentaje de disminución de arsénico de 16.66642857%, para la muestra CPCM-02 existe un porcentaje de disminución de arsénico de 19.04785714%, para la muestra CP-01 existe un porcentaje de disminución de arsénico de 29.76214286%, para la muestra CP-02 27.38071429%

Todos los sistemas montados ayudaron a remover significativamente arsénico logrando alcanzar que el agua potable de Quequeña cumpla con sus LMP, sin embargo, el sistema que mejor actuó en la remoción de arsénico fue el de la coronta de maíz repetición 01 (CM01), con un 48.8% de eficiencia de remoción, por lo que para verificar el valor obtenido, se realizó un análisis en el Laboratorio de Investigación y Servicios de la UNSA cuyo informe de ensayos se encuentra en el anexo 06, para comparar que el valor obtenido de concentración sea similar, cuyo resultado del análisis del laboratorio fue de 0.0074mg/l y el valor obtenido durante la investigación fue de 0.0071667mg/l, existiendo una diferencia de 0.0002333mg/l.

Tabla 34. Comparación porcentaje de Arsénico removido con Muestra de Coronta de Maíz

Muestras	CONCENTRACION INICIAL (mg/l)	CONCENTRACION FINAL (mg/l)	% DE ARSENICO REMOVIDO	DIFERENCIA (%)	MINIMO (mg/l)	MAXIMO (mg/l)
CM-01	0.014	0.0071667	48.8092857	1.66642857	47.1428571	48.8092857
CM-01 (UNSA)	0.014	0.0074	47.14285714		4	

Fuente: Elaboración propia

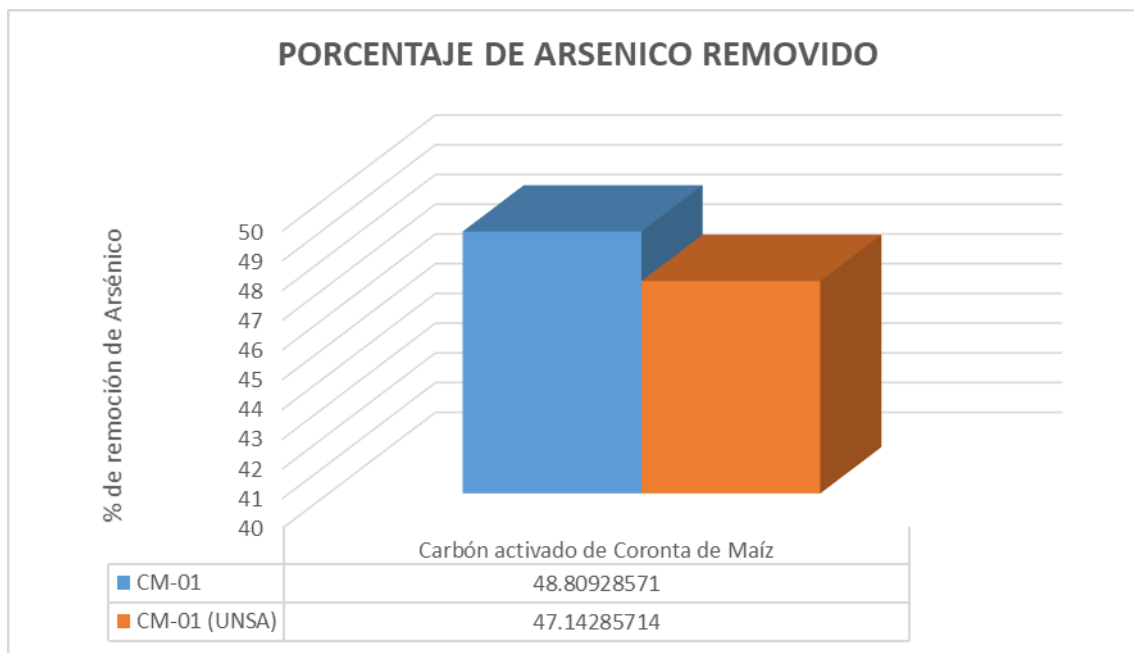


Figura 24. Comparación porcentaje de Arsénico removido con Muestra de Coronta de Maíz

De la figura N°24, se tiene como resultado que en la muestra analizada en nuestra investigación CM-01, existe un porcentaje de disminución de arsénico de 48.80928571% mientras que en la misma muestra analizada por el laboratorio de la UNSA el porcentaje de disminución de arsénico es de 47.114285714%, teniendo una diferencia de 1.66642857%.

De acuerdo a Pintado (2018) utilizo como medio adsorbente coronta de maíz para la remoción de plomo y cromo, el tamaño de partícula que utilizo en su investigación fue de 0.224 mm existió un 72.05% de biosorbente acumulado, el pH óptimo para la adsorción de plomo es de 4.31 y de cromo 4.19. Logrando obtener un 98% de adsorción de cromo y 92.78% de plomo de una concentración inicial de 10ppm para cada contaminante. Esto se debe al alto grado de porosidad del carbón activado obtenido de la coronta de maíz la cual fue de 0.641 mg/L comparado con investigaciones de Coronel que obtuvo un valor de porosidad de 0.712 g/ml, lo cual este factor ayuda a la retención de los metales pesado en su interior de la partícula, lo cual es directamente proporcional al grado de adsorción del contaminante; a su vez, indica que el marlo de maíz presenta una alta capacidad de intercambio iónico, tiene una estructura combinada (laminar-masosa), lo que permite que los metales pesados

se puedan adherir fácilmente, a su vez manifiesta que el marlo de maíz presenta grupos funcionales que pertenecen a una sustancia lignocelulítica, los cuales tienen la capacidad de intercambio iónico y finalmente evidencio que tiene fuerzas de atracción de cargas; por lo que la caracterización de la coronta de maíz le permite tener una alta capacidad de remoción de iones, como se comprobó en la investigación ya que fue uno de los precursores que removió con mayor facilidad el arsénico presente en el agua.

A su vez, según Huallpa (2017), menciona que la presencia de grupos funcionales como hidroxilos, aminos y carboxilos, favorecen el proceso de biosorción, a través de mecanismo como el intercambio iónico entre el sorbato y la superficie del biosorbente, esto concuerda con Lavado y Ore (2016) quienes realizaron un estudio de biosorción de plomo en soluciones acuosas utilizando biomasa modificada de marlo de maíz en el cual indican que la modificación química favorece en el porcentaje de remoción y la presencia de grupos funcionales como el hidroxilo y carboxilo permiten mayor adsorción del plomo en medio acuoso, por lo que para un mejor resultado con la coronta de maíz se pudo optar por un pre tratamiento químico, esto con el propósito de incrementar y activar los grupos funcionales presentes en el biosorbente.

Corroborando con la investigación de Fonseca (2012) indica que los carbones activados de la coronta de maíz muestran carácter microporoso, y en cuanto al resultado de espectroscopia infrarroja muestra que la química superficial de los materiales se afecta por el tiempo de activación y el tratamiento con ácido fosfórico, mostrando una buena capacidad de adsorción para cromo trivalente.

Según Colpas, Et al (2016) la composición química de la coronta de maíz: lignina, celulosa y hemicelulosa; con el proceso de carbonización a 400 °C – 500°C, solo la celulosa y hemicelulosa se depolimerizan en unidades más pequeñas para dar origen a una gran masa rica en carbono, ya que la lignina se descompone a temperaturas mayores; sin embargo, la impregnación con el ácido fosfórico facilita la hidrólisis de la lignina que queda presente después del proceso de carbonizado, lo que conduce al

aumento de propiedades texturales como el área superficial específica y la porosidad, estas propiedades son esenciales para la retención de metales pesados.

En el estudio desarrollado por Cruz (2016) , evaluó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado generado a partir de coronta de maíz impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable, determinándose que el filtro logró reducir las concentraciones de turbidez, cloro residual en agua potable entre 46,9-68,9% y 87,5-100%, respectivamente; en cuanto a las bacterias heterótrofas en el agua entre 32,8-66,7% en los primeros 50 min del experimento, logrando remover microorganismos patógenos como bacterias y virus entéricos, demostrando su alta potencialidad para reducir el riesgo de enfermedades hídricas.

Fonseca (2014) determinó que la coronta de maíz es un precursor adecuado para la preparación de carbón activado, ya que posee un alto contenido de materia volátil de 76.5%, y un contenido de carbono de alrededor 8.5% el cual aumenta con los procesos de carbonización y activación; con contenido bajo de cenizas de 3.5%. Estos resultados aseguran una descomposición y reorganización del material una vez se someta a tratamientos térmicos para obtener carbones activados.

E. Simulación en 3D el comportamiento dinámico de la reducción de las aguas contaminadas con arsénico en operación optimizada.

En base a los resultados obtenidos en la investigación con el uso de carbón activado de coronta de maíz se reduce la concentración de arsénico en las aguas, por lo que, considerando que la calidad de agua potable del distrito de Quequeña no cumple con los LMPs para este parámetro; se propone diseñar un sistema de tratamiento para el agua potable de la localidad de Quequeña que incluya el proceso de filtración con carbón activado de coronta de maíz.

El diseño de aplicación del proceso de filtración de carbón activado se montará antes del proceso de cloración, y posterior al proceso de sedimentación y de filtración de los pozos de tratamiento con arcilla y grava; de acuerdo a lo señalado por (EPA) mencionan que la unidad de carbón activado generalmente se instala en una planta de

tratamiento de agua luego de los procesos de filtración convencionales, o luego de un proceso de floculación y sedimentación.

El sistema propuesto complementará el tratamiento de la PTAP con la finalidad de cumplir con la normativa vigente, se instalará 02 sistemas de filtros de carbón activado de coronta de maíz, que funcionarán de acuerdo al caudal de ingreso y de manera diaria, uno de ellos será como medida de seguridad ante el mantenimiento de otro, logrando un tratamiento seguro y eficiente del agua.

Teniendo en cuenta los datos usados en nuestra investigación, para el diseño del filtro de Carbón Activado de coronta de maíz (*Zea Mays l*) en la Planta de Tratamiento de agua potable del Distrito de Quequeña, de acuerdo a su actual caudal de entrada que es de 0.12L/s en un periodo seco y de 0.33 L/s en periodo húmedo; se propone la instalación de un sistema de filtro de carbón activado de coronta de maíz, para lo cual se detalla las especificaciones del sistema de filtración.

Tabla 35: Cantidad de coronta de maíz necesaria para el diseño

	CANTIDAD	UNIDAD
Coronta de Maiz	2000	Kg
Carbón activado de coronta de Maíz	33.78	Kg

Según se detalla en la tabla N° 35, se necesita recolectar un total de 2000 kg del precursor de coronta de maíz, para la obtención de 33.78 kg carbón activado, equivalente al caudal de entrada de la planta de tratamiento del distrito.

Según Cecen y Aktas (2011) los principales parámetros de diseño de un sistema de filtración son el tiempo de contacto y velocidad lineal. Por su parte Noboa y Almeida (2008) y TecamySer (2016) concuerdan en que se deben utilizar tiempos de contacto entre 8 y 12 minutos; mientras Cecen y Aktas (2011) consideran que el tiempo de contacto superficial es típicamente entre 6 y 30 minutos. Según Pérez, et al (2004) el tiempo de contacto se ve afectado por el volumen del filtro, y de acuerdo a Centrone (2006) ya que al variar el volumen del carbón activado varía la tasa de flujo y por lo

consiguiente el tiempo de contacto se verá alterado; es por ello que el sistema propuesto lleva un recorrido vertical de la parte inferior a la superior para garantizar que el contacto del agua con el carbón activado mantenga el tiempo de contacto necesario para realizar el tratamiento correspondiente, en la siguiente tabla se muestran los parámetros de diseño para el sistema de tratamiento de Agua Potable de Quequeña:

Tabla 36: Parámetros de diseño del Filtro

PARÁMETRO DE DISEÑO	VALOR	UNIDAD
Altura	150	Cm
Volumen	0.0623	m ³
Diámetro	23	Cm
Carbón activado de Coronta de Maiz	33.78	Kg
Tiempo de contacto	360	S

Como se observa en la tabla N°36, el filtro de carbón activado que se desea implementar cuenta con un volumen de 0.0623m³, correspondiente para 33.78 kg de carbón activado de coronta de maíz con una altura de 150 cm y de diámetro 23cm. el tiempo de contacto se ve afectado por el volumen del filtro, se propone que el tiempo de residencia sea de 120 segundos. El sistema de filtración de carbón activado lleva un recorrido vertical de la parte inferior a la superior para garantizar que el contacto del agua con el carbón activado para que se mantenga el tiempo de contacto necesario para realizar el tratamiento correspondiente.

Sistema de Tratamiento de Agua potable

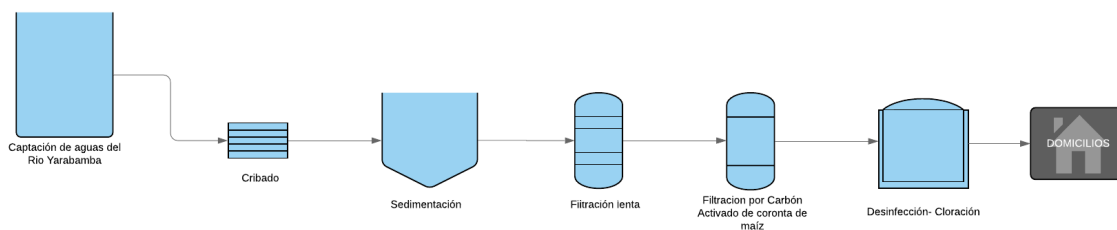


Figura 25: Propuesta de diseño del sistema de Tratamiento de Agua Potable de Quequeña

Según la Figura N°25, el sistema de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de Quequeña inicia desde la captación de agua a partir de la bocatoma del río Yarabamba, seguidamente pasa por el proceso de cribado para la retención de sólidos gruesos, todo el sistema funciona por gravedad. Posterior al proceso de cribado llega al tanque de sedimentación para luego proceder al proceso de filtración lenta con grava, arena gruesa y fina para la reducción de olores y retención de contaminantes químicos. Complementando el sistema se adicionará el sistema de filtración por carbón activado de coronta de maíz, se recomienda la implementación de 02 sistemas de filtrado de carbón activado, uno de ellos funcionaria en caso de mantenimiento o algún inconveniente, ya que el sistema de tratamiento es continuo para lograr asegurar la calidad de agua para la población. Como última etapa se encuentra la desinfección por medio de la cloración en reservorio para luego llegar hacia las redes de distribución para repartir hacia las conexiones domiciliarias de los dos centros poblados Fernando Belaunde Terry y Quequeña.

Como antecedente del uso de carbón activado en plantas de tratamiento, según Cruz (2015) probó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado generado a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable producido en la ciudad de Tumbes, el mismo que fue propuesto para la zona de El Milagro – Tumbes; logrando reducir eficientemente los niveles de concentración de turbidez y cloro residual en el agua potable. Por otra parte, Torres (2015), aplicó el olote o tusa de maíz para la reducción de color de las aguas residuales

de la Hilandería Guijarro, Cantón Guano, determino que la mejor aplicación del olote o tusa de maíz como lecho filtrante para reducir el color de las aguas residuales, fue como carbón activado, llegando a reducir un 78,63% de color, sin embargo de acuerdo a diversas investigaciones se ha utilizado carbón activado de coronta de maíz a nivel laboratorio, dando resultados eficientes en la reducción de metales pesados, tal como nuestra investigación, motivo por el cual proponemos su aplicación en la Planta de Tratamiento actual del distrito de Quequeña.

Para realizar la puesta en marcha y determinar cuando el carbón activado se debe desechar o regenerarse, se debe monitorear día a día o con la frecuencia necesaria, analizando el valor residual del o los componentes que se desea remover según Barrios. Si el agua se encuentra cerca del valor máximo permitido deberá procederse al cambio. De acuerdo a EPA (2012). El filtro se vuelve a llenar con carbón activado cuando dejan de eliminar los contaminantes en cantidad suficiente; por lo que una vez determinado el tiempo de cambio, se establecerá un cronograma para ello, según mencionado por Filtros Fuentes, con el carbón activado comercial, el tiempo estimado de uso es de 3- 6 meses aproximadamente, sin embargo se debe prever cambios estacionales en la calidad del agua lo que puede implicar la realización de retrolavados más frecuentes para obtener una mejor eficiencia.

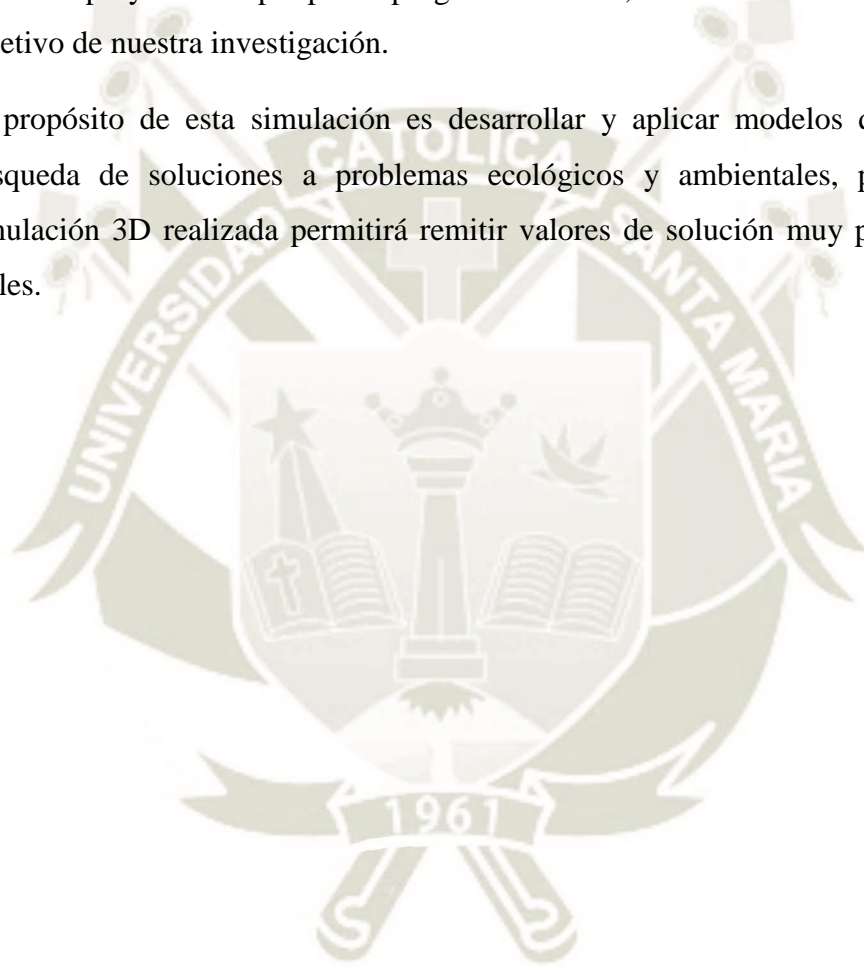
Con respecto a la disposición final del carbón activado consumido una de las alternativas propuestas es la disposición en un relleno de seguridad, puesto que de acuerdo la categorización determinada en el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, este tipo de residuo corresponde a uno no municipal, dentro de la categoría B.2.0 – Residuos que contengan principalmente constituyentes inorgánicos que a su vez puedan contener metales y materiales orgánicos” tipo B2060. Carbón activado consumido, en vista a que nuestro carbón tendría contenido de Arsénico se debe disponer en un relleno de seguridad.

Para una mejor representación del sistema propuesto, se realizó la simulación en 3D de la planta de tratamiento de la localidad de Quequeña, para ello el modelo base en el que se representó primeramente fue con el programa Sketchup, el cual detalla desde la captación de la bocatoma del río Yarabamba, hasta la entrada del sistema de

tratamiento que comprende los pozos de sedimentación-filtración, y por último hacia el reservorio de cloración donde finalmente ya es distribuida el agua potable a los centros poblados de Quequeña y de Fernando Belaunde Terry. Como se aprecia en el Anexo 08.

Finalmente, para la representación tridimensional del sistema de tratamiento aplicado a nuestro proyecto se optó por el programa Lumion, el cual detalla de manera real el objetivo de nuestra investigación.

El propósito de esta simulación es desarrollar y aplicar modelos que apoyen la búsqueda de soluciones a problemas ecológicos y ambientales, por lo que la simulación 3D realizada permitirá remitir valores de solución muy próximos a los reales.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Para la generación de carbón activado en polvo a partir de coronta de maíz (*Zea mays l.*) y cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) inicialmente se recolectó 10.36 kg y 12.58 kg, respectivamente de cada precursor, de los cuales se obtuvo 1.018 kg de carbón activado de coronta de maíz y 1.233 kg de carbón activado de cáscara de plátano, para la generación del carbón activado se trabajó con una temperatura de 500°C, con un tamaño de partícula de 0.25 mm y por último el proceso de activación se realizó con ácido fosfórico H₃PO₄.
- La caracterización del agua cruda potable del distrito de Quequeña, presenta óptimas condiciones de los parámetros de campo como son pH de 7.4, una conductividad eléctrica de 890 us/cm, sólidos totales disueltos de 440 ppm, sin embargo, respecto al parámetro de Arsénico Total la calidad de agua de Quequeña presenta un valor de 0.014 mg As/L, superando un 40% más los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad para consumo Humano.
- El precursor con mejor resultados de remoción de Arsénico fue el carbón activado elaborado con la coronta de maíz, obteniendo en su repetición N°01 una reducción del 48.8% del As, ya que logro reducir a 0.0071667 mg As/L, mientras que su repetición N°02 obtuvo una reducción del 45.2% y logro reducir a 0.0076667 mg As/L. El tratamiento de las aguas con el carbón activado permitió que la calidad de agua potable se encuentre por debajo del Límite Máximo Permitido de 0.01 mg As/L y sea apta para el consumo humano.
- El sistema de tratamiento diseñado permitirá que la calidad de agua potable brindada a la localidad de Quequeña cumpla con los LMPs establecidos en la normativa vigente, para ello se montará el proceso de filtración de carbón activado de coronta de maíz antes del proceso de cloración, para ello se propone implementar 02 filtros de carbón activado de coronta de maíz cuyo volumen será de 0.0623m³, con una altura de 150 cm y un diámetro de 23 cm, según el caudal manejado en la PTAP que es de 0.12l/s ; la cantidad de carbón activado que se manejara es de 33.78 kg, la renovación de este filtro puede oscilar entre 3 a 6 meses según la puesta en marcha del sistema de filtro debido al

seguimiento de los parámetros de salida, a su vez la planta de tratamiento tendrá un cronograma de mantenimiento mensual como medida de seguridad para lograr un tratamiento seguro y eficiente del agua.

- La simulación en 3D permitió representar el comportamiento dinámico de la reducción de aguas contaminadas con arsénico, como las de la localidad de Quequeña, brindando soluciones a esta problemática con valores de solución muy próximos a los reales.



RECOMENDACIONES

- Nuestro estudio se realizó con 02 tipos de residuos, uno de ellos la coronta de maíz y otro la cáscara de plátano, se recomienda un análisis de la composición química de ambos precursores para establecer una comparación de los porcentajes de composición sobre todo de grupos funcionales, que permitieron la bioadsorción del arsénico.
- El presente trabajo no considero la construcción de isotermas de adsorción, por lo que se recomienda incluirlas con el fin de conocer la cantidad de biomolécula (adsorbato) que se acumuló sobre cada tipo de precursor (adsorbente).
- Nuestra investigación se realizó de manera duplicada para cada sistema detallado, se recomienda un mayor número de repeticiones para aumentar el índice de confiabilidad del estudio y un mayor grado de precisión de los posibles resultados.
- Después de complementar el tratamiento con el filtro de carbón activado se recomienda realizar un monitoreo de calidad de agua potable para verificar que el agua brindada a la localidad de Quequeña cumpla con el Reglamento de Calidad de Agua Potable vigente.
- Se recomiendo a la Municipalidad de Quequeña, complementar su tratamiento de agua potable con el diseño propuesto para mejorar la calidad de agua que se brinda a la población.

BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). *VI Curso Taller Iberoamericano sobre Adsorbente para la Protección*, (pág. 75). Managua, Nicaragua.
- (10 de Enero de 2016). Obtenido de Actualitix: <https://es.actualitix.com/pais/per/peru-platano-produccion.php#ranking-de-las-estadisticas>
- Abernathy, C & Morgan, A. (2001). *World Health Organization*. Recuperado el Noviembre de 2018, de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenicun3.pdf
- Aguilar, A; Navarrete, D & Quijano, N. (2016). *Contaminant Removal in Surface Water Utilizing Activated Carbon made from Agricultural Waste*. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Aguilar, A; Navarrete, D; Quijano, N; Vélez, C & María, J. (2016). Remoción de contaminantes presentes en aguas superficiales empleando carbón activado generado a partir de materiales de desecho agroindustrial. *14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability"*. San José, Costa Rica. doi:10.18687/LACCEI2016.1.1.123
- ALS CORPLAB. (2016). *Informe de Monitoreo de Calidad de Agua de Bebida*. Arequipa.
- Altamar, M; Jimenez, H & Colina-Marquez, J. (2016). *Informe sobre isoterma de Khan*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Annadurai, G; Jueng, R.S & Lee, D. (2002). Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. *Water Sci Technol*, 47: 185-190.
- Bansal, R & Goyal, M. (2005). *Activated Carbon Adsorption*. New York.
- Basso, M; Cerella, E & Cukierman, A. (2001). Remoción de Cadmio (II) de soluciones acuosas mediante carbón activado preparado a partir de caña. *Programa de investigación de fuentes alternativas de materias*. Buenos Aires.
- Benitez, R; Álvarez, J; Dahbar, M & Rivero, S. (2008). *Alternativas Tecnológicas a tener en cuenta para la toma de decisiones frente a la problemática del arsénico en agua de bebida*. Programa Nacional de Minimización de Riesgos por Exposición.
- Bolaños, J. (2016). Determinación de arsénico en agua potable del Cantón del Grecia. *InterSedes*, 17(35). doi:10.15517/isucr.v17i35.25561
- Carbon Activado*. (Octubre de 2009). Obtenido de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/carbonactivado.htm>
- Cardenas, F. (2007). *Estudio del mercado de la cadena del platano*.
- Castellan, G. (1998). *"Fisicoquímica"* (Segunda Edición ed., Vol. 19). Distrito Federal, Mexico: Addison-Wesley Iberoamericana.

- Castro de Esparza, M & Wong, M. (1999). *Remocion de arsenico a nivel domiciliario*. Mexico: CEPIS.
- Castro, B. (2015). *Uso de la cáscara de banana (Musa paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesado, plomo y cromo en aguas contaminadas*. Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Castro, M. (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*, (págs. 20-24). Mexico.
- Cecen, F & Aktas, O. (2011). *Activated Carbon for Water ans Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment*.
- Centrone, C. (2006). *Filtro casero de carbón activado para reducir el contenido de cloro del agua*.
- Chanes, M. (s.f.). *LUMION Profesional*. Obtenido de <https://cursos.miltonchanes.com/courses/lumion/lectures/3164082>
- Chen, Q; Luo, Z; Hills, C; Xue, G & Tyrer, M. (2009). Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. En *Water Research* (Vol. 43, págs. 2605-2614). ELSEVIER. doi:10.1016/j.watres.2009.03.007
- Chiang, H; Guo, H; Hong, C; Lin, S & Lee, E. (1993). The incidence of bladder cancer in the black foot disease endemic area in Taiwan. *British Journal of Urology*, 71(3), 274-278. doi:10.1111/j.1464-410X.1993.tb15942.x
- Colpas, F.; Tarón, A. & Fong, W. (2016). *Analisis del desarrollo textural de carbones preparado a partir de zuro de maiz* (Vol. 20). Temas Agrarios. doi:<https://doi.org/10.21897/rta.v20i1.752>
- Condesso M.T. (1996). *Laboratory studies of glyphosate equilibrium and kinetic adsorption porcess in soils of the Maresme region*. Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Cruz, G; Velásquez, M; Contreras, J; Solís, J; Gómez, M & Keiski, R. (2016). Estudio de Carbones activados impregnados con quitosano y su comparación con carbones comerciales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 373-384.
- Cruz,G; Guzmán,V; Rimaycuna,J; Alfaro,R; Cruz,J; Aguirre,D & Ubillus,E. (2015). Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual. *Revista de Investigación Científica*, 12(1), 65-74.
- Daifullah,A & Girgis, B. (2003). *Impact of surface characteristics of activated carbon on adsorption of BTEX*. doi:[https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00392-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00392-8)

- Diao, Y; Wallander, W & Fan, L. (2002). Activated carbons prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum. *Bioresource Technology*. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00100-6)
- DIGESA. (2007). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Lima.
- DIGESA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA*. Lima.
- EPA. (2001). *National Primary Drinking Water Regulations; Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Contaminants Monitoring* (Vol. 66). USA: Environmental Protection Agency.
- EPA. (2012). *Guía del ciudadano sobre el tratamiento con carbón activado*. Obtenido de <https://clu-in.org/products/citguide/>
- EPA. (s.f.). *Drinking water Treatability Database*. Obtenido de <https://iaspub.epa.gov/tdb/pages/treatment/treatmentOverview.do?treatmentProcessId=2074826383>
- Filtros Fuentes. (s.f.). *Filtros depuradores rigurosamente seleccionados por el departamento de I+D de Canaletas*. Obtenido de <https://www.canaletas.com/>
- Flanagan, S; Johnston, R & Zheng, Y. (2012). Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. *Bulletin of the World Health Organization*, 90(11), 839-846. doi:10.2471/BLT.11.101253
- Flores, E & Pérez, J. (2009). *Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra*. Lima: Universidad Nacional de San Marcos.
- Fonseca, R.; Giraldo, L.; Moreno, J. (2014). *Adsorción de Cr(III) desde solución acuosa sobre carbones activados obtenidos de residuos Zea Mays* (Vol. 569). Bogota, Colombia: Afinidad LXXII.
- Foo, K & Hameed, B. (2010). Improvement of Fe(II)-Adsorption Capacity of FeOOH-Coated Brick in Solutions, and Kinetics Aspects. *Chemical Engineering Journal*, 156.
- Francisca, F & Carro, M. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 17-190.
- Galetovic, A & De Fericola, N. (2003). Arsenico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciencias Farmaceuticas*, 39(4). doi:10.1590/S1516-93322003000400003

- Garcia, V; Borja, N; Yipmantin, A & Guzman, E. (2015). Estudio de la cinética de biosorción del plomo (II) en alga (*Ascophyllum Nodosum*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 212–223.
- George,C; Sima,L; Jahuira,M; Mihalic,J; Cabrera,L; Danz,D; Checkley,W & Gilman,R. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bull World Health Organ*, 82(8), 565-572. doi:10.2471/BLT.13.128496
- Giner, G. (3 de Marzo de 2017). *EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Carb%C3%B3n_activado
- Gonzalez, A & Guerra, J. (2016). *Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo (Pb) y zinc (Zn) con cascara de platano (Musa Sapientum), en las aguas residuales de laboratorio de analisis quimicos*. Trujillo: Universidad Nacional de Tujillo.
- Gottipati, R. (2012). Preparation and Characterization of Microporous Activated Carbon from Biomass and its Application in the Removal of Chromium (VI) from Aqueous Phase. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.06.009>
- Groso, G & Brosa, J. (1999). El carbón activado, materias primas y aplicaciones. En *Química e Industria* (págs. 177-179).
- Grupo TAR. (1997). *Manual del Carbon Activado*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Guastalli, A; Parrilla, R; Llorens, J & Mata, J. (2004). *Application of Electrodialysis on Recovering*. Universitat Barcelona.
- (1998). *Guidelines for the Interpretation of the Biological Effects of Selected Constituents in Biota, Water and Sediments*.
- Guzman, J. (13 de Diciembre de 2011). Hoy marchan en Quequeña contra minera Chindin. *La Republica*.
- Huallpa, W. (2017). *Biosorción con panca de maíz (Zea mayz) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel laboratorio*. Lima: Universidad Nacional Cesar Vallejo.
- Huisman,J; Schouten,G & Schultz,C. (2006). Biologically produced sulphide for purification of process streams, effluent treatment and recovery of metals in the metal and mining industry. En *Hydrometallurgy* (Vol. 83, págs. 106-113). ELSEVIER. doi:10.1016/j.hydromet.2006.03.017
- IBEROARSEN. (2009). *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*. Argentina: CYTED.
- Iliná, A; Martinez, J; Segura, P; Villareal, J & Gregorio, K. (2009). Biosorción de arsénico en materiales derivados de maracuya. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(4), 201-216.

- INEI. (23 de 02 de 2018). Produccion de maíz amarillo duro aumentó 37.4% en diciembre de 2017.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2004). Some drinking-water disinfectants and contaminants, including Arsenic. *IARC Monographs on the Evaluation o Carcinogenic Risks to Huma*.
- Ismail, I; Fawzy, A; Abdel-Monem, N; Mahmoud,M & El-Halwany, M. (2012). Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331-336. doi:10.1016/j.jare.2011.10.004
- Janqui, G. (2018). *Remoción de Molibdeno del agua del río Challhuahuacho de Cotabambas-Apurímac con carbon activado de tusa de Maiz (Zea Mayz)*. Puno.
- Ji, Y. (2015). Membrane technologies for water. En *Advances in Membrane Technologies for Water* (págs. 519-536). Oxford: Basile.
- Jones, F. (2007). A broad view of arsenic. *Poultry Science* , 2-14.
- Junxiong, C; Longzhe, C; Yanxin, W & Chengfu, L. (2009). Effect of functional groups on sludge for biosorption of reactive dyes. *Journal of Environmental Sciences*, 534-538.
- Karnib, M; Kabbani, A; Holail, H & Olama, Z. (2014). Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. En *Energy Procedia* (Vol. 50, págs. 113-120). ELSEVIER. doi:10.1016/j.egypro.2014.06.014
- Kirchmer, C & Castro de Esparza, M.L. (1978). *Remocion de arsenico en aguas con alto contenido de Magnesio*. Lima: CEPIS.
- Kumari, B; Kumar, V; Sinha, A; Ansha J, Gosh, A; Wang, H; DeBocck, G. (2016). Toxicology of arsenic in fish and aquatic system. *Environ*, 43-64.
- Lavado, C & Ore, F. (2016). Estudio de la biosorción de plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maiz (Zea mays). *Revista Sociedad Química del Perú*, 82(4), 403-414.
- Liu, X & Lee, D. (2014). Thermodynamic parameters. *Bioresource Technology*, 160, 24-31. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.053
- LUMION. (2019). Obtenido de <https://www.lumion.es/producto/>
- Luna, D; González, A; Gordon, M & Martín, N. (2007). *Obtencion de Carbon Activado a partir de la cascara de coco*. Mexico.
- Mandal, B & Suzuki, K. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 58(1), 201-235. doi:10.1016/S0039-9140(02)00268-0
- Maron, S & Prutton, C. (1968). En *Fundamentos de fisicoquímica* (págs. 822-830). Mexico D.F: Limusa.

- McClintock,T; Chen,Y; Bundschuh,J; Oliver,J; Navoni,J; Olmos,V; Villamil,E; Ahsan,H & Parvez,F. (2012). A review: Arsenic exposure in Latin America: Biomarkers, risk assessments and related health effects. En *Science of The Total Environment* (Vol. 429, págs. 76-91). ELSEVIER. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.08.051
- McNeil, L & Edwards, M. (1997). Arsenic Removal during precipitate softening. *Environmental Engineering*, 123(5), 453-460. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:5(453)
- Medina-Pizzali, M; Robles, P; Mendoza, M & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de medicina experimental y salud pública*, 35(1), 93-102. doi:10.17843/rpmesp.2018.351.3604.
- Mendez, K. (2008). Adsorción de Cromo (VI) usando citrus sinensis como biomasa residual. *Biotechnology and Bioengineering*, 67.
- MINAGRI. (2015). *Requerimientos agroclimáticos del cultivo de plátano*.
- MINAGRI. (2017). *Análisis Económico de principales Frutas y Verduras*. Lima.
- MINAM. (2012). *Listado de Pasivos Ambientales*.
- MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *DS N° 004-2017-MINAM*.
- Ministerio Nacional de Ecología y Cambio Climático. (17 de Marzo de 2014). Obtenido de SEMARNAT: <http://www.inecc.gob.mx/>
- Monsalve, J; Medina, V & Ruiz, A. (2006). *Producción de etanol a partir de cascara de banano y almidón de yuca*.
- Morgan, A. (2001). Arsenic exposure and health effects. Office of water, office of science and technology. En *Health and Ecological Criteria Division*. United States Environmental Protection Agency.
- Municipalidad Distrital de la Villa de Quequeña - Arequipa. (2017). *Proyecto: "Mejoramiento y Rehabilitación del Sistema de Captación de Agua Potable Zona Cambraca - San Isidro, Quequeña - Arequipa"*. Arequipa.
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2019). *Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa 2017-2018*. Arequipa.
- MVCS. (2019). *Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. DS N° 010-2019-VIVIENDA. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- Nava, C & Mendez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Neurocienc.*

- Nemerow, N & Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de Vertidos Industriales Peligrosos*. Madrid: Dias de Santos.
- Noboa, E & Almeida, D. (2008). *Diseño de un filtro de carbon activado para la remoción de cloro libre residual del agua potable para uso en la industria farmacéutica*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- NORLEAN. (2017). Obtenido de <http://norlean.com/beneficios-para-el-cliente/simulacion-3d/>
- Norma Mexicana NMX-AA-46-1981. (06 de Noviembre de 1992). Analisis de agua determinacion de arsenico. *Diario Oficial de la Federación*.
- Olmo Axayacatl. (25 de Enero de 2016). *Blog Agricultura*. Obtenido de <https://blogagricultura.com/estadisticas-platano-produccion/>
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen I: Recomendaciones*. Ginebra, Suiza.
- OMS. (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf
- OMS. (22 de Noviembre de 2017). *Arsénico*. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Osei Boamah,P; Huang,Y; Hua,M; Zhang,Q; Wu,J; Onumah,J & Sam-Amoah,L. (2015). Sorption of heavy metal ions onto carboxylate chitosan derivates - A mini review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 116, 113-120. doi:10.1016/j.ecoenv.2015.01.012
- Paredes, J. (2012). *Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción*. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF.
- Parravacini, J. (2016). *Efecto del tipo de carbón activado en la adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido*. Trujillo: Universidad de Cesar Vallejo.
- Patrick, J. (1995). *Porosity in Carbons: characterization and applications*. Gran Bretaña.
- Perez, R; Gonzales, E; Ceballos, F; Escallada, R; Gomez,M; Martin, P; Perez, A; Ramirez, R; Sobrino, P & Solozabal, C. (2004). Guías de gestión de calidad del líquido de diálisis (LD). *Revista Nefrología*, 1-42.
- Petrusevski, B; Sharma, S; Schippers, J.C & Shordt, K. (2007). Arsenic in Drinking Water. En I. W. (IRC), *Thematic Overview Paper 17*. Delft, The Netherlands.
- Pintado Paltán Katherine. (2018). Comparación de la biosorción y desorción de metales pesado mediante el uso de marlo de maíz (Zea Mays) en aguas contaminadas. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

- Pintado, K. (2018). *Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el uso de marlo de maíz (Zea mayz) en aguas contaminadas*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Polat, H & Erdogan, D. (2007). Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. *Journal of Hazardous Materials*, 148(1-2), 267-273. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.02.013
- Porras, G & Martinez, C. (2019). *Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros*. Lima.
- Ramirez, C. (2009). *Carbon Activado para el tratamiento de agua*. Mexico: Universidad de Sonora.
- Ramirez, H & Jaramillo, J. (2015). Agentes Naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. doi:10.18359/rfcb.1303
- Reinoso, F. (2005). Carbon Activado: estructura, preparacion y aplicaciones. *Revista Uniandes*, 66-69.
- Rimachi, C. (2009). *Estudio Físico Químico de las técnicas de remoción de arsénico en agua de consumo humano*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ripusudan, L. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.HTM>
- Rivas, C; Nuñez, O; Longoria, F & Gonzalez, L. (2014). Isoterma de langmuir y freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácido nucleico sobre WO₃. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 26(1), 43-49.
- Rivera, M & Piña, M. (2005). *Tratamiento de Agua para Remoción de Arsénico mediante adsorción sobre Zeolita Natural Acondicionada*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Rodriguez, I. (2012). *Investigacion de Arsenico en cabello de habitantes de la localidad de General Pico, La Pampa*. Argentina: Universidad Nacional de la Pampa.
- Romero, J. (2006). *Purificación del Agua*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rossmann, T; Uddin, A & Burns, F. (2004). Evidence that arsenite acts as a cocarcinogen in skin cancer. *Toxicol Appl Pharmacol*, 198(3), 394-404. doi: 10.1016/j.taap.2003.10.016
- Saha, J; Dikshit, A; Bandyopadhyay & Saha, K. (2010). A review of arsenic poisoning and its effects on human health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29, 281-313. doi:10.1080/10643389991259227
- Sanchez, J; Arismendi, S & Paucar, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (Zea mayz l). *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 20-26.

- SEDAPAL. (2014). *Peru consume 250 litros por persona, casi 50% mas que Madrid*. Lima.
- Sevillano, A & Torres, P. (2013). *Obtencion de Carbon Activado a partir de madera*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- SIEMEX. (s.f.). *Carbon Activado*. Obtenido de <https://siemex.com.mx/carbon-activado/>
- Sing, K. (2004). Characterization of porous materials: past, present and future. En *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engeneering Aspects* (Vol. 241, págs. 3-7). ELSEVIER. doi:10.1016/j.colsurfa.2004.04.003
- Smedley, P & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568. doi:10.1016/s0883-2927(02)00018-5
- Smith, A; Lingas, E & Rahman, M. (2000). Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1093-1103. doi:10.1590/S0042-9686200000900005
- Smith,A; Arroyo,A; Mazumder,D; Kosnett,M; Hernandez,A; Beeris, M; Smith,M & Moore,L. (2000). Arsenic-ainduced skin lesions among Atacameño people in Northern Chile despite good nutrition and centuries of exposure. *Environ Health Perspect*, 108(7), 617-620. doi:10.1289/ehp.00108617
- South African Water Quality Guidelines. (1996).
- SUNASS. (2004). *Análisis de la calidad del Agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995-2003*. Lima, Perú.
- Talu, O. (1998). Needs, status, techniques and problems with binary gas adsorption experiments. *Advances in Colloid and Interface Science*, 227-269.
- Tapia, N. (2003). Biosrobente de Pb (II) por cascara de naranja, citrus sinensis modificada. *Revista Quimica*, 48-53.
- Taylor, J & Wiesner, M. (2002). Calidad y Tratamiento del Agua. En M. Hill, *Manual de Suministros de Agua Comunitaria* (págs. 707-709). Madrid: AWWA.
- TecamySer. (2016). *Filtros de Carbón Activo: Parámetros de diseño recomendados*. Obtenido de <http://tecamyser.com>
- Trelles, J. (2013). *Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes*. Lima, Perú.
- UNICEF. (2008). Arsenic mitigation in Bangladesh. *Fact Sheet*.
- Vera, L; Uguña, M; García, N; Flores, M & Vazquez, V. (2016). Eliminacion de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad*, 73(573).

- Vera, L; Uguña, M; García, N; Flores, M; Vazquez, V & Aloma, I. (2016). Desarrollo de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras. *AFINIDAD*, LXXIII(574), 135-139.
- Vitela, A. (2011). *Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanopartículas de hidróxido de hierro*. San Luis Potosí.
- Wan Ngah, W; Teong, L; Hanafiah, M. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan. 83,1446 - 1456.
- Wang, W; Brusseau, M & Artiola, J. (1998). *Noequeilibriu and sorption during transport of cadmium, nickel and strontium through subsurface soils*. New York: Geomedia.
- Wasseman,G; Liu,X; Parvez,F; Ahsan,H; Factor-Litvak,P; Van Geen,A; Slavkovich,V; Lolacono,N; Cheng,Z; Hussain,I; Momotai,H & Graziano, J. (2004). Water arsenic exposure and childrens intellectual function in Araihasar Bangladesh. *Environ Health Perspect*, 112(13), 1329-1333. doi:10.1289/ehp.6964
- Wong, M; Mori, V & Esparza, M. (2000). *Procedimiento normalizado de operación para la determinación de arsénico por el método dietilcarbamato de plata*. CEPIS-OPS-OMS.
- World Health Organization (WHO), International Programme on Chemical Safety (IPCS) & Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMCS). (2001). Arsenic and arsenic compounds. *Environmental Health*.
- Young-Seoub, H; Ki-Hoon,S & Jin-Yong, C. (2014). Health Effects of Chronic Arsenic Exposure. *Journal of Preventive Medicine & Public Health*, 47(5), 245-252. doi:10.3961/jpmph.14.035
- Zapana, R. (2016). *Estudio de remoción de arsénico del agua del río Sama - Tacna, empleando Fe y ácido cítrico*. Tacna - Perú.
- Zewail, T & Yousef, N. (2015). Kinetic study of heavy. *Alexandria Engineering*, 54,83,90.
- Zheng,L; Dang Z,Y & Zhang,H. (2010). Equilibrium and kinetic studies of adsorption of Cd(II) from aqueous solution using modified corn stalk. *J Hazard Mater*, 176(1-3), 650-656. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.11.081

ANEXOS

ANEXO 1. Antecedentes del uso del carbón activado generado por la Cáscara de Plátano para remoción de metales pesados

1. Investigación N°01

- Se tomará 2 kilogramos de cáscara de plátano (*Musa Sapientum*) secado en 9 horas a 90°C.
- Luego la cáscara de plátano será pulverizada.
- Posteriormente al pulverizado de la cáscara de plátano será vertido al nido de tamices de mallas 10, 100, 200 para su respectivo tamizado en rotap.
- Se Tomará una muestra de 6 litros de la cual se toma una alícuota para la determinación de los parámetros físico-químico, luego se dividirá en 3 muestras de 2 litros cada una, Para la determinación del pH y las concentraciones de Pb, Zn. quedando listo para iniciar tratamiento.
- El tratamiento consistirá en agregar 10 gramos de cáscara de plátano a 2 litros de cada muestra que será colocado en vaso de precipitación de 2,5 litros de capacidad.
- El tiempo de tratamiento del agua residual contaminada con Pb y Zn en contacto con la cáscara de plátano será de 72 horas. La toma de muestras será cada 8 horas para la determinación de pH y la concentración de Pb y Zn.

1.1. Resultados

- En el estudio sobre el porcentaje de adsorción de plomo correspondientes a las medias de plomo: en la muestra 1: se demostró que al trabajar con 50 rpm y 80°C se obtiene 69.1% de adsorción de plomo. muestra 2: se demostró que al trabajar con 80 rpm y 80°C se obtiene 79,8% de adsorción de plomo
- Se demostró que al trabajar con 50 rpm y 80°C se obtuvo una adsorción de 58,42 % de Zn. En la muestra 2: Al trabajar con 80 rpm y 80°C se obtuvo una adsorción de 66,37% de Zn. (Gonzalez, A & Guerra, J, 2016)

2. Investigación N°2

La investigación se basa para metales de arsénico y para coliformes

Tabla 37: Resultados investigación (Aguilar et al, 2016)

Parámetro	Cascara de plátano
Tamaño efectivo (mm)	1.6
Contenido de humedad	12.63%
Densidad aparente gr/ml	0.307
Contenido de material volátil	12.54 %
Contenido de cenizas	16.18%
PH	3.5

Cantidad de muestra de carbón activado 300 gr en 600 ml de muestra, Posteriormente, el carbón activado obtenido fue colocado a 110°C en una estufa por lapso de 48 horas para remover la humedad presente.

Se concluye que el carbón activado, que emplea cáscaras de plátano como material precursor, resultó excelente en cuanto a la remoción de metales pesados, especialmente el Arsénico, con más del 94.8%. Así mismo para remover el 100% de Coliformes Totales. (Aguilar et al, 2016).

3. Investigación N°03 (Cromo)

La investigación N°03, se basa para el parámetro de cromo

Tabla 38: Resultados investigación N°03 (Parravacini, J, 2016)

Parámetro	Cascara de plátano
Tamaño efectivo	Malla 40”= 0.425 mm

Cantidad de muestra de carbón activado 2 gr en 100 ml de muestra, velocidad de agitación 200 rpm, tiempo 1 hora. El carbón activado, que emplea cáscaras de plátano como material precursor, resultó con un 68% de eficiencia de remoción de cromo. (Parravacini, J, 2016)

ANEXO 2. Antecedentes del uso del carbón activado generado por la Coronta de Maíz para remoción de metales pesados

1. Investigación N°1:

Un grupo de investigadores probó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado generado a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable producido en la ciudad de Tumbes. Cuyos resultados lograron reducir eficientemente los niveles de concentración de turbidez, cloro residual en el agua potable llegando a valores entre 46.9 y 68.9 % y entre 87.5 hasta 100 % respectivamente. La cantidad inicial de bacterias heterótrofas en el agua también se logró reducir en niveles de 32,8 y 66,7 % en los primeros 50 min del experimento. (Cruz et al, 2015)

2. Investigación N°2

Otra investigación se realizó en Apurímac donde analizaron la capacidad de remoción del molibdeno de las aguas del río Challhuahuacho de Cotabambas – Apurímac con carbón activado de tusa de maíz (*Zea mays l*), donde determinaron que el carbón activado de tusa de maíz ofrece excelentes condiciones para el tratamiento de aguas contaminadas con molibdeno, ya que con pH 9 logro una remoción del 92% utilizando 1g. de carbón activado (Janqui, G, 2018).

Jesús Trelles realizo una investigación el 2013 para analizar la viabilidad de ocho especies vegetales para remover arsénico en medio acuoso, una de las cuales fue el carbón activado obtenido de la panca del maíz, la cual logro una remoción máxima de 23.1%, disminuyendo la concentración de Arsénico de 50 $\mu\text{g As/l}$ a 38.45 $\mu\text{g As/l}$, en un tiempo de 330 minutos usando 3.333 g/l de sorbente. (Trelles, J, 2013).

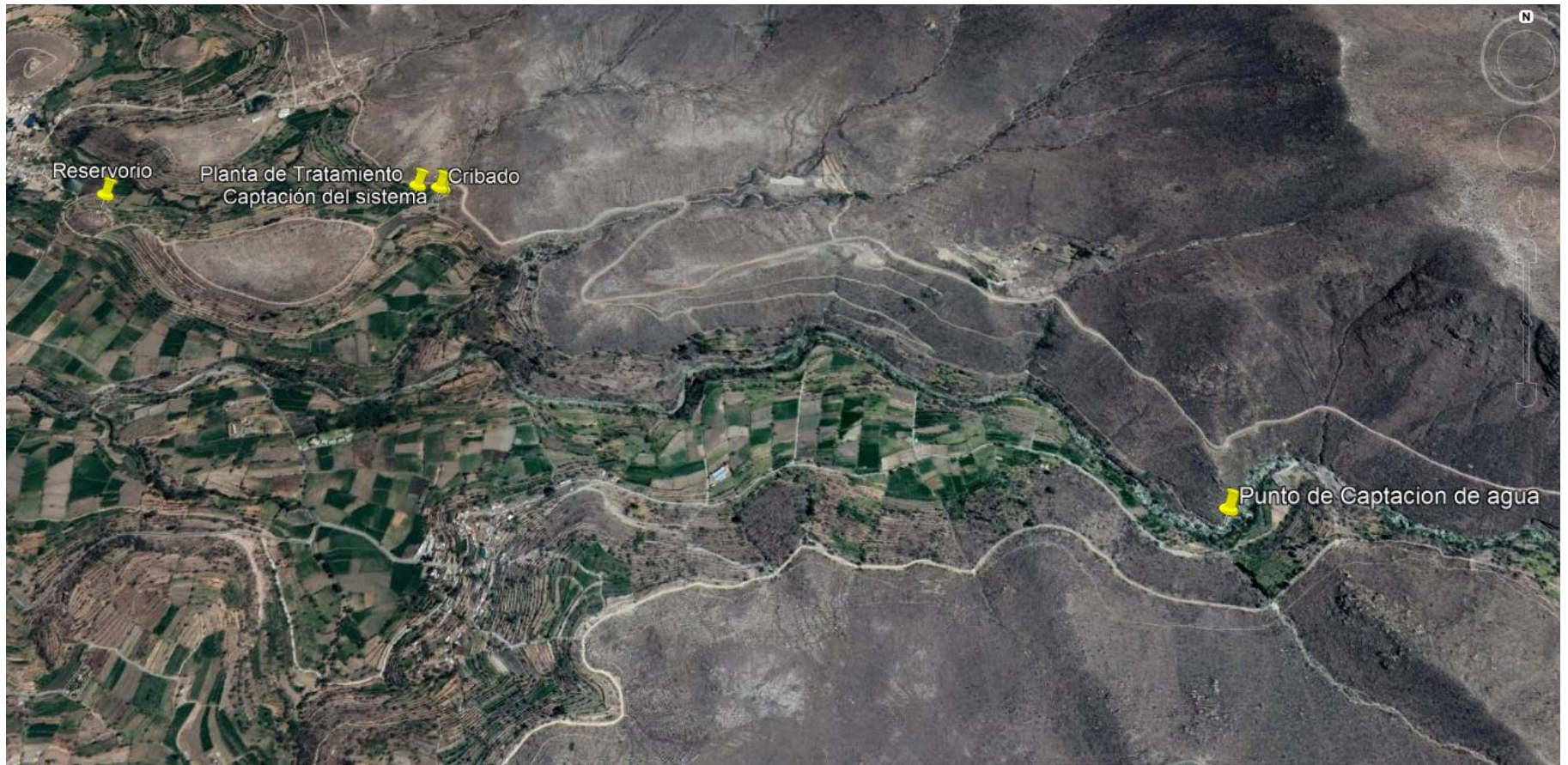
3. Investigación N°3:

William Huallpa realizo una investigación para determinar en qué medida la biosorción con panca de maíz (*Zea mays l*) remueve arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, para ello modifico el biosorbente generado de la panca de maíz con una solución de H_2SO esto con el propósito de incrementar el porcentaje de Lignina y activar los grupos funcionales presentes en el biosorbente, con un tiempo de contacto de 60 minutos y velocidad de agitación de 200 rpm, se demostró que el tratamiento que mostró

la mayor capacidad de remoción de arsénico fue el que tuvo una dosis de 1,5g y condiciones de tamaño de partícula de 250um, ya que llegó a alcanzar un porcentaje de remoción de 37,16% (Huallpa, W, 2017).



ANEXO 3. Ubicación del sistema de Tratamiento de Agua Potable de Quequeña



ANEXO 4. Informe de antecedentes de la calidad de agua distribuida a la población de Quequeña

N° ALS - CORPLAB				215191/2016-1.0
Fecha de Muestreo				09/06/2016
Hora de Muestreo				11:20:00
Tipo de Muestra				Agua de Bebida
Identificación				PLAZA
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
Magnesio (Mg)	16259	mg/L	0,0027	29,23
Manganeso (Mn)	16259	mg/L	0,0001	0,0060
Mercurio (Hg)	1883	mg/L	0,0001	< 0,0001
Molibdeno (Mo)	16259	mg/L	0,00001	0,00358
Níquel (Ni)	16259	mg/L	0,0003	0,0041
Plata (Ag)	16259	mg/L	0,00005	< 0,00005
Plomo (Pb)	16259	mg/L	0,00003	< 0,00003
Potasio (K)	16259	mg/L	0,035	10,53
Selenio (Se)	16259	mg/L	0,0002	0,0025
Silicio (Si)	16259	mg/L	0,01	21,86
Sodio (Na)	16259	mg/L	0,022	62,05
Talio (Tl)	16259	mg/L	0,00001	< 0,00001
Titanio (Ti)	16259	mg/L	0,001	0,003
Uranio (U)	16259	mg/L	0,0003	0,0013
Vanadio (V)	16259	mg/L	0,0003	0,0092
Zinc (Zn)	16259	mg/L	0,0001	0,0095
015 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS				
Bacterias Heterotróficas	8810	UFC/mL	1	170
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	8819	NMP/100 mL	1,1	< 1,1
Coliformes Totales	8813	NMP/100 mL	1,1	< 1,1
Escherichia coli	8827	NMP/100mL	1,1	< 1,1
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos*	10351	N°org/L	1	< 1
015 MICROBIOLÓGICOS				
Huevos y Larvas de Helmintos*	10060	Org/L	1	< 1
Organismos de Vida Libre, Algas*	15032	Org/L	1	13043
Organismos de Vida Libre, Copépodos*	15034	Org/L	1	< 1
Organismos de Vida Libre, Nemátodos*	15036	Org/L	1	< 1
Organismos de Vida Libre, Protozoarios*	15033	Org/L	1	< 1
Organismos de Vida Libre, Rotíferos*	15035	Org/L	1	< 1
015 MICROBIOLÓGICOS				
Virus (Colífagos)*	10051	UFP/L	1	<1
Observaciones				
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA				

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	0,0004	mg/L	< 0,0004	20/06/2016
Amoniaco	0,005	mg NH3/L	< 0,005	15/06/2016
Antimonio (Sb)	0,00001	mg/L	< 0,00001	20/06/2016
Arsénico (As)	0,00001	mg/L	< 0,00001	20/06/2016
Bacterias Heterotróficas	1	UFC/ml	< 1	14/06/2016
Bario (Ba)	0,00001	mg/L	< 0,00001	20/06/2016
Berilio (Be)	0,00003	mg/L	< 0,00003	20/06/2016
Bismuto (Bi)	0,000004	mg/L	< 0,000004	20/06/2016
Boro (B)	0,0008	mg/L	< 0,0008	20/06/2016
Cadmio (Cd)	0,00003	mg/L	< 0,00003	20/06/2016
Calcio (Ca)	0,006	mg/L	< 0,006	20/06/2016
Cloruros, Cl-	0,020	mg/L	< 0,020	14/06/2016
Cobalto (Co)	0,00001	mg/L	< 0,00001	20/06/2016
Cobre (Cu)	0,0002	mg/L	< 0,0002	20/06/2016
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	1,1	NMP/100 mL	< 1,1	11/06/2016
Coliformes Totales	1,1	NMP/100 mL	< 1,1	09/06/2016
Color Verdadero	1	UC	< 1	14/06/2016
Cromo (Cr)	0,0001	mg/L	< 0,0001	20/06/2016
Dureza Total	1,0	mg CaCO3/L	< 1,0	22/06/2016
Escherichia coli	1,1	NMP/100 mL	< 1,1	11/06/2016
Estaño (Sn)	0,0003	mg/L	< 0,0003	20/06/2016
Estroncio (Sr)	0,0003	mg/L	< 0,0003	20/06/2016
Fluoruros, F-	0,002	mg/L	< 0,002	14/06/2016
Fosforo (P)	0,03	mg/L	< 0,03	20/06/2016
Hierro (Fe)	0,062	mg/L	< 0,062	20/06/2016
Litio (Li)	0,0001	mg/L	< 0,0001	20/06/2016
Magnesio (Mg)	0,0027	mg/L	< 0,0027	20/06/2016
Manganeso (Mn)	0,0001	mg/L	< 0,0001	20/06/2016
Mercurio (Hg)	0,0001	mg/L	< 0,0001	20/06/2016
Molibdeno (Mo)	0,00001	mg/L	< 0,00001	20/06/2016
Niquel (Ni)	0,0003	mg/L	< 0,0003	20/06/2016
Nitratos, (como N)	0,003	mg/L	< 0,003	14/06/2016
Nitritos, (como N)	0,001	mg/L	< 0,001	14/06/2016
Plata (Ag)	0,00005	mg/L	< 0,00005	20/06/2016
Plomo (Pb)	0,00003	mg/L	< 0,00003	20/06/2016
Potasio (K)	0,035	mg/L	< 0,035	20/06/2016
Selenio (Se)	0,0002	mg/L	< 0,0002	20/06/2016
Silicio (Si)	0,01	mg/L	< 0,01	20/06/2016
Sodio (Na)	0,022	mg/L	< 0,022	20/06/2016
Sólidos Totales Disueltos	2	mg Sólidos Totales Disueltos/L	< 2	10/06/2016
Sulfatos, SO4-2	0,015	mg/L	< 0,015	14/06/2016
Talio (Tl)	0,00001	mg/L	< 0,00001	20/06/2016
Titanio (Ti)	0,001	mg/L	< 0,001	20/06/2016
Uranio (U)	0,0003	mg/L	< 0,0003	20/06/2016
Vanadio (V)	0,0003	mg/L	< 0,0003	20/06/2016
Zinc (Zn)	0,0001	mg/L	< 0,0001	20/06/2016

Control Estándar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	99,1	80-120	20/06/2016
Amoniaco	108,5	85-115	15/06/2016
Amoniaco	104,3	85-115	15/06/2016
Antimonio (Sb)	99,6	80-120	20/06/2016
Arsénico (As)	106,1	80-120	20/06/2016
Bacterias Heterotróficas	POSITIVO	---	14/06/2016
Bario (Ba)	102,5	80-120	20/06/2016

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO


Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
PLAZA	Corplab	Agua de Bebida	09/06/2016	09/06/2016	8167836N 238357E	En buen estado de conservación	Frente a la plaza distrital de Quequeña

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
13322	LME	Amoniaco	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 F, 22nd Ed. 2012	Nitrogen (Ammonia): Preliminary Distillation Step / Phenate Method.
16189	AQP	Aniones por Cromatografía Iónica	EPA METHOD 300.0, Rev 2. 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography
1824	AQP	Cloro Total (Campo)	CORPLAB-MC-002, (Validado) 2009	Basado en SM4500-Cl G, DPD Colorimetric Method
12250	LME	Color	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 22nd Ed. 2012	Color: Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)
1825	AQP	Conductividad (Campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. 2012	Conductivity: Laboratory Method
1829	AQP	Dureza Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed. 2012	Hardness: EDTA Titrimetric Method
10060	LME	Huevos y Larvas de Helmintos*	Bailenger Mod/OMS, Rachel Ayres & Duncan Mara, Ginebra 1997	Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de la OMS
1883	AQP	Mercurio Total	EPA METHOD 245.1 Rev. 3.0 1994	Determination of Mercury in Water By Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry
16259	AQP	Metales Totales por ICP-MS	EPA 6020 A Rev. 1 February 2007 (Validado).	Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry
8819	AQP	Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed. 2012	Multiple-Tube Fermentation Technique for members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure
8813	AQP	Numeración de Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 22nd Ed. 2012	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
8827	AQP	Numeración de Escherichia Coli	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F, 22nd Ed. 2012	Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate
9560	AQP	Olor*	NMX-AA-83 (1982)	---
15032	LME	Organismos de Vida Libre, Algas*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 F (F.2.a,b,c.1), 22nd Ed. 2012	Plankton. Phytoplankton Counting Techniques
15034	LME	Organismos de Vida Libre, Copépodos*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 G, 22nd Ed. 2012	Plankton. Zooplankton Counting Technique
15036	LME	Organismos de Vida Libre, Nematodos*	Bailenger Mod/OMS, Rachel Ayres & Duncan Mara, Ginebra 1997	Análisis de aguas residuales para su uso agrícola. Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. OMS
15033	LME	Organismos de Vida Libre, Protozoarios*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 G, 22nd Ed. 2012	Plankton. Zooplankton Counting Technique
15035	LME	Organismos de Vida Libre, Rotíferos*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 G, 22nd Ed. 2012	Plankton. Zooplankton Counting Technique
1838	AQP	Oxígeno Disuelto (Campo)	EPA 360.1 1971	Oxygen, Dissolved (Membrane Electrode)
1840	AQP	pH (Campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. 2012	pH Value Electrometric Method
10351	AQP	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos*	Método Simplificado de Análisis Microbiológicos (1983)	Método Simplificado de Análisis Microbiológicos (1983)
8810	AQP	Recuento de Bacterias Heterotróficas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215 B, 22nd Ed. 2012	Pour Plate Method
10027	AQP	Sabor*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2160 C, 22nd Ed. 2012	Taste: Flavor Threshold Test (FTT)
1842	AQP	Sólidos Totales Disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed. 2012	Solids: Total Dissolved Solids Dried at 180°C

ANEXO 5. Informe de Ensayo inicial de muestra de agua distribuida a la población de Quequeña

 UNSA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA	LABINVSERV Laboratorio de Investigaciones y Servicios
INFORME DE ENSAYOS	
N° DE REPORTE:	21324-19
CLIENTE:	CINTHIA GONZALES FUENTES CLAUDIA SEGOVIA ALCÁZAR
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO	AGUA
CANTIDAD DE MUESTRA	01
FECHA DE RECEPCIÓN:	Jueves 11 de julio de 2019
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:	BOTELLA DE PLÁSTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Miércoles 24 de julio de 2019
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	QUEQUEÑA
CÓDIGO DE MUESTRA	27308
LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA. ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV	
Página 1 de 2	
Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso	Teléfono: 054 - 220360 E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigaciones y Servicios

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 21324-19

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	mg/L	0,014	Método de Dietilditiocarbamato de plata
OBSERVACIONES:			

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 24 de julio de 2019.

Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Telefono: 054 - 220360
E-mail: fenf_labinvserv@unsa.edu.pe

**ANEXO 6: Informe de Monitoreo de Arsénico en agua del tratamiento realizado con
carbón de Coronta de Maíz**

	UNSA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA	LABINVSERV Laboratorio de Investigación y Servicios
INFORME DE ENSAYOS		
N° DE REPORTE:	21472-19	
CLIENTE:	CLAUDIA SEGOVIA	
DIRECCIÓN:	AREQUIPA	
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO	
PRODUCTO	AGUA	
CANTIDAD DE MUESTRA	01	
FECHA DE RECEPCIÓN:	Lunes, 26 de agosto de 2019	
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:	BOTELLA DE PLÁSTICO	
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Viernes, 06 de setiembre de 2019	
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	
PROCEDENCIA	AGUA DE TRATADA MANANTIAL QUEQUEÑA	
CÓDIGO DE MUESTRA	27478	

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: conf_labinserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigación y Servicios

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 21472-19

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	mg/L	0.0074	Método de Dietilditiocarbamato de Plata
OBSERVACIONES:			

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 06 de setiembre de 2019.

Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348



Anal. Qm. Ruth Begoña Guillén
Químico Responsable

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: fcnf labinvserv@unsa.edu.pe

ANEXO 7: Galería Fotográfica



Figura 26. Precursor coronta de maíz



Figura 27. Precursor cascara de plátano



Figura 28. Proceso de molienda de precursores



Figura 29. Proceso de tamizado de precursor de cáscara de plátano



Figura 30. Proceso de tamizado de precursor de coronta de maíz



Figura 31. Uso de mufla para la obtención de carbón activado de los precursores

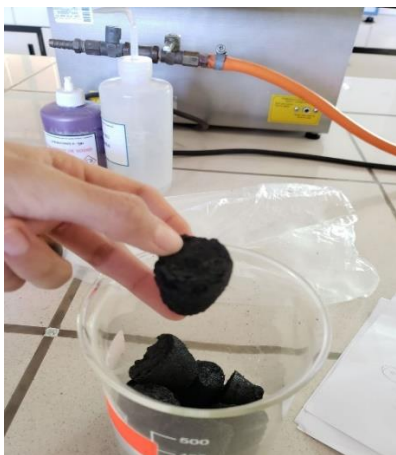


Figura 32. Obtención de carbón activado de los precursores



Figura 33. Proceso de secado del carbón activado



Figura 34. Proceso de tamizado del carbón activado



Figura 35. Almacenamiento del carbón activado



Figura 36. Proceso de armado de filtros con carbón activado

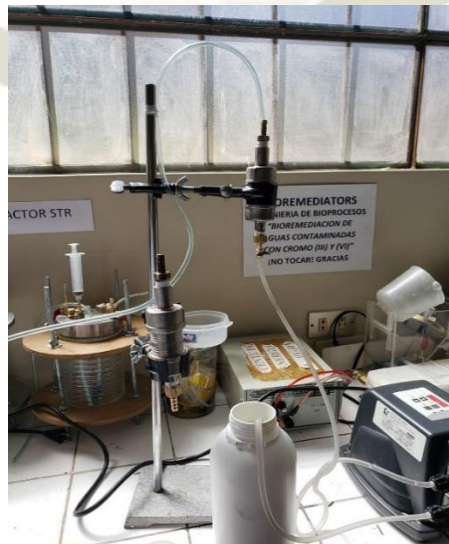


Figura 37. Sistema de montaje del proceso de filtración usando carbón activado



Figura 38. Sistema de generador Gutzeit para remoción de arsénico



Figura 39. Sistema de captación del río Yarabamba para la PTAP de Quequeña



Figura 40. Inicio del sistema de tratamiento de la PTAP de Quequeña



Figura 41. Canales de inicio del Sistema y proceso de cribado de la PTAP de Quequeña



Figura 42: Pozos de tratamiento primario de filtración de la PTAP



Figura 43: Sistema de salida del tratamiento primario (sedimentación) de la PTAP de Quequeña



Figura 44: Sistema de cloración del agua



Figura 45: Tanque de dosificación de cloro para el reservorio de agua

ANEXO 8: Simulación 3D del sistema de tratamiento de agua potable de Quequeña

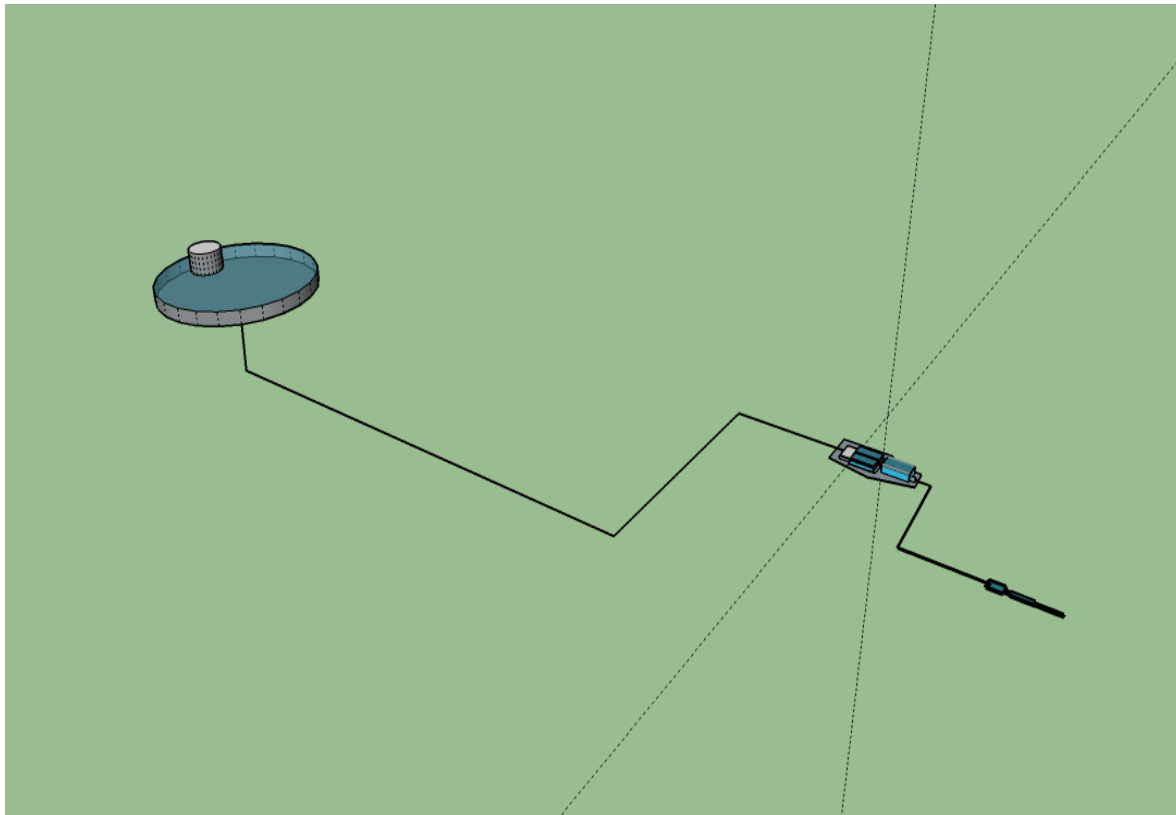


Figura 46. Simulación 3D del sistema de tratamiento de agua potable de Quequeña