

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS DE INVESTIGACIÓN

**“EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE
MARACUYÁ Y ENDOCARPIO DE DURAZNO EN LA REMOCIÓN
DE NITRATOS Y FÓSFORO TOTAL DEL PURÍN, VÉGUETA-
HUAURA”**

AUTORA:

Bach. ROSANGÉLICA DIANA OBREGÓN OLÓRTEGUI

ASESORA:

Mg. ELVIRA TEÓFILA CASTAÑEDA CHIRRE

HUAURA – PERÚ

2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 032 2019/UCSS/FI/DI

Siendo las 10:00 a.m. del día 11 de diciembre de 2019, en el Aula N° 5 de la Filial Huaura; Végueta - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Blga. Delsy Mariela Trujillo Chávez | Presidente |
| 2. Mg. Bertha Marcelina Ruiz Jange | Primer Miembro |
| 3. Lic. Luis José Santisteban Portal | Segundo Miembro |
| 4. Mg. Elvira Teófila Castañeda Chirre | Asesora |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada: "EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE MARACUYÁ Y ENDOCARPIO DE DURAZNO EN LA REMOCIÓN DE NITRATOS Y FÓSFORO TOTAL DEL PURÍN, VÉGUETA-HUAURA", que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, la Srta. Rosangélica Diana Obregón Olórtégui cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación, el Jurado luego de deliberar acuerda:

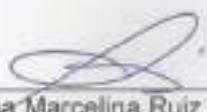
APROBAR

DESAPROBAR

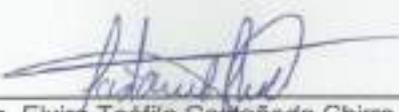
La tesis, con el calificativo de *Muy bueno* y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Firmado en Huaura, 11 de diciembre de 2019.


Blga. Delsy Mariela Trujillo Chávez
PRESIDENTE


Mg. Bertha Marcelina Ruiz Jange
1° MIEMBRO


Lic. Luis José Santisteban Portal
2° MIEMBRO


Mg. Elvira Teófila Castañeda Chirre
ASESOR

DEDICATORIA

De manera especial a mis padres; quienes siempre son mi inspiración, fuente de amor infinita y motor fundamental en la consolidación de mis objetivos personales y profesionales.

A mis hermanos, Hugo, Olvia y Wilman; por haberme permitido pasar los mejores años de mi infancia, cargada de mucha felicidad y en compañía de ellos. Asimismo, por moldear mi personalidad mediante sus consejos, con oportunidades de mejora.

A mi asesora, Mg. Elvira Teófila Castañeda Chirre, por haber confiado en mi persona y aceptar este reto profesional.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, todo poderoso, por darme la vida, fortaleza, sabiduría y las energías suficientes para seguir adelante en esta lucha constante. Asimismo, por rodearme de personas maravillosas, de quienes he recibido los mejores deseos de superación personal y profesional.
- A mis queridos padres y hermanos, por la motivación en este caminar profesional y por el apoyo íntegro e incondicional en el desarrollo de esta investigación.
- A mi asesora, Mg. Elvira Teófila Castañeda Chirre, por guiarme con sus conocimientos, su compromiso y dedicación en la ejecución de esta investigación, con la calidez que lo caracteriza.
- A mi alma máter, Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial: Huaura: Végueta, por abrirme las puertas para acceder a una formación profesional de calidad a través del Programa de Estudio de Ingeniería Ambiental.
- Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) – Beca 18, por brindarme todo el soporte logístico durante mi formación profesional de pregrado.
- A la Ing. Helen Anail Zapata del Solar y a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión-Huacho (UNJFSC), por permitirme acceder a los equipos del Laboratorio de Pirometalurgia durante la ejecución de esta investigación.
- Al Ing. Rhydi Luvick Quiroz Santos, por su apoyo y orientación constante desde los inicios de mi vida universitaria; siempre con la humildad, capacidad de servicio y la grandeza de todo un profesional.
- Al Psicólogo Ronald Caldas Bartolo, por brindarme todo el soporte emocional y administrativo en la Filial.
- A cada una de las personas (amigos, familiares y conocidos) que contribuyeron de alguna forma, ya sea directa e indirectamente, en la ejecución de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE APÉNDICES	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. ANTECEDENTES	4
1.2. BASES TEÓRICAS ESPECIALIZADAS	9
1.2.1. Descripción del carbón activado	9
1.2.2. Métodos de activación del carbón	12
1.2.3. Usos de carbón activado	14
1.2.4. Proceso de adsorción	15
1.2.5. Endocarpio del durazno y cáscara de maracuyá como precursores	18
1.2.6. El nitrato en el agua	20
1.2.7. Fósforo en el agua	28
1.2.8. El purín	32
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
2.1.1. Lugar y Fecha	36
2.1.2. Descripción del experimento	37
2.1.3. Tratamientos	47
2.1.4. Unidades experimentales	50
2.1.5. Identificación de variables y su mensuración	50
2.1.6. Diseño estadístico del experimento	53
2.1.7. Análisis estadístico de datos	53
CAPÍTULO III: RESULTADOS	54
3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PURÍN	54

3.2.	RENDIMIENTO DE CARBONIZACIÓN	55
3.3.	CAPACIDAD DE ADSORCIÓN EN EL FILTRO	56
3.3.1.	Capacidad de adsorción de nitratos	56
3.3.2.	Capacidad de adsorción de fósforo total	58
3.4.	PORCENTAJE DE REMOCIÓN	59
3.4.1.	Remoción de nitratos	59
3.4.2.	Remoción de fósforo total	61
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES		63
4.1.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PURÍN	63
4.2.	RENDIMIENTO DE CARBONIZACIÓN	68
4.3.	CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE NITRATOS	69
4.4.	CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE FÓSFORO TOTAL	72
4.5.	REMOCIÓN DE NITRATOS	73
4.6.	REMOCIÓN DE FÓSFORO TOTAL	75
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		76
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES		78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79
TERMINOLOGÍA		95
APÉNDICES		97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Tipos de poros del carbón activado según el tamaño del diámetro</i>	10
Tabla 2. <i>Ventajas y desventajas de la activación física del carbón</i>	13
Tabla 3. <i>Ventajas y desventajas de la activación química del carbón</i>	13
Tabla 4. <i>Usos del carbón activado por áreas específicas</i>	14
Tabla 5. <i>Clasificación taxonómica de la <i>Passiflora edulis</i></i>	19
Tabla 6. <i>Clasificación taxonómica del <i>Prunus persica</i></i>	20
Tabla 7. <i>Concentraciones de nitratos en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua</i>	25
Tabla 8. <i>Concentraciones de fósforo total en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua</i>	30
Tabla 9. <i>Influencia del tipo de alimentación de ganado en la composición de los purines</i>	32
Tabla 10. <i>Alternativas de separación de fases sólido-líquido de purines</i>	34
Tabla 11. <i>Descripción de los tratamientos en base a las diferentes proporciones de ácido fosfórico con el precursor y tiempo de filtración</i>	49
Tabla 12. <i>Variables de estudio, unidades de medida y métodos de determinación</i>	52
Tabla 13. <i>Parámetros de caracterización fisicoquímica y microbiológica del purín</i>	54
Tabla 14. <i>Rendimiento de la cáscara de maracuyá en la carbonización</i>	55
Tabla 15. <i>Rendimiento del endocarpio de durazno en la carbonización</i>	55
Tabla 16. <i>Capacidad de adsorción (q_c) de nitratos del carbón activado de cáscara de maracuyá ($\text{mg de NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado)</i>	56
Tabla 17. <i>Capacidad de adsorción (q_c) de nitratos del carbón activado de endocarpio de durazno ($\text{mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado)</i>	57
Tabla 18. <i>Concentraciones finales de fósforo total luego del filtrado con el carbón activado de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno</i>	58
Tabla 19. <i>Capacidad de adsorción (q_c) de fósforo total del carbón activado de la cáscara de maracuyá y del endocarpio de durazno ($\text{mg P} \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado)</i>	59
Tabla 20. <i>Porcentaje de remoción de nitratos con carbón activado de cáscara de</i>	60

maracuyá

Tabla 21. *Porcentaje de remoción de nitratos con carbón activado de endocarpio de durazno* 60

Tabla 22. *Porcentaje de remoción de fósforo total con carbón sin activación química ($0.0 \text{ H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón)* 61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de carbón activado. A. Carbón en polvo. B. Carbón granular. C. Carbón peletizado	12
Figura 2. Efecto del pH inicial en la adsorción de nitratos con el carbón activado a vapor de agua y mezclado con bromuro de cetil trimetil amonio ($C_i = 40 \text{ mg.L}^{-1}$, temperatura = $25 \text{ }^\circ\text{C}$, dosis del adsorbente = $0.2 \text{ g.50}^{-1}.\text{ml}^{-1}$, tiempo de contacto = 120 minutos)	16
Figura 3. Influencia de la temperatura en la adsorción del complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ con carbón activado obtenido con cáscara de coco en un pH = 11	17
Figura 4. Influencia del tiempo en la adsorción en el filtro	18
Figura 5. Influencia del pH en la formación de especies de $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$	21
Figura 6. Dinámica de compuestos nitrogenados en el agua bajo condiciones aeróbicas	22
Figura 7. Fuentes y caminos del nitrógeno en el ambiente subterráneo	24
Figura 8. Proceso de oxidación y reducción de la hemoglobina	26
Figura 9. Vías de contaminación con nitrosaminas	27
Figura 10. Influencia del pH en la formación de especies de fosfatos en el agua	28
Figura 11. Grado de retención del fósforo en el suelo en función al pH	29
Figura 12. Fisiopatología del fósforo blanco en el organismo	31
Figura 13. Purines en sistema de balsas impermeabilizadas	33
Figura 14. Configuración del sistema <i>Bardenpho</i>	34
Figura 15. Mapa de ubicación política del distrito de Végueta	36
Figura 16. Recojo de los precursores. A. Cáscara de maracuyá. B. Endocarpio de durazno	38
Figura 17. Laguna de oxidación del purín en un establo de ganado vacuno del distrito de Végueta	38
Figura 18. Preparación y acondicionamiento del precursor. A. Cáscara de maracuyá sumergida en NaOH. B. Cáscara de maracuyá seca. C. Endocarpio de durazno. D. Semilla de durazno separado	40
Figura 19. Detalle del filtro. A. Filtro en 3D. B. Vista lateral del filtro	43

Figura 20. Vista lateral del sistema de filtrado	44
Figura 21. Filtro en operación	47
Figura 22. Diseño de los tratamientos del precursor con cuatro dosis ácido fosfórico y dos tiempos de filtración que se evaluó en la presente investigación	48

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Diagrama del proceso de producción de carbón activado: Metodología adaptada de Barreto (2013)	97
Apéndice 2. Registro fotográfico de activación de la cáscara de maracuyá y del endocarpio de durazno	98
Apéndice 3. Verificación de supuestos como prerrequisito para el ANOVA	100
Apéndice 4. ANOVA: capacidad de adsorción de nitratos	102
Apéndice 5. Capacidad de adsorción de nitratos de todos los tratamientos	105
Apéndice 6. Capacidad de adsorción de fósforo total de los tratamientos T1, T2, 79 y T10 (sin activación química)	106
Apéndice 7. ANOVA: porcentaje de remoción de nitratos	107
Apéndice 8. Porcentaje de remoción de nitratos de todos los tratamientos	108
Apéndice 9. Porcentaje de remoción de fósforo total de los tratamientos T1, T2, 79 y T10 (sin activación química)	109
Apéndice 10. Dosificación del agente activante (H ₃ PO ₄) para los tratamientos	110
Apéndice 11. Informe de ensayo del Laboratorio	113

RESUMEN

Los purines son residuos orgánicos de las explotaciones ganaderas, que por sus altos contenidos de nutrientes, su tratamiento y disposición final cuidando los criterios ambientales, sociales y económicos, constituyen un verdadero reto. Por otro lado, los residuos agroindustriales como el endocarpio de durazno y la cáscara de maracuyá, son generados de manera continua; sin embargo, no se han presentado alternativas de valorización y/o reaprovechamiento acorde al crecimiento de este sector. En ese sentido, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la eficiencia del carbón activado obtenido de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno en la remoción de nitratos y fósforo total del purín de un establo de ganado vacuno ubicado en el distrito de Végueta, provincia de Huaura, región Lima. Para la obtención del carbón activado los precursores fueron lavados con Hidróxido de Sodio (NaOH) a 0.2 M, secados y triturados hasta obtener partículas de 0.2 a 0.5 mm; la carbonización de la cáscara de maracuyá fue a 400 °C y el endocarpio de durazno a 600 °C por una hora. La activación química de ambos precursores fue con ácido fosfórico (H₃PO₄) al 85 % en un tiempo de contacto de 24 horas, los precursores fueron tratados con agua desionizada hasta obtener un pH final de 5.0. El diseño de la presente investigación fue un diseño factorial con tres factores sin replicación, de la siguiente forma 2 x 4 x 2; donde el factor 2 representa al tiempo de filtración (10 y 15 minutos después de la salida del flujo del filtro), el factor 4 a las proporciones del activante-precursor (0.0, 0.2, 0.6 y 1.0) y el 2 al tipo de precursor (cáscara y endocarpio).

Los resultados mostraron que para 250 g de carbón activado de cáscara de maracuyá, tres tratamientos (T2, T6 y T8) presentaron la mayor capacidad de adsorción de nitratos: q_c de 0.102 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón; mientras que para 500 g de carbón activado de endocarpio de durazno, el tratamiento (T10) con mayor capacidad de adsorción de nitratos presentó una q_c de 0.051 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón. Sin embargo, con ambos precursores se obtuvo el mismo porcentaje de remoción de este parámetro, con 97.58 %. En la evaluación del fósforo total, el carbón de la cáscara de maracuyá (T2) resultó más eficiente frente al carbón de endocarpio de durazno (T10) en la adsorción y remoción de fósforo total, con $q_c = 1.370$ mg P. g⁻¹ carbón y 81.45 % frente a $q_c = 0.544$ mg P. g⁻¹ carbón y 64.66 %. Se concluye que el carbón obtenido de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno podrían

servir como una alternativa para el tratamiento de los purines en la remoción de nitratos y fósforo total.

Palabras claves: Purines, cáscara de maracuyá, endocarpio de durazno, carbón activado, remoción de nitratos y fósforo total.

ABSTRACT

Slurries are organic waste from livestock farms, which due to their high nutrient content, their treatment and final disposal considering the environmental, social and economic criteria are a real challenge. On the other hand, agroindustrial residues such as peach endocarp and passion fruit peel are generated continuously; however, there have been no valuation and / or reuse alternatives in line with the growth of this sector. In that sense, the main objective of this research was to evaluate the efficiency of activated carbon obtained from the passion fruit peel and the peach endocarp in the removal of nitrates and total phosphorus from the slurry of an cattle farm establishment located in the district of Végueta, province of Huaura, Lima region. To obtain activated carbon, the precursors were washed with 0.2 M sodium hydroxide (NaOH), dried and crushed to obtain particles of 0.2 to 0.5 mm; the carbonization of the passion fruit peel was at 400 °C and the peach endocarp at 600 °C for one hour. The activation of both precursors was with 85 % phosphoric acid (H₃PO₄) by a contact time of 24 hours, then the precursors were treated with deionized water until reaching a final pH of 5.0. The design of the present investigation was a factorial design with three factors without replication, as follows 2 x 4 x 2; where factor 2 represents the filtration time (10 and 15 minutes after the output of the filter flow), factor 4 to the activator-precursor ratios (0.0, 0.2, 0.6 and 1.0) and 2 to the precursor type (shell and endocarp).

The results showed that for 250 g of passion fruit shell activated carbon, three treatments (T2, T6 and T8) had the highest nitrate adsorption capacity: q_c of 0.102 mg NO₃⁻ g⁻¹ carbon; while for 500 g of peach endocarp activated carbon, the treatment (T10) with the highest nitrate adsorption capacity showed a q_c of 0.051 mg NO₃⁻ g⁻¹ carbon. However, with both precursors the same percentage of removal of this parameter was obtained, with 97.58 %. In the evaluation of the total phosphorus, the passion fruit peel carbon (T2) was more efficient against the peach endocarp carbon (T10) in the adsorption and removal of total phosphorus, with $q_c = 1.370$ mg P. g⁻¹ carbon and 81.45 % versus $q_c = 0.544$ mg P. g⁻¹ carbon and 64.66 %. It is concluded that the carbon obtained from the passion fruit shell and the peach endocarp could be used as an alternative for the treatment of cattle slurry in the removal of nitrates and total phosphorus.

Keywords: Slurries, passion fruit peel, peach endocarp, activated carbon, nitrate removal and total phosphorus.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico ha conllevado al crecimiento del sector ganadero con modelos de explotación intensivos; el cual hoy en día es uno de los principales responsables de los graves problemas medioambientales por la elevada producción de residuos como los purines que generan emisiones de gases del efecto invernadero (Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009; Ruiz, Molinés, Mateo, Fonts y Gea, 2017). La disposición final de los purines sin un previo tratamiento o adecuación genera una serie de problemas ambientales y sociales, tales como: (a) la eutrofización en ecosistemas acuáticos por el exceso de nitratos y fósforo, (b) contaminación con patógenos, (c) malos olores que originan un importante rechazo social y (d) la proliferación de insectos (Varnero, Muñoz y Zúñiga, 2009; Ruiz *et al.*, 2017). En este contexto, Végueta es uno de los 12 distritos de la provincia de Huaura-Lima y es considerado como uno de los más importantes productores de leche de la provincia (Alvarado, 2015; Tafur y Altamirano, 2016).

Por otro lado, las industrias de fabricación de bebidas saborizadas y las agroexportadoras, al igual que el sector ganadero, han crecido en los últimos años; conllevando la generación de residuos sólidos en cantidades importantes, como es el caso de la cáscara de maracuyá y el endocarpio del durazno, que ameritan formular proyectos para su reaprovechamiento. Estos residuos, al igual que los purines, ocasionan una serie de consecuencias ambientales, sociales y económicas, sobre todo en temporadas de alta producción; ya que se generan malos olores debido a su descomposición, proliferación de moscas, incremento de gastos logísticos para su disposición inmediata, entre otros (Escobedo, 2013). La cáscara de maracuyá, en el distrito de Végueta, es utilizada de manera directa en procesos de compostaje; sin embargo, este conlleva mayor tiempo de tratamiento, el cual hace que el sector de reaprovechamiento no responda a la dinámica de crecimiento de las industrias. Mientras que el endocarpio de durazno no es viable como materia prima en los procesos de compostaje, por su alto contenido de material lignificado; por ende, este es enterrado en terrenos agrícolas, dificultando el uso del suelo al modificar las propiedades físicas como la porosidad, densidad, velocidad de infiltración del agua, entre otros.

El recurso hídrico que consume la población vequetana, en su mayoría, provienen de las aguas subterráneas (agua de pozo y galerías filtrantes), con una desinfección simple mediante procesos de cloración. Esta condición refleja que no solo existe un problema de abastecimiento del recurso hídrico para el consumo humano, sino también la calidad de la misma. Una de las causas que influye en la calidad del agua subterránea es la aplicación directa del purín en los cultivos y el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados en el sector agrícola; ya que pueden contaminar estas aguas mediante procesos de infiltración y percolación, generando impactos significativos en la salud pública (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2006, citado por Pinos *et al.*, 2012, p. 359; Serrano, 2001; Merino y Berano, 2006; Varnero *et al.*, 2009),

El carbón activado, es una alternativa de bajo costo económico en la remoción de compuestos ionizados de cualquier medio líquido; por tanto, los usos de este han sido ampliamente investigados en proyectos de mejora en el abastecimiento y tratamiento de aguas, con resultados eficientes (Bastidas, Buelvas, Márquez y Rodríguez, 2010; Báez, 2015; Arana, 2016; Bañón, 2017). En ese sentido, en la presente investigación se plantea el uso de carbón activado obtenido de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno (como una alternativa para su reaprovechamiento) en la remoción de nitratos y fósforo total de los purines de ganado vacuno (en condiciones reales); contribuyendo de esta manera solucionar los problemas ambientales emergentes del distrito de Végueta.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar la eficiencia del carbón activado de cáscara de maracuyá y endocarpio de durazno en la remoción de nitratos y fósforo total del purín de un establo de ganado vacuno en el distrito de Végueta-Huaura.

Objetivos Específicos

- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del purín.
- Evaluar la eficiencia del carbón activado de la cáscara de maracuyá en la remoción de nitratos del purín de ganado vacuno en flujo dinámico.
- Evaluar la eficiencia del carbón activado del endocarpio de durazno en la remoción de nitratos del purín de ganado vacuno en flujo dinámico.
- Evaluar la eficiencia del carbón activado de la cáscara de maracuyá en la remoción de fósforo total del purín de ganado vacuno en flujo dinámico.
- Evaluar la eficiencia del carbón activado del endocarpio de durazno en la remoción de fósforo total del purín de ganado vacuno en flujo dinámico.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Campos *et al.* (2018) evaluaron la viabilidad de la cáscara de maracuyá como material adsorbente en la eliminación de metales pesados (plomo (Pb), cromo (Cr) y cobre (Cu)). Para ello, lavaron la cáscara con agua destilada, la cortaron en trozos de 1 cm² y la secaron a 60 °C en un horno de aire forzado durante 48 horas; luego, procedieron con su molienda hasta obtener partículas $\leq 250 \mu\text{m}$. Por otro lado, prepararon un litro de iones metálicos de Pb, Cr y Cu en cuatro concentraciones diferentes (5, 10, 20 y 50 mg.L⁻¹), donde añadieron 10 gramos de la cáscara molida a cada solución. Estas muestras fueron agitadas a 250 rpm durante 90 minutos; de las cuales extrajeron alícuotas a los 5, 15, 30, 45, 60 y 90 minutos, para determinar las concentraciones finales de los metales mediante el método espectrofotométrico de absorción atómica a 120 °C. Los resultados mostraron que la cáscara de maracuyá presentó mejor porcentaje de remoción en 90 minutos de contacto, en todos los tratamientos, distribuida de la siguiente manera: 96 % para el Pb, en una solución de 10 mg.L⁻¹; 93 % para el Cr, en una solución de 5 mg.L⁻¹; y 82 % para el Cu, en una solución de 20 mg.L⁻¹. Concluyendo que la cáscara de maracuyá, con un tratamiento mínimo, puede usarse como material adsorbente en el tratamiento de aguas contaminadas con este tipo de metales pesados.

Isla (2018) evaluó la influencia de la dosis y agitación del carbón activado de *Prunus persica* (L.) Batsch. incrustado con fierro (III), en la remoción de fosfatos de soluciones acuosas. El agente activante fue el ácido fosfórico (H₃PO₄) al 60 %. El estudio tuvo 27 tratamientos; en donde evaluó tres dosis de carbón activado: 2, 4 y 6 g.L⁻¹, tres velocidades de agitación: 100, 150 y 200 rpm y tres temperaturas de carbonización: 300, 500 y 700 °C, con el propósito de determinar la temperatura óptima de carbonización y de la capacidad de adsorción. Las concentraciones finales de los fosfatos fueron determinadas

mediante el método de espectrofotometría. Los resultados mostraron que el carbón activado obtenido a 700 °C fue el que presentó mayor porcentaje de adsorción de azul de metileno a 660 nm, con 91.82 %. Asimismo, este carbón (preparado a 700 °C) en la dosis de 6 g.L⁻¹ a 200 rpm de velocidad de agitación resultó el más eficiente en la remoción de fosfatos, con 93.03 %; seguido por la dosis de 6 g.L⁻¹ a 100 y 150 rpm de velocidad de agitación con 90.53 % y 92.77 %, respectivamente. Concluyendo que, a mayor velocidad de agitación, mayor es el porcentaje de remoción; sin embargo, la dosis de carbón no tuvo influencia significativa en los tratamientos.

Satayeva *et al.* (2018) evaluaron la eficiencia del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz en la remoción de nitratos (NO₃⁻) en soluciones acuosas. Para ello, la cascarilla fue recolectada de la aldea de Bakanas, distrito de Balkhash de la región de Almaty en Rusia; el cual fue activado con Carbonato de Potasio (K₂CO₃). Por otro lado, prepararon soluciones de nitratos en dos concentraciones (5 y 15 mg NO₃⁻.L⁻¹) a partir de una solución madre de nitrato de sodio (NaNO₃). Las pruebas de adsorción fueron llevadas a cabo de la siguiente manera: añadieron 0.05 g de carbón activado en 50 ml de solución de nitratos a una velocidad de agitación de 5 a 15 rpm, luego, estas fueron agitadas a 100 rpm durante 24 horas. Las concentraciones finales de nitratos de las muestras agitadas, previa filtración con filtros de jeringa de celulosa regenerada (0.20 µm), fueron determinadas mediante el método de cromatografía iónica a una temperatura de 25 ± 0.5 °C. Los resultados mostraron que el rendimiento de carbonización de la cascarilla fue 31.7 %, a una temperatura de pirólisis de 475 °C. Asimismo, la capacidad de adsorción máxima de nitratos resultó 2.20 ± 0.032 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado en 5 mg.L⁻¹ de concentración inicial; mientras que en 15 mg.L⁻¹ fue de 8.11 ± 0.031 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado. Concluyendo que el carbón activado preparado de la cascarilla podría servir como una alternativa eficiente en la remoción de iones nitrato.

Mazarji, Aminzadeh, Baghdadi y Bhatnagar (2017) estudiaron la eliminación de nitratos de soluciones acuosas utilizando el carbón activado granular modificado. Para ello, emplearon carbón activado comercial (Kimia Carbon Co, Arak-Irán), el cual es producido a partir de la cáscara de coco y activado a vapor. El carbón fue modificado con Bromuro de cetil trimetil amonio (C₁₃H₄₂NBr) en un litro de solución a un pH de 7. Los autores realizaron

múltiples pruebas para determinar el efecto de las siguientes variables: dosis del adsorbente, tiempo de contacto y pH de la solución. Asimismo, las concentraciones finales de los nitratos, luego de la filtración de las soluciones en láminas de filtro de 0.45 μm , fueron determinadas mediante espectrofotómetro UV-visible a una longitud de onda de 500 nm, utilizando el método de reducción de Cadmio a una temperatura de 25 °C. Los resultados mostraron que el carbón comercial sin modificación tuvo una eficiencia de 8 % en la remoción de nitratos; mientras que el carbón modificado con $\text{C}_{13}\text{H}_{42}\text{NBr}$ presentó 80 % de eficiencia en prueba realizada a partir de 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de nitrato de concentración inicial, a una temperatura de 25 °C y en una dosis del adsorbente de 0.20 $\text{g}\cdot 50^{-1}\cdot\text{ml}^{-1}$. Concluyendo que el proceso de modificación del carbón con $\text{C}_{13}\text{H}_{42}\text{NBr}$ tuvo influencia significativa en la remoción de este parámetro.

Calixtro (2016) estudió la obtención del carbón activado a partir del endocarpio del durazno. Para ello, utilizó el ácido fosfórico (H_3PO_4) como agente activante, en una relación de 0.28 gramos del precursor (carbón de endocarpio de durazno) por cada gramo del activante y estableció 550 °C para el proceso de carbonización del endocarpio. Los resultados de la caracterización de la composición química del precursor mostraron que tenía 2.88 % de volatilidad, 2.88 % de cenizas y 93.39 % de carbón fijo. Asimismo, el rendimiento de carbonización promedio, luego de la activación con el H_3PO_4 , fue 51 %. Por otro lado, el porcentaje de remoción del carbón activado promedio, determinado con prueba de adsorción del azul de metileno, fue 84 %. Concluyendo que las características del precursor y la eficiencia de remoción le confieren la viabilidad para los usos en procesos de descontaminación de cuerpos de agua.

Larrea (2015) estudió la eficiencia de un filtro de zeolita en la potabilización del agua de pozo destinado para el consumo en La Palestina, El Oro, Ecuador. Para ello, diseñó un filtro de 32 cm de diámetro y 40 cm de altura que contenía una capa de grava (2.5 cm de espesor) para el soporte, una capa de zeolita (10 cm de espesor) y una de arena fina (5 cm de espesor). Asimismo, analizó los siguientes parámetros del agua de pozo: fósforo de fosfatos, nitritos, magnesio, sulfatos, dureza, nitratos, calcio, pH, cloruros, sólidos suspendidos totales, color y coliformes fecales. Los resultados del análisis de las características fisicoquímicas del agua depurada por el filtro mostraron que la eficiencia de

remoción fue de la siguiente manera: 90.86 % para fósforo de fosfatos, 86.36 % para nitritos, 77.87 % para magnesio, 39.44 % para sulfatos, 32.14 % para dureza y 19.23 % para nitratos, 7.67 % para calcio, 2.86 % para el pH, 1.64 % para cloruros, 5.94 % para sólidos, 20.83 % para el color y 0 % para coliformes. Concluyendo que el filtro disminuye considerablemente los parámetros fisicoquímicos del agua en procesos de potabilización; sin embargo, es necesaria una desinfección simple con cloro en la eliminación de los coliformes.

Pabón, Arismendi, Peña y Ruidiaz (2014) estudiaron la obtención y caracterización del carbón activado de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.). Para ello, las cáscaras de maracuyá fueron secadas a 105 °C durante 24 horas, seguidamente carbonizadas a 400 °C por 30 minutos y activadas con ácido fosfórico (H₃PO₄) al 37 % en una relación activante-precursor de 1:5 a una temperatura de 110 °C. Los resultados mostraron que el rendimiento de carbonización resultó 19.14 %; asimismo, el carbón obtenido tuvo 68.44 % de carbón fijo, 12.81 % de humedad y 7.24 % de cenizas. Por otro lado, determinaron la capacidad de adsorción en base al índice de yodo y al índice de azul de metileno, obteniendo el número de yodo de 518.69, que clasifica al carbón como microporoso; mientras que el índice de azul de metileno logró una adsorción de 12 ml, clasificando en material mesoporoso. Concluyendo que la cáscara de maracuyá podría servir como una alternativa de obtención de carbón activado. Asimismo, el agente activante genera una porosidad heterogénea en el carbón, el cual permite la adsorción de moléculas de diferentes tamaños; sin embargo, el pH final del carbón activado fue muy bajo (3.06) debido al uso del ácido fosfórico como agente activante.

Huan, Chung y Nieva (2014) estudiaron la cáscara de pomelo (*Citrus maxima* (Burm.) Merr.), cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) como materiales de adsorción en la eliminación de metales pesados (cobre (Cu), cadmio (Cd), níquel (Ni) y plomo (Pb)) en una columna de lecho fijo. Para ello, emplearon una columna de 1 cm de diámetro y 10 cm de largo; en el cual, los biosorbentes ocuparon una altura de 3 cm. Las variables que estudiaron fueron el pH de la solución (4, 5 y 6) y la velocidad del flujo o caudal de alimentación (2.0, 3.0 y 4.0 ml.min⁻¹) a una temperatura constante de 25 °C. Los materiales de adsorción, obtenidos del mercado local

de Taiwán, fueron lavados con agua destilada y secados al aire libre hasta alcanzar una humedad en equilibrio. Luego, estos fueron colocados en vasos precipitados y en baño de agua a 50 °C por 48 horas; seguidamente, fueron secados en un horno a 50 °C por 24 horas. La eliminación de aceites y grasas de los adsorbentes fue realizada mediante el extractor *Soxhlet*, con la finalidad de mejorar la eficiencia de adsorción; donde los disolventes de extracción fueron los siguientes: n-hexano y etanol para la cáscara de pomelo, en una relación 1:1 –v/v; el cloroformo y el metanol para el bagazo de caña, en una relación 1:1 –v/v; y para la cáscara de maracuyá no se utilizó ningún disolvente. Las soluciones de metales pesados fueron preparadas (a una concentración constante de 300 mg.L⁻¹) a partir de soluciones madre de 1 000 mg.L⁻¹. La capacidad de adsorción (q₀) fue medida en mg de los metales por g del adsorbato (precursores); para ello, cada tipo de solución fue filtrada en la columna, de manera independiente, cuya concentración residual fue determinada en un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados mostraron que la cáscara de pomelo fue la más eficiente (Pb, q₀ = 173; Cd, q₀ = 144; Cu, q₀ = 98.1; y Ni, q₀ = 70.2) en un caudal de 2 ml.min⁻¹, seguido por la cáscara de maracuyá (Pb, q₀ = 63, en un caudal de 3 ml.min⁻¹; Cd, q₀ = 55.8, en un caudal de 2 ml.min⁻¹; Cu, q₀ = 36.3, en un caudal de 2 ml.min⁻¹; y Ni, q₀ = 29.7, en un caudal de 2 ml.min⁻¹) y el bagazo de caña (Pb, q₀ = 31.8; Cd, q₀ = 26.8; Cu, q₀ = 22.2; y Ni, q₀ = 12.1) en un caudal de 2 ml.min⁻¹. Asimismo, los precursores tuvieron mismo orden de eficiencia en función al pH; donde a pH 6 presentaron mayor adsorción frente a los pH 5 y 4. Concluyendo que las cáscaras de pomelo y de maracuyá pueden ser utilizadas como biosorbentes para la eliminación de estos metales.

Bino y Chalil (2014) estudiaron la efectividad de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) en la eliminación de colorantes catiónicos peligrosos como el verde de malaquita, el cristal violeta y el colorante aniónico amarillo eosina. Para ello, establecieron las siguientes variables: tiempo de contacto (10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos), dosis del adsorbente (50, 100, 200, 300, 400 y 500 mg) y la concentración inicial de los colorantes (50, 100, 200, 300, 400 y 500 mg.L⁻¹). Para la adecuación de las cáscaras de maracuyá, estas fueron lavadas, secadas al aire, molidas y tamizadas hasta obtener un tamaño de partículas entre 150 y 500 µm; luego estas partículas fueron secadas en un horno. Los resultados mostraron que la eosina presentó mayor porcentaje de remoción, con 94 %; seguido por verde de malaquita, con 75 %; y cristal violeta, con 70 % en 60 minutos de contacto, en 500 mg de

dosis del adsorbente y en 500 mg.L^{-1} de concentración inicial del colorante. Entre las conclusiones, los autores destacaron la efectividad de la cáscara de maracuyá como un adsorbente de bajo costo económico.

Aragón, Ramírez, Coronel, Constantino y Vázquez (2013) determinaron la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido de la cáscara de coco de contaminantes de efluentes acuícolas. Para ello, construyeron un contactor de lecho fijo de 360 m^3 de volumen total, en donde el carbón activado ocupó 346.4 m^3 ; el caudal de alimentación con el efluente acuícola fue de 5.55 ml.min^{-1} , el cual significó 62.4 minutos de tiempo de residencia. En las muestras de agua del efluente analizaron los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), UV_{254} , nitrógeno total (NTK), nitrógeno amoniacal ($\text{N} - \text{NH}_4^+$), fósforo total y coliformes totales. Los resultados mostraron que las eficiencias de remoción, en cuatro días de análisis, fueron de la siguiente manera: DQO, 59 %; UV_{254} , 61 %; NTK, 26 %; N-NH_4^+ , 63.4 %; fósforo total, 62.6 %; y coliformes totales, 79 %. Concluyendo que esta técnica, de lecho fijo, permite la reducción de concentraciones de cargas de nutrientes; aunque sería más eficiente el tratamiento del efluente con la incorporación de un tratamiento biológico.

1.2. BASES TEÓRICAS ESPECIALIZADAS

1.2.1. Descripción del carbón activado

El carbón activado es una estructura porosa producido a partir de materiales ricos en carbono, mediante diversas formas de activación química o física; que acogen en sus paredes internas, con alta especificidad de adsorción, agentes moleculares contenidos en fluidos que rodean las partículas (Moreno, Navarrete, Giraldo y García, 2007; Navarro, Vargas y Aguayo, 2009; Bahri, 2013). Por tanto, según Gómez, Klose, Rincón y Wiest (2004) estos son productos carbonosos con buena porosidad y elevada área superficial para la adsorción de diferentes moléculas en fluidos. En ese sentido, los usos del carbón han sido ampliamente investigados con interés para la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el abastecimiento y tratamiento de aguas, con resultados eficientes (Bastidas *et al.*, 2010; Báez, 2015; Arana, 2016; Bañón, 2017).

El proceso de obtención del carbón puede ser realizado, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. En condiciones aeróbicas, el oxígeno (O₂) actúa sobre los componentes de los precursores; en diversas investigaciones, este proceso es llamado combustión (Gonzales y Teruya, 2004); mientras que en condiciones anaeróbicas, se impide el ingreso del aire. De estas, es recomendable el proceso de fabricación en condiciones anaeróbicas; dado que se obtiene mayor porcentaje de rendimiento de carbonización por la baja susceptibilidad del precursor de convertirse en cenizas.

Estructura física

Los carbones activados poseen estructuras micro cristalinas, parecidas a la configuración del grafito (Acevedo, 2014). Asimismo, estos se diferencian por la estructura interna (distinción de poros y superficie específica) y granulometría (Barreto, 2013). De acuerdo al tamaño del radio del poro, se pueden distinguir tres tipos: macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm) (Paredes, 2011). La Tabla 1 muestra los tipos de poros según el tamaño del diámetro.

Tabla 1

Tipos de poros del carbón activado según el tamaño del diámetro

Tipos de poros	Diámetro (nm)	Descripción
Microporos:	≤ 2.00	Se llenan a presiones relativas bajas como consecuencia del solapamiento del potencial de adsorción de las paredes opuestas de los poros.
- Ultramicroporos.	≤ 0.70	
- Supermicroporos	0.70 – 2.00	
Mesoporos	2.00 - 50.00	En ellos se produce la condensación capilar del adsorbato formando un menisco, responsable de la aparición de ciclos de histéresis en las isothermas de adsorción del adsorbato.
Macroporos	>50.00	Para llenarlos se requieren presiones relativas cercanas a la saturación.

Fuente: Weber, Morris y Proc, 1962, citado por Acevedo, 2014, p. 5.

Composición química

La composición química del carbón activado es variable; dado que depende de múltiples factores, tales como: tipo de materia prima, método de obtención, entre otros. De manera aproximada, este contiene un 75 a 80 % de carbono, 5 a 10 % de cenizas, 6 % de oxígeno y 0.5 % de hidrógeno (Hidalgo y Rivera, 2017); todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido actúa como precursor (Talledo, 2013; Agudelo, 2017).

Tipos de carbón activado

En función a la granulometría del carbón se pueden distinguir tres tipos: en polvo, granular y peletizado (Figura 1).

a. Polvo

Las principales características de los carbones en polvo son: elevada área superficial, estructuras bien distribuidas con predominancia de macroporos, el tamaño de las partículas son inferiores a 0.18 mm hasta un 90 % del total (Lazo, 2015; Vásquez, 2018). Este tipo de carbón es utilizado en procesos de refinado del azúcar, tratamiento de gastritis, eliminación de jabones y/o peróxidos, entre otros (Gonzales y Teruya, 2004).

b. Granular

El carbón activado granular, aparte de tener una elevada área superficial y presentar partículas comprendidas entre 1 mm y 5 mm, posee una alta capacidad de adsorción en sistemas de tratamiento de aguas residuales en los procesos terciarios; dado que estos eliminan la materia orgánica de los fluidos de manera efectiva (Niño y Ortiz, 2008; Ures, Jácome y Suarez, 2014).

c. Peletizado

Estos carbones tienen formas cilíndricas con diámetros idénticos, pero con longitudes variables (0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 y 4.0 mm) (Vásquez, 2018). Este tipo de carbón activado,

afirma Vásquez, se llena o emplea en absorbedores o unidades de filtración para la purificación de aire o gas.

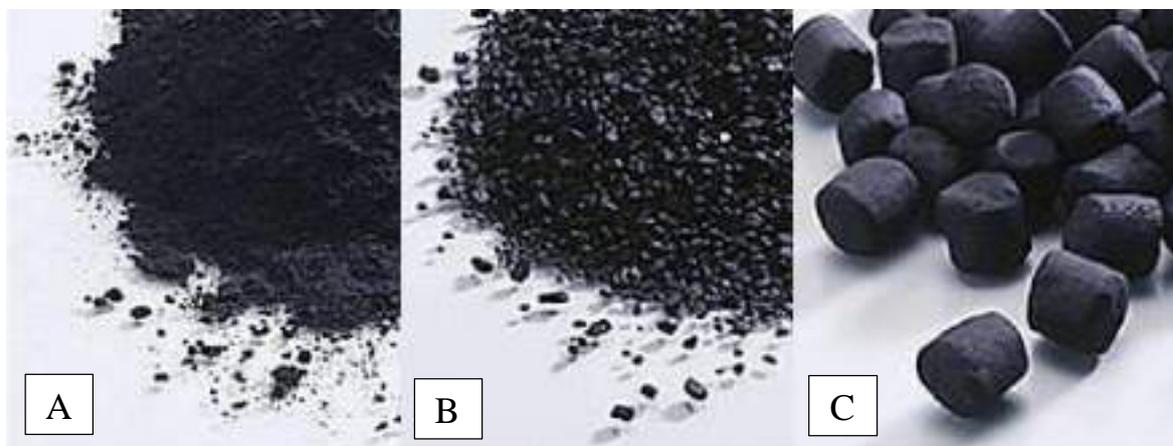


Figura 1. Tipos de carbón activado. A. Carbón en polvo. B. Carbón granular. C. Carbón peletizado. *Fuente:* Calgon-Mitsubishi, 2004, citado por Gonzales y Teruya, 2004, p. 27.

1.2.2. Métodos de activación del carbón

Activación física

Es un proceso donde el material es sometido a una temperatura que varía entre 700 y 900 °C, generalmente más elevada que la alcanzada en la fase de carbonización, la cual se lleva a cabo en una temperatura máxima entre 500 y 600 °C (Gonzales y Teruya, 2004). Este método consiste en la reacción del agente activante (el aire, vapor de agua y CO₂) con el carbono del material que está siendo activado, formándose poros como resultado de la gasificación del material carbonizado (Aguirre, 2017). Asimismo, los precursores sometidos a elevadas temperaturas eliminan los materiales no carbonosos (hidrógeno y oxígeno, principalmente) y reorganizan sus estructuras en formas parecidas a cristalitas grafiticas o microcristalinas (Universidad de Sevilla, 2016). Las ventajas y desventajas, de este modo de obtención del carbón activado, se presentan en la Tabla 2.

El aire, como agente activante, es de bajo costo económico; sin embargo, produce una reacción exotérmica difícil de controlar (Gonzales y Teruya, 2004). El CO₂, un gas inerte, no causa reacciones exotérmicas; aunque la obtención de este gas es más costosa en comparación a la captación del aire. Mientras que el vapor de agua requiere una

temperatura promedio de 1 000 °C y la reacción es endotérmica: resulta fácil controlar el proceso (Gonzales y Teruya, 2004).

Tabla 2

Ventajas y desventajas de la activación física del carbón

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de operación de la planta.	Elevada temperatura de activación.
Impacto ambiental menor; dado que, en el proceso, no se utiliza un activante químico.	Elevado costo energético. Elevado costo en capital de trabajo.

Fuente: Gonzales y Teruya, 2004.

Activación química

La activación química suele aplicarse a materiales orgánicos que están constituidos por moléculas de celulosas (Bravo y Garzón, 2017). Este proceso involucra el mezclado de la materia prima original con el agente activante (deshidratante), formando una pasta que luego es secada y carbonizada en un horno, a una temperatura que varía entre 400 y 600 °C, ocurriendo una deshidratación que rompen las uniones que ligan entre sí a las cadenas de celulosa con el resultado final de la creación de una estructura porosa y una ampliación del área superficial (Grosso, 1997, citado por Manrique, 2013, p. 28). Asimismo, esta reacción permite eliminar la mayor cantidad de materiales volátiles que han quedado atrapados en las superficies internas del carbón (Grisales y Rojas, 2016). Los agentes activantes más utilizados son: Cloruro de zinc ($ZnCl_2$), ácido fosfórico (H_3PO_4) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) (Soto, 2007). La Tabla 3 muestra las ventajas y desventajas de este tipo de activación.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la activación química del carbón

Ventajas	Desventajas
La temperatura de activación, por lo general, es menor a 700 °C.	Mayor costo de operación durante la activación.
Gran parte del agente activante se puede recuperar. Bajo costo energético.	Los agentes activantes pueden ser contaminantes o corrosivos.

Fuente: Gonzales y Teruya, 2004.

1.2.3. Usos de carbón activado

El carbón activado tiene múltiples usos en diferentes áreas y/o sectores económicos. Por ejemplo, en sector de saneamiento se usa en el tratamiento de aguas residuales; en medicina, en la remoción de ciertos microorganismos patógenos; en la industria alimentaria, como mejorador de aroma; entre otros (García y Machado, 2011; Gonzales y Teruya, 2004). En la Tabla 4 se muestra algunos de los usos de este material.

Tabla 4

Usos del carbón activado por áreas específicas

Área específica	Usos
	Procesos de separación de iones de soluciones.
Tratamiento de agua: residual y potable	Procesos de suavización o ablandamiento de agua. Procesos de eliminación de cloro y desinfección. Proceso de desmineralización.
En la medicina	Remoción de algunas bacterias tóxicas para la salud humana. Tratamiento de gastritis y enteritis. Tratamiento de casos de envenenamientos provocados por alimentos, alcaloides, metales, fósforo, fenol, entre otros.
En la industria de bebidas y alimentos	Proceso de eliminación de jabones y peróxidos. Proceso de purificador para la fabricación de vinos, cerveza, refrescos, etc. Proceso de remoción de colores y sabores en industrias azucareras.
Otros usos	Procesos de fabricación de filtros para cigarrillos (puede eliminar la nicotina). Procesos de fabricación de deodorizadores para refrigeradoras (remoción de olores provocados por procesos de descomposición). Procesos de adsorción de gases radiactivos (Yodo radiactivo, Kriptón y Xenón). Procesos de neutralización de herbicidas residuales en el suelo.

Fuente: García y Machado, 2011; Gonzales y Teruya, 2004.

1.2.4. Proceso de adsorción

La adsorción consiste en la transferencia de los iones y/o compuestos presentes en el adsorbato (pueden ser gases o líquidos) hacia la superficie interna de las estructuras adsorbentes donde quedan retenidos. La adsorción consta de tres etapas: difusión externa, difusión interna y la adsorción superficial (Paredes, 2011; Delgadillo, 2015). Paredes (2011, p. 11) explica las etapas de la siguiente manera:

Etapa 1. Difusión externa. El adsorbato se aproxima a la superficie externa del sólido, para lograrlo, debe vencer la resistencia de una fina capa acumulada alrededor del adsorbente (interface sólido-fluido).

Etapa 2. Difusión interna. Debido a que la superficie externa expuesta por las partículas tiende a ser menor al 1% del total, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido.

Etapa 3. La adsorción del adsorbato. En esta etapa, el adsorbato se adhiere a la superficie del adsorbente.

Factores influyentes en la adsorción

El proceso de adsorción es influenciado por una serie de factores fisicoquímicos, tales como: pH de la solución, temperatura del flujo, tamaño de las partículas, tiempo de contacto, entre otros (Kinoshita y Mihara, 2010; Casamayor, 2018).

a. Potencial de hidrógeno de la solución

El pH de la solución afecta al tipo de carga superficial de los adsorbentes, así como el grado de ionización y especiación de los diferentes contaminantes (Gallo, Rodríguez y Prieto, 2017). Asimismo, este factor influye en la interacción de los iones de la solución con los grupos funcionales del carbón (Rodríguez, Giraldo y Moreno, 2010).

Mazarji *et al.* (2017) determinó, por ejemplo, que la remoción de nitratos con carbón activado tratado con NaOH y Bromuro de Cetil Trimetil Amonio presenta una mayor eficiencia a pH 5 (Figura 2); dado que a medida que disminuye el pH del sistema, aumenta

el número de sitios cargados positivos en el carbón activado, permitiendo que los aniones de nitrato se adsorban en la superficie del carbón, debido a la atracción electrostática; mientras que a un valor de pH más alto, se genera una repulsión electrostática disminuyendo la adsorción de nitratos por el incremento de sitios con cargas negativas.

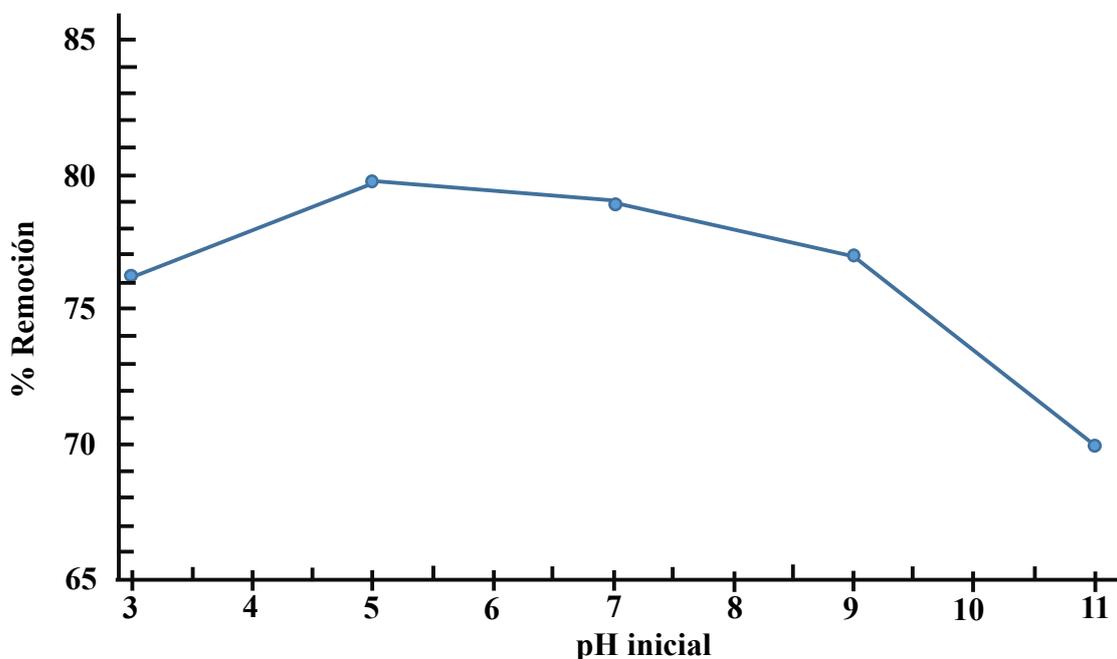


Figura 2. Efecto del pH inicial en la adsorción de nitratos con el carbón activado tratado con NaOH y Bromuro de Cetil Trimetil amonio ($C_i = 40 \text{ mg.L}^{-1}$, temperatura = $25 \text{ }^\circ\text{C}$, dosis del adsorbente = $0.2 \text{ g.50}^{-1}.\text{ml}^{-1}$, tiempo de contacto = 120 minutos). Fuente: Mazarji *et al.*, 2017.

b. Temperatura del flujo

La capacidad de adsorción del carbón activado disminuye a mayores temperaturas en fluidos no viscosos (Soto, 2007; Casamayor, 2018). Este comportamiento, según Navarro *et al.* (2009) se debe a la solubilidad de los iones contenidos en el flujo, dado que al ser sólidos disminuyen su solubilidad en función al incremento de la temperatura. La Figura 3 muestra, a manera de ejemplo, la influencia de la temperatura en la capacidad de adsorción del complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ con carbón activado obtenido con cáscara de coco en un $\text{pH} = 11$.

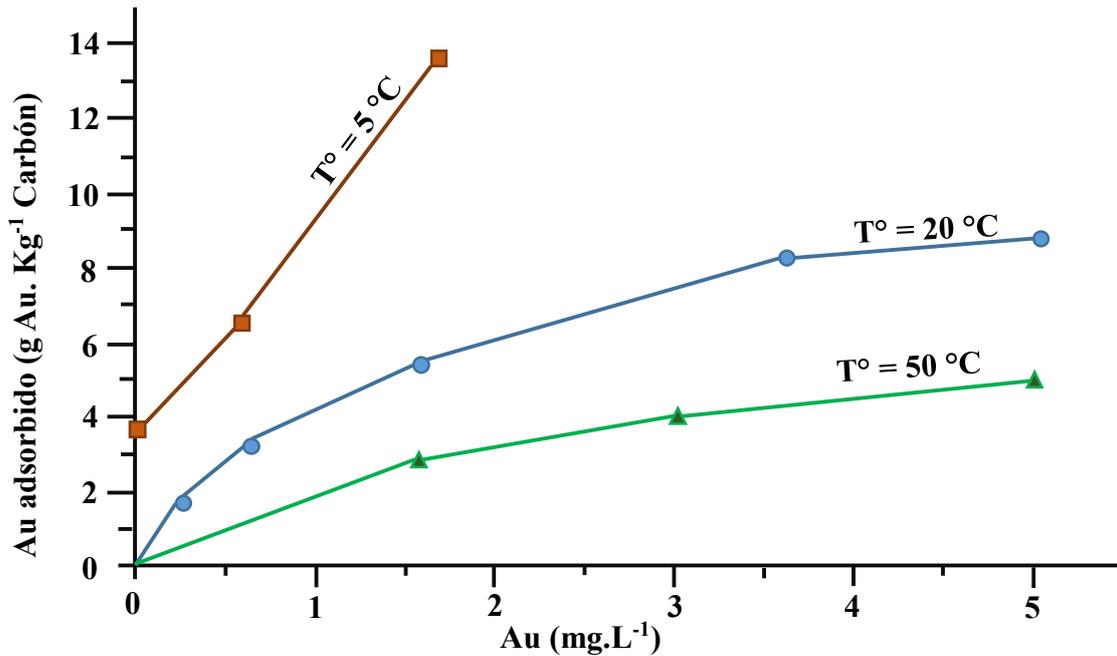


Figura 3. Influencia de la temperatura en la adsorción del complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ con carbón activado obtenido con cáscara de coco en un $\text{pH} = 11$. Fuente: Navarro *et al.*, 2009.

c. Tamaño de partícula

Los microporos permiten adsorber moléculas pequeñas; mientras que los macroporos, moléculas grandes (Universidad de Sevilla, 2016). Casamayor (2018) afirma que mientras mayor sea el diámetro de la partícula, menor es la eficiencia de adsorción. Por otro lado, la velocidad de adsorción está relacionado con el tamaño de la partícula del carbón; mientras menor el tamaño, la adsorción es más rápida (Ramírez, 2009).

d. Tiempo de contacto

En los tiempos iniciales de la filtración de soluciones con carbón activado, la capacidad de adsorción alcanza su máxima eficiencia; luego, va en disminución (Casamayor, 2018). Del mismo modo, Ponce (2005) refiere que el tiempo que dura el proceso de tratamiento/filtración también influye en la adsorción, por ende, en las concentraciones finales de la solución. En la Figura 4, se muestra una gráfica de la concentración de la solución a la salida en función al tiempo de operación/tratamiento obteniéndose una curva de filtración (representada por las líneas punteadas y continua) y se observa que las concentraciones finales son menores en los tiempos iniciales; sin embargo, estas van en incremento a medida que el tiempo de filtración es mayor. Cabe precisar que Ponce refiere

que los filtros tienen una vida útil definida (t_B); lo cual significa que si el límite de calidad aceptable (C_B) luego de este tiempo resulta menor a las concentraciones finales, el filtro debe ser restaurado. Dicho de otro modo, luego de adquirir la máxima capacidad de adsorción, se inicia el proceso de desorción del contaminante en el filtro.

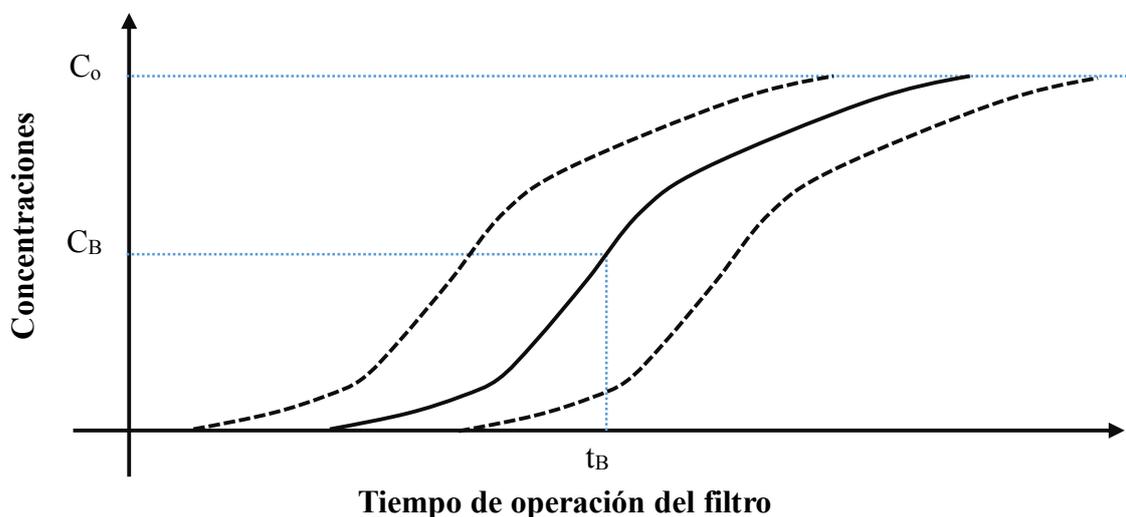


Figura 4. Influencia del tiempo en la adsorción en el filtro. Fuente: Ponce, 2005.

1.2.5. Endocarpio del durazno y cáscara de maracuyá como precursores

Los precursores del carbón activado son la materia prima para la obtención del carbón, que luego será activada mediante procesos físicos o químicos para mejorar la capacidad de adsorción. Los precursores pueden ser diversos, tales como: el endocarpio del durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.), la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.), cáscara de naranja, pajilla de arroz, cáscara de coco, entre otros.

Cáscara de maracuyá

El género *Passiflora* L. es conocida como frutas de la pasión; siendo *P. edulis* la más conocida, la cual consta de dos variedades (el maracuyá y la gulupa, esta última crece en elevaciones comprendidas entre 600 y 2000 m.s.n.m. ya que es más tolerante al frío que el primero) (Ángel, Nates, Ospina y Melo, 2011). El maracuyá (*P. edulis* Sims.), es una planta trepadora de tipo herbácea a semileñosa con fruto tipo baya de forma elipsoidal a ovoide (10 x 8 cm, aproximadamente) (Esquerre, Rojas, Llatas y Delgado, 2014). Esta especie es originaria del sur de Brasil, Paraguay y del norte de Argentina (Rendón,

Ocampo y Urrea, 2013); sin embargo, al ser una especie cultivada, esta se encuentra distribuida en casi todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo (Esquerre, Rojas, Llatas y Delgado, 2014).

La cáscara de *P. edulis* es un subproducto de la elaboración industrial de alimentos donde el pericarpio tiene como característica principal que es rico en fibras solubles e insolubles y en su contenido de pectina; son complejos polisacáridos que consisten en enlaces (1 - 4) de ácido galacturónico que es considerado como el componente principal (Carranza, 2015). Asimismo, las hojas, el tallo y el resto del fruto contienen altos porcentajes de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosas, rafinosa y estafiosa); por tanto, pueden ser utilizados en la alimentación de los animales (Chávez, 2018). La Tabla 5 muestra la clasificación taxonómica de *P. edulis*.

Tabla 5

Clasificación taxonómica de la Passiflora edulis

Categoría taxonómica	
Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malpighiales
Familia	Passifloraceae
Género	<i>Passiflora</i>
Especie	<i>Passiflora edulis</i> Sims

Fuente: Hassler, 2019.

Endocarpio del durazno

El durazno pertenece a la familia de las Rosáceas, al género *Prunus* y a la especie *P. persica* (Tabla 6); se trata de una especie frutal caducifolia de porte pequeño, con una altura comprendida entre 6 y 8 metros (Atoccsa, 2015). Se cultivó originalmente en China; sin embargo, actualmente es cultivado en las zonas templadas de todo el mundo, entre 30 y 40 ° de latitud norte y sur (Baíza, 2004; Hernando, Cruz y Fische, 2014); dado que no es muy resistente al frío extremo (Baíza, 2004). Por otro lado, la demanda en el consumo

humano ha ido de manera creciente por el alto valor vitamínico que posee este fruto (Aquino, 2009). Por lo tanto, a mayor producción de estos frutales, mayor generación de residuos (endocarpio de durazno) por las industrias sin una alternativa de reaprovechamiento.

El fruto del durazno está constituido por tres partes: exocarpio, mesocarpio y endocarpio. El exocarpio, es una piel delgada que está formada por la epidermis (productora de cutícula y tricomas) y varias capas de colénquima; mientras que el mesocarpio está formado por células parenquimatosas (Luna, 1997). El endocarpio, constituido por células esclereidas, cubre a los integumentos, endospermo, nucela y embrión (la semilla); las esclereidas tienen una pared secundaria lignificada la cual le confiere dureza al endocarpio (Nava, 2005).

Tabla 6

Clasificación taxonómica del Prunus persica

Categoría taxonómica	
Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Género	<i>Prunus</i>
Especie	<i>Prunus pérsica</i> (L.) Batsh

Fuente: Hassler, 2019.

1.2.6. El nitrato en el agua

El nitrógeno en los ecosistemas acuáticos puede clasificarse en dos grandes grupos: disueltos y no disueltos (Tercero, 2016). El nitrógeno disuelto, a su vez, puede ser inorgánico (nitrato, nitrito y amonio) y orgánico (aminoácidos y proteínas). De estos, los nitrógenos disueltos inorgánicos son considerados como los más contaminantes, porque son asimilados con mayor facilidad en procesos de productividad primaria (Roldán y Ramírez, 2008; Vega, 2017). La asimilación y la formación de estos van a depender del pH de la solución (Figura 5).

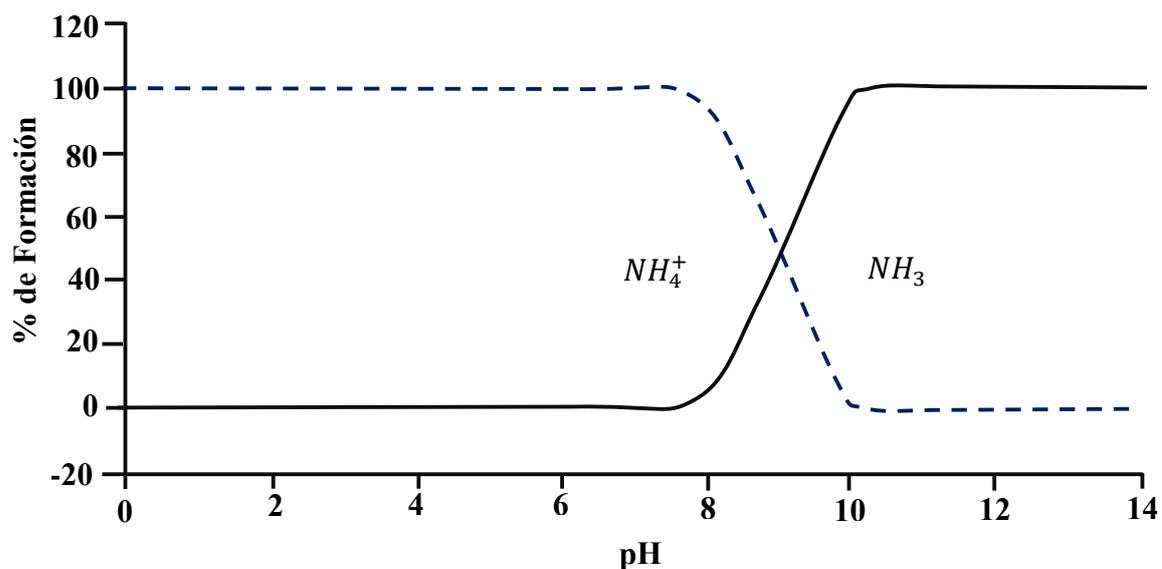


Figura 5. Influencia del pH en la formación de especies de NH_4^+ / NH_3 . Fuente: Beltrán, Guajardo, Barceló y López, 2017.

Las concentraciones de nitritos, en los ecosistemas acuáticos, dependen de muchos factores; entre ellos, la disponibilidad de oxígeno disuelto. El incremento del oxígeno significa la disminución de nitritos en el agua (Roldán y Ramírez, 2008); similar comportamiento presentan los iones amonio, es decir, que tienen bajas concentraciones en condiciones aeróbicas. Las concentraciones de los nitratos, en comparación con los nitritos, son más altas debido a que el nitrito es inestable (tiende a convertirse en nitratos) y menos soluble en agua (Pacheco y Cabrera, 2003); por tanto, todos los compuestos nitrogenados se convierten en nitratos en el tiempo porque es la forma más estable (Masters y Ela, 2008) (Figura 6).

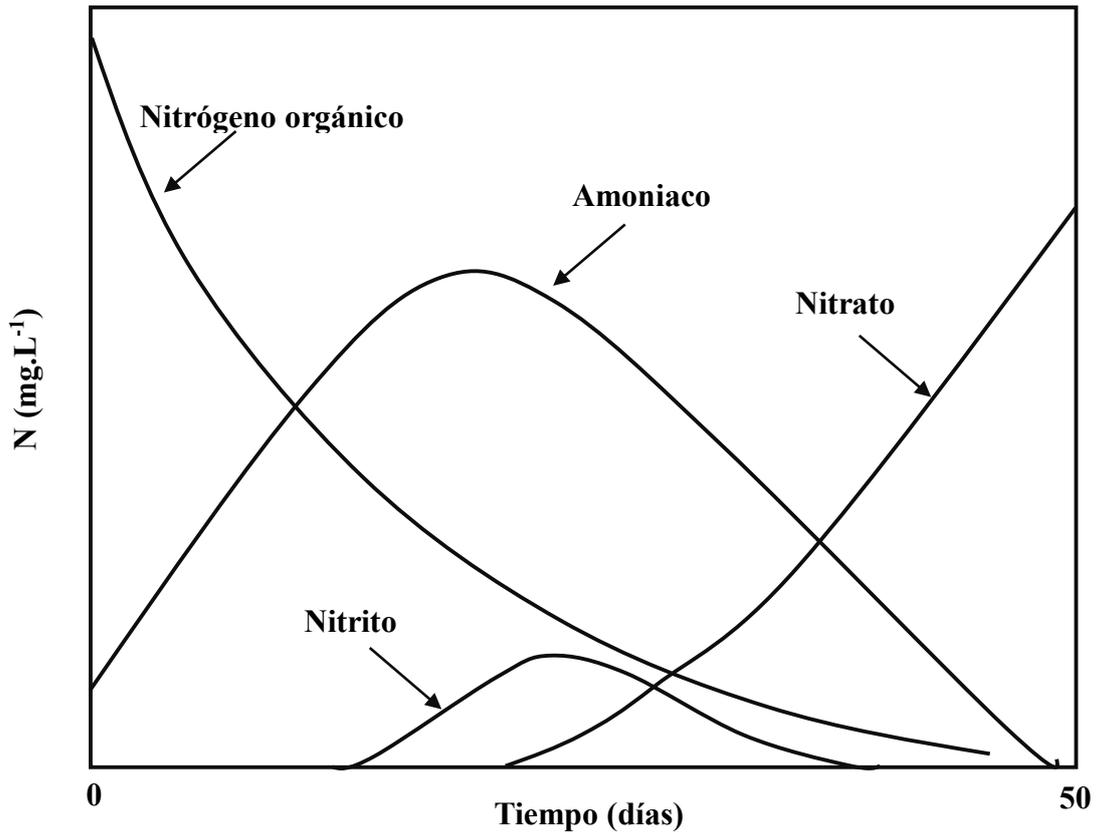
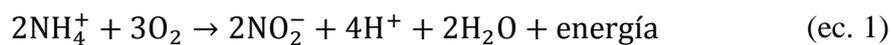


Figura 6. Dinámica de compuestos nitrogenados en el agua bajo condiciones aeróbicas. Fuente: Sawyer y McCarty, 1994, citado por Masters y Ela, 2008, p. 218.

Las fuentes de nitratos en los ecosistemas acuáticos pueden ser naturales (desprendimiento de nitratos de las rocas ígneas mediante procesos de meteorización, salitres, provenientes de la *nitrificación* y fijación física, química y biológica) y antropogénicas (agricultura intensiva, aguas residuales y excretas animales) (Larios, 2009; Gomis, Prat, Oliveras y Torrescasana, 2013). En este contexto, como fuente natural de nitratos, las ecuaciones 1 y 2 muestran el proceso de nitrificación; donde por cada mol de amonio convertido en nitrato se consume dos moles de oxígeno, es decir, este proceso conlleva el incremento de la demanda bioquímica del oxígeno (Roldán y Ramírez, 2008; Tercero, 2016). El proceso inverso de la nitrificación es la desnitrificación.

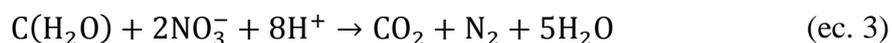


Nitrosomonas



Nitrobacter

La desnitrificación es un proceso de eliminación del nitrógeno hacia la atmósfera (ecuación 3); en esta participan microorganismos del género *Pseudomonas* y *Bacillus* (Tercero, 2016). Según Tercero, las condiciones más adecuadas para que inicie la desnitrificación son: una temperatura mayor o igual a 25 °C, pH entre 6 y 8, elevada saturación hídrica del suelo (condición anaeróbica) y existencia de compuestos orgánicos.



Por otro lado, la agricultura intensiva, como fuente antropogénica, es considerada y ampliamente documentada como una de las fuentes más importantes de nitratos. Sin embargo, la disponibilidad de nitratos y nitritos, a partir de fertilizantes nitrogenados, depende de las condiciones del pH. Por ejemplo, cuando la fertilización se realiza en suelos alcalinos (en pH comprendido entre 7 y 7.3), los fertilizantes pueden formar directamente nitritos (De Miguel y Vázquez, 2006). Del mismo modo, las aguas residuales y las excretas animales son aportantes de nitratos; dado que estos son ricos en materia orgánica y por procesos de mineralización se forma estos iones.

El movimiento o transporte de los nitratos desde el suelo hacia los acuíferos se debe principalmente a dos características intrínsecas de estos, la alta solubilidad del nitrato y las cargas negativas de los coloides del suelo (Martínez, Ojeda, Hernández, Martínez y Quezada, 2011). Asimismo, la cantidad de agua disponible para la infiltración y el contenido de humedad del suelo influyen en este proceso (Pacheco, Pat y Cabrera, 2002). De manera que el nitrógeno en exceso puede afectar la calidad de las aguas subterráneas tanto para el consumo humano, uso industrial, entre otros (Beltrán *et al.*, 2017), tal como se observa en la Figura 7.

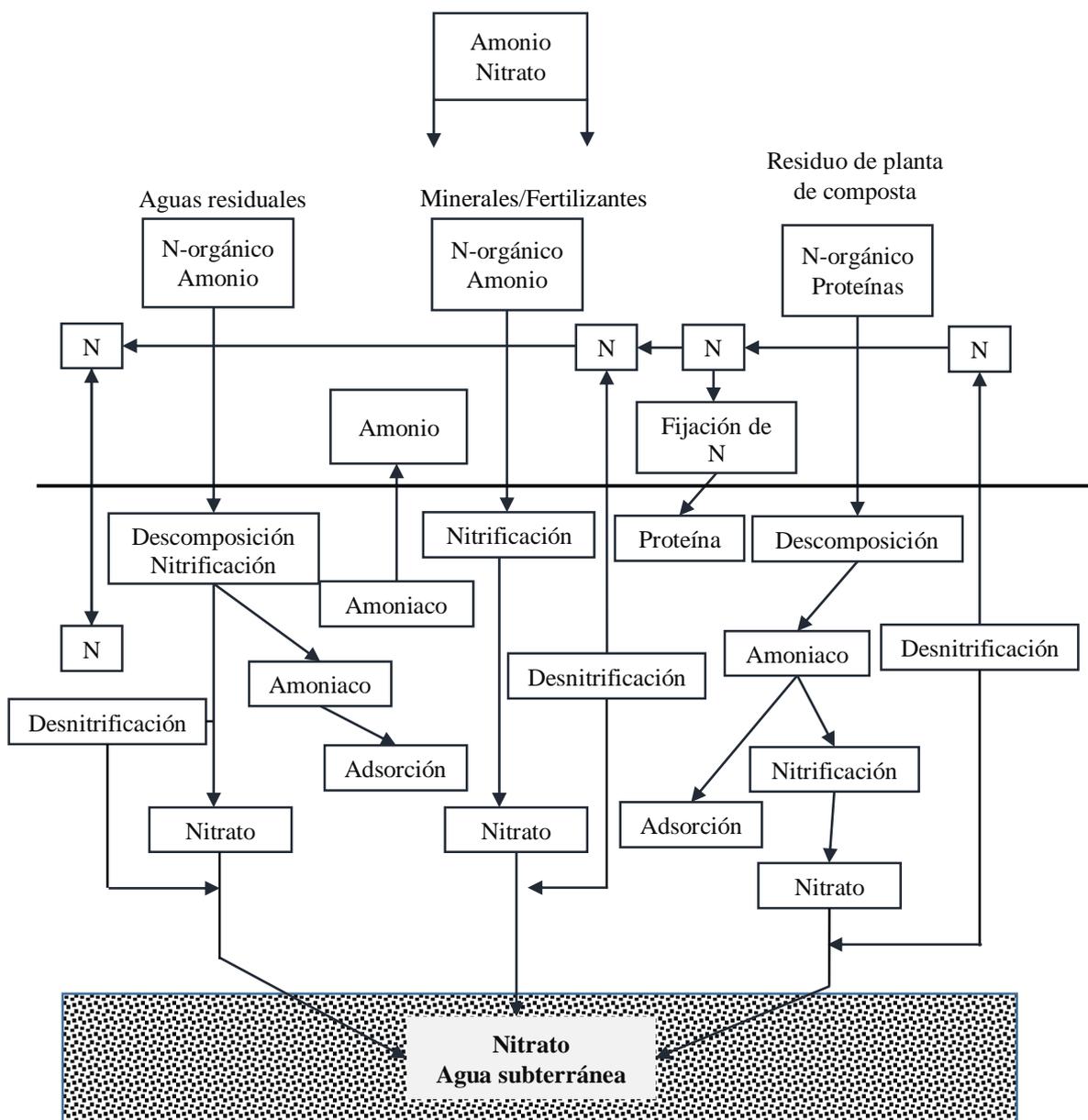


Figura 7. Fuentes y caminos del nitrógeno en el ambiente subterráneo. Fuente: Freeze y Cherry, 1979, citado por Pacheco *et al.*, 2002, p. 76.

Legislación ambiental para nitratos

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006) ha establecido una concentración de $50 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$, como límite de calidad aceptable en aguas de consumo humano. El mismo estándar ha sido establecido en el Perú, mediante el D.S N° 031-2010-SA: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Mientras que en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), aprobado mediante el D.S. N° 004-2017-MINAM, el nitrato ha sido establecido tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Concentraciones de nitratos en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua

Categoría	Subcategoría	Concentración de nitratos (mg.L⁻¹)
Poblacional y Recreacional	A. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, tratamiento convencional y tratamiento avanzado	50
	B. Aguas superficiales destinadas para recreación (contacto primario)	10
Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	C1. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	16
	C2. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas	13
Riego de vegetales y bebida de animales	D1. Riego de vegetales	100
	D2. Bebida de animales	100
Conservación del ambiente acuático	E1. Lagunas y lagos	13
	E2. Ríos: costa, sierra y selva	13
	E3. Ecosistemas costeros y marinos	200

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM, 2017.

Efecto de nitritos y nitratos en la salud humana

Las concentraciones elevadas de nitritos y nitratos en aguas de consumo humano se vinculan con enfermedades como la metahemoglobinemia adquirida (existen causas congénitas o hereditarias) y el cáncer (Bolaños, Cordero y Segura, 2017). La metahemoglobinemia se forma cuando el nitrato, dentro del organismo, se reduce a nitrito; el cual actúa como agente oxidante de la hemoglobina (contiene hierro ferroso) para formar la metahemoglobina (contiene hierro férrico), tal como se observa en la Figura 8 (OMS, 2006; Vinelli, 2012). Esta última no tiene la capacidad de transportar el oxígeno por el torrente sanguíneo (Armenta, Cervantes, Camacho, Mundo y García, 2012); por ello, esta enfermedad se caracteriza por presentar cuadros de cianosis cuando la

metahemoglobina llega a concentraciones superiores a 1.5 g.dl^{-1} (10 – 15 %) en la sangre (Herranz y Clerigué, 2003).

La reducción de la metahemoglobina para formar hemoglobina es posible; pues el eritrocito tiene esta capacidad reductora con la intervención de sistemas como el NADH y metahemoglobina reductasa. Sin embargo, estos sistemas reductores aún no se desarrollan en niños menores de 3 meses, lo que les convierte como los más vulnerables (Vinelli, 2012; Murray *et al.*, 2012).

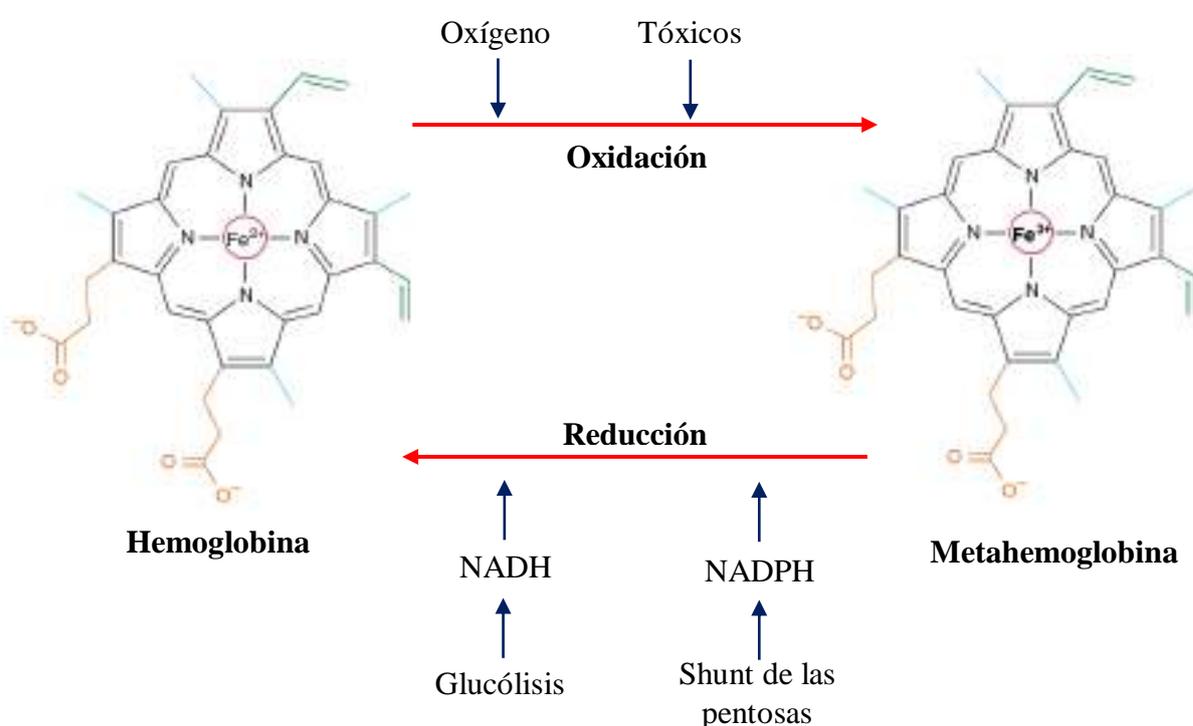


Figura 8. Proceso de oxidación y reducción de la hemoglobina. Fuente: Murray *et al.*, 2012.

Por otro lado, los nitritos (en específico el nitrito de sodio) pueden ser transformados en nitrosaminas; de tal manera que pueden afectar el estómago e hígado, pudiendo originar cáncer (Cárdenas y Sánchez, 2013). Estos compuestos se forman en condiciones de pH bajo, favorecida por la temperatura elevada y en presencia de aminas mediante el proceso de nitrosación (Moreno, Soto y González, 2015). Algunas de las formas de nitrosaminas más comunes son las siguientes: nitrosodimetilamina, nitrosodietilamina, nitrosoprolina, nitrosopiperidina, nitrosoetilamina (Jakszyn, 2006). Asimismo, las vías de contaminación

pueden ser de manera endógena (producida en el organismo) y/o exógena (producida en el ambiente externo) (Figura 9).

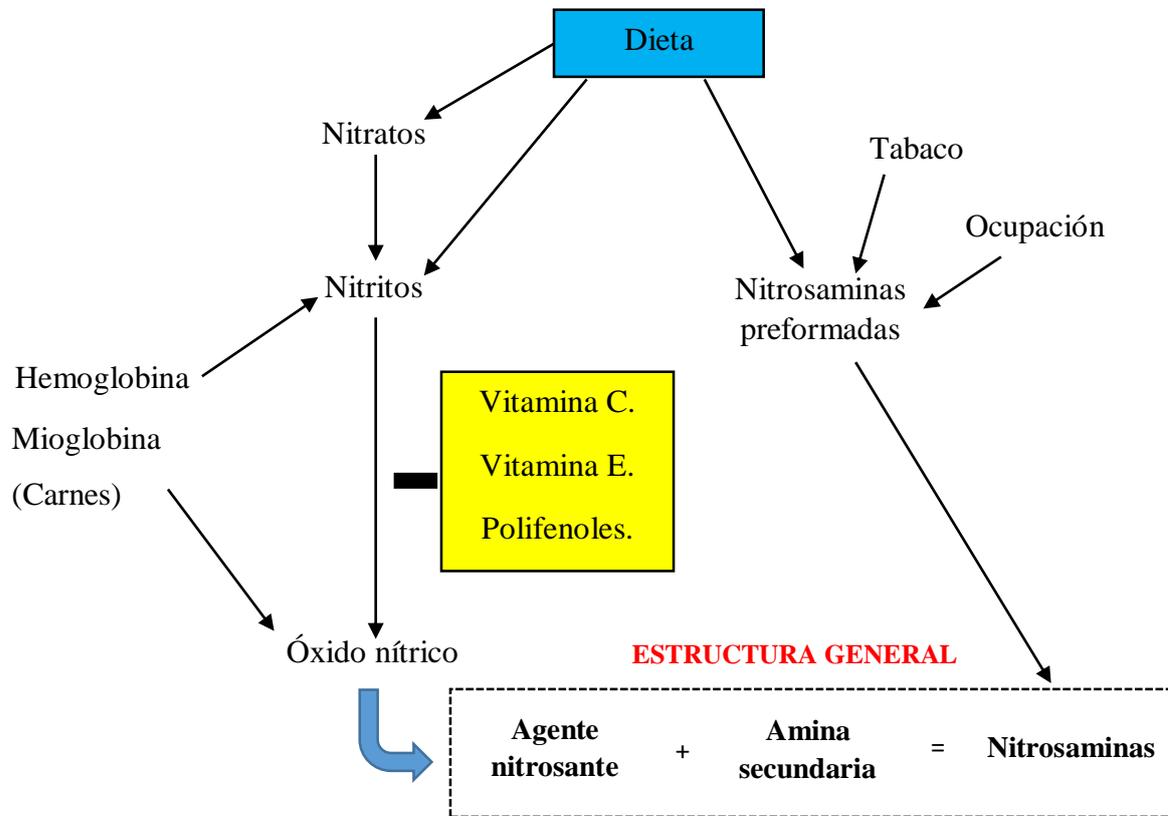


Figura 9. Vías de contaminación con nitrosaminas. Fuente: Jakszyn, 2006.

Efectos de nitratos en el medio ambiente

La acumulación de nitratos en el suelo y agua pueden causar grandes problemas ambientales; por ejemplo, el proceso de la eutrofización (Larios, 2009; Vega, 2017). La eutrofización es el incremento de la productividad primaria (biomasa), como consecuencia del incremento de nutrientes en el agua (Montalvo, García, Almeida, Betanzos y García, 2014). Por su parte, Álvarez (2015) ha definido este proceso como el incremento de nutrientes (nitratos y fosfatos, en especial) a tal punto que la tasa de asimilación y/o eliminación resulte inferior a la cantidad suministrada de nutrientes en el agua; generando un deterioro íntegro de la calidad del agua (aguas verdes), pérdida de la vida acuática (reducción de la biodiversidad), entre otros.

1.2.7. Fósforo en el agua

La dinámica del fósforo se centra en el agua, suelo y organismos vivos; y debido a que este no forma compuestos volátiles, no se encuentra en la atmósfera (Wanat, 2017). La disponibilidad del fósforo en el agua y suelo depende de múltiples factores tanto físicos como químicos (pH, temperatura, presencia de iones, fuentes de agua, geología del área, entre otros). El pH influye en la formación de especies de fosfatos (PO_4^{-3}) en el agua; por ejemplo, la disponibilidad de los fosfatos disminuye en pH comprendidos entre 9 y 11, este intervalo favorece la precipitación química con Ca^{+2} , formando fosfato de calcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) (Figura 10) (Beltrán *et al.*, 2017). Del mismo modo, este influye en la disponibilidad del fósforo en el suelo; donde a un pH de 6.5, el fósforo se encuentra disponible de manera óptima (Figura 11) (Fernández, 2011).

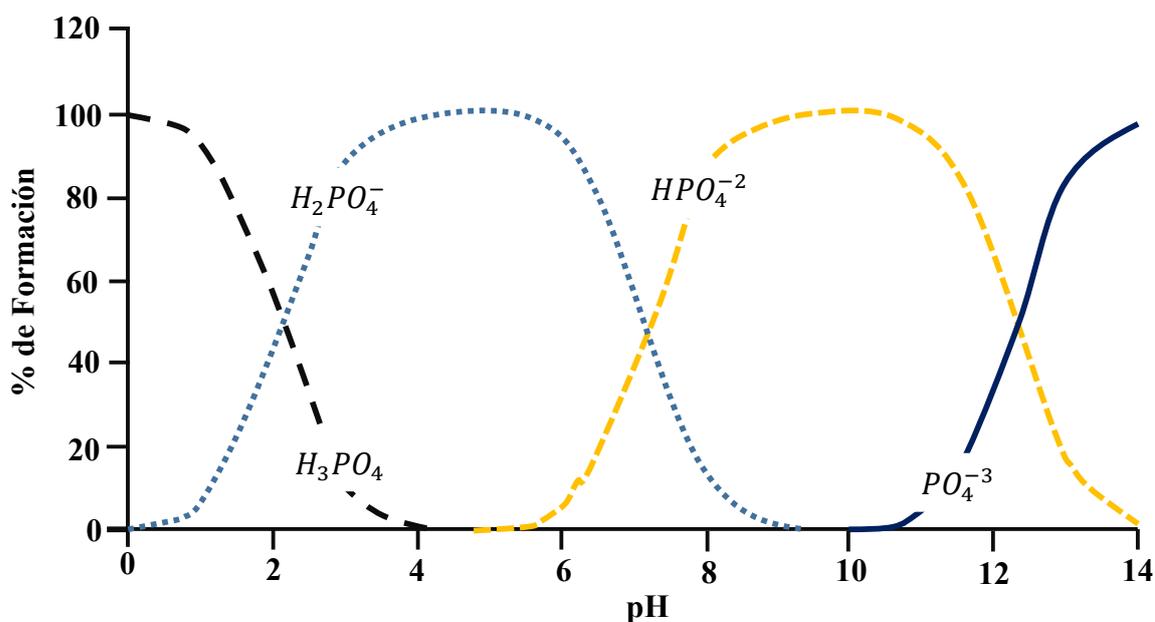


Figura 10. Influencia del pH en la formación de especies de fosfatos en el agua. Fuente: Beltrán *et al.*, 2017.

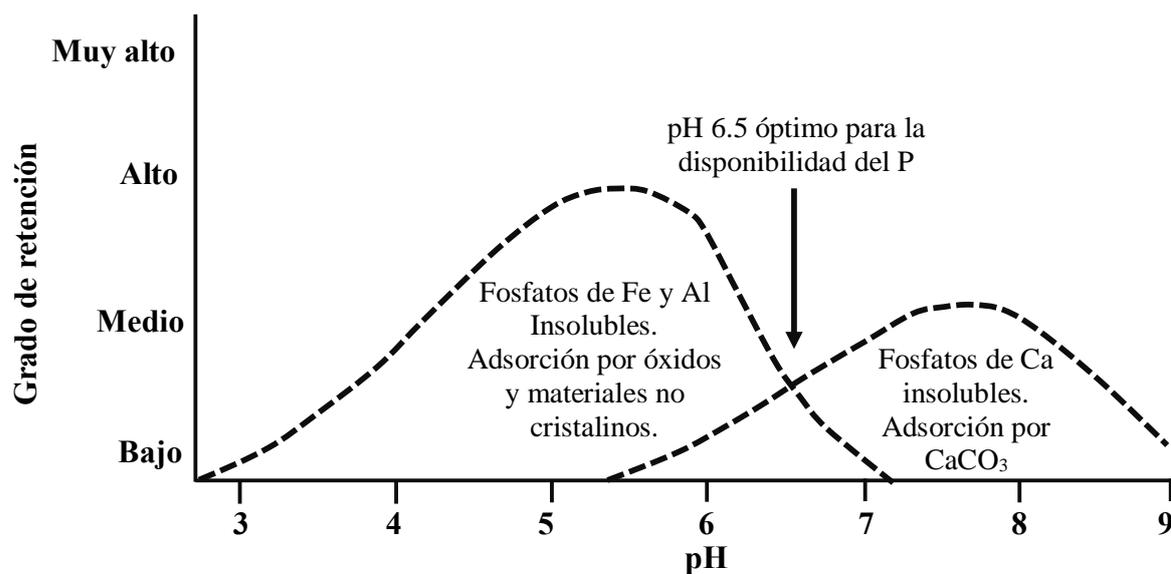


Figura 11. Grado de retención del fósforo en el suelo en función al pH. Fuente: Fernández, 2011.

El fósforo proviene de diversas fuentes naturales y antrópicas, tales como: rocas fosforadas, fertilización agrícola, insecticidas, aguas residuales, detergentes, alimentos suplementarios en la industria ganadera y piscícola, residuos orgánicos domésticos e industriales, aditivos de productos petroleros, entre otros (Roldán y Ramírez, 2008; Fernández, 2011; Wanat, 2017).

Legislación ambiental para el fósforo

La OMS y el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) no han establecido el estándar de este parámetro para el consumo humano; sin embargo, el Ministerio del Ambiente (MINAM) ha parametrizado el fósforo en el ECA-Agua (2017), tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Concentraciones de fósforo total en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua

Categoría	Subcategoría	Concentración de Fósforo total (mg.L⁻¹)
Poblacional y Recreacional	A. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, tratamiento convencional y tratamiento avanzado	0.10 - 0.15
	B. Aguas superficiales destinadas para recreación	-
Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	C1. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	0.062
	C2. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas	0.025
Riego de vegetales y bebida de animales	D1. Riego de vegetales	-
	D2. Bebida de animales	-
Conservación del ambiente acuático	E1. Lagunas y lagos	0.035
	E2. Ríos: costa, sierra y selva	0.05
	E3. Ecosistemas costeros y marinos	0.124 - 0.062

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM, 2017.

Efectos del fósforo en la salud humana

El fósforo es un elemento indispensable para el desarrollo humano; dado que forman parte de biomoléculas claves en el organismo (estructuras del ácido desoxirribonucleico (ADN), adenosín trifosfato (ATP), entre otros) (Tapia y García, 2016). Sin embargo, este puede ser peligroso en su estado elemental cuando es ingerida en dosis altas. El fósforo elemental, también llamado fósforo blanco, es peligroso para la salud de las personas; dado que este puede ser letal en una dosis de 1 mg.Kg⁻¹ de peso y el contacto con la piel puede

generar quemaduras de segundo y tercer grado en cuestión de minutos (González, Ortiz y Figueredo, 2003; Ramírez, Pacheco, Gómez y Fuentes, 2008). La fisiopatología del fósforo blanco se muestra en la Figura 12. Por otro lado, los compuestos fosfatados, de manera general, ingeridos en gran cantidad pueden provocar un fallo renal agudo, relacionado con el desarrollo de hiperparatiroidismo secundario, inflamación, alteración de la inmunidad, progresión de la enfermedad renal crónica, morbimortalidad cardiovascular y calcificación vascular (Martínez y Saracho, 2009).

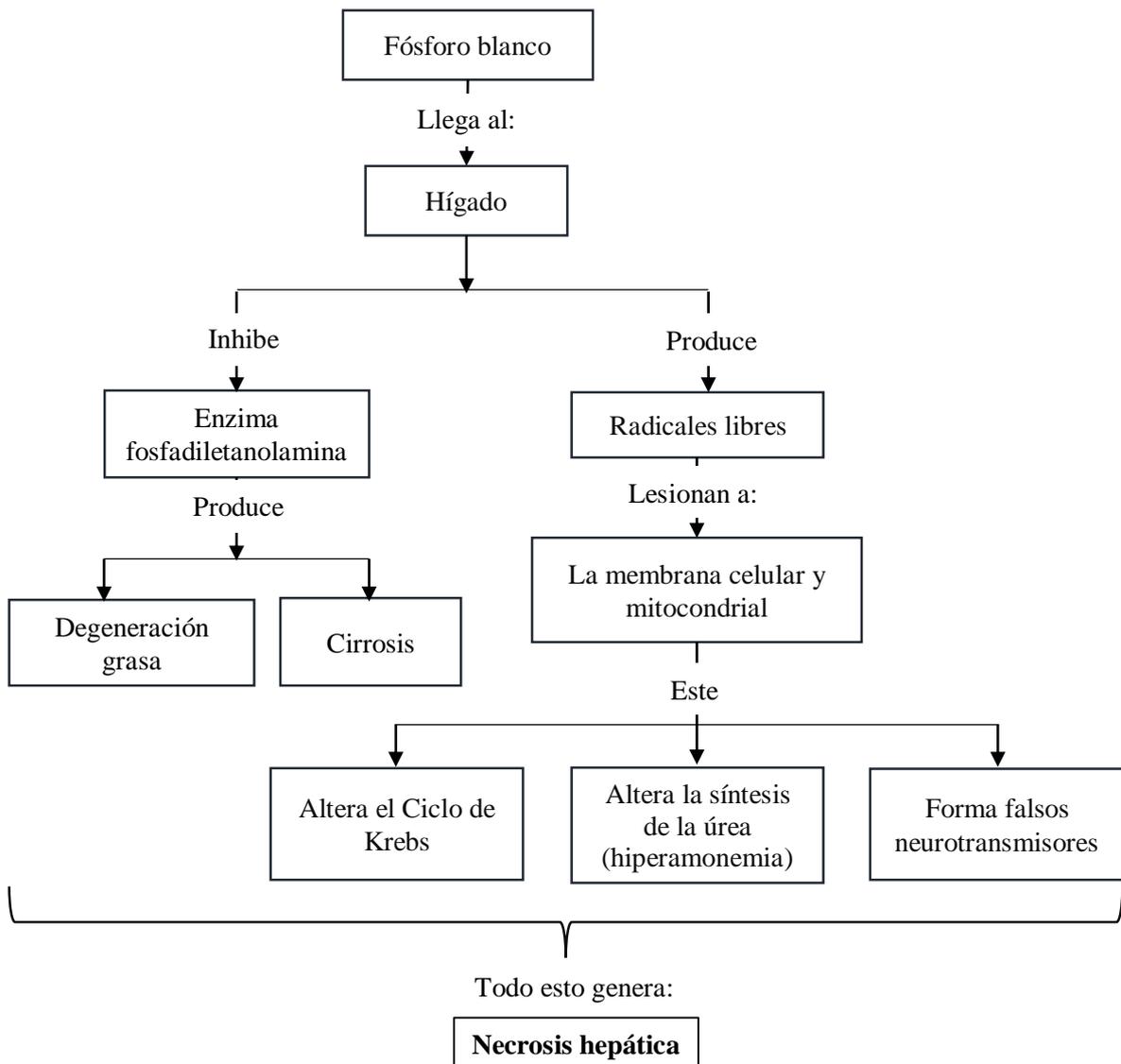


Figura 12. Fisiopatología del fósforo blanco en el organismo. Fuente: Forero y Fernández, 2017.

Efectos del fósforo en el medio ambiente

El fósforo es uno de los causantes de la eutrofización del agua (Isla, 2018); sin duda, es el más importante, en comparación al nitrato. Dado que el fósforo es uno de los nutrientes limitantes en el agua; por ende, la productividad primaria depende de la disponibilidad de este elemento, en mayor medida (Jianyong, Lihua, Zhang y Qi, 2011; Trung, 2015).

1.2.8. El purín

El purín es una mezcla de residuos orgánicos (deyecciones sólidas y líquidas, agua utilizada en el proceso de limpieza junto con restos de alimentos) que se generan en las explotaciones ganaderas (Molinés, 2015). El contenido volumétrico del purín está constituido por un 45 % de orina y un 55 % de heces, aproximadamente; asimismo, la humedad es cercana al 90 % y el contenido de materia seca es próximo al 10 % (Sanchez, 2017). Este, por tanto, contiene alto contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo, en especial). El nitrógeno de los purines se encuentra en diferentes formas, tales como: nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos, nitratos, entre otros (Lobera, 1996; Serrano, 2001). La Tabla 9 muestra el contenido de nutrientes en purines (en Europa) de acuerdo al tipo de alimentación del ganado.

Tabla 9

Influencia del tipo de alimentación de ganado en la composición de los purines

	Materia seca (mg.L⁻¹)	N (mg.L⁻¹)	P₂O₅ (mg.L⁻¹)	K₂O (mg.L⁻¹)
No precisada	60 000	4 000	3 600	3 200
Lactosuero	42 000	3 200	2 700	3 000
Harinas	65 000	5 700	5 300	3 100
Maíz	53 000	4 900	3 900	2 200
Granulados	69 000	6 900	6 300	2 400

Fuente: Cuadros, 1989, citado por Serrano, 2001, p. 4.

Métodos de tratamiento del purín

Los métodos de tratamiento de los purines son diversos; algunos de estos son: sistema de balsas impermeabilizadas, tratamiento de separación de fases sólido-líquido, tratamiento biológico aeróbico y tratamiento térmico.

a. Sistema de balsas impermeabilizadas

El sistema consiste en el estancamiento del purín en superficies impermeabilizadas (Figura 13), donde la reducción del volumen se da mediante procesos de evaporación de forma natural, es decir, este es un método económicamente viable por su bajo costo de implementación; sin embargo, la desventaja es que no elimina olores ni el exceso de nutrientes (Blanco, 2015). Los olores se deben, principalmente, a los procesos de fermentación incontrolada de la materia orgánica y volatilización de amoníaco (Campos *et al.*, 2004).



Figura 13. Purines en sistema de balsas impermeabilizadas. Fuente: Ubach y Teira, 2006.

b. Tratamiento de separación de fases sólido-líquido

Este método es un proceso fraccionario, ya que separa la fase líquida de la sólida; sin embargo, la desventaja de este es que no elimina el nitrógeno y los malos olores (Campos *et al.*, 2004; Blanco, 2015). Existen múltiples alternativas, con eficiencias variables, para la implementación de este tipo de tratamiento (Hjorth, Christensen, Christensen y Sommer,

2009); algunas de estas son: sedimentación, centrifugación, tamizado y filtración con presión (Tabla 10).

Tabla 10

Alternativas de separación de fases sólido-líquido de purines

Alternativa	Eficiencia de separación de materia seca (%)
Sedimentación	56
Centrifugación	61
Tamizado	44
Filtración con presión	37

Fuente: Hjorth et al., 2009.

c. Tratamiento biológico aeróbico

Este sistema tiene alta eficiencia en la remoción de nutrientes; dado que este consta de tres fases, las cuales son: separación sólido/líquido, tratamiento fisicoquímico (coagulación, floculación y decantación) y tratamiento biológico con aireación (Blanco, 2015). Sin embargo, no es utilizado de manera generalizada por los altos costos de implementación y la operación con alto grado de tecnicidad (Campos *et al.*, 2004; Blanco, 2015). Algunas de las configuraciones de este son: nitrificación preanóxica, nitrificación postanóxica, sistema *Bardenpho*, canal de oxidación y reactor discontinuo secuencial (Campos *et al.*, 2004). La Figura 14 muestra la configuración del sistema *Bardenpho*.

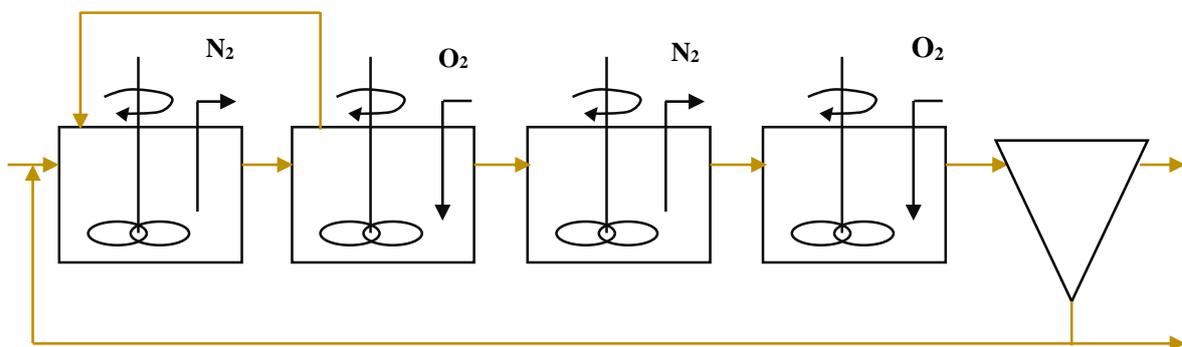


Figura 14. Configuración del sistema Bardenpho. Fuente: Campos et al., 2004.

d. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico busca reducir el volumen del purín mediante procesos de evaporación, secado e incineración (Flotats, Campos y Palatsi, 2004). Por ejemplo, en plantas de cogeneración se quema el gas natural para deshidratar el purín y con el calor de combustión se genera electricidad; sin embargo, esta técnica es costosa por la adquisición del gas y el transporte de purín hacia la planta (Blanco, 2015).

En España, mediante el Real Decreto 2818/98, han establecido una subvención que permite pagar menos impuestos por las emisiones de CO₂ en las empresas, si la materia prima (para la generación de electricidad) proviene de purines, lodos de depuración y otros residuos orgánicos (Flotats *et al.*, 2004). Mientras que en Perú, en el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado mediante el D.S. N° 014-2017-MINAM, se ha establecido la generación de energía eléctrica como una alternativa de valorización de los residuos sólidos.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Lugar y Fecha

El estudio se realizó en la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS), Filial Huaura: Végueta. La Filial se encuentra ubicada en el Centro Poblado de Mazo, distrito de Végueta, provincia de Huaura y región Lima; en el Km 159 de la antigua Panamericana Norte (Figura 15). Desde el punto de vista geográfico, se sitúa en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S, 215240 E y 8781072 S; a una altitud de 75 m.s.n.m., aproximadamente.



Figura 15. Mapa de ubicación política del distrito de Végueta. Fuente: Elaboración propia.

El distrito de Végueta es uno de los 12 distritos de la provincia de Huaura; el cual fue creado el 23 de agosto de 1920 mediante la Ley N° 273. Végueta, está conformado por los siguientes caseríos: Mazo, Santa Cruz, Medio Mundo y San Felipe. Geográficamente, se localiza en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S, 211 058.93 E y 8 780 162.00 S; a una altitud de 77 m.s.n.m., en promedio. Por otro lado, la principal actividad económica de los pobladores es la agricultura; quienes producen diferentes frutales, tales como: palta, cítricos, fresas, entre otros. Asimismo, existen alrededor de 1 500 unidades agropecuarias y es considerada como uno de los distritos más importantes productores de leche de la provincia de Huaura (Alvarado, 2015; Tafur y Altamirano, 2016).

El estudio tuvo una duración de cuatro meses; iniciando en marzo de 2019 con el acondicionamiento del espacio de laboratorio y la instalación del filtro, finalizando en agosto de 2019.

2.1.2. Descripción del experimento

La investigación se desarrolló de la siguiente manera:

Fase Preliminar

Esta fase comprendió las siguientes actividades:

- Análisis de información bibliográfica de fuentes tanto impresas como digitales (libros, tesis, artículos científicos, folletos técnicos, entre otros).
- Acondicionamiento del espacio en el laboratorio.
- Pre diseño de las columnas del filtro.
- Aspectos logísticos: contactos con empresas para el acceso a los residuos (cáscara de maracuyá, endocarpio de durazno y los purines) y cotizaciones de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorios particulares.

Fase de Campo

Esta fase consistió, en un primer momento, en el recojo de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno de empresas ubicadas en el distrito de Végueta (por razones de imagen corporativa, no se indican los nombres de las empresas) (Figura 16).



Figura 16. Recojo de los precursores. A. Cáscara de maracuyá. B. Endocarpio de durazno. Fuente: Elaboración propia.

En un segundo momento, se realizó el muestreo del purín en las instalaciones de un establo donde se desarrolla la crianza de ganado vacuno con fines de producción de leche; ubicado en el Centro Poblado de Primavera, del distrito de Végueta (Figura 17).



Figura 17. Laguna de oxidación del purín en un establo de ganado vacuno del distrito de Végueta. Fuente: Elaboración propia.

Fase de Laboratorio

Caracterización fisicoquímica y microbiológica del purín

El D.S. N° 003-2010-MINAM que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales; incluye los siguientes parámetros como indicadores de control: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, potencial de hidrógeno, sólidos suspendidos totales en suspensión y la temperatura. Por su parte, la Norma OS.090, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ha establecido a la DBO, sólidos en suspensión, Coliformes fecales y nutrientes; como los parámetros de diseño en sistemas de tratamiento de aguas residuales. En este contexto, en esta investigación se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del purín provenientes de un establo de ganado vacuno: Coliformes termotolerantes, aceites y grasas, detergentes, nitratos, fósforo total, sólidos suspendidos totales, DBO₅, temperatura, potencial de hidrógeno y la conductividad eléctrica.

Por otro lado, la preparación del precursor y la obtención del carbón activado fueron realizadas mediante la metodología descrita por Barreto (2013), la cual consiste de las siguientes etapas:

a. Preparación del precursor (materia prima)

La cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno (previamente triturada con un martillo para separar la semilla) fueron sumergidos por tres horas en solución Hidróxido de Sodio (NaOH) a 0.2 M, para eliminar los restos del fruto. Seguidamente, fueron lavados con agua para su posterior secado al aire libre, quedando listos para la carbonización (Figura 18).



Figura 18. Preparación y acondicionamiento del precursor. A. Cáscara de maracuyá sumergida en NaOH. B. Cáscara de maracuyá seca. C. Endocarpio de durazno. D. Semilla de durazno separado. *Fuente:* Elaboración propia.

b. Proceso de activación de la cáscara de maracuyá y endocarpio de durazno

La cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno fueron triturados en morteros, en tamaños comprendidos entre 0.2 y 0.5 mm. Luego, fueron carbonizados en un horno eléctrico Hinra a 400 y 600 °C por una hora, respectivamente. La carbonización de los precursores fue llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Pirometalurgia, de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión-Huacho (UNJFSC). Seguidamente, los carbones se impregnaron con H_3PO_4 al 85 % en tres dosis de activación: 0.20, 0.60 y 1.00 g $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón; una vez mezclado, se agregó 100 ml de agua desionizada dejándose en contacto por un tiempo de 24 horas. Después, se secaron en una estufa de la marca Memmert por tres horas a 110 °C y fueron lavados con agua desionizada hasta un pH de 5. Finalmente, los carbones

activados fueron secados en una estufa bajo los mismos parámetros descritos líneas arriba; quedando listo para ser utilizado como adsorbente en la remoción de nitratos y fósforo total del purín (Apéndice 1 y 2).

c. Dimensionamiento de las características del filtro

Los parámetros básicos en el diseño del filtro son: volumen del filtro, altura real del carbón activado, tiempo de contacto, caudal de entrada, velocidad lineal y el tipo de material del filtro (Bravo y Garzón, 2017).

El volumen del filtro se determinó experimentalmente, siguiendo la metodología descrita por Noboa (2008). Para ello, se utilizaron tres tuberías de Policloruro de Vinilo (PVC) de 2, 3 y 6 pulgadas de diámetro, donde se llenó 125 g de carbón obtenido de la cáscara de mmaracuyá en cada una de estas; luego, se midió la altura del carbón en los tubos. Para la elección de la tubería se manejó el siguiente criterio: se elige la tubería en el cual, el carbón activado, alcanza una altura equivalente a dos veces al diámetro de la misma; con esto se determinó que la tubería de tres pulgadas cumplía el criterio establecido por Noboa. Por lo tanto, el volumen total del carbón activado en ambas columnas del filtro fue calculada mediante la fórmula del volumen de un cilindro ($2V_c = 2\pi \cdot d^2 \cdot 4^{-1} \cdot h \cong 2 \times (3.14 \times 0.0762^2 \times 4^{-1} \times 0.15) = 0.0014 \text{ m}^3$).

El caudal de entrada, para un tiempo de contacto (T_c) de 10 minutos, fue determinado de la siguiente manera (Bravo y Garzón, 2017):

$$T_c = \frac{V_{CA}}{Q_{entrada}} \quad (\text{ec. 4})$$

Donde:

T_c : Tiempo de contacto (min)

V_{CA} : Volumen del carbón activado (m^3)

$Q_{entrada}$: Caudal de entrada ($\text{m}^3 \cdot \text{min}$)

$$Q_{entrada} = \frac{V_{CA}}{T_C} \quad (\text{ec. 5})$$

$$Q_{entrada} = \frac{0.0014 \text{ m}^3}{10 \text{ min}}$$

$$Q_{entrada} = 0.00014 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_{entrada} = 140 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$$

La velocidad lineal del filtro diseñado fue determinada mediante la siguiente ecuación (Bravo y Garzón, 2017):

$$v_l = \frac{t_f}{A_s} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde:

v_l : Velocidad lineal ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$)

t_f : Tasa de flujo ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

A_s : Área superficial (m^2)

$$v_l = \frac{0.00014 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}}{0.00046 \text{ m}^2}$$

$$v_l = 0.031 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_l = 3.1 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Luego de estas consideraciones; se construyó dos columnas de filtro en serie (filtro A y filtro B), utilizando tubos de PVC. Cada filtro tuvo las siguientes características: altura total de 0.20 m, diámetro de tres pulgadas (0.0762 m), altura del carbón activado de 0.15 m y borde libre de 0.05 m (Figura 19). Estas columnas fueron conectadas mediante tuberías de ½". Para el control de la velocidad de flujo se instaló tres válvulas de bola de ½"; la primera, fue instalada en la parte inicial de entrada al filtro A; la segunda, en el intermedio

del filtro A y B; y la tercera, después del filtro B. En la salida de cada columna, se colocó una malla de alambre tejido cuyo tamaño de agujero fue de 0.915 mm, como estructura de contención para el carbón activado. Para cada tratamiento se emplearon dos columnas (filtro A y B) con carbón activado. Para los tratamientos con carbón de cáscara de maracuyá, en cada columna se utilizó 125 g de carbón, es decir, 250 g en total por cada tratamiento; mientras que, en los tratamientos con carbón del endocarpio de durazno, se utilizó 250 g de carbón en cada columna (500 g en total por cada tratamiento). El purín fue depositado en un tanque de 40 litros de capacidad y colocado a una altura de 0.33 m (Figura 20).

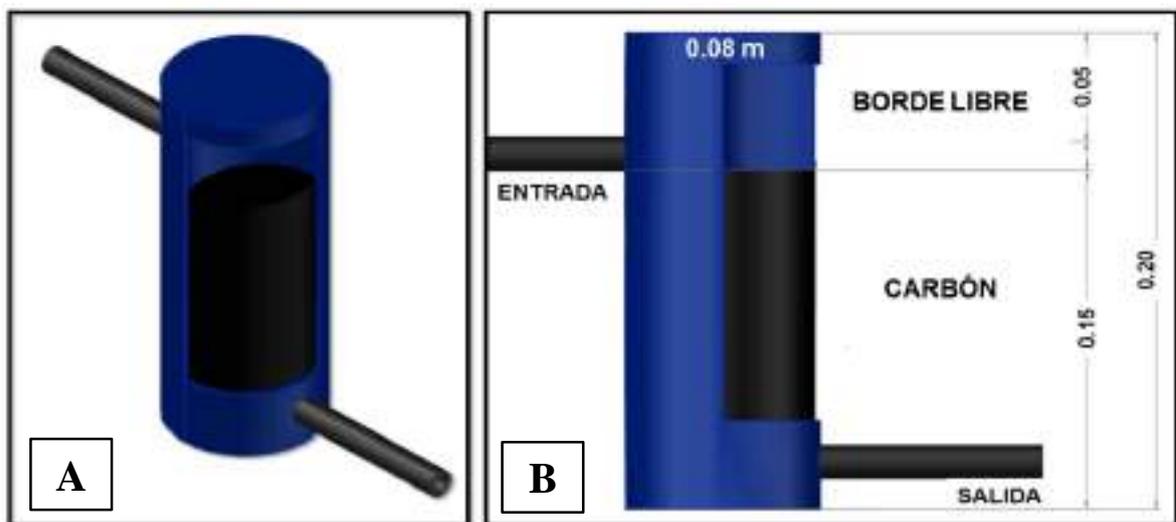


Figura 19. Detalle del filtro. A. Filtro en 3D. B. Vista lateral del filtro. Fuente: Elaboración propia.

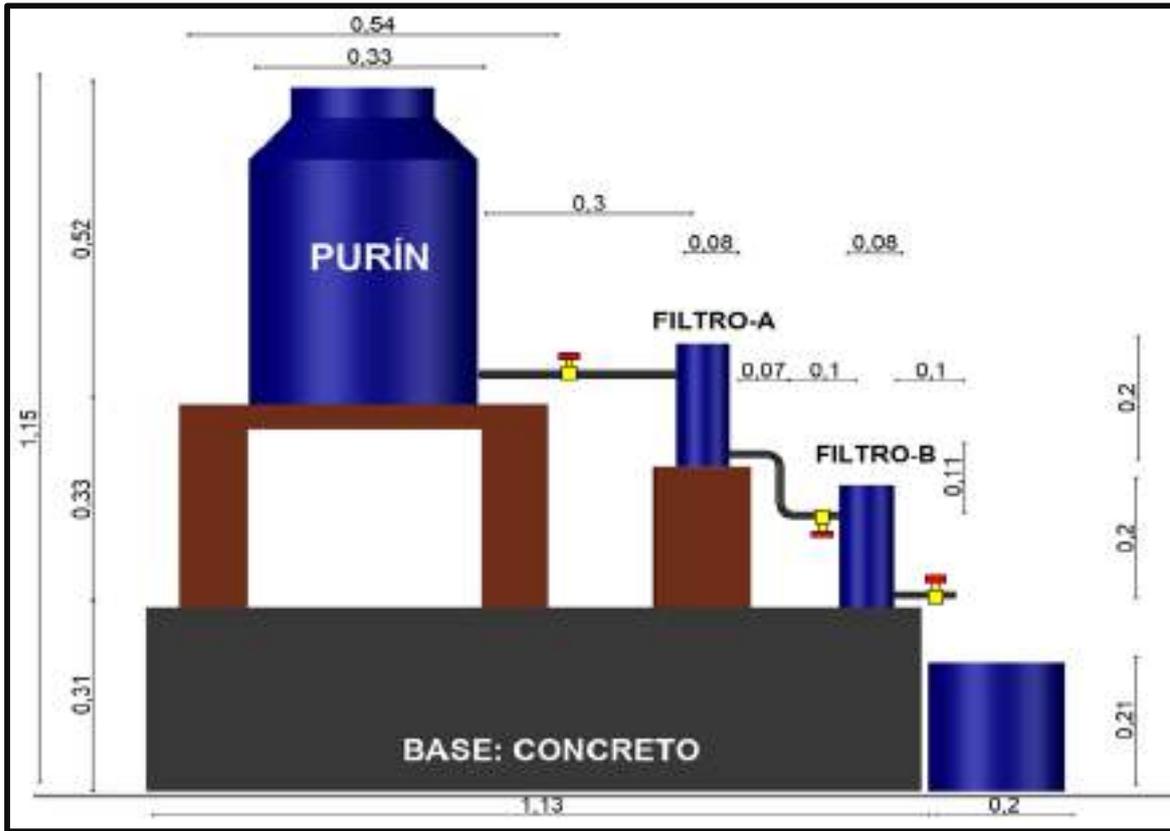


Figura 20. Vista lateral del sistema de filtrado. Fuente: Elaboración propia.

d. Determinación del rendimiento del carbón obtenido, después del proceso de carbonización

El rendimiento de carbonización de la cáscara de maracuyá y del endocarpio de durazno fue determinado en tres bandejas de mármol de $0.15 \times 0.30 \times 0.05 \text{ m}^3$, cada uno. Para ello, en el caso de la cáscara de maracuyá, los pesos iniciales fueron: 0.161, 0.165 y 0.164 Kg; mientras que los pesos iniciales del endocarpio de durazno fueron: 0.215, 0.240, 0.247 Kg. Ambos precursores fueron sometidos a 400 y 600 °C, respectivamente; luego, fueron enfriados y pesados (peso final). Este parámetro fue calculado mediante la siguiente ecuación (Barreto, 2013):

$$\%R = \frac{W_e - W_s}{W_e} \times 100 \quad (\text{ec. 7})$$

Donde:

W_e : Peso del precursor antes de la carbonización (g).

W_s : Peso del carbón obtenido (g).

%R : Porcentaje de rendimiento.

e. Determinación de la capacidad de adsorción en el filtro

La determinación de la capacidad de adsorción está en función de las concentraciones iniciales y finales del compuesto en la muestra, masa del precursor o carbón activado y volumen de la muestra. Para ello, se procedió de la siguiente manera: primero, se realizó el pesado del precursor en una balanza analítica; segundo, se determinó el volumen de la muestra (purín) utilizada en la adsorción por cada unidad de tratamiento; tercero, se determinó la concentración inicial de nitratos y fósforo total del purín; y cuarto, se determinó las concentraciones de nitratos y fósforo total del purín filtrado. Para la determinación de las concentraciones de nitratos y fósforo total, se contrató el servicio del Laboratorio “Servicios Analíticos Generales” SAC, el cual está acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Con todos los datos obtenidos se determinó esta variable, en condiciones dinámicas, con la siguiente ecuación (Barreto, 2013):

$$q_c = \frac{C_o - C_f}{M} \times V \quad (\text{ec. 8})$$

Donde:

q_c : Capacidad de adsorción (mg del nutriente. g^{-1} carbón activado).

C_o : Concentración inicial ($mg.L^{-1}$).

C_f : Concentración final ($mg.L^{-1}$).

V : Volumen de la muestra (L).

M : Masa del precursor (g).

La masa del precursor (M) varió de acuerdo al tipo del material carbonizable. La masa del carbón activado de la cáscara de maracuyá fue 250 g; mientras que del endocarpio de

durazno, 500 g. Las masas de ambos precursores fueron diferentes, dado que el endocarpio de durazno es más denso en comparación a la cáscara de maracuyá. Asimismo, el volumen de las muestras (V) varió en función al tiempo de filtración (10 y 15 minutos). En 10 minutos, el volumen tratado o filtrado fue 1.4 L; mientras que, en 15 minutos fue 2.1 L.

f. Determinación del porcentaje de remoción en el filtro

El porcentaje de remoción está en función a las diferencias existentes entre la concentración inicial y final de nitratos y fósforo total en el purín. Por lo tanto, en primer lugar, se realizó el muestreo del purín para la determinación de las concentraciones iniciales de nitratos y fósforo total presente en la fase líquida del purín; en segundo lugar, se procedió con el muestreo luego del filtrado. Estas muestras fueron analizadas contratando el servicio del Laboratorio “Servicios Analíticos Generales SAC”. Con los resultados de las concentraciones obtenidas, se determinó el porcentaje de remoción con la siguiente ecuación (Barreto, 2013):

$$Remoción = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100 \quad (\text{ec. 9})$$

Donde:

- Remoción : Remoción de nitratos y fósforo total (%)
- C_o : Concentración inicial (mg.L⁻¹).
- C_f : Concentración final (mg.L⁻¹).

El proceso del filtrado, tanto para la determinación de la capacidad de adsorción y porcentaje de remoción, se muestra en la Figura 21. Durante este proceso, se controló la temperatura y el pH del purín, así como el pH de los carbones activados; la temperatura fue 24.50 ± 0.50 °C, mientras que el pH del purín fue 8.30 ± 0.2 y el pH de los carbones fue 5.00.



Figura 21. Filtro en operación. Fuente: Elaboración propia.

Fase de Gabinete

En esta fase se realizó la ordenación, tabulación e interpretación de los datos obtenidos en las fases previas.

2.1.3. Tratamientos

Los precursores (cáscara de maracuyá y endocarpio de durazno) fueron sometidos a cuatro diferentes dosis de activación con el ácido fosfórico (0.0, 0.20, 0.60 y 1.00 g $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón), con los cuales se determinó la capacidad de adsorción y porcentaje de remoción en dos tiempos de filtración (10 y 15 minutos). Por lo tanto, este estudio tuvo 16 tratamientos (Figura 22, Tabla 11). Todos los tratamientos fueron experimentados de manera secuencial (primero se experimentó con carbones de la cáscara de maracuyá y luego con los carbones del endocarpio de durazno) en un solo día.

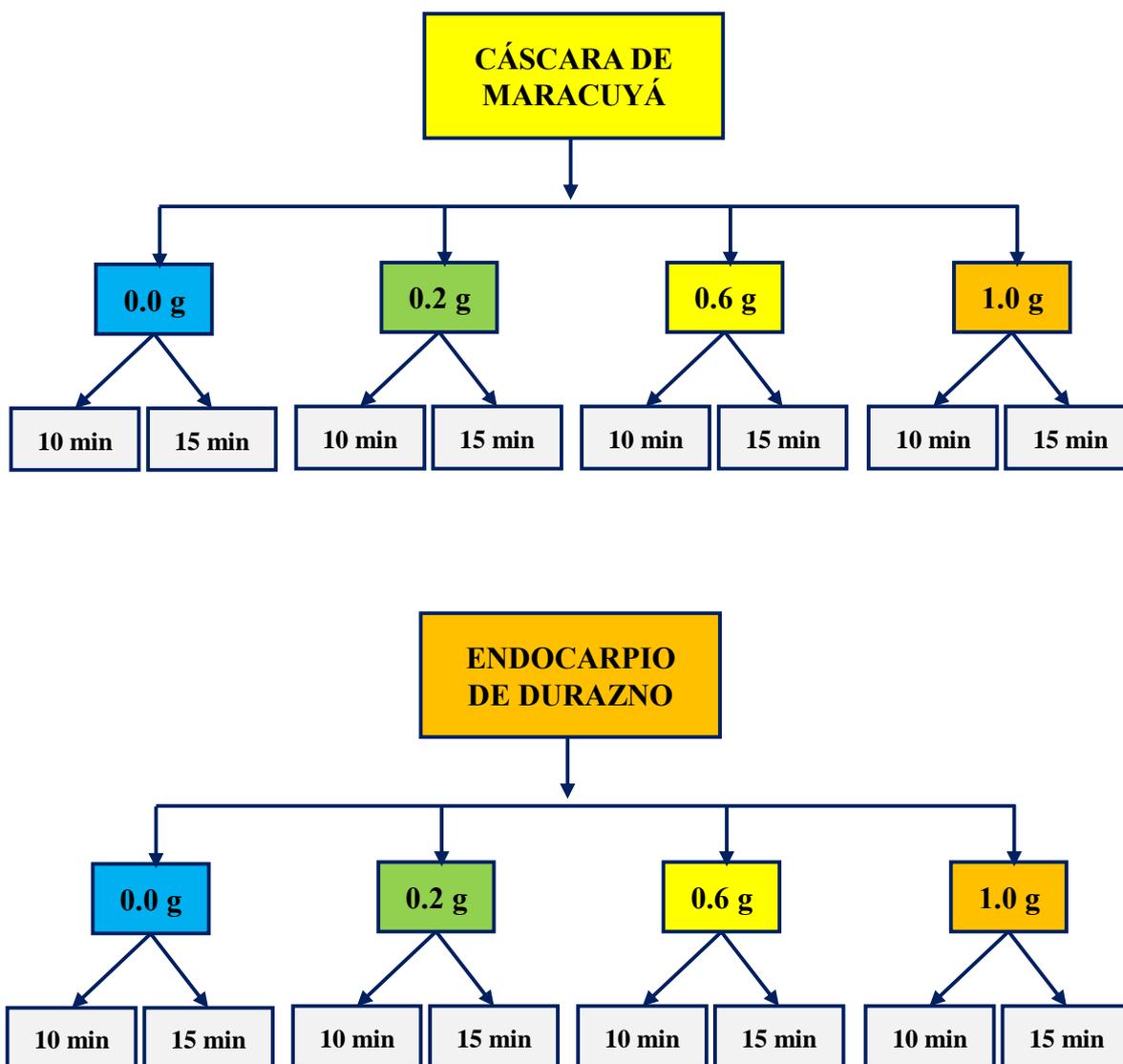


Figura 22. Diseño de los tratamientos del precursor con cuatro dosis ácido fosfórico y dos tiempos de filtración que se evaluó en la presente investigación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Descripción de los tratamientos en base a las diferentes proporciones de ácido fosfórico con el precursor y tiempo de filtración

N°	Clave	Tratamiento
1	X ₁ -R ₁ -T ₁	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 0.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón en 10 minutos de filtración.
2	X ₁ -R ₁ -T ₂	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 0.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón en 15 minutos de filtración.
3	X ₁ -R ₂ -T ₁	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 0.2 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración.
4	X ₁ -R ₂ -T ₂	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 0.2 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración.
5	X ₁ -R ₃ -T ₁	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 0.6 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración.
6	X ₁ -R ₃ -T ₂	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 0.6 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración.
7	X ₁ -R ₄ -T ₁	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 1.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración.
8	X ₁ -R ₄ -T ₂	La cáscara de maracuyá como precursor en una relación de 1.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración.
9	X ₂ -R ₁ -T ₁	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 0.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón en 10 minutos de filtración.
10	X ₂ -R ₁ -T ₂	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 0.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón en 15 minutos de filtración.
11	X ₂ -R ₂ -T ₁	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 0.2 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración.

Continuación:

N°	Clave	Tratamiento
12	X ₂ -R ₂ -T ₂	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 0.2 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración.
13	X ₂ -R ₃ -T ₁	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 0.6 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración.
14	X ₂ -R ₃ -T ₂	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 0.6 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración.
15	X ₂ -R ₄ -T ₁	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 1.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración.
16	X ₂ -R ₄ -T ₂	El endocarpio del durazno como precursor en una relación de 1.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4. Unidades experimentales

El estudio tuvo 16 unidades experimentales, es decir, cada tratamiento no tuvo réplicas.

2.1.5. Identificación de variables y su mensuración

Las variables consideradas, en el análisis estadístico, en la presente investigación se detallan a continuación:

a. Variables independientes

- Precursores (X)

Cáscara de maracuyá (X₁)

Endocarpio de durazno (X₂)

- Proporción de agente activante-precursor (R)

0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ precursor (R₁)

0.2 g H₃PO₄. g⁻¹ precursor (R₂)

0.6 g H₃PO₄. g⁻¹ precursor (R₃)

1.0 g H₃PO₄. g⁻¹ precursor (R₄)

- Tiempo de filtración (T)

10 minutos (T₁)

15 minutos (T₂)

b. Variables dependientes

Capacidad de adsorción del carbón activado de la cáscara de maracuyá y del endocarpio del durazno (Y_n).

Porcentaje de remoción de nitratos y fósforo total de la cáscara de maracuyá y del endocarpio del durazno (Y_m).

Las unidades de medida y los métodos de determinación de las variables del estudio se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Variables de estudio, unidades de medida y métodos de determinación

Variables	Unidad de medida	Método
V1: Análisis de parámetros		
Coliformes termotolerantes	NMP.100 ⁻¹ ml ⁻¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1: Técnica de fermentación de tubos múltiples para Miembros del Grupo Coliforme.
Aceites y grasas	mg.L ⁻¹	Método 1664 – EPA: Método de extracción con N-hexano y gravimetría.
Detergentes	mg.L ⁻¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C: Método de determinación de sustancias activas de azul de metileno.
Nitratos	mg.L ⁻¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500: Método de reducción de Cadmio.
Fósforo total	mg.L ⁻¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500: Método del ácido ascórbico.
Sólidos suspendidos totales	mg.L ⁻¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D: Sólidos suspendidos totales secados a 103-105 °C.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg.L ⁻¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B: Prueba DBO 5 días.
Temperatura	°C	Sonda HI 1285-5.
Potencial de hidrógeno	unid pH	Sonda HI 1285-5.
Conductividad eléctrica	μS.cm ⁻¹	Sonda HI 1285-5.
V2: Rendimiento de carbonización	%	Ecuación descrita por Barreto (2013).
V3: Capacidad de adsorción	mg nutriente. g ⁻¹ carbón activado	Ecuación descrita por Barreto (2013).
V4: Porcentaje de remoción	%	Ecuación descrita por Barreto (2013).

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6. Diseño estadístico del experimento

El diseño de esta investigación fue un diseño factorial con 3 factores sin replicación, de la siguiente forma 2 x 4 x 2; donde el factor 2 representa al tiempo de filtración, el factor 4 a las proporciones del activante-precursor y el 2 al tipo de precursor.

2.1.7. Análisis estadístico de datos

Los datos fueron procesados en Microsoft Excel 2016, para la obtención de gráficas y tablas, con el objetivo de realizar las interpretaciones de la variación de los nitratos y fósforo total en el proceso de filtrado. Asimismo, se realizó la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) para determinar las diferencias entre los tratamientos con un nivel de significancia de 5 % ($\alpha = 0.05$) (Apéndice 4 y 7).

El modelo aditivo lineal del experimento fue de la siguiente manera:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + E_{ijkl}$$

con $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, b$; $k = 1, 2, \dots, c$.

Donde:

- μ : efecto producido por la media global.
- τ_i, β_j y γ_k : corresponden a los efectos producidos por el nivel i -ésimo del tiempo de filtración ($\sum_i \tau_i = 0$), por el nivel j -ésimo de las proporciones de activación ($\sum_j \beta_j = 0$) y por el nivel k -ésimo del tipo de precursor ($\sum_k \gamma_k = 0$).
- $(\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk}$: corresponden a los efectos producidos por las interacciones entre A x B, A x C, B x C y A x B x C, respectivamente.
- E_{ijkl} : corresponde al efecto del error experimental.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PURÍN

En la caracterización fisicoquímica y microbiológica del purín se obtuvieron los siguientes resultados: Coliformes termotolerantes tuvo una concentración de 49×10^3 NMP. 100^{-1} ml $^{-1}$; aceites y grasas, 8.70 mg.L $^{-1}$; detergentes, 0.20 mg.L $^{-1}$; nitratos, 12.40 mg.L $^{-1}$; fósforo total, 200.30 mg.L $^{-1}$; sólidos suspendidos totales, 245.50 mg.L $^{-1}$; demanda bioquímica de oxígeno (DBO $_5$), 20.55 mg.L $^{-1}$; temperatura, 24.50 °C; potencial de hidrógeno, 8.30 unid pH; y la conductividad eléctrica, 2 317.00 μ S.cm $^{-1}$ (Tabla 13).

Tabla 13

Parámetros de caracterización fisicoquímica y microbiológica del purín

Parámetros	Concentración/valor
Coliformes termotolerantes	49×10^3 NMP. 100^{-1} ml $^{-1}$
Aceites y grasas	8.70 mg.L $^{-1}$
Detergentes	0.20 mg.L $^{-1}$
Nitratos	12.40 mg.L $^{-1}$
Fósforo total	200.30 mg.L $^{-1}$
Sólidos suspendidos totales	245.50 mg.L $^{-1}$
DBO $_5$	20.55 mg.L $^{-1}$
Temperatura	24.50 °C
Potencial de hidrógeno	8.30 unid pH
Conductividad eléctrica	2 317.00 μ S.cm $^{-1}$

Fuente: Elaboración propia.

3.2. RENDIMIENTO DE CARBONIZACIÓN

El porcentaje promedio del rendimiento de carbonización de la cáscara de maracuyá resultó 37.083 %; dado que los porcentajes de rendimiento que se obtuvieron en las tres bandejas de secado fueron: 39.130, 36.363 y 35.714 %, respectivamente (Tabla 14).

Tabla 14

Rendimiento de la cáscara de maracuyá en la carbonización

Bandejas	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	%R
Bandeja 1	0.161	0.063	39.130
Bandeja 2	0.165	0.060	36.363
Bandeja 3	0.154	0.055	35.714
Promedio	0.160	0.059	37.083

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje promedio del rendimiento de carbonización del endocarpio de durazno resultó 94.017 %, dado que los porcentajes de rendimiento que se obtuvieron en las tres bandejas de secado fueron: 91.628, 94.583 y 95.547 %, respectivamente (Tabla 15).

Tabla 15

Rendimiento del endocarpio de durazno en la carbonización

Bandejas	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	%R
Bandeja 1	0.215	0.197	91.628
Bandeja 2	0.240	0.227	94.583
Bandeja 3	0.247	0.236	95.547
Promedio	0.234	0.220	94.017

Fuente: Elaboración propia.

3.3. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN EN EL FILTRO

3.3.1. Capacidad de adsorción de nitratos

La capacidad de adsorción de nitratos de los purines filtrados con 250 g de carbón activado de cáscara de maracuyá mostró diferencias, principalmente en cuanto al tiempo de filtración; obteniéndose una mayor capacidad de adsorción luego de 15 minutos de filtración en los tratamientos donde se usó las proporciones 0.0, 0.2 y 1.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado (T2, T4 y T8); en estos tres tratamientos se obtuvo una adsorción de 0.102 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado, partiendo de una concentración inicial de nitratos de 12.4 mg.L⁻¹. Mientras que el tratamiento T7 en 10 minutos de filtración y con una proporción de 1.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado, presentó la menor capacidad de adsorción, con 0.022 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado (Tabla 16).

Tabla 16

Capacidad de adsorción (qc) de nitratos del carbón activado de cáscara de maracuyá (mg de NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado)

Proporción de activación con H ₃ PO ₄	Tiempo de filtración (min)	Co (mg.L ⁻¹)	Cf (mg.L ⁻¹)	Volumen (L)	Masa de precursor (g)	qc
0.0	10	12.4	0.30	1.4	250	0.068
	15	12.4	0.30	2.1	250	0.102
0.2	10	12.4	0.30	1.4	250	0.068
	15	12.4	0.30	2.1	250	0.102
0.6	10	12.4	7.48	1.4	250	0.028
	15	12.4	5.31	2.1	250	0.060
1.0	10	12.4	8.52	1.4	250	0.022
	15	12.4	0.30	2.1	250	0.102

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad de adsorción de nitratos de los purines filtrados con 500 g de carbón activado de endocarpio de durazno mostró diferencias, tanto en la proporción de activación como en el tiempo de filtración. El tratamiento T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración), presentó mayor capacidad de adsorción, con 0.051 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón

activado; seguido por los tratamientos T14 y T16 (0.6 y 1.0 H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración, respectivamente), con 0.039 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado. Mientras que el tratamiento T11 (0.2 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración), presentó la menor capacidad de adsorción, con 0.010 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado (Tabla 17).

Tabla 17

Capacidad de adsorción (qc) de nitratos del carbón activado de endocarpio de durazno (mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado)

Proporción de activación con H₃PO₄	Tiempo de filtración (min)	Co (mg.L⁻¹)	Cf (mg.L⁻¹)	Volumen (L)	Masa del precursor (g)	qc
0.0	10	12.4	0.30	1.4	500	0.034
	15	12.4	0.30	2.1	500	0.051
0.2	10	12.4	8.78	1.4	500	0.010
	15	12.4	9.30	2.1	500	0.013
0.6	10	12.4	6.04	1.4	500	0.018
	15	12.4	3.71	2.1	500	0.036
1.0	10	12.4	5.56	1.4	500	0.019
	15	12.4	3.01	2.1	500	0.039

Fuente: Elaboración propia.

El Análisis de Varianza de la capacidad de adsorción de nitratos, determinó que no hubo diferencia significativa entre las proporciones de activación de la cáscara de maracuyá y del endocarpio de durazno ($F_{exp} = 4.955 < F_{\alpha} = 9.277$); sin embargo, hubo diferencia significativa entre los precursores ($F_{exp} = 62.391 > F_{\alpha} = 10.128$) y el tiempo de filtración ($F_{exp} = 32.063 > F_{\alpha} = 10.128$) (Apéndice 4). La cáscara de maracuyá, tanto en 10 y 15 minutos de filtrado, presentó mayor capacidad de adsorción de nitratos en comparación al endocarpio de durazno (Apéndice 5). Asimismo, se observa que a mayor tiempo de contacto (15 minutos) ambos precursores presentaron mayor capacidad de adsorción.

3.3.2. Capacidad de adsorción de fósforo total

La capacidad de adsorción de fósforo total solo se ha determinado para los tratamientos T1, T2, T9 y T10, con 0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón, es decir, sin activación química; dado que con activación química (T3-T8, T11-T16) se obtuvo resultados muy superiores a la concentración inicial (200.30 mg P. L⁻¹) registrada en el tanque del purín. Estos resultados fueron debido a la influencia de fósforo residual provenientes del agente activante en las concentraciones finales de este parámetro (Tabla 18).

Tabla 18

Concentraciones finales de fósforo total luego del filtrado con el carbón activado de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno

Tiempo de filtración	Cáscara de maracuyá			Endocarpio de durazno		
	Proporción H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado			Proporción H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ carbón activado		
	0.2	0.6	1.0	0.2	0.6	1.0
10 minutos	819.00	3 789.00	4 296.00	1 785.00	3 974.00	4 618.00
15 minutos	820.60	3 057.00	4 207.00	2 276.00	3 982.00	4 151.00

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad de adsorción de fósforo total de los purines filtrados con 250 g de carbón de la cáscara de maracuyá (0.0 H₃PO₄. g⁻¹ carbón) mostró diferencias en cuanto al tiempo de filtración. El tratamiento T2, con 15 minutos de filtración presentó mayor capacidad de adsorción, con 1.370 mg P. g⁻¹ carbón; mientras que el tratamiento T1, con 10 minutos de filtración presentó una capacidad de adsorción de 0.892 mg P. g⁻¹ carbón. Del mismo modo, el carbón de endocarpio de durazno (500 g) también presentó diferencia de adsorción de este parámetro en función al tiempo; el tratamiento T9 y T10 (0.0 H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración, respectivamente), presentaron una capacidad de adsorción de 0.267 y 0.544 mg P. g⁻¹ carbón activado, respectivamente. De manera general, el carbón de la cáscara de maracuyá presentó mayor capacidad de adsorción frente al endocarpio de durazno; asimismo, con tiempo de 15 minutos de filtrado, en ambos precursores, se logró la mayor cantidad de fósforo adsorbido (Tabla 19).

Tabla 19

Capacidad de adsorción (q_c) de fósforo total del carbón de la cáscara de maracuyá y del endocarpio de durazno (mg P. g^{-1} carbón activado)

Precursor	Tiempo de filtración (min)	C_o (mg.L^{-1})	C_f (mg.L^{-1})	Volumen (L)	Masa del precursor (g)	q_c
Cáscara de maracuyá	10	200.3	41.02	1.4	250	0.892
	15	200.3	37.16	2.1	250	1.370
Endocarpio de durazno	10	200.3	105.00	1.4	500	0.267
	15	200.3	70.79	2.1	500	0.544

Fuente: Elaboración propia.

3.4. PORCENTAJE DE REMOCIÓN

3.4.1. Remoción de nitratos

Los mayores porcentajes de remoción de nitratos con carbón activado de la cáscara de maracuyá presentaron los tratamientos T1 (0.0 g H_3PO_4 . g^{-1} carbón en 10 minutos de filtración), T2 (0.0 g H_3PO_4 . g^{-1} carbón en 15 minutos de filtración), T3 (0.2 g H_3PO_4 . g^{-1} carbón activado en 10 minutos de filtración), T4 (0.2 g H_3PO_4 . g^{-1} carbón activado en 15 minutos de filtración) y T8 (1.0 g H_3PO_4 . g^{-1} carbón activado en 15 minutos de filtración), con 97.58 %; mientras que el tratamiento T7 (1.0 g H_3PO_4 . g^{-1} carbón activado en 10 minutos de filtración), presentó el menor porcentaje, con 31.29 % (Tabla 20). Estos resultados indican que la proporción de activación no tuvo influencia en la remoción, al igual que el tiempo de filtrado.

Tabla 20

Porcentaje de remoción de nitratos con carbón activado de cáscara de maracuyá

Proporción de activación con H₃PO₄	Tiempo de filtración (min)	Co (mg.L⁻¹)	Cf (mg.L⁻¹)	% Remoción
0.0	10	12.40	0.30	97.58
	15	12.40	0.30	97.58
0.2	10	12.40	0.30	97.58
	15	12.40	0.30	97.58
0.6	10	12.40	7.48	39.68
	15	12.40	5.31	57.18
1.0	10	12.40	8.52	31.29
	15	12.40	0.30	97.58

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de remoción de nitratos de los purines filtrados con carbón del endocarpio de durazno, a diferencia del carbón de la cáscara de maracuyá, si mostró diferencias en cuanto a las proporciones de activación. Los tratamientos T9 y T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración, respectivamente), presentaron el mayor porcentaje de remoción, con 97.58 %; mientras que el tratamiento T12 (0.2 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración), presentó el menor porcentaje, con 25.00 % (Tabla 21).

Tabla 21

Porcentaje de remoción de nitratos con carbón activado de endocarpio de durazno

Proporción de activación con H₃PO₄	Tiempo de filtración (min)	Co (mg.L⁻¹)	Cf (mg.L⁻¹)	% Remoción
0.0	10	12.40	0.30	97.58
	15	12.40	0.30	97.58
0.2	10	12.40	8.78	29.19
	15	12.40	9.30	25.00
0.6	10	12.40	6.04	51.29
	15	12.40	3.71	70.08
1.0	10	12.40	5.56	55.16
	15	12.40	3.01	75.73

Fuente: Elaboración propia.

El mayor porcentaje de remoción de nitratos que se obtuvo, tanto con el carbón de la cáscara de maracuyá (0.0 y 0.2 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración y 1.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 15 minutos de filtración) como con el carbón del endocarpio de durazno (0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración) fue el mismo: 97.58 % (Apéndice 8).

Se realizó el Análisis de Varianza para el porcentaje de remoción de nitratos, donde se determinó que no hubo diferencia significativa del tiempo de filtración ($F_{exp} = 6.989 < F_{\alpha} = 10.128$) ni del tipo de precursor ($F_{exp} = 6.468 < F_{\alpha} = 10.128$); sin embargo, si hubo diferencia entre las proporciones de activación solo para el carbón del endocarpio de durazno ($F_{exp} = 11.415 > F_{\alpha} = 9.277$) (Apéndice 7).

3.4.2. Remoción de fósforo total

El carbón de la cáscara de maracuyá en los tratamientos T1 y T2 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración, respectivamente), presentaron un porcentaje de remoción de fósforo total de 79.52 y 81.45 %, respectivamente. Por otro lado, el carbón del endocarpio de durazno en los tratamientos T9 y T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración, respectivamente), presentaron un porcentaje de remoción de fósforo total de 47.58 y 64.66 %, respectivamente (Tabla 22). De acuerdo con estos resultados se puede indicar que el carbón de la cáscara de maracuyá fue el más eficiente en la remoción de este parámetro; asimismo, en el tiempo de 15 minutos de filtrado se lograron los mayores porcentajes de remoción, en ambos precursores.

Tabla 22

Porcentaje de remoción de fósforo total con carbón sin activación química (0.0 H₃PO₄. g⁻¹ carbón)

Proporción	0.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ cáscara de maracuyá			0.0 g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ endocarpio de durazno		
	C _i	C _f	%Remoción	C _i	C _f	%Remoción
Tiempo de filtración						
10 minutos	200.3	41.02	79.52	200.3	105.00	47.58
15 minutos	200.3	37.16	81.45	200.3	70.79	64.66

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se muestra las concentraciones de fósforo total después del filtrado con los carbones activados con H_3PO_4 a diferentes proporciones; los cuales son muy superiores al valor de la concentración inicial ($Pt = 200.3 \text{ mg.L}^{-1}$). Por lo tanto, no se pudo determinar el porcentaje de remoción de este parámetro en estas proporciones de activación.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

La presente investigación es el primer estudio desarrollado en el distrito de Végueta, provincia de Huaura, región Lima - Perú; que busca el reaprovechamiento de los residuos de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno mediante la obtención de carbones activados a partir de estos precursores; al mismo tiempo, el primero en brindar una alternativa de tratamiento de los purines para que su vertimiento en cuerpos receptores no genere impactos ambientales, sociales ni económicos negativos.

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PURÍN

La concentración de Coliformes termotolerantes de los purines analizados en esta investigación resultó 49×10^3 NMP.100⁻¹ ml⁻¹ (Tabla 13). Esta concentración fue muy inferior a los reportados por Varnero *et al.* (2009) y Chartier (2011); quienes registraron 8×10^7 NMP.100⁻¹ ml⁻¹ y 3×10^7 NMP.100⁻¹ ml⁻¹ en los purines de cerdos, respectivamente. La carga bacteriana fecal en aguas residuales depende del tipo de fuente del agua, disponibilidad de nutrientes, condiciones de temperatura, potencial de hidrógeno específicos para los microorganismos, entre otros (Paz, Barzola, Lazcano, Ponce y León, 2003).

Por otro lado, la concentración de Coliformes registrada en esta investigación fue muy superior al LMP establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM, donde se considera a 10×10^3 NMP.100⁻¹ ml⁻¹ como la concentración máxima permisible; al igual que al establecido en el ECA-Agua de la categoría 3: subcategoría D1 (Riego de vegetales), donde una concentración de 2×10^3 NMP.100⁻¹ ml⁻¹ es permitido en los cuerpos receptores destinadas para este tipo de uso. La elevada concentración registrada podría ser perjudicial para la salud de las personas; por ende, los purines no deberían ser aplicados

directamente en sistemas de riego ni descargados en los cuerpos receptores sin un previo tratamiento. El cambio de las características fisicoquímicas del agua de regadío (por vertimientos de aguas residuales) puede significar la disminución de la capacidad de adsorción de nutrientes, al mismo tiempo la reducción de la calidad del producto y pérdidas económicas (Huamaní, 2018). Esta situación podría generarse en el distrito de Végueta, debido a que se ha observado que los establos no cuentan con sistemas de tratamiento de purines; por ende, la descarga directa de estos en los campos de cultivo o terrenos eriazos, podrían contaminar el agua subterránea mediante procesos de infiltración, el cual es fuente de agua para el consumo de la población en el distrito, y el suelo. Sobre este último componente, Rufete *et al.* (2006) encontraron que la enmienda de la lechada porcina (lodo de estiércol de cerdo) indujo la presencia inicial más alta y también persistente de bacterias coliformes totales y fecales en los suelos estudiados en España.

Los cultivos regados con aguas contaminadas con patógenos tienen influencia en la calidad microbiológica de los alimentos. Por ejemplo, Huamaní (2018) registró 23 NMP.g⁻¹ de Coliformes fecales en muestras de lechuga, fresa y betarraga en la desembocadura del canal de regadío de Las Salinas Bajo, Chancay - Lima; concluyendo que si bien las concentraciones se encuentran por debajo de la normativa del MINSA (R.M. N° 591-2008-MINSA: Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano), estas podrían ser un peligro inminente para la salud de las personas y como focos de propagación de enfermedades entéricas. Por su parte, Hernández, Quiñones, Cristóbal y Rubiños (2014) determinaron que las concentraciones más altas de coliformes en muestras de cultivos forrajeros (avena, maíz, alfalfa y trébol) fueron 1x10⁹ NMP·100 g⁻¹ de raíz y 3x10⁹ NMP·100 g⁻¹ de tallo en Tulancingo, Hidalgo - México. Asimismo, Rivera, Rodríguez y López (2009) estudió la contaminación fecal en cebolla, rabanito, culantro, lechuga y perejil expandidas en mercados de la ciudad de Cajamarca-Perú; donde concluyeron que el perejil y la lechuga presentaron los NMP máximos (> 1 000) por gramo frente a las demás hortalizas estudiadas.

La concentración de aceites y grasas registrada en esta investigación fue 8.70 mg.L⁻¹ (Tabla 13). En la bibliografía que se ha tenido acceso, no se ha encontrado reportes similares de

determinación de este parámetro en muestras de purines. Por otro lado, esta concentración se encuentra por debajo del límite permisible establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM (20 mg.L⁻¹); sin embargo, superior al establecido en el ECA-Agua de la Categoría 3: D1 (5 mg.L⁻¹). Por lo tanto, si los purines fuesen utilizados en sistemas de riego, podrían tener efectos en la planta; dado que los aceites y grasas reducen la tasa de absorción de nutrientes en las plantas y provocan la infertilidad de los suelos con la formación de *films*, este último convierte el medio en condiciones anóxicas (Montoya, 2012; Barrera y Velecela; 2015). Las fuentes principales de este parámetro, en los purines, se debe al propio metabolismo del ganado vacuno y al sistema de alimentación, principalmente.

La concentración de detergentes registrada en esta investigación fue 0.20 mg.L⁻¹ (Tabla 13). Esta se encuentra dentro del límite permisible establecido en el ECA-Agua de la Categoría 3: D1 (0.20 mg.L⁻¹). En la bibliografía que se ha tenido acceso, no se ha encontrado reportes similares de determinación de este parámetro en muestras de purines. Por otro lado, la fuente principal de estos, en el purín analizado, podría estar relacionada con el uso de los mismos en la etapa de limpieza y desinfección del establo; dado que todos los días se utilizan los detergentes para la limpieza del local (piso y pared) del ordeño para evitar la contaminación cruzada del producto final (FAO, 2011).

La concentración de nitratos registrada en esta investigación fue 12.4 mg.L⁻¹ (Tabla 13). Esta se encuentra por debajo del límite permisible establecido en el ECA-Agua de la Categoría 3: D1 (100 mg.L⁻¹). Por otro lado, esta concentración fue superior al obtenido por Maraón, Castrillón, Fernández y Rodríguez (2008); quienes registraron una concentración menor a 0.10 mg.L⁻¹ en purines de ganado vacuno. Del mismo modo, fue superior al obtenido por Viñas *et al.* (2010); quienes registraron una concentración menor a 5.00 mg.L⁻¹ en purines de ganado vacuno. Sin embargo, fue inferior a los obtenidos por Varnero *et al.* (2009) y Blanco (2015) en purines de cerdo; quienes registraron 14.0 mg.L⁻¹ y 18.74 mg.L⁻¹, respectivamente. La diferencia de concentraciones de este parámetro, posiblemente, se debe a las diferencias de tiempo de almacenamiento de los purines (en esta investigación se trabajó con purines frescos); dado que la concentración de nitratos en los momentos iniciales es baja y a mayor tiempo de almacenamiento estos se incrementan (Masters y Ela, 2008). Además, el tipo de alimentación podría influir en las

concentraciones finales de este parámetro (Fernández, Castrillón, Marañón, Fernández y Álvarez, 2008; Salcedo, 2008; Serrano, 2001).

La concentración de fósforo total registrada en esta investigación fue 200.30 mg.L⁻¹ (Tabla 13). Esta fue inferior al obtenido por Marañón *et al.* (2008); quienes registraron una concentración de 696.00 mg.L⁻¹ en purines de ganado vacuno. Sin embargo, fue superior al obtenido por Blanco (2015), quien registró 42.00 mg.L⁻¹ en purines de cerdo. La diferencia se debe, principalmente, al tipo de animal, tipo de alimentación, entre otros (Fernández *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008; Salcedo 2008). Por otro lado, este parámetro no tiene un estándar establecido tanto en el D.S. N° 003-2010-MINAM como en el D.S. N° 004-2017-MINAM (Categoría 3: D1).

La concentración de sólidos suspendidos totales registrada en esta investigación fue 245.50 mg.L⁻¹ (Tabla 13). Esta se encuentra por encima del límite permisible establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM (150 mg.L⁻¹). Por otro lado, la concentración registrada en este estudio fue superior al obtenido por Álvarez, León, García y Bécares (2008); quienes registraron 38.08 mg.L⁻¹ en purines de cerdo. La concentración elevada registrada se debe, principalmente, a la presencia de las heces de los animales que son mezcladas con la orina durante las actividades de limpieza del establo.

La concentración de DBO₅ registrada en esta investigación fue 20.55 mg.L⁻¹ (Tabla 13). Esta se encuentra por debajo del límite permisible establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM (100 mg.L⁻¹); sin embargo, superior al establecido en el ECA-Agua de la Categoría 3: D1 (15 mg.L⁻¹). Por otro lado, la concentración de DBO₅ registrada en esta investigación fue inferior a los obtenidos por Martínez *et al.* (2008), Belén, Pérez, Pérez, Moreno y Paredes (2008), Magrí y Flotats (2008) y Flores (2013) en purines de cerdo; quienes registraron 30 425 mg.L⁻¹, 5 000 mg.L⁻¹, 11 400 mg.L⁻¹ y 5 400 mg.L⁻¹, respectivamente. Cabe destacar que este parámetro es un indicador del potencial contaminante del purín; dado que expresa la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica (Zambrano, 2010; Mamani y Chávez, 2018). En ese sentido, las elevadas concentraciones de este parámetro indican que

el purín se encuentra contaminado por materia orgánica y estos al acumularse, en la parte radicular de las plantas y ecosistemas acuáticos, pueden provocar un desequilibrio ecológico (Ruiz, 2019).

El valor de la conductividad eléctrica registrado en esta investigación fue 2 317.00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabla 13). Este se encuentra por debajo del límite permisible establecido en el ECA-Agua de la Categoría 3: D1 (2 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Por otro lado, este resultado fue inferior a los obtenidos por Fernández *et al.* (2008), Martínez y Provolo (2008), Parera, Mallol, Domingo y Canut (2010) y Muñoz y Pacheco (2019) en purines de ganado vacuno; quienes registraron 15 680 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 14 720 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 14 840 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 14 710 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente. Del mismo modo, fue inferior a los obtenidos por Varnero *et al.* (2009), Serrano (2001), Chartier (2011) y Blanco (2015) en purines de cerdo; quienes registraron 6 200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 7 920 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 16 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 12 870 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente. El valor bajo de este parámetro posiblemente se debe al tipo de fuente de agua (agua dulce superficial y subterránea) utilizado en el proceso de crianza de los vacunos en las empresas ganaderas instaladas en el distrito de Végueta; dado que la conductividad está muy relacionada con la cantidad de compuestos ionizados presentes en los fluidos (Lobera, Martínez, Ferrández y Martín, 1998).

El valor del potencial de hidrógeno registrado en esta investigación fue 8.30 (Tabla 13), el cual se encuentra dentro del rango establecido tanto en el D.S. N° 003-2010-MINAM como en el ECA-Agua de la Categoría 3: D1 (6.5-8.5) para aguas destinadas a riego de vegetales. Por otro lado, el valor registrado en esta investigación fue superior a los obtenidos por Fernández *et al.* (2008), Marañón *et al.* (2008), Martínez y Provolo (2008), Viñas *et al.* (2010) y Muñoz y Pacheco (2019) en purines de ganado vacuno; quienes registraron 7.24, 7.40, 7.20, 8.01 y 7.50 ± 0.20 , respectivamente. Del mismo modo, resultó superior a los obtenidos por Varnero *et al.* (2009), Serrano (2001) Chartier (2011) y Flores (2013) en purines de cerdo; quienes reportaron valores de 6.60, 7.76, 7.60 y 7.64, respectivamente. Sin embargo, fue muy cercano al registrado por Blanco (2015); quien obtuvo 8.38 en purines de cerdo. Las diferencias en los valores de este parámetro se deben, principalmente, a los contenidos de nutrientes, la carga bacteriana que influye a través del

proceso de metabolismo. Por ejemplo, el valor del pH se incrementa con el tiempo donde el medio tiende a condiciones anóxicas (Sato, 2010)

4.2. RENDIMIENTO DE CARBONIZACIÓN

El porcentaje promedio del rendimiento de carbonización de la cáscara de maracuyá resultó 37.083 % a 400 °C por una hora (Tabla 14). Este resultado fue superior al obtenido por Pabón *et al.* (2014), quienes obtuvieron 19.14 % de rendimiento de la cáscara de maracuyá a 400 °C por 30 minutos. Esta diferencia se debe a las condiciones iniciales de los precursores. Pabón, trabajó con cáscara de maracuyá húmeda en el proceso de determinación de esta variable; mientras que en esta investigación la cáscara utilizada fue secada previamente (bajo contenido de humedad). Otro factor influyente en esta diferencia sería el tiempo de carbonización; dado que a mayor tiempo de exposición de los precursores a temperaturas elevadas, mayor es la cantidad de material volátil eliminada (González y Teruya, 2004).

Por otro lado, el porcentaje promedio del rendimiento de carbonización del endocarpio de durazno resultó 94.017 % a 600 °C (Tabla 15). Este resultado fue superior al obtenido por Calixtro (2016); quien obtuvo un rendimiento promedio de 51 % del endocarpio de durazno a 550 °C. Esta diferencia podría estar relacionada a los momentos de determinación del rendimiento, puesto que Calixtro determinó esta variable luego de la activación química (lo cual también es válido); mientras que en esta investigación, la determinación fue antes de la activación química. En general, lo calculado por Calixtro permite determinar con exactitud la cantidad de activante químico que se requiere en el proceso; mientras que el calculado (el más usado) en esta investigación permite determinar la cantidad de materia prima requerida en el proceso. Otros factores influyentes en esta diferencia, al igual que en el caso de la cáscara de maracuyá, son: la temperatura de carbonización, tiempo de carbonización, presencia-ausencia de oxígeno, entre otros.

Los rendimientos obtenidos en esta investigación, en ambos precursores, permiten revalidar la importancia del secado del precursor antes de la carbonización, como un proceso más en la obtención del carbón activado; tal como procedieron otros

investigadores, por ejemplo Mazarji *et al.* (2017) e Isla (2018). Puesto que, mediante la eliminación del contenido de humedad del material previo a la carbonización, se reduce la cantidad de emisiones en el aire al favorecer el proceso de combustión completa y disminuyen las tasas de gasificación y/o volatilización del precursor, lo cual significa el incremento del rendimiento de carbonización. De acuerdo con lo observado en este estudio, el precursor húmedo favorece a un mayor porcentaje de formación de cenizas, ocasionando que el carbón obtenido en estas condiciones sea de mala calidad al no conseguir estructuras fijas y porosas para las pruebas de adsorción (Soto, 2007). Además, el secado previo permite la reducción del tiempo de carbonización: menor costo de producción (Gonzales y Teruya, 2004).

El porcentaje promedio del rendimiento de carbonización con el endocarpio de durazno fue mucho mayor que con la cáscara de maracuyá: 94.017 % a 600 °C por una hora y de 37.083 % a 400 °C por una hora, respectivamente (Tabla 14 y 15). Esta diferencia podría estar relacionada con el contenido de carbón fijo de ambos precursores; dado que mientras mayor sea el porcentaje de esta variable, menor serán los contenidos de cenizas, materiales volátiles u otros componentes de los precursores. Por ejemplo, Pabón *et al.* (2014) obtuvieron 68.44 % de carbón fijo en cáscara de maracuyá a 400 °C por 30 minutos; mientras que Calixtro (2016) obtuvo 93.39 % de carbón fijo en endocarpio de durazno a 550 °C. En ese sentido, Cruz, Canepa y Aguirre (2013) afirman que el rendimiento depende de la composición física y química de los precursores, los productos de reacción en las etapas de carbonización y activación de los cuales su volatilidad es variable.

4.3. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE NITRATOS

Las mayores capacidades de adsorción de nitratos de los purines filtrados con 250 g de carbón activado de cáscara de maracuyá se obtuvieron en los tratamientos T2, T4 y T8 (15 minutos de filtración con 0.0, 0.2 y 1.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado, respectivamente) con 0.102 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado, cada uno; dado que se registró una concentración final de 0.30 mg NO₃⁻.L⁻¹, partiendo de una concentración inicial de 12.4 mg NO₃⁻. L⁻¹ (Tabla 16). Del mismo modo, la capacidad de adsorción de nitratos de los purines filtrados con 500 g de carbón activado de endocarpio de durazno fue mayor luego de 15 minutos de filtración (2.1 L de muestra); sin embargo, solo un tratamiento, el T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹

carbon), presentó la mayor capacidad de adsorción con $0.051 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado (Cf $0.30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Hubo mayor adsorción en 15 minutos porque el volumen de muestra filtrada en este tiempo fue 50 % más (2.1 L) que en 10 minutos de filtración (1.4 L).

Los resultados obtenidos en este estudio, tanto con el carbón activado preparado con la cáscara de maracuyá como con el endocarpio de durazno, fueron superiores al obtenido por Gierak y Lazarska (2017); quienes registraron una capacidad de adsorción de $0.0064 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado comercial AG-5 (GRYFSAND), en soluciones sintéticas en un caudal de $3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$. Del mismo modo, fue superior al obtenido por Ramos (2012); quien registró una adsorción de $0.034 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado preparado con residuos de café a una temperatura de $600 \text{ }^\circ\text{C}$ y sin activante químico. Sin embargo, los resultados de la presente investigación fueron inferiores a los obtenidos en otros estudios. Satayeva *et al.* (2018), por ejemplo, obtuvieron una capacidad de adsorción máxima de $2.20 \pm 0.032 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado preparado de cascarilla de arroz en una solución sintética de $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de concentración inicial; mientras que en $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de concentración inicial, obtuvieron $8.11 \pm 0.031 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado. Del mismo modo, Izat (2012) obtuvo $5.53 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado preparado de la pepa de aceituna a partir de una solución con concentración inicial de $100 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$; utilizando el Cloruro de Zinc (ZnCl_2) al 20 % como agente activante en una proporción de $1.0 \text{ g ZnCl}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón a $450 \text{ }^\circ\text{C}$ de carbonización. Las diferencias de las capacidades de adsorción de nitratos mediante carbones activados, se debe a las diferencias metodológicas; tales como: concentración inicial de la solución a tratar, solución sintética y/o tratamiento real, pH de la solución, tamaño de la partícula, temperatura de flujo, tiempo de contacto, entre otros (Kinoshita y Mihara, 2010; Casamayor, 2018).

Moonis *et al.* (2011) establecieron una relación directa entre la concentración inicial y la capacidad de adsorción, es decir, el incremento de la concentración inicial de nitratos en la solución significa el incremento de la capacidad de adsorción del carbón activado. La solución sintética ha sido ampliamente usada en estudios de capacidad de adsorción; sin embargo, esta no representa la condición real de los sistemas de tratamientos, dado que toma al contaminante como único compuesto susceptible a la adsorción. Mientras que las soluciones reales, como lo realizado en esta investigación, contienen diferentes iones que

compiten con el compuesto de interés en la adsorción; razón por el cual, esta presentará capacidad de adsorción inferior a las soluciones sintéticas. Por otro lado, el pH de la solución afecta el tipo de carga superficial de los adsorbentes, así como el grado de ionización y especiación de los diferentes contaminantes (Gallo *et al.*, 2017). La adsorción de iones desde una solución acuosa por carbón activado es causada por las interacciones entre los iones en solución y los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado, lo cual depende del pH de la solución que se va a utilizar (Rodríguez *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2017). Además, la disminución del pH de la solución significa el aumento de los sitios cargados positivamente, los cuales conllevan el incremento de la adsorción de nitratos (Mazarji *et al.*, 2017); este comportamiento se debe a la carga negativa que posee el nitrato.

El incremento de la temperatura disminuye la capacidad de adsorción (Soto, 2007; Casamayor, 2018). Este comportamiento, según Navarro *et al.* (2009) se debe a la solubilidad de los iones contenidos en el flujo. Del mismo modo, el tamaño de la partícula influye en la adsorción; dado que según Casamayor (2018) el incremento del tamaño de la partícula significa la disminución de la eficiencia. Asimismo, el tiempo de contacto influye en este proceso. En los momentos iniciales la adsorción va en incremento, hasta alcanzar la saturación completa de los poros del carbón, luego esta disminuye (Ponce, 2005; Casamayor, 2018). Este comportamiento fue observado en esta investigación, donde en 15 minutos de muestreo, ambos precursores, presentaron mayor capacidad de adsorción; el cual ha sido corroborado de manera estadística ($F_{exp} = 32.063 > F_{\alpha} = 10.128$) (Apéndice 4 y 5).

En los tratamientos T2, T4 y T8 (0.0, 0.2 y 1.0 g $H_3PO_4 \cdot g^{-1}$ carbón en 15 minutos de filtración, respectivamente) se obtuvieron la misma capacidad de adsorción, con 0.102 mg de $NO_3^- \cdot g^{-1}$ carbón activado (Tabla 16). Estos resultados muestran que no hubo diferencia significativa entre las proporciones de activación de la cáscara de maracuyá ($F_{exp} = 4.955 < F_{\alpha} = 9.277$) (Apéndice 4). Este comportamiento podría explicarse mediante los efectos de dos variables, los cuales son: carga superficial del activante (H_3PO_4) y del ión adsorbido (NO_3^-). Los iones de cargas opuestas (anión y catión) presentarán mayor fuerza de atracción electrostática; mientras que los iones de la misma carga (anión – anión o

cación – catión) presentarán fuerzas de repulsión electrostática, por ende, menor capacidad de adsorción. Esta situación, al parecer, ha tenido efecto en los tratamientos mencionados; dado que según Carrillo y Lembcke (2015) el H_3PO_4 , muy a parte de cumplir la función de deshidratar a los precursores (incrementando su porosidad), deja residuos de fosfatos (PO_4^{-3}), los cuales tienen cargas negativas. En sentido, la activación química no tuvo efecto en la adsorción, porque se juntaron dos aniones (nitratos y fosfatos). Por otro lado, cabe mencionar que Barreto (2013) indica que el H_3PO_4 , a pH entre 4 y 5 se encuentra disociado en su forma $H_2PO_4^-$, el cual favorece la adsorción de iones con cargas positivas en lugar de las negativas.

El Análisis de Varianza de la capacidad de adsorción de nitratos, determinó que hubo diferencia significativa entre los precursores ($F_{exp} = 62.391 > F_{\alpha} = 10.128$) (Apéndice 4). La cáscara de maracuyá, tanto en 10 y 15 minutos de filtrado, presentó la mayor capacidad de adsorción de nitratos en comparación al endocarpio de durazno (Apéndice 5). Esta diferencia podría estar relacionada a la granulometría de los carbones, la cáscara de maracuyá fue de tipo polvo; mientras que el endocarpio de durazno fue de tipo granular. Tal como lo observado por Espinal (2017), quien obtuvo resultados diferentes en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, con carbones activados obtenidos de cáscara de coco en función a la granulometría; con carbones en polvo obtuvo una eficiencia general de 85.30 %, mientras que con el tipo granular obtuvo una eficiencia de 70.34 %. Asimismo, Casamayor (2018) afirma que mientras mayor sea el diámetro de la partícula (esto sucede en los carbones de tipo granular), menor es la eficiencia de adsorción. De manera general, para la adsorción de nitratos en purines de ganado vacuno, el tratamiento más viable en términos ambientales, sociales y económicos sería el carbón de la cáscara de maracuyá sin activación (tratamiento 0.0 g H_3PO_4 . g⁻¹ carbón) por presentar la más alta capacidad de adsorción de este parámetro; en el cual no se observó influencia del tiempo de filtración y, en comparación con el endocarpio de durazno, la masa de la cáscara fue 50 % menos (250 g frente a 500 g).

4.4. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE FÓSFORO TOTAL

En ambos precursores (sin activación: 0.0 H_3PO_4 . g⁻¹ carbón), el tiempo de filtración influyó en la capacidad de adsorción de fósforo total de los purines. En el carbón de la

cáscara de maracuyá, así como con el carbón de endocarpio de durazno, la mayor adsorción de este parámetro se observó a los 15 minutos de filtración: tratamientos T2 y T10, respectivamente (Tabla 19). Este concuerda con lo mencionado por Ponce (2005), quien afirma que en los momentos iniciales la adsorción va en incremento, hasta alcanzar la saturación completa de los poros del carbón, luego esta disminuye. Para el carbón de cáscara de maracuyá, la mayor capacidad de adsorción fue $1.370 \text{ mg P. g}^{-1}$ carbón activado; mientras que para el carbón de endocarpio de durazno fue $0.544 \text{ mg P. g}^{-1}$ carbón activado. Estos resultados fueron inferiores al obtenido por Dedy, Hak y Kwang (2018), quienes registraron $5.73 \text{ mg P. g}^{-1}$ carbón activado granular comercial (Daejung); el cual fue impregnado con Ferridrita amorfa. Sin embargo, fueron superiores al obtenido por Ramos (2012); quien registró $0.139 \text{ mg P. g}^{-1}$ carbón activado preparado con pajas del sector agrícola (no especifica la especie vegetal), sin activación química. La variabilidad de las capacidades de adsorción de fósforo se debe, principalmente, a las diferencias metodológicas y/o variables del estudio; entre ello tenemos, por ejemplo: la granulometría de los precursores, temperatura de carbonización, condiciones de las muestras a ser filtradas (sintéticas y/o reales), agente activante (físico y/o químico), pH de la solución, presencia-ausencia de oxígeno en el proceso de carbonización, entre otros.

De manera general, el carbón de la cáscara de maracuyá presentó mayor capacidad de adsorción del fósforo frente al endocarpio de durazno. Este comportamiento podría estar relacionado con la diferencia de porosidades que tienen en función a la granulometría entre ambos precursores: los carbones en polvo adsorben mayor cantidad de nutrientes frente a los granulares (Casamayor, 2018).

4.5. REMOCIÓN DE NITRATOS

El mayor porcentaje de remoción de nitratos con carbón activado de la cáscara de maracuyá fue 97.58%; este mismo porcentaje de remoción se obtuvo en cinco tratamientos diferentes: T1 ($0.0 \text{ g H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón en 10 minutos de filtración), T2 ($0.0 \text{ g H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón en 15 minutos de filtración), T3 ($0.2 \text{ g H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado en 10 minutos de filtración), T4 ($0.2 \text{ g H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado en 15 minutos de filtración) y T8 ($1.0 \text{ g H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón activado en 15 minutos de filtración) (Tabla 20). Este resultado fue inferior al obtenido por Ramos (2012); quien registró una remoción del 100 % de nitratos

en soluciones sintéticas con pajas del sector agrícola (no especifica la especie vegetal) sin activación química. Sin embargo, fue superior al obtenido por Mazarji *et al.* (2017); quienes registraron un 80 % de remoción de nitratos con carbón activado granular modificado con $C_{13}H_{42}NBr$, en pruebas realizadas a partir de 50 mg.L^{-1} de nitrato de concentración inicial, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y en una dosis del adsorbente de $0.2 \text{ g. } 50^{-1} \text{ .ml}^{-1}$. Del mismo modo, resultó superior al obtenido por Kowsalya, Gangopadhyay, Sharmila, y Jeyanthi (2017); quienes registraron 96.4 % de remoción de nitratos con carbón activado obtenido de las hojas de casuarinas. Sin embargo, fue similar al obtenido por Gierak y Lazarska (2017); quienes registraron 97.26 % de remoción de este parámetro en soluciones sintéticas con carbón activado comercial AG-5 (GRYFSAND), el cual tiene un área superficial que varía entre 750 y 850 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Esta variabilidad se debe, principalmente, a la diferencia granulométrica del carbón activado (polvo, granular y peletizado). Por lo general, los carbones en polvo y peletizado tienen mayor eficiencia de remoción (Casamayor, 2018). Asimismo, los resultados obtenidos en esta investigación; permiten exponer la viabilidad de los carbones activados sin agente activante, como un método de tratamiento de los purines de bajo costo económico y amigable con el medio ambiente (Carriazo, Saavedra y Molina, 2010; Kinoshita y Mihara, 2010; De Gisi, Lofrano, Grassi y Notarnicola, 2016).

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que los tratamientos sin activación, tanto para el carbón de cáscara de maracuyá (T1 y T2) como para el carbón de endocarpio de durazno (T9 y T10), presentaron un 97.58 % de remoción de nitratos (Apéndice 8). En estos tratamientos, el tiempo de filtración no tuvo influencia. Además, con la mitad de masa de carbón de la cáscara de maracuyá (250 g) se obtuvo el mismo porcentaje de remoción que con el de endocarpio de durazno (500 g). Este comportamiento de remoción fue similar al obtenido por Ramos (2012); quien concluyó que la activación física (sin activante químico) fue mejor frente al carbón procesado con activación química.

Por otro lado, en cuanto a la interpretación estadística, se determinó que no hubo diferencia significativa del tiempo de filtración ($F_{\text{exp}} = 6.989 < F_{\alpha} = 10.128$) ni del tipo de precursor ($F_{\text{exp}} = 6.468 < F_{\alpha} = 10.128$) sobre la remoción de nitratos; sin embargo, si hubo diferencia significativa entre las proporciones de activación; pero solo para el carbón del endocarpio de durazno ($F_{\text{exp}} = 11.415 > F_{\alpha} = 9.277$) (Apéndice 7).

4.6. REMOCIÓN DE FÓSFORO TOTAL

El carbón de la cáscara de maracuyá en el tratamiento T2 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 15 minutos de filtración), presentó el mayor porcentaje de remoción de fósforo total con 81.45 %; mientras que el carbón del endocarpio de durazno en el tratamiento T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 15 minutos de filtración), presentó el mayor porcentaje de remoción de este parámetro con 64.66 % (Tabla 22). Estos resultados (con ambos precursores) resultaron inferiores al obtenido por Isla (2018), quien registró 93.03 % de eficiencia con el carbón activado obtenido del endocarpio de durazno en una agitación de 200 rpm en 2 horas. Sin embargo, fueron superiores al obtenido por Aragón *et al.* (2013); quienes determinaron que el carbón activado de la cáscara de coco, en 4 días de prueba, tuvo una eficiencia de 62.6 % en la remoción de este parámetro. Del mismo modo, fueron superiores al obtenido por Trung (2015); quien registró 42.5 % de remoción con carbón activado obtenido de residuos de madera impregnada con Fe⁺³ en 15 minutos de contacto. La variabilidad de los resultados depende de las diferencias metodológicas. Por ejemplo, Isla (2018) trabajó en condiciones en laboratorio (en agitación) y en un tiempo de contacto de 2 horas; mucho mayor al establecido en esta investigación; 10 y 15 minutos.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el carbón de la cáscara de maracuyá resultó ser el más eficiente en la remoción de este parámetro. Asimismo, en relación con el tiempo de filtrado, a los 15 minutos de filtración se lograron los mayores porcentajes de remoción de fósforo total, para ambos precursores, en comparación a los 10 minutos de filtración. Estos resultados concuerdan con las capacidades de adsorción de fósforo con la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno en los tratamientos sin activación química (T1, T2, T9 y T10).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. En la caracterización fisicoquímica y microbiológica del purín se obtuvo los siguientes resultados: coliformes termotolerantes resultó 49×10^3 NMP.100⁻¹ ml⁻¹; aceites y grasas, 8.7 mg.L⁻¹; detergentes, 0.20 mg.L⁻¹; nitratos, 12.40 mg.L⁻¹; fósforo total, 200.30 mg.L⁻¹; sólidos suspendidos totales, 245.5 mg.L⁻¹; DBO₅, 20.55 mg.L⁻¹; temperatura, 24.50 °C; potencial de hidrógeno, 8.30 unid pH; y conductividad eléctrica, 2 317.00 μS.cm⁻¹. De los cuales, cuatro parámetros del purín presentaron valores superiores a los máximos establecidos en el ECA-Agua, los cuales son: Coliformes (1 000 NMP.100⁻¹ ml⁻¹), aceites y grasas (5.00 mg.L⁻¹), fósforo total (0.15 mg.L⁻¹) y DBO₅ (15.00 mg.L⁻¹).
2. La capacidad de adsorción de nitratos de los purines filtrados con carbón activado de cáscara de maracuyá mostró diferencias en cuanto al tiempo de filtración; obteniéndose la mayor capacidad de adsorción luego de 15 minutos de filtración en los tratamientos donde se usó las proporciones 0.0, 0.2 y 1.0 g H₃PO₄. g⁻¹ (T2, T4 y T8, respectivamente); en los cuales se obtuvieron una adsorción de 0.102 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón activado, partiendo de una concentración inicial de nitratos de 12.4 mg.L⁻¹. Mientras que los tratamientos T1 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 minutos de filtración), T2, T3 (0.2 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado en 10 minutos de filtración), T4 y T8 presentaron el mayor porcentaje de remoción de este parámetro, con 97.58 %.
3. La capacidad de adsorción de nitratos de los purines filtrados con carbón activado de endocarpio de durazno mostró diferencias en cuanto al tiempo de filtración; obteniéndose mayor adsorción de nitratos luego de 15 minutos de filtración. El tratamiento T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón activado en 15 minutos de filtración), presentó la mayor capacidad de adsorción, con 0.051 mg NO₃⁻. g⁻¹ carbón. Mientras que los tratamientos T9 y T10 (0.0 g H₃PO₄. g⁻¹ carbón en 10 y 15 minutos de filtración, respectivamente) presentaron el mayor porcentaje de remoción de este parámetro, con 97.58 %.

4. La mayor capacidad de adsorción y porcentaje de remoción de fósforo total con el carbón de cáscara de maracuyá fue con el tratamiento T2 ($0.0 \text{ H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón en 15 minutos de filtración), con $1.370 \text{ mg P} \cdot \text{g}^{-1}$ carbón y 81.45% , respectivamente
5. La mayor capacidad de adsorción y porcentaje de remoción de fósforo total con el carbón de endocarpio de durazno fue con el tratamiento T10 ($0.0 \text{ H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ carbón en 15 minutos de filtración), con $0.544 \text{ mg P} \cdot \text{g}^{-1}$ carbón y 64.66% , respectivamente.
6. Los carbones de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno, activados con H_3PO_4 no presentaron remoción de fósforo total por la influencia de los residuales del activante químico.
7. El carbón obtenido de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno podrían servir como una alternativa de tratamiento de los purines en la remoción de nitratos y fósforo total.
8. La cáscara de maracuyá (T2) resultó más eficiente frente al endocarpio de durazno (T10) en la adsorción de nitratos con $q_c = 0.102 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón frente a $q_c = 0.051 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{g}^{-1}$ carbón del endocarpio; sin embargo, ambos precursores presentaron el mismo porcentaje de remoción de este parámetro, con 97.58% .
9. La cáscara de maracuyá (T2) resultó el más eficiente frente al endocarpio de durazno (T10) en la adsorción de fósforo total y porcentaje de remoción, con $q_c = 1.370 \text{ mg P} \cdot \text{g}^{-1}$ carbón y 81.45% frente a $q_c = 0.544 \text{ mg P} \cdot \text{g}^{-1}$ carbón y 64.66% del endocarpio.
10. Los carbones sin activación química de ambos precursores resultaron igual o más eficientes en la adsorción y remoción de nitratos y fósforo total de purines que los carbones activados con el H_3PO_4 .

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Oportunidades de mejora para las empresas involucradas

1. Las empresas agroindustriales, que utilizan el maracuyá y el durazno en sus procesos, deberían implementar planes de manejo de estos residuos de manera que garanticen la disposición final adecuada, cuidando los criterios ambientales, sociales y económicos.
2. Las empresas dedicadas a la actividad ganadera, deberían efectivizar el tratamiento de las aguas residuales (tanto domésticas como los purines) por su alta carga de nutrientes y microorganismos.

Estudios futuros

3. Evaluar la viabilidad económica, social y técnica de la producción del carbón de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno, a escalas industriales, para el tratamiento de aguas residuales.
4. Estudiar la eficiencia de los carbones activados obtenidos de la cáscara de maracuyá y el endocarpio de durazno en la remoción de metales pesados como el plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), entre otros.
5. Estudiar otros residuos orgánicos industriales (cáscara de naranja y la pepa de mango, por ejemplo) en la remoción de nitratos y fósforo total en aguas residuales.
6. Estudiar la influencia de carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) sobre los costos de tratamientos de aguas para el consumo humano y los sistemas acuáticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, C. S. A. (2014). *Preparación y caracterización de carbón activado granular obtenido a partir de cuesco de palma africana (Elaeis guineensis) para la adsorción de CO₂*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/46106/1/74382041.2014.pdf>
- Agudelo, A. B. L. (2017). *Estandarización de proceso de producción de carbón activado por activación física a partir de cuesco de palma a escala industrial*. (Tesis de grado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6583/1/6112759-2017-2-IQ.pdf>
- Aguirre, A. N. Y. (2017). *Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus)*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7397/Aguirre_Achaquihui_Nathali_Yola.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alvarado, H. I. C. (2015). *Estructura de costos para los pequeños ganaderos de la Irrigación San Felipe*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2031/E20-A49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez, J., León, C., García, M. y Bécares, E. (2008). Caracterización de purines de cerdo y eficacias de tratamiento en España central (comunidad de Castilla y León). *Innovación y Tecnología Agroalimentaria*, 4, 64-75.
- Álvarez, B. X. (2015). *Modelo conceptual de la eutrofización y proliferación de cianobacterias: Un caso de estudio en el embalse de A Baxe*. (Tesis de doctorado). Universidad de Vigo, Vigo, España. Recuperado de: http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/524/Modelo_conceptual_de_la_eutrofizaci%C3%B3n.pdf?sequence=1
- Ángel, C. C., Nates, P. G., Ospina, T. R. y Melo, O. C. D. (2011). Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora Edulis* Sims F. *edulis*. *Caldasia*, 33 (2), 433-451.
- Aquino, C. F. (2009). *Injerto de yema dormida en cinco variedades precoces de durazno (Prunus persica L.) en la localidad de Tacna*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/548/TG0419.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Aragón, R., Ramírez, J., Coronel, C., Constantino, L. y Vázquez, G. (2013). Uso de Carbón Activado Granular (CAG) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes acuícolas. Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías. Recuperado de: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6239/2013_memoria_simci_roberto.pdf
- Arana, C. J. E. (2016). *Evaluación de la aplicación de carbón activado granular en la filtración del agua clarificada del río Cauca*. (Tesis de grado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9337/1/3754-0505547.pdf>
- Armenta, B. A. D., Cervantes, M. C., Galaviz, L. J. A., Camacho, B. J. R., Mundo, O. M. y García, G. C. (2012). Impacto de la fertilización nitrogenada en agua para consumo humano en el municipio de Guasave Sinaloa, México. *Ra Ximhai*. 8 (3b), 11-16.
- Atocsa, G. R. B. (2015). *Aplicación de riego deficitario de secado parcial de la zona de raíces en el cultivo de durazno, mediante el riego por goteo*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/924/F06-A96-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Glosario de Recursos Hídricos de la ANA. R.J. N° 010-2016-ANA. Lima, Perú, 07 de julio de 2016.
- Báez, T. R. (2015). *Recuperación de fenol de efluentes industriales mediante un proceso automatizado de adsorción en continuo*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/9697/1/1080215173.pdf>
- Bahri, A. M. (2013). *Preparación de carbones activados a partir de semillas de uva y aplicación al tratamiento de aguas*. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España. Recuperado de: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/14208/66518_AL%20Bahri%20Mounia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baíza, V. (2004). *Guía técnica del cultivo del melocotón*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional de Frutas de El Salvador. Recuperado de: <http://repiica.iica.int/docs/B0220e/B0220e.pdf>
- Bañón, J. H. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa*. (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia, Madrid, España. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/97746/BA%C3%91%C3%93N%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20adsorci%C3%B3n%20en%20carb%C3%B3n%20activado%20para%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20Cromo%20hexaval....pdf?sequence=1>
- Barrera, G. A. L. y Velecela, R. F. A. (2015). *Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de*

soluciones viables para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Azogues. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7691/1/UPS-CT004551.pdf>

- Barreto, P. C. E. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de la a pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/2005/Barreto_Informefinal_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bastidas, M., Buelvas, L., Márquez, M. y Rodríguez, K. (2010). Producción de carbón activado a partir de precursores carbonosos del departamento del Cesar, Colombia. *Información Tecnológica*, 21 (3), 87-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000300010>
- Belén, R., Pérez, A., Pérez, M., Moreno, J. y Paredes, C. (2008). Incidencia de la aplicación de purines de cerdo sobre el rendimiento comercial en cultivos hortícolas. *I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas.* Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.
- Beltrán, J., Guajardo, C., Barceló, I. y López, J. (2017). Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52 (3), 417-427. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000300001>.
- Blanco, R. L. (2015). *Análisis y caracterización de purines para la obtención de estruvita y biogás.* (Tesis de grado). Universidad Técnica de Valencia, Madrid, España. Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/71857/48587893W_TFG_14733867190452810241282594269288.pdf?sequence=3
- Bolaños, J., Cordero, G. y Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en marcha*, 30(4), 15-27. DOI: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bravo, M. K. I. y Garzón, M. A. R. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocos nucífera) para remoción de contaminantes en agua.* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/606/1/TMA124.pdf>
- Bino, S. y Chalil, H. (2014). Removal of direct dyes from aqueous solution using passion fruit peel as low cost adsorbent. *Journal on Science Engineering & Technology*, 1 (04), 921-929.
- Campos, E., Illa, J., Magrí, A., Palatsi, J., Solé, F. y Flotats, X. (2004). *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas.* Generalitat de Catalunya, España.

- Campos, G., Castillo, A., Gurreonero, J., Obeso, A., Díaz, V. y Vejarano, R. (2018). Adsorbent material based on passion-fruit wastes to remove lead (Pb), chromium (Cr) and copper (Cu) from metal-contaminated waters. AIP Conference Proceedings 1952, 020079. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5032041>
- Calixtro, L. (2016). *Aprovechamiento del endocarpio de la pepa de durazno para producir carbón activado*. (Tesis de grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/821/Calixtro_ALE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cárdenas, G. y Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Revista Universidad y Salud*, 15(1), 72-88.
- Carranza, R. K. Y. (2015). *Características y propiedades funcionales de Passiflora edulis (Maracuyá)*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4323/CARRANZA%20RIOS%20KELLY%20YESENIA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Carriazo, J., Saavedra, M. y Molina, M. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 21 (3), 224-229.
- Carrillo, Z. J. M. y Lembcke, B. A. (2015). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de elaboración de carbón activado a base de cáscara de café*. (Tesis de grado). Universidad de Lima, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/3216/Carrillo_Zamora_Jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Casamayor, V. J. R. (2018). *Influencia de la velocidad de agitación y la concentración de cobre (II) impregnado en carbón activado de Persea americana en la remoción de nitritos en soluciones acuosas*. (Tesis de grado). Universidad de César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/24975/casamayor_vj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chartier, E. C. A. (2011). *Evaluación de la retención de bacterias Gram negativas entéricas lactosa positivo en columnas de suelo franco limoso, tras aplicación de purín de cerdo tratado anaeróbicamente y sin tratamiento*. (Tesis de grado). Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Recuperado de: <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-constanza-chartier-2011.pdf>
- Chávez, G. C. A. (2018). *Desarrollo de mermelada de pulpa y cáscara de maracuyá (Passiflora edulis flavicarpa), endulzada con stevia (Stevia rebaudiana)*. (Tesis de grado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10199/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-34.pdf>

- Cruz, C. G., Canepa, L. C. y Aguirre, D. (2013). Producción y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales. *Revista Manglar*, 10 (2), 17-25.
- Dedy, M., Hak, P. y Kwang, C. (2018). Ferrihydrite-impregnated granular activated carbon (FH@GAC) for efficient phosphorus removal from wastewater secondary effluent. *Chemosphere*, 207, 527- 533. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.124
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M. y Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40. DOI: 10.1016/j.susmat.2016.06.002
- Delgadillo, G. G. A. (2015). *Caracterización de la pepa de níspero de palo (Mespilus communi) y posibilidades de uso como biosorbente de contaminantes de agua.* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1101/012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De Miguel, C. Vázquez, Y. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22 (3), 1-9.
- Escobedo, S. G. M. (2013). *Valorización de la cáscara de maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg.) como sub producto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico.* (Tesis de grado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Recuperado de: http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/491/TL_Escobedo_Soberon_GilbertoMartin.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Espinal, H., G., B. (2017). *Eficiencia del carbón activado a base de cascara de coco en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el AA. HH. 10 de octubre, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, año 2017.* (Tesis de grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/22568/ESPINAL_HG.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Esquerre, I. B., Rojas, I. C., Llatas, Q. S. y Delgado, P. G. E. (2014). El género *Passiflora* L. (Passifloraceae) en el departamento de Lambayeque, Perú. *Acta Botánica Malacitana*, 39, 55-70.
- Estándar de Calidad Ambiental para Agua. D.S N° 004-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de junio de 2017. pp. 10-19.
- Fernández, M. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. Departamento de Edafología e Química Agrícola. Escola Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela
- Fernández, Y., Castrillón, L., Marañón, E., Fernández, L., Álvarez, M. (2008). Purines de vacuno: emisiones de contaminantes, composición y estudio de posibles

correlaciones. *I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.

- Flores, F. W. J. (2013). *Producción y utilización de biogás a partir de purines, como una alternativa de energía renovable en el C. P. Chen Chen – Moquegua*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4523/Flores_Fernandez_Wilson_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flotats, X., Campos, E. y Palatsi, J. (2004). Concentración de deyecciones ganaderas mediante procesos térmicos. *II Encuentro Internacional gestión residuos orgánicos*. Congreso llevado a cabo en Pamplona, Navarra - España.
- Forero, N. y Fernández, D. (2017). Intoxicación por fósforo blanco en pediatría. *Medicasuis*, 1 (1), 1-6.
- Gallo, Y., Rodríguez, I. y Prieto, J. (2017). Influencia del pH y la temperatura en la adsorción de fenol en agua utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Afinidad*, 74 (579), 176-179.
- García, R. V. K. y Machado, R. R. A. (2011). *Diseño preliminar de una planta para la obtención de carbón activado*. (Tesis de grado). Universidad del Oriente, Puerto La Cruz, Venezuela. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/7412715/universidad-de-oriente>
- Gierak, A. y Lazarska, I. (2017). Adsorption of nitrate, nitrite, and ammonium ions on carbon adsorbents. *Adsorption Science & Technology*, 35 (7–8), 721–727.
- Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. y Wiest, W. (2004). Proceso de producción de carbón activado a partir de cáscaras de palma de aceite en un horno rotatorio y su aplicación en la limpieza de NO. *Palmas*, 25 (2), 461-471.
- Gomis, M., Prat, F., Oliveras, J. y Torrecasana, E. (2013). Contaminación por nitratos en las aguas subterráneas de doce comarcas de Cataluña consideradas zonas vulnerables. *Tecnoaqua*, (3), 55-63.
- Gonzales, H. y Teruya, R. (2004). Estudio preliminar de carbón activado; situación en el Perú. Departamento Académico de Industrias Forestales- Área Transformación Química, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de: https://www.academia.edu/8071614/Carb%C3%B3n_Activado._Estudio_Preliminar_situaci%C3%B3n_en_el_Per%C3%BA
- González, N. B. D. (2017). *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico*. (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147405/Desarrollo-de-carb%C3%B3n-activado-a-partir-de-desechos-agroindustriales-con-aplicacion-en-adsorcion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- González, F., Ortiz, M. y Figueredo, L. (2003). Intoxicación por fósforo blanco. *Revista Colombiana de Neumología*, 16 (3), 198-203.
- Grisales, M. A. L. y Rojas, A. W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*. (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6965/628162G869.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hassler, M. (2019). World Plant: Synonymic Checklists of the Vascular Plants of the World (versión Vov. 2018). En: *Species 2000 y ITIS Catalogue of life, 2019 Annual Checklist*. Roskov, Y., Ower, G., Orell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Bourgoin, T., DeWalt, R. E., Decock, W., Nieuwerkerken, E. V., Zarucchi, J., Penev, L., (Eds.). Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. ISSN 2405-884X. Recuperado de: www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019
- Hernández, E., Quiñones, E., Cristóbal, D. y Rubiños, J. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20 (1), 89-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.024>
- Hernando, E., Cruz, A. y Fische, G. (2014). Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus pérsica* Batsch) en el trópico alto. *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 17 (2), 401-411.
- Herranz, M. y Clerigué, N. (2003). Intoxicación en niños. Metahemoglobinemia. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26 (1), 209-223.
- Hidalgo, S. C. S. y Rivera, G. S. G. (2017). *Obtención de carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria cafetera*. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/42515/D-CD102896.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Hjorth, M., Christensen, K., Christensen, M. y Sommer, S. (2009). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30 (1), 153-180.
- Huamaní, C. C. F. (2018). *Determinación del efecto de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos en la desembocadura del canal de regadío de Las Salinas Bajo-Chancay-Lima*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/572>
- Huan, C., Chung, C. y Nieva, A. (2014). Biosorption of heavy metals on *Citrus maxima* peel, passion fruit shell, and sugarcane bagasse in a fixed-bed column. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 30, 1-7.

- Isla, J. F. G. (2018). *Influencia de la dosis y agitación del carbón activado de Prunus pérsica incrustado con fierro (III), en la remoción de fosfatos de soluciones acuosas*. (Tesis de grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/27273/isla_jf.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Izat, H. (2012). *Nitrate and Nitrite Ion Removal from Aqueous Solutions by Activated Carbon Prepared from Olive Stones*. (Tesis de maestría). An-Najah National University, Nablus, Palestine. Recuperado de: https://staff-old.najah.edu/sites/default/files/Nitrate_and_Nitrite_Ion_Removal_from_Aqueous_Solutions_by_Activated_Carbon.pdf
- Jakszyn, P. (2006). *Nitrosaminas y riesgo de cáncer gástrico*. (Tesis de doctorado). Instituto Catalán de Oncología, Barcelona, España. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7167/tpj.pdf>
- Jianyong, L., Lihua, W., Zhang, L. y Qi, Z. (2011). Effect of pH, ionic strength, and temperature on the phosphate adsorption onto lanthanum-doped activated carbon fiber, *Journal of Colloid and Interface Science*, 364 (2), 490-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.08.067>
- Kinoshita, T. y Mihara, M. (2010). Removal of nitrate nitrogen in activated carbon with calcium treatment. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 1 (2), 107-111
- Kowsalya, E., Gangopadhyay, M., Sharmila, S. y Jeyanthi, L. (2017). Reduction of Nitrate Level using Low cost Adsorbents. *International Journal of ChemTech Research*, 10 (10), 394-399.
- Larios, L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13 (2), 1-9.
- Larrea, V. C. J. (2015). *Aplicación de un filtro de zeolita para potabilización del agua nivel domiciliario sitio Palestina Cantón El Guabo Provincia El Oro*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3120/1/TESIS%20-%20JONATHAN%20LARREA.pdf>
- Lazo, C. R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1043/246.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ley N° 273. Ley de creación del distrito de Végueta. Promulgado el 23 de agosto de 1920.
- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos D.L. N° 1278. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 22 de diciembre de 2016.

Ley General del Ambiente N° 28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre de 2005.

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. D.S. N° 003-2010-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 16 de marzo de 2010. pp. 415675- 415676.

Lobera, J. (1996). *Tratamiento integral de purines*. Madrid: España.

Lobera, J., Martínez, P., Ferrández, F. y Martín, J. (1998). *Reutilización agronómica de los purines del cerdo*. España: Comporapid.

Luna, O. M. T. (1997). *Estudio sobre los efectos de condiciones de almacenamiento en la harinosidad de frutos de durazno (Prunus persica L. Batsch) criollo de Zacatecas*. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. Recuperado de: <http://148.206.53.84/tesiuami/UACH21689.pdf>

Magrí, A. y Flotats, X. (2008). Eliminación biológica de nitrógeno de la fracción líquida de purines de cerdo-modelización del proceso. *I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.

Mamani, C. N. T. y Chávez, M. R. D. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018*. (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú. Recuperado de: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1665/Nancy_Tesis_Licenciatura_2018..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manosalva, V. K. C. (2016). *Efecto del carbón activado en la turbidez del agua del río sector puente Moche-2016*. (Tesis de grado). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/6798/manosalva_vk.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manrique, P. P. L. (2013). *Optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de cromo (VI)*. (Tesis de grado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Recuperado de: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/4312/42.0099.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marañón, E., Castrillón, L., Fernández, Y. y Rodríguez, J. (2008). Eliminación de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en purines de vacuno. *I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.

Martínez, F., Ojeda, D., Hernández, O., Martínez, J. y Quezada, G. (2011). El exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura. *Synthesis*, 57, 11-16.

- Martínez, I. y Saracho, R. (2009). El fósforo y sus implicaciones clínicas. *Servicio de Nefrología*, 29 (5), 1-130.
- Martínez, L. y Provolo, G. (2008). Caracterización del purín de bovino y porcino en la región de Lombardía (Italia): relación entre propiedades físico-químicas y valor fertilizante. *I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.
- Masters, G. y Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Madrid: Pearson Prentice Hall
- Mazarji, M., Aminzadeh, B., Baghdadi, M. y Bhatnagar, A. (2017). Removal of nitrate from aqueous solution using modified granular activated carbon. *Journal of Molecular Liquids*, 233, 1-48. DOI: 10.1016/j.molliq.2017.03.004
- Merino, D., Berano, N. (2006). Cuantificación y caracterización de los residuos ganaderos de Gipuzkoa. Departamento para el Desarrollo del Medio Rural del País Vasco. Recuperado de: <https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2229002/ProyectoInforme.pdf/93c4e8aa-038c-e0ba-142a-522bed05ae22>
- Ministerio de Agricultura. (2013). Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. D.S. N° 009-2013-MINAGRI. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 14 de agosto de 2013.
- Ministerio del Ambiente. (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana. Documento trabajado por procesos de consultoría. Recuperado de: www.minam.gob.pe
- Molinés, C. F. (2015). *Producción de biochar a partir de purines*. (Tesis de maestría). Universidad Zaragoza, Zaragoza, España. Recuperado de: <https://zaguan.unizar.es/record/48087/files/TAZ-TFG-2015-149.pdf>
- Montalvo, J., García, I., Almeida, M., Betanzos, A. y García, N. (2014). Modelación de la eutroficación e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago Sabana Camagüey. *Tecnología química*, 34 (3), 307-323.
- Montoya, V. F. J. (2012). *Estudio de la capacidad del suelo para la degradación de aceites comestibles usados y su incorporación como materia orgánica*. (Tesis de grado). Universidad de Carabobo, Valencia, España. Recuperado de: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/2875/tesis%20francisco.pdf?sequence=1>
- Moonis, K., Yong, A., Mahendra, K., Wontae, L., Booki, M., Gyoobum, K., Dong, C., Won, P. y Byong, J. (2011). Adsorption Studies for the Removal of Nitrate Using Modified Lignite Granular Activated Carbon. *Separation Science and Technology*, LSST-2011-5089.R2.
- Moreno, B., Soto, K. y González, D. (2015). El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 199-205.

- Moreno, J., Navarrete, L. Giraldo, L. y García, V. (2007). Adsorción de Fenol y 3-Cloro Fenol sobre Carbones Activados mediante Calorimetría de Inmersión. *Información Tecnológica*, 18 (3), 71-80.
- Muñoz, R. L. A. y Pacheco, T. F. R. (2019). *Optimización de la mezcla y homogenización de purines de ganado vacuno (Bos primigenius taurus), equino (Equus ferus caballus) y porcino (Sus scrofa domestica), para la obtención de abonos orgánicos.* (Tesis de grado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5966/Mu%c3%b1oz%20Rubio%20%26%20Pacheco%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., Rodwell, V. y Weil, P. (2012). *Bioquímica ilustrada.* (29ª ed.). China: Mc Graw Hill.
- Nava, A. (2005). *Cultivo y manejo del durazno Prunus persica L.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, Coahuila, México.
- Navarro, P., Vargas, C. y Aguayo, C. (2009). Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro. Suplemento de la *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1 (2), 828-838.
- Niño, A. I. V. y Ortiz, R. D. (2008). *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones.* (Tesis de grado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14093/T41.08%20N622e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Noboa, V. E. (2008). *Diseño de un filtro de carbón activado para la remoción de cloro libre residual del agua potable para uso en la industria farmacéutica.* (Tesis de grado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3539>
- Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. R.M. N° 591-2008-MINSA. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 29 de agosto de 2008. pp. 1-23.
- Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones.* Roma, Italia: FAO.
- Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). Buenas prácticas de ordeño. Manual I. Fortaleciendo las dinámicas locales en la cuenca del río Naranjo y cuenca del lago de Atitlán, con énfasis en la producción intensiva agrícola y la producción artesanal de la reconstrucción al desarrollo.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Primer Apéndice a la Tercera Edición. Volumen 1: Recomendaciones.

- Pabón, A., Arismendi, P., Peña, J. y Ruidiaz, M. (2014). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de cáscara de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*). *Investigamus*, 2 (1), 19-23.
- Pacheco, J. y Cabrera, A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 7 (2), 47-54.
- Pacheco, J., Pat, R. y Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 3 (6), 73-81.
- Paredes, D. A. L. (2011). *Estudio de la adsorción de compuestos aromáticos mediante carbón activado preparado a partir de la cascara de castaña*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/827>
- Parera, J., Mallol, C., Domingo, F. y Canut, N. (2010). Determinación rápida de los nutrientes del purín de bovino de leche *in situ* en base a la lectura de la conductividad eléctrica (CE) para una correcta fertilización. *II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.
- Paz, M., Barzola, C., Lazcano, C., Ponce, M. y León, J. (2003). Colifagos como indicadores de contaminación fecal y de remoción bacteriana en la potabilización del agua. *Revista peruana de biología*, 10 (2), 133-144
- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Norma OS. 090. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de mayo de 2006. pp. 84-104.
- Pinos, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., González, C. y Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46, 359-370.
- Ponce, O. E. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*. (Tesis de grado). Universidad de las Américas Puebla, Cholula, México. Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/
- Ramírez, G. C. A. (2009). *El carbón activado para el tratamiento del agua*. (Tesis de grado). Universidad de Sonora, Sonora, México. Recuperado de: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=20980>
- Ramírez, M., Pacheco, J., Gómez, N. y Fuentes, S. (2008). Intoxicación pediátrica por fósforo blanco (saltapericos). Supervivencia a ingesta de dosis potencialmente letal. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 71 (4), 140-144.
- Ramos, R. G. (2012). *Nitrate and phosphate removal from aqueous solutions by biochar and agro-forestry residues*. (Tesis de maestría). Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. Recuperado de:

<https://pdfs.semanticscholar.org/4248/341d3eff1bf84030996466cbfdaf3270f98e.pdf>

- Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. D.S. N° 031-2010-SA. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 24 de setiembre de 2010. pp. 1-46.
- Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. D.S. N° 014-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 20 de diciembre de 2017. pp. 18-49.
- Rendón, J. S., Ocampo, J. y Urrea, R. (2013). Estudio sobre la polinización y biología floral en *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, como base para el premejoramiento genético. *Acta Agronómica*, 62 (3), 232-241.
- Rivera, M., Rodríguez, C. y López, J. (2009). Contaminación fecal en hortalizas que se expenden en mercados de la ciudad de Cajamarca, Perú. *Revista peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26 (1), 45-48.
- Rodríguez, P., Giraldo, L. y Moreno, J. (2010). Influencia del Ph sobre la adsorción en carbón activado de cd (II) y Ni (II) desde soluciones acuosas. *Revista Colombiana de Química*, 39 (3), 401-412.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*. (2th ed.) Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.
- Rufete, B., Perez, M., Perez, A., Moral, R., Moreno, J. y Paredes, C. (2006). Total and faecal coliform bacteria persistence in a pig slurry amended soil. *Livestock Science*, 102, 211-215.
- Ruiz, M. A. I. (2019). *Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua de la quebrada Yanayacu para conservación del ambiente acuático, valle del Shanusi - 2018*. (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú. Recuperado de: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1919/Ana_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, N., Molinés, F., Mateo, J., Fonts, I. y Gea, G. (2017). Valorización de purines mediante pirolisis. V Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A. Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón, Universidad de Zaragoza, España.
- Salcedo, G. (2008). Estimación de excretas en sistemas de producción de leche basados en el aprovechamiento de forrajes. *I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.
- Sanchez, B. T. (2017). *Evaluación preliminar de variantes para la revalorización de los residuos en la Unidad Integral No.1 de la Empresa Porcina Cienfuegos*. (Tesis de grado). Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/1294/Evaluaci%C3%B3n%20preliminar%20de%20variantes%20para%20la%20revalorizaci%C3%B3n%20de%20los%20residuos%20en%20la%20Unidad%20Integral%20No.1%20de%20la%20Empresa%20Porcina%20Cienfuegos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Satayeva, A., Howell, C., Korobeinyk, A., Jandosov, J., Inglezakis, V., Mansurov, Z. y Mikhailovsky, S. (2018). Investigation of rice husk derived activated carbon for removal of nitrate contamination from water. *Science of the Total Environment*, 630, 1237-1245.
- Sato, N. P. E. (2010). *Influencia de los factores que intervienen en la digestión anaeróbica de purines de bovino para obtener bioabono*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5202/TESIS%20DOCTORADO%20-%20PAUL%20ESTEFAN%20SATO%20NESTARES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Serrano, E. (2001). Aplicación agronómica de purín de cerdo y de un polielectrolito: efectos en el cultivo de Ryegrass y en las aguas de drenaje. *XXXVIII Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.
- Soto, P. F. J. (2007). *Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado*. (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104603/soto_fp.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Tafur, R. P. A. y Altamirano, C. E. (2016). *Diagnóstico ambiental urbano para planear el ordenamiento territorial y el uso racional de los recursos naturales del distrito de Végueta*. (Tesis de grado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú. Recuperado de: http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/2513/1/tafur_altamirano.pdf
- Talledo, B. J. (2013). *Uso de los residuos de hueso de aceituna para obtener carbón activado*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Recuperado de: http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/2475/207_2013_talledo_bermudez_j_fain_metalurgia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tapia, T. Y. y García, O. F. (2016). Fósforo: la nueva arista de la crisis global ambiental. *Oikos*, 16, 22-24. Recuperado de: <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/images/Pdfs/2016-1.pdf>
- Tejada, C., Villabona, Á. y Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18 (34), 109-123.
- Tercero, G. M. C. (2016). *Procesos biogeoquímicos y eliminación de nitrógeno y fósforo de aguas eutrofizadas en humedales del entorno del Mar Menor: resultados experimentales en mesocosmos*. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6069/mctg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Trung, N. N. (2015). *Adsorption of phosphorus from wastewater onto biochar: batch and fixed-bed column studies*. (Tesis de grado). Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finlandia. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/376a/236a4adb11dda1f3f191772a11a3a04ebb0a.pdf>
- Ubach, M. N. y Teria, E. M. (2006). Almacenamiento de deyecciones ganaderas. *Dossier Tecnic*, 14, 7-10. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_dt/dt_2006_14_completa.pdf
- Universidad de Sevilla. (2016). Manual del Carbón activo. Máster en Ingeniería del Agua. Recuperado de: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Ures, P., Jácome, A. y Suarez, J. (2014). Adsorción en carbón activo. Fichas Técnicas de etapas de proceso de plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Universidad de Coruña, España.
- Varnero, M. T., Muñoz, S. y Zúñiga, R. (2009). Valorización agrícola de purines porcinos procesados con aserrín de pino. *Información tecnológica*, 20(6), 85-92.
- Vásquez, M. E. T. (2018). *Calidad del agua del río Cumbe empleando filtro francés y carbón activado*. (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14983>
- Vega, O. C. (2017). *Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados*. (Tesis de grado). Universidad Complutense, Madrid, España. Recuperado de: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf>
- Vinelli, R. R. N. (2012). *Estudio analítico de nitratos en aguas subterráneas en el distrito San Pedro de Lloc*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1463/VINELLI_RAMIREZ_RINA_ESTUDIO_NITRATO_AGUAS_SUBTERRANEAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Viñas, M., Sotres, A., Guivernau, M., Prenafeta, F., Magrí, A., Bonmatí, A., Flotats, X. y Gerritse, J. (2010). Caracterización molecular de las poblaciones microbianas en una Celda de Biocombustible (MFC) que opera con purines vacunos. *II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.
- Wanat, D. (2017). *Eliminación de fósforo en aguas de proceso de concentración de roca fosfórica por el proceso de la estruvita*. (Tesis de grado). Universidad de Madrid, Madrid, España. Recuperado de: http://oa.upm.es/48727/1/PFG_DOMINIK_WANAT.pdf

Yang, L., Yang, M., Xu, P., Zhao, X., Bai, H. y Li, H. (2017). Characteristics of Nitrate Removal from Aqueous Solution by Modified Steel Slag. *Water*, 9 (10), 757. DOI: doi.org/10.3390/w9100757

Zambrano, H. C. D. (2010). *Evaluación y análisis de la calidad del agua del estuario del Río Guayas*. (Tesis de grado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1183/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-27.pdf>

TERMINOLOGÍA

Activación física. Consiste en el incremento de la porosidad de los carbones preparados mediante la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas (Manosalva, 2016).

Activación Química. Consiste en la reacción entre el sólido precursor de carbón activado y el agente químico activante, en donde la concentración de los reactivos, la temperatura y el tiempo de activación determinan la extensión de la reacción (González, 2017).

Adsorbato. Es aquella sustancia absorbida por un carbón activado o por otro material adsorbente (sustancia denominada como contaminante). Sustancia que ocupa sitios libres sobre una superficie (Niño y Ortiz, 2008).

Bioadsorción. Es un proceso que permite la captación de iones metálicos, debido a la propiedad de diversas biomásas vivas o muertas poseen para enlazar y acumular este tipo de contaminantes por diferentes mecanismos (Tejada, Villabona y Garcés, 2015).

Agente de activación. Compuesto que genera un efecto de degradación sobre la celulosa y otros componentes de la materia prima. La acción energética del agente activante hace que se rompan los enlaces laterales, permaneciendo inalterable la cadena principal incrementándose los poros 6 huecos inter o intra moleculares (Barreto, 2013).

Calidad ambiental: condición de equilibrio natural que describe el conjunto de procesos geoquímicos, biológicos y físicos, y sus diversas y complejas interacciones, que tienen lugar a través del tiempo, en un determinado espacio geográfico. La calidad ambiental se puede ver impactada, positiva o negativamente, por la acción humana; poniéndose en riesgo la integridad del ambiente así como la salud de las personas (MINAM, 2012).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C) (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

Estándar de Calidad Ambiental (ECA): es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa significativo para la salud de las personas ni al ambiente (Ley General del Ambiente N° 28611).

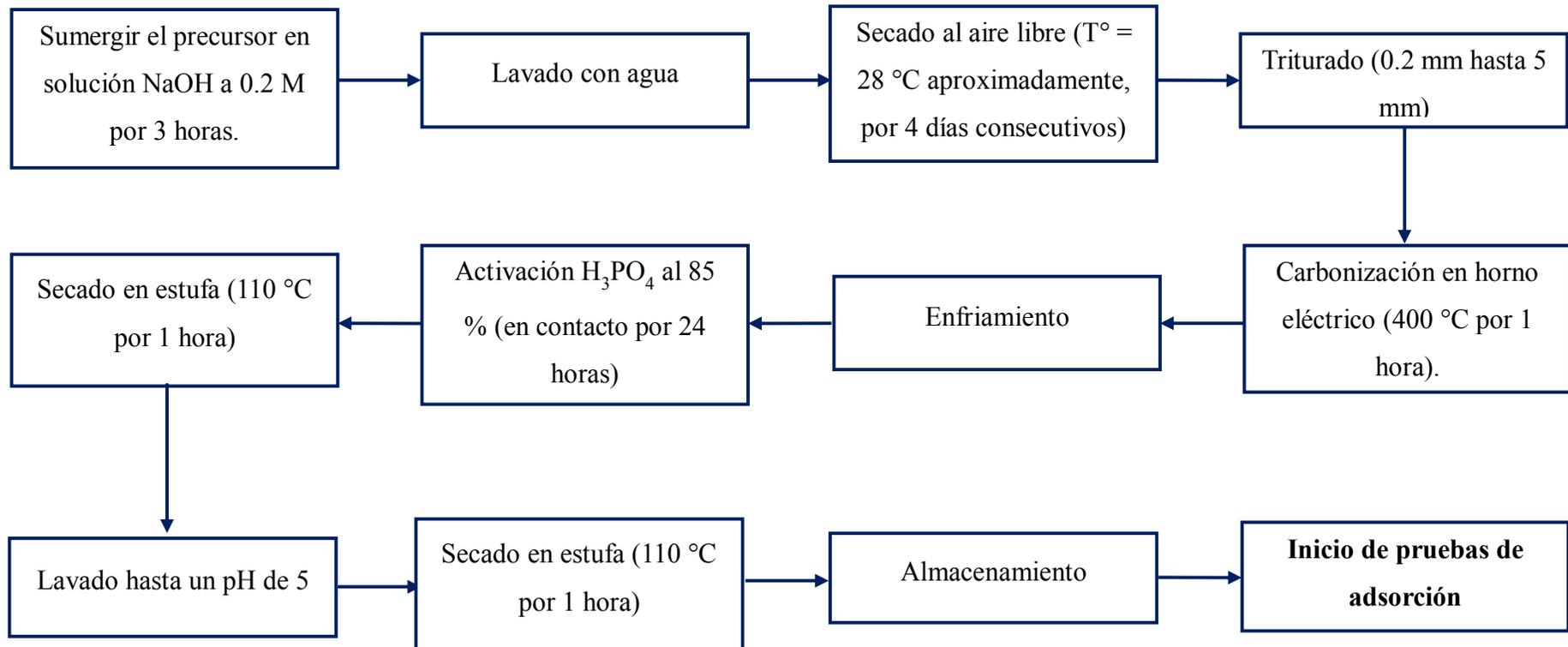
Pirólisis. Consiste en un proceso de descomposición termoquímica de la materia carbonosa (biomasa) a temperaturas entre 400 °C y 600 °C en ausencia de oxígeno, obteniéndose tres productos: un sólido carbonoso, un líquido orgánico y un gas combustible. Este proceso permite la obtención, a partir de la biomasa, de energía y/o productos químicos de valor añadido y, en el caso de los purines, permiten además la recuperación de nutrientes (Molinés, 2015).

Residuos sólidos: cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos D.L. N° 1278).

UTM: La Proyección Transversal Universal de Mercator, es un sistema utilizado para convertir coordenadas geográficas esféricas en coordenadas cartesianas planas (Ministerio de Agricultura [MINAGRI], 2013).

APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama del proceso de producción de carbón activado: Metodología adaptada de Barreto (2013)



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Barreto, 2013.

Apéndice 2. Registro fotográfico de activación de la cáscara de maracuyá y del endocarpio de durazno

Pesado de la cáscara de maracuyá secada en la estufa



Fuente: Elaboración propia.

Proceso de carbonización



Fuente: Elaboración propia.

Pesado para la activación química



Fuente: Elaboración propia.

Proceso de activación con el ácido fosfórico



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3. Verificación de supuestos como prerrequisito para el ANOVA

Para determinar el ANOVA se debe tener en cuenta una serie de supuestos del modelo:

- Verificación del supuesto de normalidad de los errores

Ho: Los datos si están normalmente distribuidos.

Ha: Los datos no están normalmente distribuidos.

Regla de decisión:

Si p-valor (sig.) $> \alpha$, se acepta la Ho. El cual significa que se cumple el supuesto.

Prueba de Shapiro-Wilk

Factores	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
	0.00	0.989	4	0.952
Proporción de activación:	0.20	0.849	4	0.224
	0.60	0.971	4	0.850
	1.00	0.791	4	0.086

Fuente: Elaboración propia.

- Verificación del supuesto de homogeneidad de varianza

Ho: Las varianzas son iguales.

Ha: Las varianzas son diferentes.

Regla de decisión:

Si p-valor (sig.) $> \alpha$, se acepta la Ho. El cual significa que se cumple el supuesto.

Tabla 23

Prueba de homogeneidad de varianzas

Estadístico de Levene	g1	g2	Sig.
1.981	3	12	0.171

Fuente: Elaboración propia.

- **Verificación del supuesto de normalidad de los errores**

Este supuesto si se cumple; dado que los datos son de diferentes tratamientos (proporciones).

Apéndice 4. ANOVA: capacidad de adsorción de nitratos

MATRIZ DE DATOS DE ENTRADA

Tiempo	Cáscara de maracuyá				Endocarpio de durazno			
	0.0	0.2	0.6	1.0	0.0	0.2	0.6	1.0
10min	0.068	0.068	0.028	0.022	0.034	0.010	0.018	0.019
15min	0.102	0.102	0.060	0.102	0.051	0.013	0.036	0.039

Fuente: Elaboración propia.

Factor A: tiempo de filtración (10 y 15 minutos).

Factor B: Proporciones de activación (0.0, 0.20, 0.60 y 1.0)

Factor C: Precusores (cáscara de maracuyá y endocarpio de durazno).

Factores	A	B	C
Niveles	a = 2	b = 4	c = 2

1. Determinación de totales marginales

AxB	0.0	0.2	0.6	1.0	A
10min	Y _{11.} = 0.102	Y _{12.} = 0.078	Y _{13.} = 0.046	Y _{14.} = 0.041	Y _{1..} = 0.267
15min	Y _{21.} = 0.153	Y _{22.} = 0.115	Y _{23.} = 0.096	Y _{24.} = 0.141	Y _{2..} = 0.505
B	Y _{,1.} = 0.255	Y _{,2.} = 0.193	Y _{,3.} = 0.142	Y _{,4.} = 0.182	Y _{...} = 0.772

Fuente: Elaboración propia.

AxC	Cáscara de maracuyá	Endocarpio de durazno
10min	Y _{1,1} = 0.186	Y _{1,2} = 0.081
15min	Y _{2,1} = 0.366	Y _{2,2} = 0.139
C	Y _{.,1} = 0.552	Y _{.,2} = 0.220

Fuente: Elaboración propia.

BxC	Cáscara de maracuyá	Endocarpio de durazno
0.0	Y,11 = 0.17	Y,12 = 0.085
0.2	Y,21 = 0.17	Y,22 = 0.023
0.6	Y,31 = 0.088	Y,32 = 0.054
1.0	Y,41 = 0.124	Y,33 = 0.058

Fuente: Elaboración propia.

2. Determinación de suma de cuadrados

$$SCT = \sum i, j, k Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abc} = 0.068^2 + 0.102^2 + \dots + 0.039^2 - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} = 0.01560700$$

$$SCA = \frac{\sum i Y_{i..}^2}{bc} - \frac{Y_{...}^2}{abc} = \frac{0.267^2 + 0.505^2}{4 \times 2} - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} = 0.00354025$$

$$SCB = \frac{\sum j Y_{.j.}^2}{ac} - \frac{Y_{...}^2}{abc} = \frac{0.255^2 + 0.193^2 + 0.142^2 + 0.182^2}{2 \times 2} - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} = 0.00164150$$

$$SCC = \frac{\sum k Y_{...k}^2}{ab} - \frac{Y_{...}^2}{abc} = \frac{0.552^2 + 0.220^2}{2 \times 4} - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} = 0.00688900$$

$$\begin{aligned} SC(AB) &= \frac{\sum i, j Y_{ij.}^2}{c} - \frac{Y_{...}^2}{abc} - SCA - SCB \\ &= \frac{0.102^2 + 0.153^2 + \dots + 0.141^2}{2} - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} - 0.00354025 \\ &\quad - 0.00164150 = 0.00057725 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SC(BC) &= \frac{\sum j, k Y_{.jk}^2}{a} - \frac{Y_{...}^2}{abc} - SCB - SCC \\ &= \frac{0.170^2 + \dots + 0.054^2}{2} - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} - 0.00164150 - 0.00688900 \\ &= 0.00169750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SC(AC) &= \frac{\sum j, k Y_{i,k}^2}{b} - \frac{Y_{...}^2}{abc} - SCA - SCC \\
 &= \frac{0.186^2 + \dots + 0.139^2}{4} - \frac{0.772^2}{2 \times 4 \times 2} - 0.00354025 - 0.00688900 \\
 &= 0.00093025
 \end{aligned}$$

$$SCR = SCT - SCA - SCB - SCC - SC(AB) - SC(BC) - SC(AC) = 0.00033125$$

3. Tabla ANOVA

Ho: Las medias de los tratamientos realizados son iguales.

Ha: Al menos una de las medias de los tratamientos es diferente.

Análisis de Varianza

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrados medios	F _{exp}
Factor A	0.0035402500	1	0.0035402500	32.063
Factor B	0.0016415000	3	0.0005471667	4.955
Factor C	0.0068890000	1	0.0068890000	62.391
AxB	0.0005772500	3	0.0001924167	1.743
AxC	0.0009302500	1	0.0009302500	8.425
BxC	0.0016975000	3	0.0005658333	5.125
Residual	0.0003312500	3	0.0001104167	
TOTAL	0.015607	15		

Fuente: Elaboración propia.

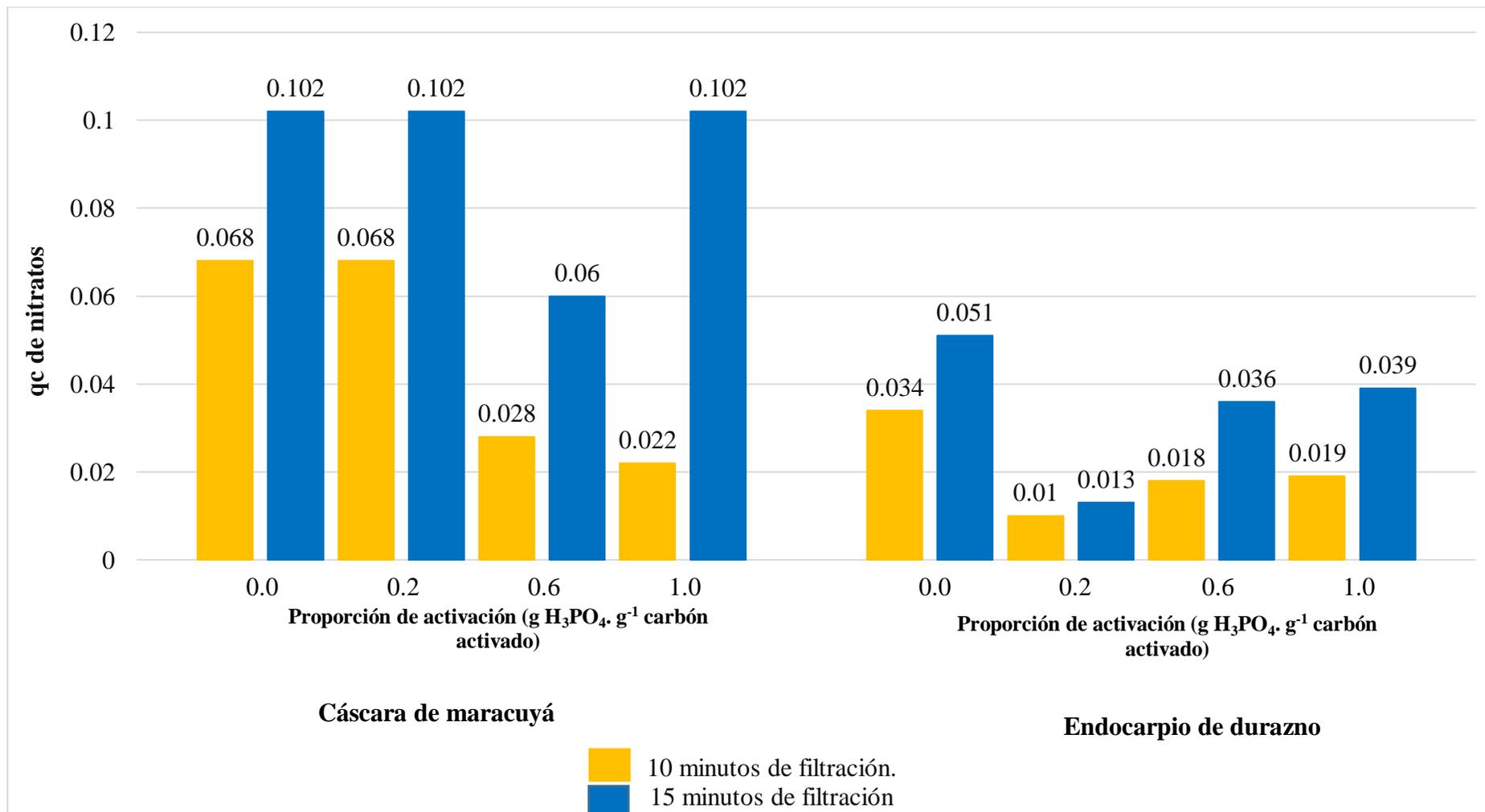
Contrastes

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

A	F(1,3) = 10.128	F _{exp} = 32.063	F _{exp} > F α	Rech. Ho
B	F(3,3) = 9.277	F _{exp} = 4.955	F _{exp} < F α	Acep. Ho
C	F(1,3) = 10.128	F _{exp} = 62.391	F _{exp} > F α	Rech. Ho
AB	F(3,3) = 9.277	F _{exp} = 1.743	F _{exp} < F α	Acep. Ho
AC	F(1,3) = 10.128	F _{exp} = 8.425	F _{exp} < F α	Acep. Ho
BC	F(3,3) = 9.277	F _{exp} = 5.125	F _{exp} < F α	Acep. Ho

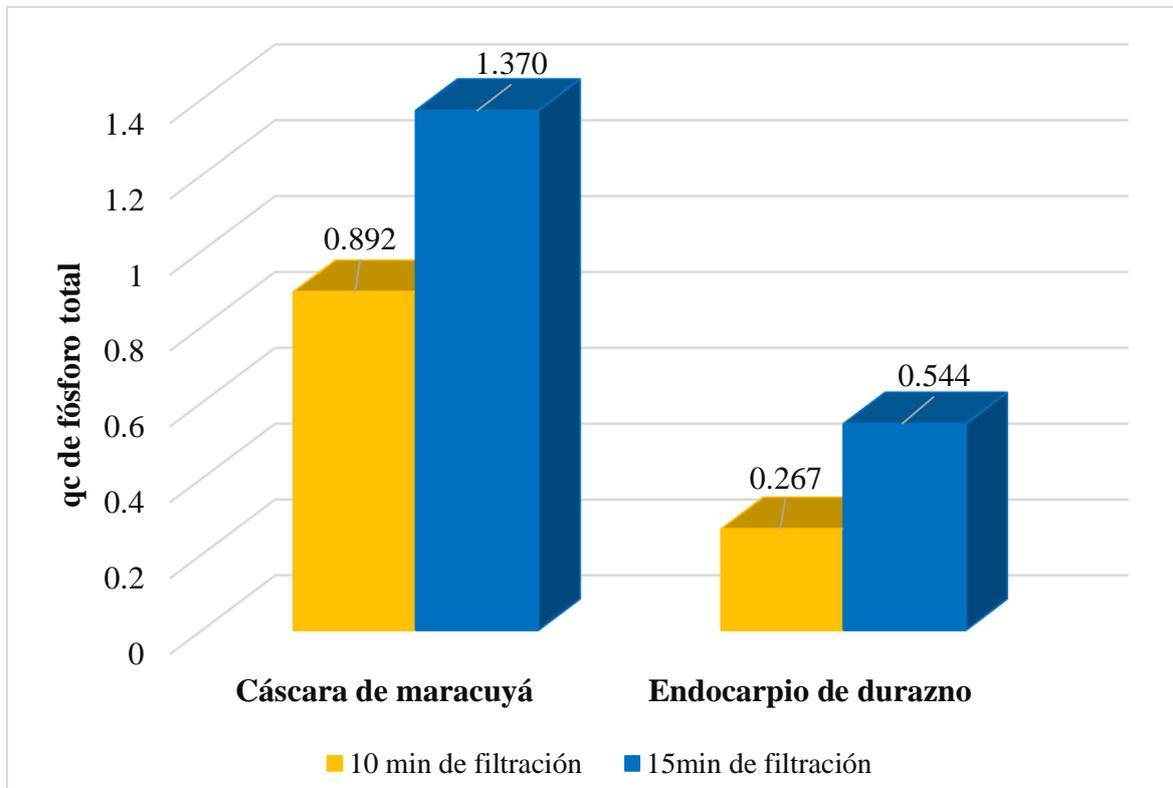
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5. Capacidad de adsorción de nitratos de todos los tratamientos



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 6. Capacidad de adsorción de fósforo total de los tratamientos T1, T2, 79 y T10 (sin activación química)



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7 ANOVA: porcentaje de remoción de nitratos

Ho: Las medias de los tratamientos realizados son iguales.

Ha: Al menos una de las medias de los tratamientos es diferente.

Análisis de Varianza

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrados medios	F_{exp}
Factor A	884.467600	1	884.467600	6.989
Factor B	4333.436625	3	1444.478875	11.415
Factor C	818.532100	1	818.532100	6.468
AxB	1335.327350	3	445.109117	3.517
AxC	147.744025	1	147.744025	1.168
BxC	4300.808250	3	1433.602750	11.329
Residual	379.640625	3	126.546875	
TOTAL	12199.956575	15		

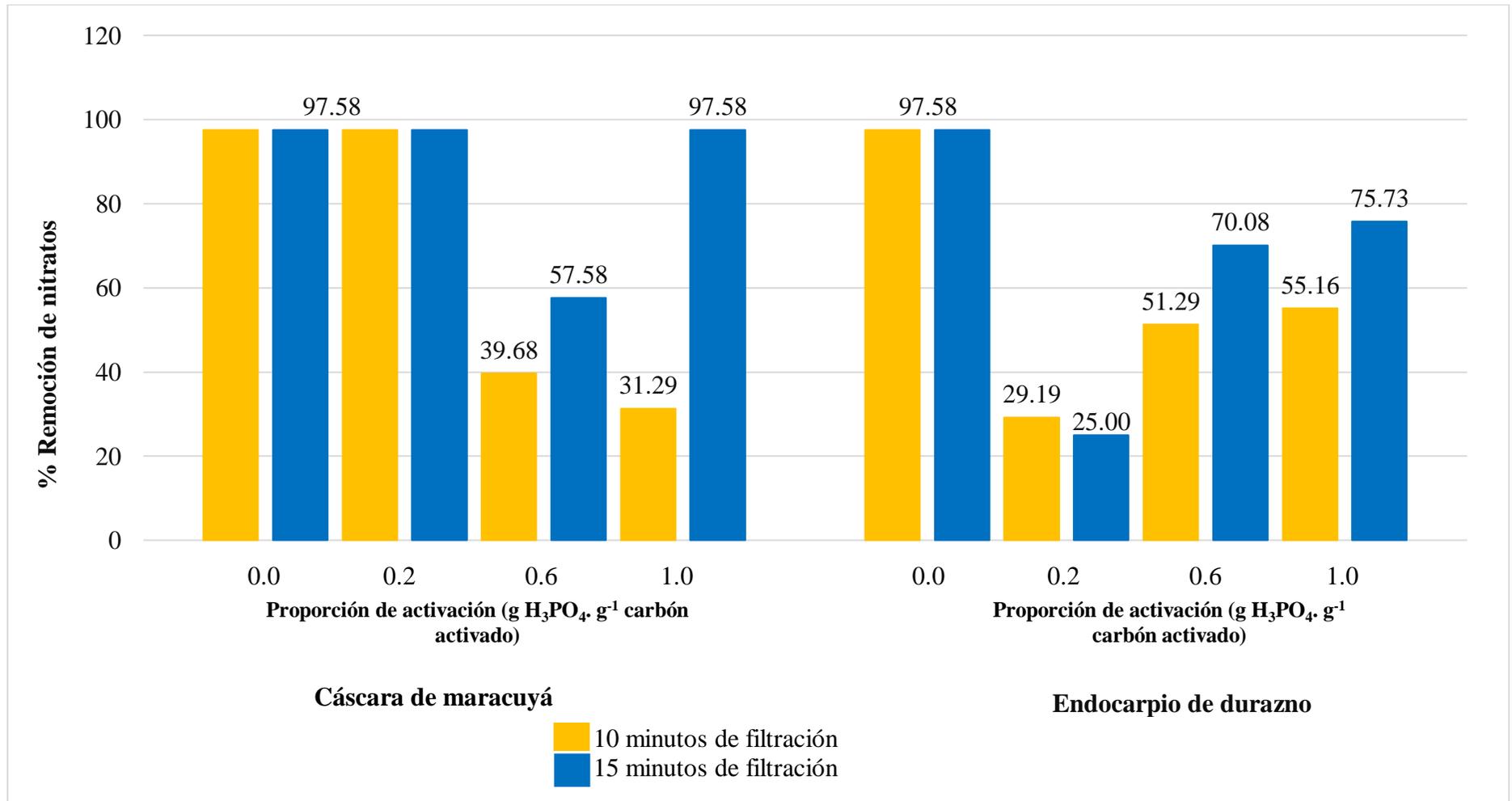
Fuente: Elaboración propia.

Contrastes

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$				
A	$F(1,3) = 10.128$	$F_{exp} = 6.989$	$F_{exp} < F_{\alpha}$	Acep. Ho
B	$F(3,3) = 9.277$	$F_{exp} = 11.415$	$F_{exp} > F_{\alpha}$	Rech. Ho
C	$F(1,3) = 10.128$	$F_{exp} = 6.468$	$F_{exp} < F_{\alpha}$	Acep. Ho
AB	$F(3,3) = 9.277$	$F_{exp} = 3.517$	$F_{exp} < F_{\alpha}$	Acep. Ho
AC	$F(1,3) = 10.128$	$F_{exp} = 1.168$	$F_{exp} < F_{\alpha}$	Acep. Ho
BC	$F(3,3) = 9.277$	$F_{exp} = 11.329$	$F_{exp} > F_{\alpha}$	Rech. Ho

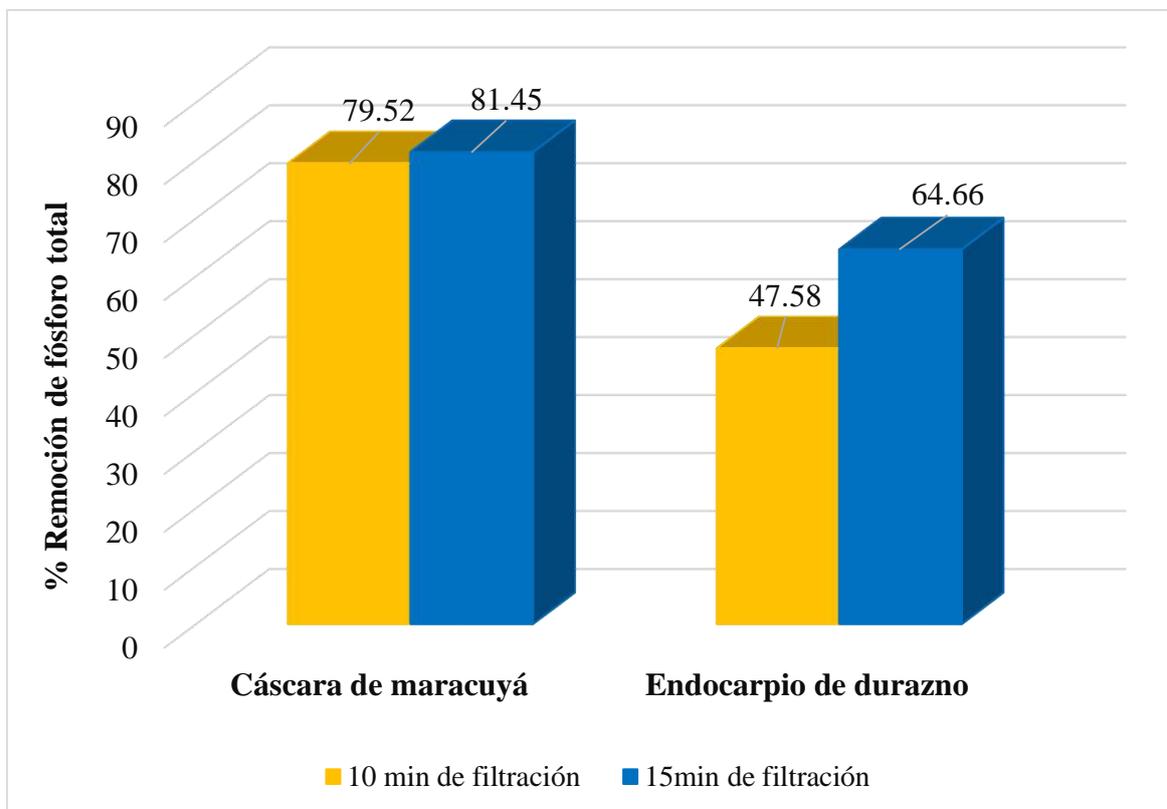
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 8. Porcentaje de remoción de nitratos de todos los tratamientos



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 9. Porcentaje de remoción de fósforo total de los tratamientos T1, T2, 79 y T10 (sin activación química)



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 10. Dosificación del agente activante (H₃PO₄) para los tratamientos

Tratamiento 0 g H₃PO₄/g Carbón

Este tratamiento no tuvo activación química.

Tratamiento 0.2 g H₃PO₄/g Carbón

Dado que el H₃PO₄ al 85 % es un líquido, son necesarios los siguientes cálculos:

Densidad del H₃PO₄ al 85 % es:

$$\rho_{H_3PO_4} = \frac{1.685g}{ml}$$

Para mejorar el ajuste de los tratamientos, el 0.2 fue multiplicado por 100, quedando de la siguiente manera:

$$Tratamiento = \frac{0.2 g H_3PO_4}{1 g Carbón} \cong \frac{20 g H_3PO_4}{100 g Carbón}$$

Luego, se realizó la dosificación con la regla de 3 simples:

$$\begin{array}{ccc} 1.685 g H_3PO_4 & \diagdown & 1 ml \\ 20.000 g H_3PO_4 & \diagup & x \end{array}$$

$$x = \frac{20.000 g H_3PO_4 \times 1 ml}{1.685 g H_3PO_4} \cong 11.87 ml \cong \mathbf{12 ml}$$

Este (x = 12 ml) significa que esta cantidad del agente activante es necesario para la activación de 100 g de carbón.

Cuadro resumen de la dosificación en los tratamientos

Tratamientos (g H ₃ PO ₄ . g ⁻¹ Carbón)	Tratamiento (ml H ₃ PO ₄ . 100 ⁻¹ g ⁻¹ Carbón)	Masa del precursor (g)	Dosificación final (ml H ₃ PO ₄ . 500 ⁻¹ g ⁻¹ Carbón)
PRECURSOR: Endocarpio de durazno			
0.0	0	500	0
0.2	12	500	60
0.6	36	500	180
1.0	59	500	295
PRECURSOR: Cáscara de maracuyá			
0.0	0	250	0
0.2	12	250	60
0.6	36	250	90
1.0	59	250	147.5

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 11. Informe de ensayo del Laboratorio



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



INFORME DE ENSAYO N° 132286 - 2019 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	: ROSANGÉLICA DIANA OBREGÓN OLORTEGUI
DOMICILIO LEGAL	: AV. JHON F. KENNEDY N° 280 PRIMAVERA, VEGUETA- LIMA- HUaura
SOLICITADO POR	: ROSANGÉLICA DIANA OBREGÓN OLORTEGUI
REFERENCIA	: RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-04-14
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2019-04-14 AL 2019-04-20
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2019-04-13
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Acetres y grasas (HEM)	EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel-Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; non-polar Material) by Extraction and Gravimetry, 2010	0.5 ^(a)	mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.	2.00 ^(a)	mg/L
SAAN (Detergentes)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23rd Ed. 2017. Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS.	0.050	mg/L
Sólidos suspendidos totales (TSS)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	3.00	mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 ^(a)	NPH/100ml

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

(b) Expresado como límite de detección del método.

Blgo. Roger Aparicio Estrada
C.B.P. N° 7403
Asesor Técnico Biológico

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.O.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod.: F102/Rev3/01-08/15-03/2018

* El Método analítico no ha sido acreditado por INACAL-DA.

ERA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Las pruebas de la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización expresa de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras deben conservarse de acuerdo al protocolo de preservación del laboratorio analítico con un máximo de 30 días en refrigerador las muestras al líquido. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo lab@serviag.com. • Cualquier modificación en esta copia, impide la trazabilidad de la información de este documento es legal y sus adjuntos pueden ser procesados de acuerdo a la ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1505 Urb. Ciudad Pisco Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pisco Clorinda Matto de Tame N° 2079 - Urb. Págs. 1 de 2
• Central Telefónica (511) 425-0845 • Web www.serviag.com • Contacto Electrónico serviag@serviag.com



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Experto F12 001

**INFORME DE ENSAYO N° 132286 - 2019
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-13	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:41	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	
Código del Cliente	CF-17	
Código del Laboratorio	19041131	
Ensayo	Unidad	Resultados
Numeración de Coliformes Fecales (1)	NMP/100ML	49x10 ³
Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-13	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:42	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	
Código del Cliente	AG-17	
Código del Laboratorio	19041131	
Ensayo	Unidad	Resultados
Aceites y grasas (HEM)	mg/L	0.7
Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-13	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:43	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	
Código del Cliente	SAAM-17	
Código del Laboratorio	19041131	
Ensayo	Unidad	Resultados
SAAM (Detergentes)	mg/L	0.200
Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-13	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:44	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	
Código del Cliente	TSK-17	
Código del Laboratorio	19041131	
Ensayo	Unidad	Resultados
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	245.5
Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-13	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:45	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	
Código del Cliente	DBOS-17	
Código del Laboratorio	19041131	
Ensayo	Unidad	Resultados
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	20.55

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

Bigo. Roger Aparicio Estrada
C.B.P. N° 7403
Asesor Técnico Biológico

Lima, 09 de Mayo del 2019.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Doc.: F1.02/Nov.01.03/F1.02/2018

* El Método indicado es el método aprobado por INACAL-DA.

DM: Laboratorio Protección Ambiental ASIME: American Society for Testing and Materials RTP: Norma Técnica Peruana

OSERVA/INER: • Este informe de resultados es válido solo si se realizó el análisis de muestra y muestra que se usó la acreditación de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las matrices y métodos de análisis indicados. • Las muestras analizadas deben ser de reciente origen y no deben estar almacenadas por un periodo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. • Luego de los 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio, el informe de resultados puede ser emitido. • Para conocer la Acreditación del presente informe consulte al sitio web www.serviciosanaliticos.com. • Cualquier modificación no autorizada, hace a los datos emitidos no válidos y de la responsabilidad de los usuarios de este documento. • No se permite la reproducción o copia de este informe.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1566 Urb. Ciudad del Norte - Lima • Oficina Administrativa Pasaje Ciudad del Norte N° 2073 - Lima. Página 2 de 2

• Central: Telefónica (51) 425-6385 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Norma N° 01

INFORME DE ENSAYO N° 132537 - 2019 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:01	10:06	10:16	10:21	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	P-1	P-2	P-3	P-4	
Código del Laboratorio	19042012	19042013	19042014	19042015	
Ensayo	Unidad	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	813	820.6	3783	3057
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:31	10:36	10:46	10:51	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	P-5	P-6	P-7	P-8	
Código del Laboratorio	19042016	19042017	19042018	19042019	
Ensayo	Unidad	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	4.96	4.07	1.785	22.26
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:01	11:06	11:16	11:21	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	P-9	P-10	P-11	P-12	
Código del Laboratorio	19042020	19042021	19042022	19042023	
Ensayo	Unidad	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	3974	3982	1618	1151
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	2019-04-25	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:31	11:36	11:46	11:51	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	P-13	P-14	P-15	P-16	
Código del Laboratorio	19042024	19042025	19042026	19042027	
Ensayo	Unidad	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	41.02	37.16	105	200.3
Producto declarado	Agua Residual				
Matriz analizada	Agua Residual				
Fecha de muestreo	2019-04-25				
Hora de inicio de muestreo (h)	12:01				
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada				
Código del Cliente	P-17				
Código del Laboratorio	19042028				
Ensayo	Unidad	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	70.79			

Quim. Bethel Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico
 Lima, 09 de Mayo del 2019.

EXPERTS WORKING FOR YOU

Cod: 1103/Rev: 08/10/2018

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.
 EPA, Environmental Protection Agency; ASTM, American Society for Testing and Materials; NTP, Norma Técnica Peruana.
DISPOSICIONES: • Este es el único documento válido del presente documento a menos que sea la última edición de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para el negocio referido en el presente informe. • Las multiplicaciones de unidades de acuerdo al método de análisis realizado con un máximo de 30 días es hasta luego de las muestras al laboratorio. Luego serán al mercado. • Para verificar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com • Cualquier modificación no autorizada, invalida la certificación del contenido de la información de este documento es bajo su responsabilidad.
 pueden ser prioridad de acuerdo a lo

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
 Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rica Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Chimú de Tumbes N° 2070 - Lima **Página 2 de 2**
 • Central Telefónica (511) 425-8885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com