

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD DE AGUAS MIELES POR
APLICACIÓN DE CARBON ACTIVADO COMERCIAL Y ORGÁNICO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

JOIS NOLBERTO RICOPA LEON

Asesor

ING. M. SC. ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°131-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 16 de octubre de 2025, a horas 07:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD DE AGUAS MIELES POR APLICACIÓN DE CARBON ACTIVADO COMERCIAL Y ORGÁNICO”

Presentado por el Bachiller: **RICOPA LEON, JOIS NOLBERTO** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 01 de diciembre de 2025


Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
PRESIDENTE


Ing. MSc. PATRICIA PILAR ROMERO USHUÑAHUA
MIEMBRO




Ing. M. Sc. ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA
MIEMBRO


Ing. MSc. ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR
ASESOR



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
 Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 014 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD DE AGUAS MIELES POR APLICACIÓN DE CARBON ACTIVADO COMERCIAL Y ORGÁNICO	JOIS NOLBERTO RICOPIA LEON	03 % Tres	Menor a 20 %

Tingo María, 15 de enero de 2026.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
 ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
 JEFE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
VICERECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”
“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional	: Ingeniería Ambiental
Título del proyecto	: Eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles por aplicación de carbón activado comercial y orgánico
Objetivo general	: Evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles por aplicación de carbón activado comercial y orgánico
Autor	: Br. Jois Nolberto Ricopa Leon
DNI	: 61232834
Correo Electrónico	: jois.ricopa@unas.edu.pe
Asesor	: Ing. M. Sc. Angie Tatyana Fernández Escobar
Área de investigación	: Ciencia y tecnología Ambiental - PIBIOT
Grupo de investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental
Línea(s) de investigación	: Tecnología para reducir la contaminación
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Fecha de inicio	: 08 de junio del 2024
Fecha de término	: 08 de diciembre del 2024
Presupuesto	: S/. 4.383,00
Financiamiento	: Propio (X) FEDU () Externo ()

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD DE AGUAS MIELES POR APLICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL Y ORGÁNICO

Autor	: Br. Jois Nolberto Ricopa Leon
Asesor	: Ing. M. Sc. Angie Tatyana Fernández Escobar
Área de investigación	: Ciencia y tecnología Ambiental - PIBIOT
Grupo de investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental
Línea(s) de investigación	: Tecnología para reducir la contaminación
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Duración	: Inicio: 08 de junio del 2024 : Termino: 08 de diciembre del 2024
Financiamiento	: Propio.
Monto	: S/. 4.383,00

Tingo María – Perú

2025

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Su infinita misericordia, sabiduría y amor me han permitido superar los desafíos y continuar con fe y esperanza. A Él le agradezco por brindarme la oportunidad y la fuerza necesarias para alcanzar esta meta.

A mis padres, quienes siempre han sido mi pilar y fuente inagotable de inspiración. Su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y su apoyo constante han sido fundamentales en mi vida. Este logro es tan suyo como mío, pues sin su dedicación y confianza, este sueño no habría sido posible.

A mis hermanos, por su compañía incondicional y por estar siempre a mi lado. Su apoyo, sus palabras de aliento y su presencia han sido una motivación invaluable en este proceso. Este logro también les pertenece, pues forman parte esencial de mi vida y de este triunfo que hoy celebro con el corazón lleno de gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta investigación. Este proyecto ha sido un viaje lleno de aprendizaje y descubrimientos, y no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de diversas personas.

Agradezco profundamente a la institución educativa que me brindó una formación académica de calidad, la cual ha sido fundamental para mi desarrollo profesional. Esta institución ha sido el pilar de mi crecimiento y aprendizaje, proporcionándome las herramientas necesarias para enfrentar los retos que se presentaron durante esta investigación.

A mi asesor, le agradezco por su apoyo incondicional, su guía experta y por siempre estar dispuesto a compartir su conocimiento. Su dedicación y compromiso han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo, y su orientación me ha permitido alcanzar este logro.

A mis amigos, les agradezco enormemente por su colaboración en la ejecución y redacción de este proyecto. Su ayuda fue crucial para llevar a cabo esta investigación de manera exitosa, y su amistad ha sido un apoyo constante en todo momento.

A mis jurados, agradezco por su tiempo, esfuerzo y valiosas observaciones durante el proceso de evaluación. Sus comentarios y sugerencias han enriquecido este trabajo, permitiéndome mejorar y alcanzar los estándares que se esperaban.

Muchas gracias y que Dios les bendiga.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Antecedentes internacionales	4
2.1.2. Antecedentes nacionales	5
2.1.3. Antecedentes locales	6
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. Aguas mieles del café: origen, composición y problemática	7
2.2.2. Propiedades ópticas y medición: color y turbidez	7
2.2.3. Vínculo práctico turbidez–color y pretratamientos	8
2.2.4. Adsorción en carbón activado para remoción de turbiedad y materia orgánica natural (NOM)	8
2.2.5. Adsorbentes a comparar: CA comercial, CA de cáscara de <i>Coffea arabica</i> y CA de <i>Manihot esculenta</i>	10
2.2.6. Modelos y ecuaciones de diseño/ajuste (batch y columna)	10
2.2.7. Implicancias para Tingo María (2024): criterios y metas	13
2.3. Marco conceptual	7
2.3.1. Aguas mieles	14
2.3.2. Color del agua	14
2.3.3. Turbiedad del agua	14
2.3.4. Carbón activado (CA)	14
2.3.5. Adsorción	15
2.3.6. Eficiencia de remoción (%)	15
2.3.7. Materia orgánica natural (NOM)	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Lugar de ejecución	16
3.1.1. Ubicación política	16
3.1.2. Ubicación geográfica	16
3.1.3. Aspectos climáticos	17

3.2.	Materiales y equipos	17
3.2.1.	Materiales	17
3.2.2.	Equipos	18
3.3.	Criterios de investigación	18
3.3.1.	Nivel de investigación	18
3.3.2.	Tipo de investigación	19
3.3.3.	Método de investigación	19
3.3.4.	Variable de investigación	19
3.3.5.	Operacionalización de variables de investigación	20
3.3.6.	Diseño de investigación	21
3.3.7.	Población y muestra	23
3.3.8.	Técnicas e instrumentos de investigación	23
3.3.9.	Análisis de datos	23
3.4.	Metodología	24
	Parámetros fisicoquímicos del carbón activado comercial y orgánico	
3.4.1.	elaborado a partir de la cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i> : humedad, ceniza, densidad aparente y pH	24
	Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la	
3.4.2.	cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i> en los parámetros físicos de aguas mieles y turbia	29
	Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la	
3.4.3.	cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i> en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia	31
	Eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles de café por	
3.4.4.	aplicación de carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i>	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1.	Parámetros fisicoquímicos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i>	35
	Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla	
4.2.	del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i> en los parámetros físicos de aguas mieles y turbia	44

4.2.1.	Prueba de normalidad de los parámetros físicos de aguas mieles y turbia	44
4.2.2.	Efecto del carbón activado en los parámetros físicos de aguas mieles y turbia	45
4.2.3.	Prueba de medias entre los factores A, B y su interacción en los parámetros físicos	57
4.3.	Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i> en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia	68
4.3.1.	Prueba de normalidad de los parámetros químicos de aguas mieles y turbia	68
4.3.2.	Efecto del carbón activado en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia	69
4.3.3.	Prueba de medias entre los factores A, B y su interacción en los parámetros químicos	79
4.4.	Eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles de café por aplicación de carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i>	90
4.4.1.	Prueba de normalidad de la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles y turbia	90
4.4.2.	Efecto del carbón activado en la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles y turbia	91
4.4.3.	Prueba de medias entre los factores A, B y su interacción en la eficiencia de remoción de turbiedad	96
V.	CONCLUSIONES	103
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	104
VII.	REFERENCIAS	105
	ANEXO	117

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla	Página
1. Operacionalización de variables de investigación	20
2. Diseño completamente al azar con arreglo factorial de 7x2 y 4 repeticiones	22
3. Comparativa indicativa de “calidad aceptable” para carbón activado	28
4. Métodos de análisis empleados para los parámetros físicos del agua	30
5. Estándares nacionales e internacionales para parámetros físicos del agua	31
6. Métodos de análisis para parámetros químicos	32
7. Estándares nacionales e internacionales para parámetros químicos del agua	33
8. Parámetros fisicoquímicos del carbón activado	36
9. Prueba de normalidad de los parámetros físicos de aguas mieles y turbia	45
10. Análisis de varianza para modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) de los parámetros físicos	46
11. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: turbiedad	58
12. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: solidos totales disueltos	59
13. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: conductividad eléctrica	61
14. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: resistividad	62
15. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: temperatura	63
16. Prueba de normalidad de los parámetros químicos de aguas mieles y turbia	69
17. Análisis de varianza para modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) de los parámetros químicos del agua	70
18. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: pH	80
19. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: oxígeno disuelto	81
20. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: demanda bioquímica de oxígeno	83

21.	Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: REDOX	84
22.	Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: sales	85
23.	Prueba de normalidad para la eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles y turbia	91
24.	Análisis de varianza para modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) para la eficiencia de remoción de turbidez	92
25.	Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en la eficiencia de remoción de turbidez	97
26.	Datos de los parámetros físicos del carbón activado de cascara de yuca, cascarilla de café y carbón comercial de coco	118
27.	Datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos inicial y final	118
28.	Prueba de medias de los Factores A, B y AxB	122

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación referencial del laboratorio de Microbiología	16
2. Esquema del diseño de investigación	22
3. Contenido de humedad de las diferentes muestras de carbón activado	37
4. Contenido de ceniza de las diferentes muestras de carbón activado	38
5. Densidad aparente de las diferentes muestras de carbón activado	40
6. pH de las diferentes muestras de carbón activado	41
7. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en la turbiedad	48
8. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en la turbiedad	50
9. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en la turbiedad	51
10. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en los sólidos totales disueltos	53
11. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en los sólidos totales disueltos	54
12. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en los sólidos totales disueltos	56
13. Prueba de medias Dunnett del factor A: tipo de agua en la turbidez	64
14. Prueba de medias Dunnett del factor B: tipo de filtro en la turbidez del agua	66
15. Prueba de medias Dunnett de la interacción Factor AxB en la turbidez del agua	67
16. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en el pH	72
17. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en el pH	73
18. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en el pH	75
19. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en el oxígeno disuelto	76
20. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en el oxígeno disuelto	77
21. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en el oxígeno disuelto	78
22. Prueba de medias Dunnett del factor A: tipo de agua en el pH	87
23. Prueba de medias Dunnett del factor B: tipo de filtro en el pH del agua	88
24. Prueba de medias Dunnett de la interacción Factor AxB en el pH del agua	89

25.	Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en la eficiencia de remoción de turbidez	93
26.	Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en la eficiencia de remoción de turbidez	94
27.	Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en la eficiencia de remoción de turbidez	96
28.	Prueba de medias Dunnett del factor A: tipo de agua en la eficiencia de remoción de turbidez	99
29.	Prueba de medias Dunnett del factor B: tipo de filtro en la eficiencia de remoción de turbidez	100
30.	Prueba de medias Dunnett de la interacción Factor AxB en la eficiencia de remoción de turbidez	102
31.	Muestra de aguas mieles de café	160
32.	Muestra de agua turbia del Río Huallaga	160
33.	Filtro de lecho fijo	161
34.	Acondicionamiento del filtro de lecho fijo	161
35.	Proceso de filtración de aguas mieles	162
36.	Preparación del agitador magnético para medición de parámetros fisicoquímicos	162
37.	Medición de parámetros fisicoquímicos del filtrado	163
38.	Medición de turbiedad de las muestras de aguas filtradas	163
39.	Pesado en balanza analítica de muestras de carbón activado	164
40.	Secado en estufa de muestras de carbón activado	164

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general Evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles por aplicación de carbón activado comercial y orgánico. El diseño metodológico fue experimental, con enfoque factorial y pruebas paramétricas (LM) y no paramétricas (ART), considerando parámetros fisicoquímicos del carbón activado, así como los efectos en parámetros físicos (turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, resistividad y temperatura) y químicos (pH, OD, DQO, potencial óxido-reducción y sales) de las muestras de agua.

Los resultados demostraron que el carbón activado elaborado presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas y comparables en eficiencia en la adsorción de turbiedad respecto al carbón activado comercial. En la remoción de turbidez, el CA comercial fue más eficiente, seguido por el de yuca y posteriormente el de café. Asimismo, los parámetros químicos mostraron mejoras notorias tras el tratamiento, acercándose a los estándares nacionales (ECA-Agua, MINAM) e internacionales (OMS, EPA).

La investigación concluye que la adsorción mediante carbón activado representa una estrategia viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales de la caficultura, contribuyendo a la mitigación de contaminación hídrica y la valorización de residuos agroindustriales. Además, plantea la posibilidad de escalar la tecnología a contextos locales y regionales, aportando al desarrollo sostenible del sector cafetalero y a la gestión ambiental.

Palabras clave: Carbón activado; *Coffea arabica*; *Manihot esculenta*; aguas mieles; adsorción; calidad de agua; Tingo María.

ABSTRACT

The general objective of the present study was to evaluate the efficiency in removing turbidity from honey water [wastewater] with activated commercial carbon. The methodological design was experimental, with a factorial focus and parametric (LM) and non-parametric (ART) tests, considering physicochemical parameters from the activated carbon, as well as the effects in physical (turbidity, total dissolved solids, electrical conductivity, resistance, and temperature) and chemical (pH, DO (OD in Spanish), COD (QDO in Spanish), oxide reduction potential, and salt) properties from the water samples.

The results demonstrated that the activated carbon that was created presented adequate physicochemical properties that were comparable in their efficiency for absorbing turbidity, with respect to the commercial activated carbon. For the removal of turbidity, the commercial AC (CA in Spanish) was more efficient, followed by that of the yucca and finally, the coffee. At the same time, the chemical parameters showed notorious improvements after the treatments, getting close to the national (ECA-Agua, MINAM) and international (WHO, EPA) standards.

From the research it was concluded that the absorption using activated carbon represented a viable and sustainable strategy for the treatment of wastewater from coffee growing, contributing to the mitigation of water contamination and the valorization of agro-industrial waste. Moreover, the possibility of scaling technology for local and regional contexts was proposed, contributing to the sustainable development of the coffee sector and to the environmental management.

Keywords: activated carbon, *Coffea arabica*, *Manihot esculenta*, honey water [wastewater], absorption, water quality, Tingo Maria

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, la caficultura constituye una de las principales actividades económicas y sociales, siendo el país reconocido como uno de los mayores productores y exportadores de café orgánico a nivel mundial, con más de 660 mil hectáreas cultivadas y alrededor de 236 mil productores involucrados (PROMPERÚ, 2023). En la región Huánuco, específicamente en el valle del Alto Huallaga y la ciudad de Tingo María, la producción cafetalera ha crecido significativamente, convirtiéndose en un motor de desarrollo agrícola y económico para más de mil familias que dependen de esta actividad (Cafetero, 2021). No obstante, este crecimiento trae consigo una problemática ambiental asociada al vertimiento de aguas residuales provenientes del despulpado y lavado del grano, conocidas como aguas mieles. Estas aguas se caracterizan por su elevada carga orgánica, presencia de nutrientes, sólidos disueltos y, sobre todo, por una marcada coloración marrón-rojiza que persiste incluso tras aplicar tratamientos convencionales, lo cual constituye un síntoma visible de contaminación (Mekonnen et al., 2021).

La causa principal de esta coloración radica en la presencia de compuestos como azúcares, ligninas, taninos, fenoles y pigmentos derivados de la pulpa y mucílago del café, además de metabolitos originados durante la fermentación (Alemayehu et al., 2020). Si bien los métodos de tratamiento actuales, tanto biológicos como fisicoquímicos, han mostrado eficacia en la reducción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fosfatos y sólidos disueltos, la eliminación de la turbiedad es un aspecto frecuentemente desatendido en la gestión de estas aguas (Álvarez-Herrera et al., 2022). Este hecho produce efectos negativos en el ambiente, pues el vertimiento de aguas con alta coloración al río Huallaga y quebradas aledañas afecta la penetración de la luz solar en el medio acuático, altera procesos fotosintéticos, degrada la calidad visual del recurso hídrico y limita su aprovechamiento para fines recreativos, agrícolas y de consumo humano, generando malestar en las comunidades locales y riesgo para la salud ambiental (Ríos et al., 2022).

Ante este panorama, surge la necesidad de proponer tecnologías de bajo costo, sostenibles y accesibles para la región. Una de las alternativas más viables es la adsorción mediante carbón activado, por su alta capacidad para remover compuestos coloreados y contaminantes persistentes (Hernández-Maldonado et al., 2020). En este contexto, la presente investigación evaluó la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles por aplicación de carbón activado comercial adquirido como producto de referencia, y dos carbones elaborados localmente a partir de residuos agrícolas disponibles en la zona, como la cascarilla de café (*Coffea arabica*) y la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*). La hipótesis de trabajo se sustenta

en que estos carbones activados de origen local podrían alcanzar o superar la eficiencia del carbón comercial, además de representar una estrategia de valorización de subproductos agroindustriales que contribuiría a disminuir la contaminación hídrica y, al mismo tiempo, a fortalecer la sostenibilidad de la cadena cafetalera en Tingo María.

De no atenderse esta problemática, el pronóstico ambiental de la región sería negativo, ya que la creciente expansión cafetalera incrementaría la generación de aguas mieles, turbias y coloreadas, comprometiendo la calidad de los ecosistemas acuáticos del Alto Huallaga. En cambio, al implementar el uso de carbones activados locales, se espera no solo mitigar los efectos ambientales del vertimiento, sino también ofrecer a los productores una tecnología económicamente viable que fortalezca la gestión sostenible del recurso hídrico y genere valor agregado a los residuos agrícolas.

Desde el punto de vista práctico, la elaboración de carbón activado a partir de residuos agrícolas como la cascarilla de café (*Coffea arabica*) y la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) resulta una alternativa accesible, económica y replicable por los propios productores de la región de Tingo María. La tecnología de producción no requiere infraestructura altamente compleja ni insumos costosos, lo que facilita su implementación a pequeña y mediana escala. Además, la utilización de estos residuos contribuye a la valorización de subproductos agroindustriales que usualmente son desechados, generando un doble beneficio: la reducción de impactos ambientales y la obtención de un material con alto potencial adsorbente. En consecuencia, esta investigación tiene un impacto directo en la comunidad cafetalera local, ya que ofrece una solución viable para mejorar la calidad del agua y reducir la contaminación hídrica causada por las aguas mieles, beneficiando tanto al ambiente como a la población.

En cuanto a la justificación teórica, el carbón activado es reconocido por su elevada superficie específica, alta porosidad y la presencia de grupos funcionales en su superficie, lo que le confiere una gran capacidad de adsorción de compuestos orgánicos, colorantes y sustancias recalcitrantes (Hernández-Maldonado et al., 2020). Estudios recientes demuestran que los residuos lignocelulósicos, como los de café y yuca, pueden transformarse en materiales adsorbentes con eficiencias de remoción superiores al 80% para contaminantes asociados a turbiedad, color y materia orgánica (Mekonnen et al., 2021; Álvarez-Herrera et al., 2022). A partir de ello, el presente estudio no solo aporta evidencia empírica para validar la eficiencia de estos carbones en la remoción de turbiedad de aguas mieles, sino que también enriquece el marco teórico sobre la aplicación de adsorbentes locales en el tratamiento de aguas residuales agroindustriales.

En este sentido, la investigación no se limita a comparar el carbón activado comercial de coco con los elaborados localmente, sino que busca demostrar la pertinencia de tecnologías sostenibles y adaptadas al contexto amazónico, fortaleciendo el conocimiento científico y ofreciendo una herramienta práctica de mitigación de la contaminación hídrica en la región del Alto Huallaga.

En este sentido el trabajo de investigación tiene la siguiente interrogante: ¿la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles está influida por aplicación de carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*, ?, y como hipótesis se plantea que: la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles está influida significativamente estadísticamente por aplicación de carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*. Y la investigación tiene los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles por aplicación de carbón activado comercial y orgánico.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del carbón activado comercial y orgánico elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*.
- Determinar los efectos del carbón activado comercial y orgánico elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta* en los parámetros físicos de aguas mieles.
- Determinar los efectos del carbón activado comercial y orgánico elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta* en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia.
- Determinar la eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles por aplicación de carbón activado comercial y orgánico elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

La literatura clásica demostró tempranamente que la adsorción en carbón activado (CA) es eficaz para retirar la turbiedad de efluentes del beneficio húmedo. En un trabajo pionero, se describió un proceso de adsorción en CA que logró altas eficiencias y explicó la influencia del pH ácido y del tiempo de contacto en la remoción, sentando las bases para usar CA como etapa de decoloración/pulido en trenes de tratamiento de aguas mieles (Hang & Woodams, 1979).

Revisiones críticas sobre el tratamiento de aguas del proceso del café muestran que la complejidad de los cromóforos fenólicos y la alta carga orgánica hacen que los esquemas exclusivamente biológicos no siempre controlen la turbiedad y color; por ello se recomiendan etapas fisicoquímicas complementarias —como adsorción en CA o oxidación avanzada— para alcanzar estándares de descarga, destacando ventajas, limitaciones y requerimientos operativos de cada tecnología (Ijanu et al., 2020).

Existe evidencia experimental de CA obtenido a partir de cáscara de *Coffea arabica* y aplicado a turbidez y color en agua subterránea/acuífera. El estudio confirma que este residuo agroindustrial puede valorizarse como precursor de adsorbentes funcionales; además, reporta que la dosis de CA y el tiempo de contacto condicionan el rendimiento, lo que es transferible a efluentes coloreados como las aguas mieles (Azabache-Liza et al., 2021).

De forma complementaria, se ha valorizado la borra de café (spent coffee grounds) para producir carbones activados con alta área superficial y abundantes sitios activos, capaces de decolorar colorantes azo en agua. Aunque la matriz modelo no es “agua miel”, estos resultados son relevantes porque prueban la idoneidad del carbono de origen cafetero para remover compuestos cromóforos por adsorción (Aouay et al., 2024).

Como referente de desempeño frente al cual comparar la adsorción, procesos integrados de foto-electro-oxidación (electro-oxidación combinada con UV/H₂O₂) han alcanzado remociones cercanas al 99–100 % de color y ≈99 % de turbidez en aguas del café bajo condiciones optimizadas. Estos resultados muestran el techo tecnológico de los AOP y justifican el uso del CA como etapa de pulido de menor costo energético dentro de trenes híbridos (Bidira et al., 2023).

También se ha optimizado el uso de bio-coagulantes para remover color y turbidez en

efluentes del café, utilizando diseños experimentales de superficie de respuesta (p. ej., diseño compuesto central). Las remociones elevadas reportadas sugieren que una coagulación/clarificación previa puede reducir la fracción particulada y facilitar la adsorción en CA de la turbiedad residual disuelto (Getahun et al., 2024).

Otras variantes electroquímicas, como la electrocoagulación pulsada, han mostrado alta eficiencia para abatir color y turbidez en aguas del proceso húmedo del café. Aunque difieren del mecanismo adsortivo, estos hallazgos aportan parámetros de operación y criterios de comparación útiles al seleccionar trenes de tratamiento donde el CA actúa como etapa final de pulido (Asefaw et al., 2024).

Con relación a tu segundo material, la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) ha sido estudiada como precursor de CA con amplia área específica y buen desempeño en decoloración de colorantes y remoción de iones, con modelos de isotermas y cinéticas favorables. Estos antecedentes avalan técnicamente la comparación entre CA comercial, CA de cáscara de café y CA de yuca en remoción de turbiedad (Rajeshwarisivaraj et al., 2001; Lua & Yang, 2005).

Finalmente, en el campo del agua potable —donde la turbiedad y el “color verdadero” suele asociarse a materia orgánica natural (NOM)— existen estudios en planta a escala real que documentan la eficacia del CA granular (GAC) para reducir turbiedad/absorbancia y TOC, proporcionando criterios de selección de carbón, tiempos de contacto (EBCT) y reemplazos extrapolables a matrices altamente coloreadas (Kaarela et al., 2021; National Research Council, 1980).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En Perú se ha producido CA desde cáscara/pulpa de café y se ha evaluado su desempeño en decoloración usando colorantes modelo, optimizando variables de activación química (p. ej., H_3PO_4), temperatura y tiempo de carbonización. Se han obtenido remociones $> 97\%$ y buen ajuste a Langmuir, estableciendo protocolos de síntesis y caracterización aplicables a efluentes reales con turbiedad (Reyes-Muñoz, 2021).

Una revisión peruana sistematiza los tratamientos y rutas de reutilización de aguas mieles en contextos cafetaleros, con experiencias que muestran altas remociones de turbidez ($\approx 98,7\%$) y resaltan la necesidad de etapas de pulido para la turbiedad persistente, tales como adsorción en CA o procesos oxidativos, especialmente en escenarios rurales (Morales Rojas et al., 2021).

Desde Ayacucho se reporta la aplicación de GAC y PAC en filtros para mejorar parámetros ópticos (turbidez, color aparente) en agua superficial, aportando parámetros operativos (pH, dosis, tiempo de contacto) y consideraciones de mantenimiento extrapolables a efluentes con color elevado y sólidos finos (Sandoval Quispe & Yupanqui Quispe, 2023).

También se ha valorizado en universidades peruanas la pulpa/cáscara de café como precursora de CA y bioadsorbentes, discutiendo rutas de activación, propiedades texturales (p. ej., BET) y desempeño adsorptivo. Estos trabajos confirman la viabilidad económica y técnica de transformar subproductos del café en adsorbentes para decoloración (Guevara Benavides, 2019).

En diseños de plantas de tratamiento para aguas mieles se ha incluido el uso de filtros con CA dentro de trenes físico-biológicos, reportándose mejoras en la calidad y la factibilidad de aplicación a escala piloto; este enfoque respalda el papel del CA como etapa final para alcanzar metas de color (Ibáñez-Moreno, 2021).

2.1.3. Antecedentes locales

En la UNAS (Tingo María) se evaluó tempranamente el tratamiento de aguas mieles mediante filtros ecológicos, documentándose un cambio perceptible de turbiedad y mejoras en parámetros básicos (pH, sólidos, turbidez). El estudio demuestra la factibilidad local de esquemas físicos y sugiere la conveniencia de incorporar CA como pulido para la turbiedad residual disuelto (Zúñiga Moscoso, 2005).

Trabajos recientes en la UNAS han desarrollado la capacidad local para producir CA en laboratorio (aunque a partir de otros residuos lignocelulósicos), estableciendo procedimientos de síntesis y caracterización que pueden transferirse a la cáscara de café o a residuos de yuca. Esta infraestructura y know-how son claves para la comparación de adsorbentes (Alania Trinidad, 2021).

Como línea base de calidad y tratamiento, se han ensayado microorganismos eficaces (EM) sobre aguas mieles, con reducciones sustantivas de carga orgánica y sólidos, útiles como pretratamiento para reducir la fracción particulada antes de la adsorción en CA de la turbiedad residual (Angulo Gamero, 2019).

En la misma universidad se evaluó la borra de café como bioadsorbente para metales en matrices complejas (lixiviados), confirmando la vocación adsorbente de los subproductos cafeteros y reforzando la pertinencia de materiales carbonosos locales para etapas de pulido orientadas a la remoción de turbiedad (Rubio Zárate, 2024).

Asimismo, se han caracterizado subproductos derivados de aguas mieles como bioles y evaluado su uso en hidroponía, aportando datos operativos de la realidad local (pH, turbidez/color, nutrientes). Estos insumos ayudan a dimensionar dosis y tiempos en adsorción con CA y promueven la gestión integral del efluente en la cadena productiva (Rosales Atavillos, 2023).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas mieles del café: origen, composición y problemática

Las aguas mieles se generan en el beneficio húmedo del café (despulpado–desmucilaginado–lavado) y arrastran mucílago, azúcares, pectinas, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, además de sólidos finos; por ello presentan pH ácido, alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO, demanda bioquímica de oxígeno), alta demanda química de oxígeno (DQO, demanda química de oxígeno), sólidos suspendidos totales (SST, sólidos suspendidos totales), turbidez y color (Ijanu, Kamaruddin, & Norashiddin, 2020). Para cumplir estándares de vertido o reúso, la literatura recomienda trenes de tratamiento que integren etapas físico-químicas y pulido (adsorción u oxidación), ya que los esquemas puramente biológicos no suelen abatir el color verdadero de forma suficiente (Ijanu et al., 2020). En agua para consumo, muchos marcos de referencia toman ≤ 15 unidades de color verdadero en escala platino-cobalto (TCU/Pt–Co, unidades de color verdadero/platino-cobalto) como umbral estético (Organización Mundial de la Salud OMS, 2011).

2.2.2. Propiedades ópticas y medición: color y turbidez

El color verdadero es el color medido tras remover turbidez por filtración o centrifugación conforme a Standard Methods (SM, Métodos Estándar para Examen de Agua y Aguas Residuales) 2120; el color aparente incluye el efecto de partículas (APHA–AWWA–WEF, 2017/2021). En práctica, se usa espectrofotometría (~455 nm) con patrones platino-cobalto (Pt–Co, platino-cobalto). La turbidez cuantifica la dispersión de la luz y se mide nefelométricamente como unidades nefelométricas de turbidez (NTU, unidades nefelométricas de turbidez) con EPA 180.1 (EPA, Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.) o como unidades nefelométricas por formazina (FNU, unidades nefelométricas por formazina) con ISO 7027 (ISO, Organización Internacional de Normalización); NTU y FNU no son equivalentes y no deben convertirse entre sí (APHA–AWWA–WEF, 2017/2021; ISO, 1999). Las Normas Secundarias de Agua Potable (NSDWR, normas secundarias de agua potable) de la EPA ubican el color como criterio estético de referencia (EPA, 2025).

Ley de Beer–Lambert (base para color verdadero por espectrofotometría):

$$A = \epsilon l c \text{ y } A = \log_{10}(I_0/I)$$

2.2.3. Vínculo práctico turbidez–color y pretratamientos

Aunque turbidez y color suelen aumentar juntos, miden fenómenos distintos (dispersión vs absorción), por lo que no existe conversión universal de NTU a TCU; cualquier relación debe calibrarse para la matriz local (Ijanu et al., 2020). Operativamente, se aconseja preclarificación mediante coagulación–floculación–sedimentación/filtración para reducir turbidez y el color coloidal, y luego aplicar adsorción u oxidación al color verdaderamente disuelto. En efluentes de café, el uso de biocoagulantes optimizado con diseño compuesto central (DCC, diseño compuesto central) logró $\approx 99,99$ % de remoción de turbiedad y $\approx 98,7$ % de turbidez (Getahun, Befekadu, & Alemayehu, 2024). Como referencia de desempeño, la electro-oxidación integrada con UV/H₂O₂ (ECO, electro-oxidación) ha reportado ≈ 99 –100 % de color y ≈ 99 % de turbidez (Bidira, Asmelash, Kebede, & Bekele, 2023).

2.2.4. Adsorción en carbón activado para remoción de turbiedad y materia orgánica natural (NOM)

El carbón activado (CA, carbón activado), ya sea en forma granular (GAC, carbón activado granular) o en polvo (PAC, carbón activado en polvo), constituye uno de los adsorbentes más empleados en la potabilización de aguas debido a su elevada área superficial específica (hasta 1000–1500 m²/g) y a la presencia de micro y mesoporos que permiten interacciones de naturaleza física y química con contaminantes. Estas interacciones incluyen fuerzas de Van der Waals, interacciones π – π con anillos aromáticos, atracción electrostática y enlaces por puentes de hidrógeno con cromóforos y materia orgánica natural (NOM, materia orgánica natural) (Bhatnagar & Sillanpää, 2017).

En términos de desempeño, el GAC muestra eficacia en la reducción del turbiedad aparente, la absorbancia ultravioleta a 254 nm (UV254), y parámetros asociados a carbono como el carbono orgánico disuelto (DOC) y el carbono orgánico total (TOC). El grado de remoción depende principalmente del tiempo de contacto de lecho vacío (EBCT, Empty Bed Contact Time), la dosis de carbón aplicada y la calidad inicial del agua (Kaarela, Sillanpää, Luukkonen, & Bhatnagar, 2021). El EBCT se calcula mediante la ecuación:

$$EBCT = \frac{V_{lecho}}{Q}$$

Donde V_{lecho} es el volumen efectivo del lecho (m^3) y Q es el caudal (m^3/h). Valores altos de EBCT favorecen la adsorción de compuestos aromáticos y coloreados disminuyendo la turbiedad, mientras que tiempos reducidos tienden a disminuir la eficiencia del proceso (Crittenden et al., 2012).

Asimismo, como indicador de la aromaticidad de la NOM se emplea la absorbancia UV específica a 254 nm (SUVA_{254}), calculada como:

$$\text{SUVA}_{254} = \frac{\text{Abs}_{254}}{\text{DOC}}$$

Valores de SUVA_{254} superiores a 4 $\text{L}/\text{mg}\cdot\text{m}$ indican predominio de sustancias aromáticas hidrofóbicas, con alta afinidad por el carbón activado, mientras que valores bajos ($< 2 \text{ L}/\text{mg}\cdot\text{m}$) reflejan compuestos hidrofílicos menos adsorbibles (Edzwald, 2011).

Desde el punto de vista de la modelación de la adsorción, los procesos se ajustan comúnmente a isotermas como:

Langmuir (adsorción monomolecular sobre sitios homogéneos):

$$q_e = \frac{q_{\text{max}} K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

Freundlich (adsorción heterogénea en superficies porosas):

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

Donde q_e es la cantidad adsorbida en equilibrio (mg/g), C_e la concentración en equilibrio (mg/L), K_L y K_F las constantes de cada modelo, y n un factor de heterogeneidad.

En general, el PAC presenta cinéticas de adsorción más rápidas debido a su mayor superficie externa disponible, siendo útil en tratamientos de choque o correcciones puntuales de color y sabor. El GAC, en cambio, se utiliza en lechos fijos de adsorción prolongada, donde es posible regenerarlo térmica o químicamente (Álvarez-Vázquez et al., 2019).

Factores como el pH, la presencia de iones competitivos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}), la temperatura y el tipo de NOM afectan significativamente la capacidad de adsorción. Por ejemplo, valores de pH bajos (< 6) favorecen la retención de compuestos ácidos aromáticos debido a la protonación de sitios funcionales, mientras que pH altos reducen la eficiencia por repulsión electrostática (Li et al., 2018).

Finalmente, la eficiencia de remoción ($\text{R}\%$) se expresa como:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

Donde C_0 es la concentración inicial y C la concentración final del parámetro evaluado (DOC, TOC, UV254).

2.2.5. Adsorbentes a comparar: CA comercial, CA de cáscara de *Coffea arabica* y CA de *Manihot esculenta*

El CA de cáscara de café (*Coffea arabica*) se ha aplicado con éxito a turbidez, color y metales (Fe/Mn) en agua de acuífero, validando su viabilidad como adsorbente de bajo costo (Azabache-Liza et al., 2021). Paralelamente, la borra de café valorizada a CA ha mostrado decoloración de colorantes azo a escala de laboratorio (Aouay, Guelzim, Ebrahim, Taha, & Alqalbani, 2024). Como análogo local, la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) es un precursor robusto de CA: la activación química (p. ej., H_3PO_4 o KOH, hidróxido de potasio) y la temperatura de carbonización controlan área, textura y funcionalidad superficial, con resultados favorables en decoloración (Sudaryanto, Hartono, Irawaty, Hindarso, & Ismadji, 2006).

2.2.6. Modelos y ecuaciones de diseño/ajuste (batch y column)

1) Equilibrio de adsorción (Isotermas)

Las isotermas describen cómo se distribuye un soluto entre la fase líquida y la superficie del adsorbente en equilibrio. Son esenciales para:

- Dimensionar la cantidad de carbón activado necesaria.
- Predecir la capacidad de remoción bajo diferentes concentraciones.
- Diferenciar entre adsorción homogénea (Langmuir) y heterogénea (Freundlich).

Modelo de Langmuir: Supone una monocapa de adsorbato sobre una superficie con sitios equivalentes y energéticamente uniformes. Si el ajuste es bueno, significa que la superficie del carbón activado se satura progresivamente en una sola capa, lo cual es típico en la remoción de compuestos aromáticos y NOM.

Modelo de Freundlich: Describe la heterogeneidad de la superficie y la adsorción en múltiples capas. Se aplica mejor a aguas naturales con NOM compleja, donde coexisten compuestos hidrofóbicos e hidrofílicos (Bhatnagar & Sillanpää, 2017).

2) Cinética de adsorción (Ensayos batch)

La cinética permite determinar la velocidad de adsorción y los mecanismos de control

(difusión superficial, intraparticular o química).

Pseudo-primer orden (PFO):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t$$

Donde:

q_t : cantidad adsorbida en el tiempo t (mg/g)

q_e : cantidad adsorbida en equilibrio (mg/g)

k_1 : constante de velocidad de adsorción de primer orden (1/min)

t : tiempo de contacto (min)

Se asocia a procesos físicos de adsorción rápidos, como difusión inicial en la superficie del carbón.

Pseudo-segundo orden (PSO):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Donde:

q_t : cantidad adsorbida en el tiempo t (mg/g)

q_e : cantidad adsorbida en equilibrio (mg/g)

k_2 : constante de velocidad de adsorción de segundo orden (g/mg·min)

t : tiempo de contacto (min)

Explica mejores procesos donde intervienen interacciones químicas (quimisorción), como enlaces π - π o formación de complejos con grupos funcionales en el carbón.

Modelo de difusión intrapartícula (Weber–Morris):

$$q_t = k_{id} t^{1/2} + C$$

Donde:

q_t : cantidad adsorbida en el tiempo t (mg/g)

k_{id} : constante de velocidad de difusión intraparticular (mg/g·min^{1/2})

$t^{1/2}$: raíz cuadrada del tiempo (min^{1/2})

C: intercepto que refleja el espesor de la capa límite (mg/g)

Indica si existe resistencia interna en los poros. Si la gráfica q_t vs $t^{1/2}$ es lineal y pasa por el origen, la difusión intrapartícula es el mecanismo limitante; de lo contrario, hay contribución de otras resistencias (Weber & Morris, 1963).

3) Modelos en columna (GAC en lecho fijo)

A diferencia de los ensayos batch, en columna se evalúa la remoción continua en flujo, representada en curvas de ruptura (breakthrough curves) que describen la relación C_t/C_0 en función del tiempo o volumen tratado.

Los modelos más usados son

Thomas (1944):

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = k_{Th} q_{Th} \frac{m}{Q} - k_{Th} C_0 t$$

Donde:

C_0 : concentración inicial del soluto (mg/L)

C_t : concentración a la salida de la columna en el tiempo t (mg/L)

k_{Th} : constante de velocidad de Thomas (mL/min·mg)

q_{Th} : capacidad máxima de adsorción del carbón (mg/g)

m : masa de carbón activado en la columna (g)

Q : caudal volumétrico de entrada (mL/min)

t : tiempo de operación (min)

Muy utilizado para predecir el comportamiento de columna a escala piloto y real, bajo el supuesto de cinética de segundo orden.

Yoon–Nelson (1984):

$$\ln \left(\frac{C_t}{C_0 - C_t} \right) = k_{YN}(t - \tau)$$

Donde:

C_0 : concentración inicial (mg/L)

C_t : concentración en el efluente al tiempo t (mg/L)

k_{YN} : constante de velocidad de Yoon–Nelson (1/min)

τ : tiempo requerido para alcanzar el 50 % de remoción (min)

t : tiempo de operación (min)

Requiere solo dos parámetros: la constante cinética (k_{YN}) y el tiempo de servicio en el cual se alcanza el 50% de remoción (τ). Es útil por su simplicidad y aplicabilidad en diseño preliminar.

Bohart–Adams / BDST (Bed Depth Service Time):

$$t = \frac{N_0}{C_0 U} Z - \frac{1}{k_{BA} C_0} \ln \left(\frac{C_t}{C_0} \right)$$

Donde:

t : tiempo de servicio (min)

N_0 : capacidad de adsorción del lecho por unidad de volumen (mg/L·cm³ o mg/L·m³)

C_0 : concentración inicial del soluto (mg/L)

C_t : concentración en el efluente (mg/L)

U : velocidad lineal del flujo (cm/min o m/min)

Z : profundidad del lecho de carbón (cm o m)

k_{BA} : constante cinética de Bohart–Adams (L/mg·min)

Relaciona la profundidad del lecho (Z) con el tiempo de servicio, útil para dimensionar columnas y escalar de laboratorio a planta.

Estos modelos permiten determinar el tiempo de ruptura, capacidad de adsorción y vida útil del lecho (Ho & McKay, 1999; Rafati et al., 2019).

2.2.7. Implicancias para Tingo María (2024): criterios y metas

Para aguas mieles locales, un tren preclarificación → filtración rápida → filtro GAC, es coherente con la evidencia: la coagulación–floculación reduce turbidez y fracciones coloidales, mientras el GAC actúa sobre el color verdadero. El dimensionamiento preliminar se fija con EBCT y se ajusta con Thomas/Yoon–Nelson/BDST en columna piloto. Como metas, usar ≤ 15 TCU/Pt–Co si se busca un estándar estético análogo a potables, y turbidez posfiltración baja

(según norma local); la selección entre CA comercial, CA de cáscara de café y CA de yuca se basará en capacidad (q_{\max}), cinética y coste (Getahun et al., 2024; Kaarela et al., 2021; EPA, 2025; Azabache-Liza et al., 2021).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Aguas mieles

Son efluentes líquidos generados en el proceso de beneficio del café (*Coffea arabica*), especialmente en el despulpado, fermentación y lavado. Presentan alta carga orgánica, pigmentos naturales, azúcares y ácidos, lo que incrementa la demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO₅). Su vertimiento sin tratamiento constituye un foco de contaminación en cuerpos hídricos de la selva alta (Peñaloza et al., 2020).

2.3.2. Color del agua

Característica sensorial y fisicoquímica causada por sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas, como compuestos fenólicos y pigmentos vegetales. Se distingue entre **color aparente** (incluye sólidos suspendidos y disueltos) y **color verdadero** (solo sustancias disueltas después de filtrar). La reducción del color mejora la calidad visual y sanitaria del agua (APHA, 2017).

2.3.3. Turbiedad del agua

Es la medida de la dispersión y absorción de la luz en el agua provocada por partículas suspendidas como arcillas, limos, materia orgánica coloidal y microorganismos. Se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT o NTU) y constituye un indicador clave de la calidad física del agua. Valores elevados dificultan la desinfección y reducen la calidad estética del recurso (Sawyer, McCarty & Parkin, 2003; MINAM, 2017).

2.3.4. Carbón activado (CA)

Es un adsorbente con elevada área superficial (800–1500 m²/g) y micro/mesoporos que permiten retener compuestos orgánicos. Puede obtenerse de fuentes comerciales o residuos agroindustriales mediante carbonización y activación física o química (Bhatnagar & Sillanpää, 2017). En este estudio se emplean:

Carbón activado comercial (CAC): material industrial de referencia.

Carbón activado de cascarilla de café (*Coffea arabica*): obtenido a partir de residuos del proceso cafetalero en Tingo María.

Carbón activado de yuca (*Manihot esculenta*): elaborado a partir de biomasa agrícola

local, con potencial como adsorbente alternativo de bajo costo.

2.3.5. Adsorción

Proceso en el que moléculas del soluto (colorantes, materia orgánica y compuestos responsables de turbiedad) se adhieren a la superficie del carbón activado mediante interacciones físicas (fuerzas de Van der Waals, interacciones π - π) y químicas (enlaces con grupos funcionales). Este mecanismo constituye la base del tratamiento evaluado (Crittenden et al., 2012).

2.3.6. Eficiencia de remoción (%)

Es el grado de reducción de contaminantes (turbiedad) expresado como porcentaje:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

Donde:

C_0 : concentración inicial del parámetro (turbiedad en NTU).

C : concentración final después del tratamiento.

2.3.7. Materia orgánica natural (NOM)

Conjunto de compuestos orgánicos presentes en el agua, provenientes de la descomposición vegetal, microorganismos y procesos de fermentación. Incluye ácidos húmicos, fúlvicos y compuestos fenólicos que afectan color, turbiedad y absorbancia UV254 (Edzwald, 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

Las muestras utilizadas en la presente investigación se recolectaron en dos puntos específicos de la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. La primera muestra corresponde a las aguas mieles de café, obtenidas en el distrito de Santo Domingo de Anda, un área cafetalera representativa de la zona. La segunda muestra corresponde al agua del río Huallaga, recolectada en la zona denominada Playa Tingo, en el distrito de Rupa Rupa (Tingo María). Por su parte, el trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicado en el campus universitario de Tingo María, que cuenta con la infraestructura necesaria para la ejecución de investigaciones en calidad de agua y procesos de tratamiento.



Figura 1. Ubicación referencial del laboratorio de Microbiología

3.1.2. Ubicación geográfica

La localización de los puntos de recolección de las muestras y del laboratorio de análisis se determinó mediante coordenadas en el sistema UTM (Zona 18L, Datum WGS84). El río Huallaga – Playa Tingo presenta coordenadas aproximadas 385000 m E y 9069000 m N; el distrito de Santo Domingo de Anda, donde se recolectaron las aguas mieles de café, se ubica en

las coordenadas 387500 m E y 9078000 m N; mientras que el Laboratorio de Microbiología de la UNAS, lugar de desarrollo del trabajo experimental, se localiza en las coordenadas 384200 m E y 9070000 m N. Estos tres puntos conforman el área de estudio, vinculando los lugares de muestreo con el centro de investigación universitaria.

3.1.3. Aspectos climáticos

La ciudad de Tingo María, capital de la provincia de Leoncio Prado, se caracteriza por un clima tropical húmedo propio de la selva alta peruana. Presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 22 °C y 26 °C, alcanzando máximos superiores a los 30 °C en los meses más cálidos. La precipitación pluvial es elevada, con valores que varían entre 3 500 y 4 000 mm por año, concentrándose principalmente entre los meses de octubre a abril, lo que ocasiona crecidas en ríos y quebradas de la región. La humedad relativa promedio supera el 75 % durante todo el año, generando condiciones ambientales favorables para la actividad cafetalera y, al mismo tiempo, un desafío en términos de manejo de recursos hídricos (SENAMHI, 2022).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Para la recolección de las muestras de aguas mieles de café y agua del río Huallaga se emplearon baldes plásticos de 20 litros con tapa hermética, que permitieron el almacenamiento y transporte seguro de las muestras hacia el laboratorio. En el proceso experimental se utilizaron baldes de 10 litros como contenedores intermedios, así como vasos precipitados de 100 mL, 500 mL y 1 L para la preparación de soluciones y el desarrollo de ensayos. El sistema de filtración se construyó de forma artesanal a partir de ampollas plásticas de 150 mL, dispuestas en un soporte de madera con capacidad para siete unidades, que funcionaron como filtros de lecho fijo. Dentro de estos filtros se colocaron diferentes materiales como lana de fibra de vidrio, arena lavada y carbón activado en tres variantes: carbón activado comercial, carbón activado obtenido a partir de cascarilla de café (*Coffea arabica*) y carbón activado de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*). Para la preparación de los carbones activados se emplearon ollas metálicas resistentes al calor utilizadas en la etapa de carbonización y activación.

Adicionalmente, se emplearon cucharas y cucharillas de mango largo de acero inoxidable, así como varillas de vidrio para agitación manual. Los análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se realizaron en botellas oscuras de vidrio de 300 mL, específicas para evitar el paso de la luz y mantener la estabilidad de las muestras. También se usaron fiolas aforadas de 25 mL para mediciones de densidad de soluciones y reactivos, junto

con lunas de reloj para manipulación y secado de pequeñas cantidades de muestra. Se contó con envases de vidrio con tapa para almacenamiento de carbones activados, así como guantes de seguridad, mascarillas y mandiles de laboratorio como elementos de bioseguridad.

3.2.2. Equipos

En el desarrollo experimental se emplearon diversos equipos de laboratorio especializados y de apoyo. Para la medición de parámetros de calidad de agua se utilizó un multiparámetro portátil YOKE modelo P717 (Control Patrimonial UNAS), que permitió la determinación de sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), resistividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), potencial de óxido-reducción (REDOX) y concentración de sales. Asimismo, se utilizó un turbidímetro HACH modelo TL2300 con un rango de medición de 0 a 4000 NTU, empleado para la determinación de turbidez en las muestras de agua.

En las pruebas de laboratorio se empleó una balanza analítica OHAUS Explorer, con capacidad de 220 g y precisión de 0,0001 g, utilizada para el pesaje exacto de los carbones activados y otros reactivos. Para el acondicionamiento de las muestras se usó una estufa de secado (110 °C – 200 °C), donde se colocaron las lunas de reloj con carbones para eliminar humedad, así como una mufla eléctrica (capacidad hasta 1000 °C) para la determinación de cenizas y procesos de activación de carbón. El procedimiento de mezcla y homogenización se apoyó en un agitador magnético con control de temperatura, que facilitó la preparación de soluciones y suspensiones.

Como equipos complementarios se utilizaron un GPS portátil para registrar la ubicación de los puntos de muestreo, una computadora portátil (laptop) con software de análisis estadístico y procesamiento de datos, y una impresora multifuncional para la generación de reportes y gráficos.

3.3. Criterios de investigación

3.3.1. Nivel de investigación

El presente trabajo se enmarca en un nivel de investigación explicativo y experimental. Es explicativo porque busca identificar y analizar la relación causal entre el uso de diferentes tipos de carbón activado (comercial, de cascarilla de café y de cáscara de yuca) y su efecto en la eficiencia de remoción de turbiedad en aguas mieles de café. Asimismo, es experimental, dado que se manipulan las variables independientes bajo condiciones controladas en laboratorio, lo que permite observar los cambios producidos en las variables dependientes y

cuantificar la magnitud del efecto de los tratamientos aplicados (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

3.3.2. Tipo de investigación

El estudio corresponde al tipo de investigación aplicada, dado que busca generar conocimiento con fines prácticos, orientados a la solución de un problema ambiental específico: la contaminación producida por el vertimiento de aguas mieles de café en la región de Tingo María. La aplicación de carbones activados obtenidos de residuos agroindustriales pretende ofrecer alternativas de tratamiento accesibles y sostenibles, con impacto positivo en la gestión ambiental y en la comunidad cafetalera local.

3.3.3. Método de investigación

Se empleó el método experimental como base de la investigación, el cual consiste en la manipulación deliberada de una o más variables independientes para observar el efecto en la variable dependiente bajo condiciones controladas. El procedimiento se desarrolló en tres fases principales: (i) recolección y acondicionamiento de muestras de aguas mieles y agua del río Huallaga, (ii) preparación de los carbones activados (comercial, cascarilla de café y cáscara de yuca), y (iii) aplicación de tratamientos mediante sistemas de adsorción en lecho fijo, registrando parámetros como turbidez y otras características de calidad del agua. Este método permitió establecer comparaciones entre los distintos carbones activados y determinar cuál de ellos presentó mayor eficiencia en la remoción de turbiedad.

3.3.4. Variable de investigación

Variable independiente (VX):

Carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*.

Dimensiones de la VX:

Carbón activado comercial

Carbón activado obtenido de cascarilla de café (*Coffea arabica*)

Carbón activado obtenido de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*).

Variable dependiente (VY):

Remoción de turbiedad de aguas mieles

Dimensiones de la VY:

Parámetros físicos de las aguas mieles

Parámetros químicos de las aguas mieles

Eficiencia de remoción

VARIABLES INTERVINIENTES O DE CONTROL (VZ):

Condiciones climáticas durante el muestreo (temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación).

Condiciones operativas en laboratorio (pH inicial del agua, concentración de contaminantes, tiempo de contacto, dosis de carbón activado, caudal de filtración).

Características físicas y químicas del carbón activado (humedad, densidad aparente, cenizas, y pH).

3.3.5. Operacionalización de variables de investigación

Tabla 1. Operacionalización de variables de investigación

Variable de investigación	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VX: Carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del <i>Coffea arabica</i> y <i>Manihot esculenta</i>	Los tipos de carbón activado empleados en la investigación comprenden el carbón activado comercial, utilizado como referencia; el carbón activado de cascarilla de café (<i>Coffea arabica</i>), que valoriza un residuo agroindustrial; y el carbón activado de cáscara de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), considerado como alternativa local y	La aplicación de carbón activado comercial, de cascarilla de café (<i>Coffea arabica</i>) y de cáscara de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) se operacionaliza considerando el tipo de carbón utilizado y sus características fisicoquímicas como humedad, densidad aparente, contenido de cenizas y pH, medidos en gramos, porcentaje y unidades de pH mediante balanza	Carbón activado de cascarilla del <i>Coffea arabica</i>	Densidad aparente Humedad Ceniza pH
			Carbón activado de cáscara de <i>Manihot esculenta</i>	Densidad aparente Humedad Ceniza pH

	sostenible para el tratamiento de aguas.	analítica, mufla, estufa y multiparámetro.		
VY: Remoción de turbiedad de aguas mieles	La remoción de turbiedad de aguas mieles se entiende como la reducción de compuestos orgánicos y partículas suspendidas que generan turbidez, medida en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), siendo este parámetro un indicador fundamental de la mejora en la calidad del agua.	La remoción de turbiedad en aguas mieles, expresada a través de la reducción de turbidez, se operacionaliza midiendo parámetros como unidades Pt-Co, turbidez en NTU, absorbancia UV-Vis y el porcentaje de remoción, utilizando instrumentos como turbidímetro, espectrofotómetro, multiparámetro y el sistema de filtración en lecho fijo.	Parámetros físicos de las aguas mieles de café y agua turbia	Turbiedad Sólidos totales disueltos (STD) Conductividad eléctrica (CE) Resistividad Temperatura
			Parámetros químicos de las aguas mieles de café y agua turbia	PH Oxígeno disuelto (OD) DBO5 REDOX Sales
			Eficiencia de remoción de turbidez de las aguas mieles de café y agua turbia	Porcentaje de remoción de turbidez

3.3.6. Diseño de investigación

El estudio se enmarcó en un diseño experimental puro, con control riguroso de las variables y manipulación directa de los factores en condiciones de laboratorio. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 2×7 y cuatro repeticiones, lo que permitió analizar los efectos individuales y combinados de los tratamientos.

Factor A (tipo de agua):

a1: Aguas mieles de café.

a2: Agua del río Huallaga.

Factor B (tipo de filtro):

b1: Sin filtro (datos iniciales).

b2: Filtro sin carbón activado de yuca.

A × B (interacción)	(2-1)(7-1) = 6	SC(A×B)	CM(A×B) = SC(A×B)/6	CM(A×B)/CM(Error)	p(A×B)
Error experimental	N - (ab) = 56 - 14 = 42	SC(Error)	CM(Error)	—	—
Total	N - 1 = 56 - 1 = 55	SC(Total)	—	—	—

Donde: Gl: grados de libertad, SC: suma de cuadrados; CM: cuadrado medio

3.3.7. Población y muestra

La población del estudio estuvo constituida por las aguas residuales provenientes del proceso de beneficio húmedo de café (aguas mieles) y por el agua del río Huallaga en la zona de Playa Tingo, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado.

La muestra se conformó por los volúmenes de agua recolectados en baldes de 20 L en cada punto de muestreo, los cuales fueron homogenizados y posteriormente sometidos a los diferentes tratamientos en laboratorio. El número de repeticiones experimentales se estableció en cuatro por cada combinación factorial, garantizando la representatividad estadística y la validez de los resultados.

3.3.8. Técnicas e instrumentos de investigación

La técnica principal de investigación fue la experimentación en laboratorio, apoyada en procedimientos estandarizados de análisis fisicoquímico. Se aplicaron técnicas de muestreo directo en campo y ensayos de adsorción en sistemas de filtración a nivel de laboratorio.

Entre **los instrumentos** empleados destacaron: turbidímetro HACH TL2300 para la medición de turbidez (NTU); multiparámetro portátil para la determinación de pH, conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y potencial REDOX; espectrofotómetro UV-Vis para mediciones de absorbancia a 254 nm; así como mufla eléctrica, estufa de secado, balanza analítica y agitador magnético, utilizados en la caracterización del carbón activado. Complementariamente, se emplearon botellas DBO₅, fiolas aforadas, vasos precipitados, filtros de lecho fijo artesanales y GPS para la ubicación de los puntos de muestreo.

3.3.9. Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó en varias etapas. En primer lugar, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para verificar el supuesto de distribución normal de los datos experimentales. Para los conjuntos de datos que cumplieron con normalidad y homogeneidad

de varianzas, se aplicó un ANOVA de modelo lineal (LM), complementado con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar diferencias significativas entre tratamientos. En los casos donde no se cumplieron los supuestos paramétricos, se aplicó un ANOVA no paramétrico mediante el método de Transformación de Rangos Alineados (ART), utilizando la prueba post hoc de Dunnett para la comparación de medias frente al control.

Adicionalmente, se efectuó un análisis descriptivo de los resultados, incluyendo el cálculo de medias aritméticas, desviación estándar y coeficiente de variación (CV%), con el fin de resumir y caracterizar la variabilidad de los datos obtenidos en cada tratamiento.

3.4. Metodología

3.4.1. Parámetros fisicoquímicos del carbón activado comercial y orgánico elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*.

1) Elaboración del carbón activado orgánico a partir de cascarilla de café y cascara de yuca

1.1) Recolección de cascarilla de café y cáscara de yuca

La cascarilla de café y la cáscara de yuca se recolectaron en origen dentro de las primeras 24 horas tras el despulpado/pelado, evitando material con mohos, suelos o materiales extraños. Se emplearon bolsas limpias de polipropileno, rotuladas con fecha, lugar, lote y masa, y se transportaron al laboratorio minimizando la exposición a humedad ambiental. Al recibir el material se tomó una submuestra para estimar humedad inicial por secado rápido, con el fin de planificar la etapa de pre-secado. Estas prácticas de control de materia prima se alinearon con recomendaciones para precursores lignocelulósicos destinados a carbonización/activación (Sebayang et al., 2021; Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

1.2) Clasificación y lavado de la cascarilla de café y cascara de yuca

En el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el material se clasificó para retirar gruesos y finos excesivos y se homogenizó en el intervalo aproximado de 0,5–10 mm, a fin de mejorar el flujo térmico durante la pirólisis. Posteriormente, se lavó con agua de red y, luego, con agua destilada hasta obtener un efluente visualmente claro (opcionalmente se verificó conductividad del enjuague final), reduciendo solubles inorgánicos que incrementan cenizas y variabilidad. El tamaño de partícula y el prelavado impactaron la uniformidad del char y la reproducibilidad de los análisis fisicoquímicos (Bansal & Goyal, 2005; Sebayang et al., 2021).

1.3) Secado en el medio ambiente de la cascarilla de café y cascara de yuca

El material lavado se escurrió y se secó a la sombra sobre bandejas en capa delgada (≤ 1 cm) durante 48–72 h, con volteos cada 12 h para acelerar la evaporación. En campañas húmedas se efectuó pre-secado en estufa (60–80 °C, 12–24 h) hasta masa cuasi constante (< 1 % de variación), lo que estabilizó la humedad antes de la carbonización y evitó vaporizaciones bruscas que pueden fisurar partículas (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006; Bansal & Goyal, 2005).

1.4) Carbonización de la cascarilla de café y cascara de yuca en mufla

La biomasa seca se colocó en crisoles con tapa para limitar el oxígeno y se carbonizó en mufla con una rampa cercana a 10 °C/min hasta 450–500 °C, manteniéndose 60–120 min. Tras el mantenimiento, los crisoles se dejaron enfriar en la mufla cerrada y, luego, en desecador. Estas condiciones permitieron obtener un char estable, con rendimientos y desarrollo de microestructura acordes con lo reportado para cascarilla de café y otros precursores lignocelulósicos (Sebayang et al., 2021; Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

1.5) Activación con ácido acético del carbón activado

El char enfriado se sometió a un tratamiento ácido suave usando ácido acético al 5 % v/v, con relación sólido: líquido 1:10 m/v durante 12–24 h a temperatura ambiente y agitación ocasional. Este paso se empleó como “descenizado ácido” para remover fracciones minerales y, simultáneamente, introducir grupos oxigenados superficiales que favorecen humectabilidad y sitios ácidos débiles; se eligió ácido acético por su menor peligrosidad frente a otros agentes ácidos comúnmente empleados en la literatura para lavado/oxidación (Ramírez-Gutiérrez et al., 2024; Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

1.6) Lavado del carbón activado

Finalizado el tratamiento, se realizaron lavados sucesivos con agua destilada (preferentemente caliente) hasta obtener un pH del filtrado entre 6,0 y 7,5, registrando el pH del último enjuague como verificación. Posteriormente, el material se secó a 105 ± 5 °C durante 12–16 h y se enfrió en desecador antes del almacenamiento. Este protocolo aseguró la remoción de sales residuales y la estabilización del material previo a su caracterización (Ramírez-Gutiérrez et al., 2024; Bansal & Goyal, 2005).

1.7) Almacenado del carbón activado

El carbón seco se almacenó en frascos ámbar herméticos, previamente desecados, con

rótulo de código, materia prima (café/yuca), granulometría y fecha. Los frascos se guardaron en ambiente seco y fresco, con el fin de evitar reabsorción de humedad y contaminación cruzada, tal como se recomienda para materiales carbonosos finos (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006; Bansal & Goyal, 2005).

2) Adquisición de carbón activado comercial de coco

Se adquirió carbón activado granular de coco en un proveedor formal de Lima y se registraron marca, lote y hoja técnica. Antes de los ensayos, se acondicionó a la misma fracción granulométrica usada en el material elaborado para asegurar comparabilidad entre adsorbentes y minimizar el efecto del tamaño de partícula en propiedades volumétricas (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006; Bansal & Goyal, 2005).

3) Determinación de los parámetros fisicoquímicos del carbón activado

Control de calidad: cada determinación se realizó, al menos, por duplicado; se utilizaron balanzas con resolución de 0,1 mg, mufla/estufa con calibración vigente y pH-metro calibrado con buffers pH 4,00; 7,00 y 10,00 a 25 ± 2 °C. Se aceptaron resultados con diferencia relativa ≤ 5 % entre duplicados; cuando fue necesario, se repitió la medición para cumplir el criterio (ASTM International, 2014, 2011, 2005; ASTM International, s. f.).

3.1) Determinación de la humedad del carbón activado

Se pesaron 2–5 g de muestra homogeneizada en cápsulas taradas (masa inicial m_1) y se secaron a 150 ± 5 °C hasta masa constante, con ciclos de secado-enfriado en desecador-pesada hasta cambios $< 0,1$ % (masa final m_2). La humedad (%) se calculó como $(m_1 - m_2)/m_1 \times 100$, y los resultados se reportaron como media \pm desviación estándar. Se incluyó control interno para verificar reproducibilidad entre tandas, de acuerdo con ASTM D2867 (ASTM International, 2014).

3.2) Determinación de la ceniza del carbón activado

Se colocaron 1–2 g de muestra previamente secada (carbón activado de cascarilla de café, cascara de yuca y carbón activado comercial) (105 °C, 1 h) en crisoles tarados (masa seca m_0). Los crisoles se introdujeron en mufla y se calcinaron a 650 ± 25 °C durante 3 a 5 h, empleando una rampa moderada para evitar combustión violenta; tras enfriar en desecador, se determinó la masa del residuo mineral (m_a). El contenido de ceniza (base seca) se calculó como $(m_a/m_0) \times 100$. Cuando fue necesario, se añadieron periodos de 30 min hasta masa constante, conforme a ASTM D2866 (ASTM International, 2011).

3.3) Determinación de la densidad aparente del carbón activado

El carbón seco se vertió en un cilindro graduado de 100 mL siguiendo el procedimiento de llenado/asentamiento especificado por la norma (velocidad de vertido, altura y golpeteo estandarizados), y se registraron la masa del carbón (m) y el volumen ocupado (V). La densidad aparente se calculó como m/V ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y se informó la media de duplicados. Este procedimiento minimizó la variación por compactación no controlada y siguió ASTM D2854 (ASTM International, s. f.).

3.4) Determinación del pH del carbón activado

Se preparó una suspensión 1:20 m/v (1,00 g en 20,0 mL de agua desionizada previamente hervida/desgasificada) y se agitó 3–5 min. Tras estabilizar a 25 ± 2 °C, se midió el pH del sobrenadante con electrodo calibrado; cuando fue necesario, se filtró finamente para evitar interferencias del material particulado. Adicionalmente, se registró el pH del último lavado de neutralización del carbón elaborado. El procedimiento replicó la práctica descrita en ASTM D3838 (ASTM International, 2005).

4) Estándares de calidad del carbón activado

En esta investigación, los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del carbón activado elaborado a partir de residuos agroindustriales fueron contrastados con estándares de referencia internacional y nacional. Para ello, se consideraron las normas técnicas ASTM International y la Norma Técnica Peruana NTP 311.331:2019 – Carbón activado para tratamiento de agua, que establecen métodos de ensayo y requisitos mínimos para su aplicación en procesos de potabilización y remoción de contaminantes.

El contenido de humedad fue evaluado siguiendo los criterios de la norma ASTM D2867, que establece un rango aceptable menor al 10 % en peso para garantizar la estabilidad y evitar peso improductivo. Los resultados experimentales fueron comparados con este límite para determinar la idoneidad del material obtenido (ASTM International, 2019a).

El contenido de cenizas se contrastó con lo estipulado en ASTM D2866, la cual indica que un carbón activado debe presentar valores inferiores al 15 % en peso, ya que un contenido elevado implica mayor presencia de impurezas inorgánicas que reducen la capacidad de adsorción (ASTM International, 2019b).

En cuanto a la densidad aparente, se consideró el método ASTM D2854, que define un rango de 0,30 a 0,70 g/cm^3 (300–700 g/L) como aceptable para carbones granulares, en función

del tamaño de partícula y la compactación. Adicionalmente, se tomaron como referencia valores técnicos reportados por Qizhong Chemical (s.f.), que indican una densidad típica entre 0,40 y 0,60 g/cm³ para carbones activados comerciales.

Finalmente, el pH del extracto acuoso fue evaluado de acuerdo con la norma ASTM D3838, que recomienda un intervalo de 5,0 a 9,0, siendo ideal el rango de 6,0 a 8,0 para su uso en tratamiento de agua. Este parámetro resulta relevante debido a que refleja la acidez o alcalinidad superficial del carbón, lo cual puede influir en la interacción con contaminantes y en la calidad del agua tratada (ASTM International, 2023).

De esta manera, los valores obtenidos en el laboratorio fueron sistemáticamente comparados con los estándares internacionales y nacionales, permitiendo determinar si el carbón activado producido cumplió con los requisitos mínimos de calidad exigidos para su aplicación en sistemas de tratamiento de agua.

Tabla 3. Comparativa indicativa de “calidad aceptable” para carbón activado

Parámetro	Unidad	Rango deseable / aceptable	Observaciones	Fuente
Humedad	% peso	≤ 5 – 10 %	Valores menores ayudan a mejorar la estabilidad, reducir peso improductivo	ASTM D2867; además, Chen et al. (2023) reportan humedad < 8 % en carbones de residuos lignocelulósicos
Ceniza total	% peso	≤ 5 – 15 %	Un contenido alto de cenizas implica contaminantes inorgánicos reduciendo capacidad activa	ASTM D2866; Song et al. (2018) reportan 4–12 % en carbones de biomasa
Densidad aparente (granular)	g/cm ³ o g/mL	0.30 – 0.70 g/cm ³ (300 – 700 g/L)	Depende del tamaño de partícula y grado de compactación	Qizhong Chemical (s.f.), valores típicos 0.4 – 0.6 g/cm ³
pH (extracto acuoso)	–	5.0 – 9.0 (ideal 6.0–8.0)	Depende del tratamiento químico, activación y tipo de combustible	ASTM D3838; Guevara (2019) reporta pH entre 6 y 7 en carbón de residuos peruanos

3.4.2. Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta* en los parámetros físicos de aguas mieles y turbia

1) Construcción del sistema de filtro de lecho fijo

Se construyó un sistema de filtración en lecho fijo utilizando un soporte de madera y columnas plásticas transparentes graduadas. Dicho diseño permitió trabajar en paralelo con 7 (siete) filtros y obtener un flujo gravitacional constante sin necesidad de presión externa. Este tipo de sistema es ampliamente empleado en estudios de laboratorio para evaluar la capacidad de adsorción de diferentes materiales, ya que simula condiciones de tratamiento a escala piloto (APHA, 2017).

2) Acondicionamiento del filtro de lecho fijo

Las columnas fueron acondicionadas de manera estratificada con diferentes materiales filtrantes. En la parte inferior se colocó una capa de 1 cm de lana de fibra de vidrio, seguida de 1 cm de arena fina, luego nuevamente 1 cm de lana de fibra de vidrio, otro estrato de 1 cm de arena, seguido de 2 cm de carbón activado granulado, 2 cm de carbón activado pulverizado y finalmente 1 cm de grava media con partículas de 1–3 mm de diámetro. El filtro control fue acondicionado de igual forma, pero sin incluir las capas de carbón activado, con el objetivo de determinar el efecto neto del adsorbente sobre los parámetros físicos evaluados (Metcalf & Eddy, 2016).

3) Recolección de muestras de aguas mieles de café y agua turbia

Las muestras de aguas mieles de café fueron recolectadas en el distrito de Santo Domingo de Anda, mientras que las de agua turbia se obtuvieron del río Huallaga en la Playa Tingo María. Ambas fueron almacenadas en baldes plásticos de 20 L, rotulados con fecha y lugar de muestreo, cumpliendo con los lineamientos del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).

4) Medición de los parámetros físicos iniciales de las aguas mieles de café y agua turbia

Antes de iniciar la filtración se determinaron los valores iniciales de turbiedad, sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica, resistividad y temperatura en ambas matrices de agua. Los análisis se realizaron siguiendo los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la APHA (2017). En la Tabla 4 se resumen los métodos empleados

para cada parámetro.

Tabla 4. Métodos de análisis empleados para los parámetros físicos del agua

Parámetro	Método / Instrumento	Norma de referencia
Turbiedad	Turbidímetro HACH modelo TL2300	APHA 2130B (2017)
Sólidos Totales Disueltos (STD)	Sonda multiparámetro YOKO (medición indirecta por conductividad)	APHA 2540C (2017)
Conductividad eléctrica	Sonda multiparámetro YOKO	APHA 2510B (2017)
Resistividad	Inversa de la conductividad eléctrica	APHA 2510B (2017)
Temperatura	Sonda multiparámetro YOKO	APHA 2550B (2017)

5) Operación y funcionamiento del filtro de lecho fijo

El sistema de filtración se operó bajo flujo gravitacional, lo que permitió que las muestras de agua atravesaran las diferentes capas del filtro. Este diseño favoreció la adsorción por carbón activado y la retención mecánica de sólidos en suspensión en la arena y la grava, generando condiciones similares a las plantas de tratamiento a pequeña escala (Crittenden et al., 2012).

6) Recolección de las muestras de aguas filtrada

El agua tratada fue recolectada en vasos de precipitado limpios y estandarizados, a fin de garantizar la representatividad y evitar contaminaciones cruzadas. Estas muestras fueron inmediatamente procesadas en el laboratorio para medir los mismos parámetros físicos evaluados en el agua cruda.

7) Medición de los parámetros físicos de aguas mieles de café y agua turbia después del experimento

Tras la filtración, se volvieron a medir la turbiedad, los sólidos totales disueltos, la conductividad eléctrica, la resistividad y la temperatura, utilizando los mismos equipos y normas de referencia mencionados anteriormente. Este procedimiento permitió establecer comparaciones directas entre las condiciones iniciales y finales, asegurando consistencia metodológica (APHA, 2017).

8) Comparación y contraste de los parámetros físicos con normas nacionales e internacionales

Los resultados experimentales fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en el Perú (DS N.º 004-2017-MINAM) y con las Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017). Esta comparación permitió evaluar si el agua tratada mediante carbón activado cumplió con las disposiciones regulatorias y de salud pública vigentes.

Tabla 5. Estándares nacionales e internacionales para parámetros físicos del agua

Parámetro	Estándar nacional (ECA-Agua Perú, DS N.º 004-2017-MINAM)	Estándar internacional (OMS, 2017)	Observación
Turbiedad	≤ 5 UNT (consumo humano, categoría 1A)	≤ 5 UNT recomendado; ideal < 1 UNT en agua tratada	Relacionada con la presencia de sólidos suspendidos y calidad estética.
Sólidos Totales Disueltos (STD)	≤ 1000 mg/L (uso poblacional y recreativo)	≤ 1000 mg/L recomendado; hasta 1500 mg/L aceptable	Valores altos afectan sabor, salinidad y aceptabilidad del agua.
Conductividad eléctrica	≤ 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (referencia para agua de consumo humano)	≤ 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ recomendado	Asociada a sales disueltas; valores altos reducen potabilidad.
Resistividad	$\geq 0,67$ $\Omega \cdot \text{m}$ (inversa de la conductividad de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ($\geq 0,67 \times 10^{-4}$ $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$)	$\geq 0,67$ $\Omega \cdot \text{m}$ ($\geq 0,67 \times 10^{-4}$ $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$)	Se calcula como el inverso de la conductividad eléctrica.
Temperatura	≤ 25 °C (recomendado en ECA-Agua)	≤ 25 °C recomendado para aceptabilidad sensorial	Afecta olor, sabor y solubilidad de oxígeno.

3.4.3. Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta* en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia

1) Medición de los parámetros químicos iniciales de las aguas mieles de café y agua turbia

Se determinaron los valores iniciales de los parámetros químicos en las muestras de

aguas mieles de café y de agua turbia del río Huallaga, específicamente: pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), potencial óxido-reducción (ORP) y sales totales. Estos análisis se realizaron siguiendo los lineamientos establecidos en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), utilizando equipos multiparamétricos y métodos de referencia normalizados.

Tabla 6. Métodos de análisis para parámetros químicos

Parámetro	Método / Instrumento	Norma de referencia
pH	Potenciómetro digital (sonda multiparámetro YOKO)	APHA 4500-H ⁺ B (2017)
Oxígeno disuelto (OD)	Sonda electrométrica tipo membrana (multiparámetro)	APHA 4500-O G (2017)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Método de incubación a 20 °C por 5 días	APHA 5210 B (2017)
Potencial óxido-reducción (ORP)	Electrodo redox conectado a sonda multiparámetro	APHA 2580 B (2017)
Sales totales	Conductividad eléctrica convertida a sales (mg/L)	APHA 2510 B (2017)

2) Operación y funcionamiento del filtro de lecho fijo

Las aguas fueron sometidas a filtración en las columnas de lecho fijo previamente acondicionadas (ver metodología 3.4.2). El sistema funcionó bajo flujo gravitacional, lo cual permitió que el agua interactuara con las capas de arena, grava y carbón activado. Este proceso favoreció la adsorción de compuestos orgánicos y sales, así como el incremento de oxígeno disuelto por reducción de carga contaminante (Crittenden et al., 2012).

3) Recolección de agua filtrada

El agua tratada se recolectó en vasos de precipitado limpios y previamente enjuagados con la misma muestra. Este procedimiento garantizó la representatividad y redujo posibles interferencias en los parámetros químicos a medir (ANA, 2016).

4) Medición de los parámetros químicos de aguas mieles de café y agua turbia después del experimento

Una vez filtradas, las muestras fueron analizadas nuevamente para pH, oxígeno disuelto, DBO₅, ORP y sales totales, siguiendo los mismos protocolos que en las muestras iniciales. Esta

metodología permitió comparar directamente la efectividad del carbón activado elaborado a partir de cascarilla de *Coffea arabica* y de *Manihot esculenta*, así como la del carbón activado comercial, en la mejora de la calidad química del agua (APHA, 2017).

5) Comparación y contraste de los parámetros químicos con normas nacionales e internacionales

Finalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con los valores permitidos en la normativa peruana (ECA-Agua, DS N.º 004-2017-MINAM) y con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), lo cual permitió establecer el grado de cumplimiento de los parámetros químicos bajo condiciones experimentales.

Tabla 7. Estándares nacionales e internacionales para parámetros químicos del agua

Parámetro	Unidad	Estándar nacional (ECA-Agua Perú, DS N.º 004-2017- MINAM)	Estándar internacional (OMS, 2017)	Observación
pH	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	Intervalo recomendado para agua potable.
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥ 5 mg/L (para consumo humano y vida acuática)	≥ 5 mg/L recomendado	Niveles bajos indican contaminación orgánica.
DBO ₅	mg/L	≤ 5 mg/L (uso poblacional)	≤ 5 mg/L recomendado	Valores altos reflejan carga orgánica y consumo de oxígeno.
Potencial óxido-reducción (ORP)	mV	≥ +200 mV (referencia para agua tratada)	≥ +200 mV	Indica capacidad oxidante, asociada a desinfección.
Sales totales (STD)	mg/L	≤ 1000 mg/L	≤ 1000 mg/L (aceptable hasta 1500 mg/L)	Relacionado con sabor y aceptabilidad del agua.

3.4.4. Eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles de café por aplicación de carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*

La evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez se realizó utilizando un sistema de filtración de lecho fijo, acondicionado con tres tipos de adsorbentes: (i) carbón activado

comercial, (ii) carbón activado elaborado a partir de cascarilla de café (*Coffea arabica*), y (iii) carbón activado obtenido de la cáscara de yuca (*Manihot esculenta*). Este procedimiento buscó comparar la capacidad de reducción de turbidez entre un carbón activado estándar y aquellos elaborados a partir de residuos agroindustriales, siguiendo experiencias previas de estudios en potabilización de aguas (Crittenden et al., 2012).

En primer lugar, se determinaron los valores iniciales de turbidez (T_i) en las aguas mieles de café, utilizando un turbidímetro HACH modelo TL2300. El análisis se realizó conforme al método 2130 B de la American Public Health Association (APHA, 2017), el cual establece la medición de turbiedad mediante nefelometría en unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

Posteriormente, tras el paso de las aguas a través de las columnas de filtración, se midieron los valores finales de turbidez (T_f) bajo las mismas condiciones instrumentales y normativas, garantizando consistencia metodológica (APHA, 2017).

La eficiencia de remoción de turbidez (ER) se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$ER(\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100$$

Donde:

T_i = turbidez inicial de la muestra (UNT)

T_f = turbidez final después del tratamiento (UNT)

Este cálculo permitió determinar el porcentaje de reducción alcanzado por cada tipo de carbón activado, estableciendo así una comparación de desempeño.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron contrastados con los valores establecidos en la normativa peruana de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua, DS N.º 004-2017-MINAM), que fija un valor máximo de 5 UNT de turbidez para agua de consumo humano, así como con las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), que recomiendan mantener la turbidez ≤ 5 UNT, idealmente < 1 UNT en agua tratada. Esta comparación permitió determinar la eficacia del carbón activado elaborado a partir de residuos agroindustriales frente al estándar comercial.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*

En la Tabla 8 se observan los valores promedio, desviación estándar (SD) y coeficiente de variación (CV%) de los parámetros fisicoquímicos evaluados en tres tipos de carbón activado: elaborado a partir de cáscara de yuca, cascarilla de café y carbón activado comercial de coco. En cuanto a la humedad, el carbón de yuca presentó un valor promedio bajo (5,87%), dentro del rango recomendado ($\leq 10\%$), mientras que el carbón de café y el comercial alcanzaron valores más altos (8,70% y 8,25%, respectivamente). En el caso del contenido de cenizas, los carbones de yuca (10,90%) y café (7,70%) se ubicaron dentro de los límites aceptables ($\leq 15\%$), mientras que el carbón de coco sobrepasó significativamente este estándar con un valor de 21,57%, lo que sugiere presencia elevada de compuestos inorgánicos residuales. Respecto a la densidad aparente, los valores oscilaron entre 0,22 g/cm³ (yuca) y 0,35 g/cm³ (café y coco), ubicándose todos dentro del rango deseable (0,30–0,70 g/cm³). Finalmente, en cuanto al pH, el carbón de yuca (6,52) se mantuvo en el rango neutro ideal (6–8), mientras que los carbones de café (5,67) y coco (5,94) se encontraron ligeramente por debajo del intervalo recomendado.

Al comparar los tres materiales, se evidencia que el carbón de cáscara de yuca presentó características más homogéneas y estables, reflejadas en coeficientes de variación bajos (2,35–6,32%). Este comportamiento coincide con lo reportado por Chen et al. (2023), quienes mencionan que la estabilidad de parámetros fisicoquímicos en carbones lignocelulósicos es crucial para su eficacia como adsorbente. El carbón de cascarilla de café, en contraste, mostró mayor variabilidad en humedad (CV% = 31,66%), lo que indica heterogeneidad en su preparación y posible retención de agua, aspecto que afecta su durabilidad y eficiencia de adsorción (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). El carbón comercial de coco, si bien mostró consistencia en la mayoría de parámetros, sobresalió por su alto contenido de cenizas, lo cual puede limitar su capacidad de adsorción debido al bloqueo de microporos (Song et al., 2018).

Los valores de humedad y ceniza son críticos, ya que afectan directamente la calidad del carbón activado. Según ASTM D2867, contenidos de humedad superiores al 10% reducen la estabilidad del material, mientras que niveles de ceniza mayores al 15% disminuyen la capacidad de adsorción al aumentar la proporción de materiales inorgánicos no adsorbentes. En este sentido, el carbón de yuca y café cumplen con los estándares internacionales, mientras que el de coco no lo hace. En relación con la densidad aparente, valores entre 0,30 y 0,70 g/cm³ se consideran adecuados para garantizar buena compactación y eficiencia en procesos de filtración

(Qizhong Chemical, s.f.). El carbón de café y coco alcanzaron densidades en el límite inferior del rango, mientras que el de yuca mostró un valor por debajo, lo que indica menor compactación, aunque sin salirse totalmente del estándar reportado en literatura.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del carbón activado

Parámetro físico químico	Unidad	Carbón activado de cáscara de yuca			Carbón activado de cascarilla de café			Carbón activado comercial de coco		
		Prom.	SD	CV%	Prom.	SD	CV%	Prom.	SD	CV%
Humedad	%	5,87%	0,14%	2,35%	8,70%	2,75%	31,66%	8,25%	0,12%	1,50%
Ceniza	%	10,90%	0,15%	1,33%	7,70%	1,47%	19,10%	21,57%	0,51%	2,39%
Densidad aparente	g/cc	0,22	0,01	6,32%	0,31	0,03	10,58%	0,35	0,01	4,08%
pH	-	6,52	0,37	5,60%	5,67	0,05	0,81%	5,94	0,04	0,64%

Prom.: Promedio, SD: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación

Finalmente, el pH es un factor determinante en la interacción del carbón activado con el agua. El valor ligeramente ácido observado en los carbones de café y coco podría deberse a residuos de activación química o compuestos orgánicos volátiles aún presentes (Guevara, 2019). Esto puede influir en la adsorción de contaminantes sensibles al pH, como metales pesados y compuestos fenólicos. En cambio, el carbón de yuca mostró un pH dentro del rango neutro, lo cual es más favorable para aplicaciones de tratamiento de agua potable.

En síntesis, el análisis sugiere que el carbón activado de cáscara de yuca posee mejores características fisicoquímicas frente a los elaborados de café y al comercial de coco, lo que lo convierte en una alternativa prometedora y sostenible para aplicaciones de remoción de contaminantes en aguas turbias y aguas mieles de café.

En la Figura 3 se muestra el contenido de humedad de los diferentes tipos de carbón activado: elaborado a partir de cáscara de yuca, cascarilla de café y carbón comercial de coco, en comparación con el valor de referencia ($\leq 10\%$). El carbón activado de cáscara de yuca presentó el menor valor promedio ($\approx 5,9\%$), el carbón de cascarilla de café alcanzó el valor más elevado ($\approx 8,7\%$), mientras que el carbón comercial de coco registró un valor intermedio ($\approx 8,3\%$). Todos los materiales evaluados se encuentran dentro del rango aceptable recomendado por la norma ASTM D2867 ($\leq 10\%$), aunque con diferencias notorias en magnitud y variabilidad.

El carbón de cáscara de yuca mostró no solo el valor más bajo de humedad, sino también la menor dispersión (barra de error reducida), lo que refleja una mayor estabilidad y

homogeneidad en su estructura. Este comportamiento es deseable, ya que la humedad excesiva puede afectar negativamente la capacidad de adsorción y la eficiencia del carbón en procesos de tratamiento de agua (Bansal & Goyal, 2005). En contraste, el carbón de cascarilla de café presentó el mayor valor de humedad y una amplia desviación estándar, lo que evidencia variabilidad en el proceso de activación y en el contenido de agua retenida en la matriz carbonosa, posiblemente debido a la naturaleza lignocelulósica y a compuestos volátiles aún presentes (Ioannidou & Zabaniotou, 2007).

El carbón comercial de coco se ubicó cercano al límite superior del estándar, pero con una variabilidad mínima, lo que indica consistencia en su procesamiento industrial. Este resultado concuerda con lo señalado por Lua y Yang (2004), quienes reportaron que carbones de origen comercial suelen tener características más estables debido al control de sus condiciones de activación. Sin embargo, su valor relativamente alto de humedad podría implicar un mayor peso improductivo, lo que reduce la eficiencia en aplicaciones de adsorción (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

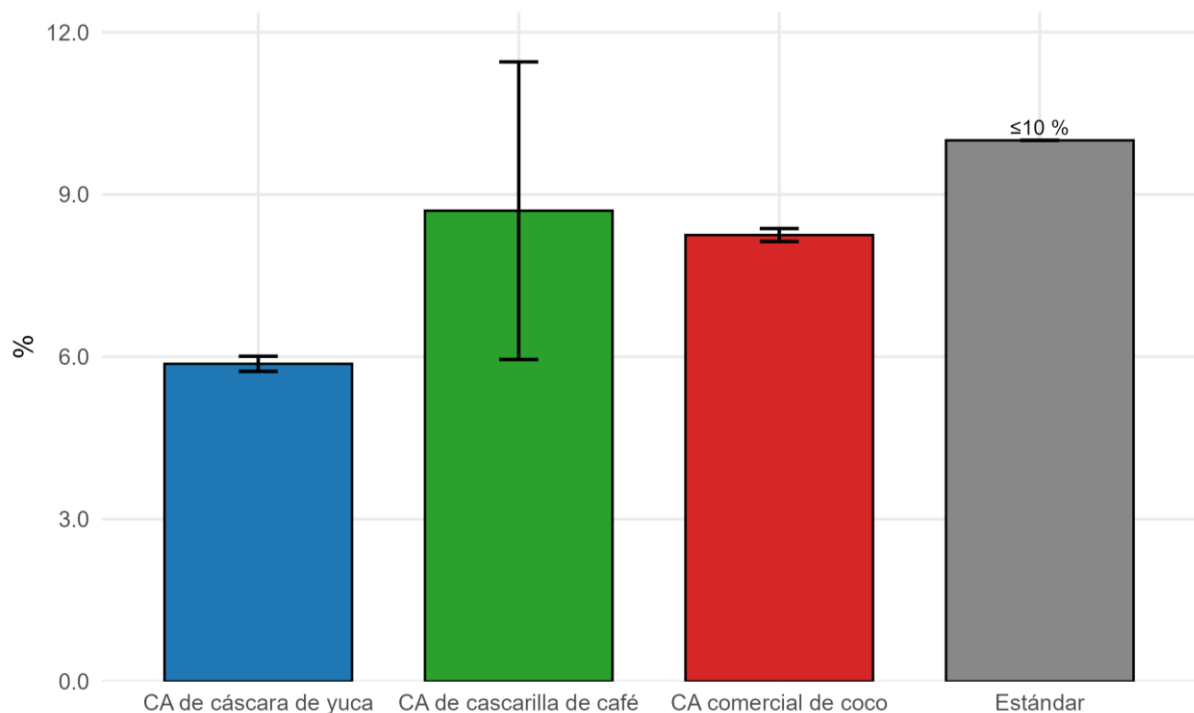


Figura 3. Contenido de humedad de las diferentes muestras de carbón activado

La importancia de mantener un contenido de humedad reducido radica en que valores elevados pueden afectar la porosidad efectiva y la superficie específica del carbón activado, limitando el acceso a los sitios activos de adsorción (Song et al., 2018). Según ASTM D2867, un valor $\leq 10\%$ asegura estabilidad, menor susceptibilidad a microorganismos y mayor

durabilidad del adsorbente. En este contexto, el carbón de yuca resultó el más adecuado, dado que no solo se mantuvo muy por debajo del límite, sino que también mostró baja variabilidad, lo que garantiza reproducibilidad en aplicaciones prácticas.

En cambio, aunque los carbones de café y coco cumplen con la normativa, su proximidad al límite máximo sugiere la necesidad de un secado más riguroso o condiciones de almacenamiento controladas. Esto es relevante porque, según Chen et al. (2023), la humedad residual en carbones activados de biomasa puede condicionar negativamente su capacidad de adsorción de metales pesados y compuestos orgánicos.

En síntesis, los resultados demuestran que el carbón de cáscara de yuca presenta mejores condiciones fisicoquímicas en términos de humedad frente al de café y al comercial, lo que lo convierte en un material alternativo competitivo y sostenible para el tratamiento de aguas.

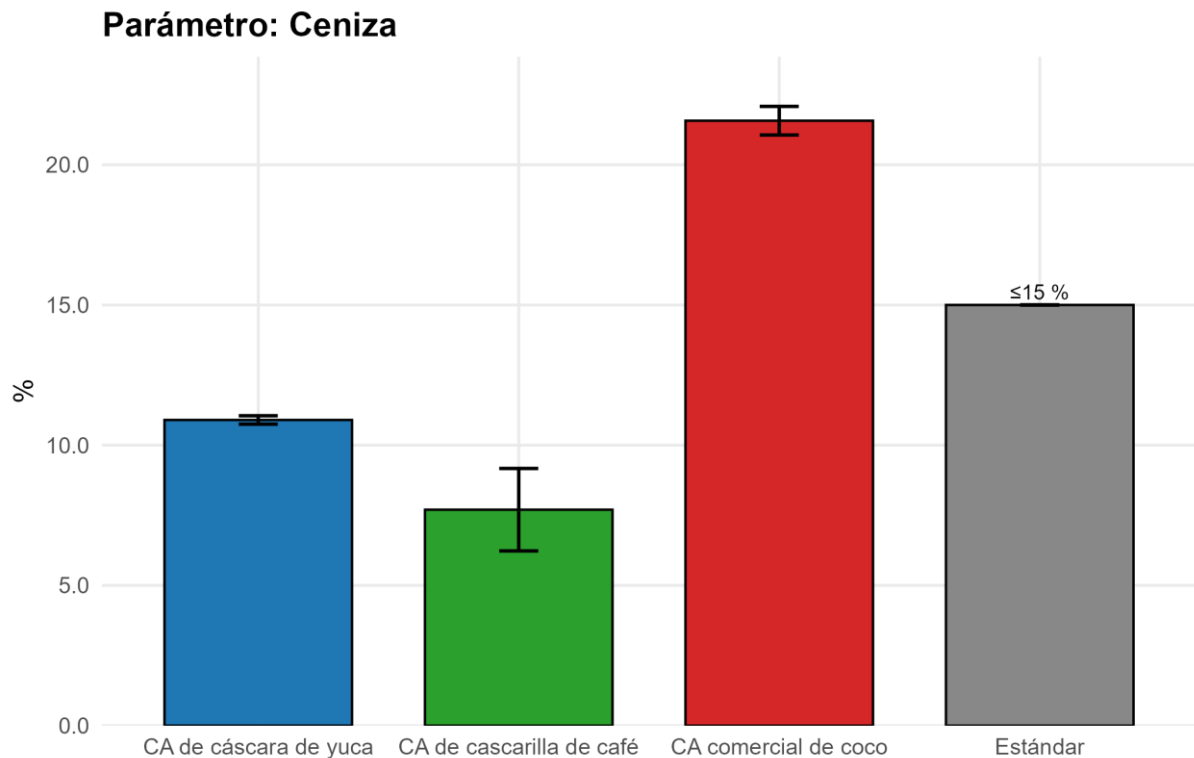


Figura 4. Contenido de ceniza de las diferentes muestras de carbón activado

La Figura 4 presenta el contenido de ceniza en tres tipos de carbón activado: cáscara de yuca, cascarilla de café y carbón comercial de coco, contrastados con el valor de referencia de la norma ASTM D2866 ($\leq 15\%$). El carbón activado de cáscara de yuca presentó un valor promedio de $\approx 10,9\%$, mientras que el carbón de cascarilla de café mostró el valor más bajo, con $\approx 7,7\%$. En contraste, el carbón comercial de coco registró el valor más elevado, con $\approx 21,6\%$, superando el límite aceptable.

El carbón de cáscara de yuca se encuentra dentro de los límites aceptados, con un nivel intermedio que indica buena eficiencia de activación y un bajo contenido de residuos inorgánicos. Por su parte, el carbón de cascarilla de café es el que presentó el menor contenido de ceniza, lo que sugiere mayor pureza de su matriz carbonosa y mejor potencial para aplicaciones de adsorción, ya que la ceniza elevada puede obstruir los microporos e interferir con la capacidad de captación de contaminantes (Bansal & Goyal, 2005). Sin embargo, el carbón comercial de coco presentó valores muy por encima del estándar, lo cual indica una alta proporción de compuestos minerales residuales, probablemente producto del tipo de materia prima y de los procesos de activación empleados (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

El contenido de ceniza es un parámetro crítico en la calidad del carbón activado, ya que representa la fracción inorgánica no combustible que no contribuye a la capacidad de adsorción. Según ASTM D2866, niveles superiores al 15% reducen significativamente la eficiencia del carbón debido al bloqueo parcial de su superficie activa y a la reducción de volumen de microporos disponibles (ASTM, 2012). Estudios previos han demostrado que un bajo contenido de cenizas es deseable para procesos de tratamiento de agua, ya que garantiza mayor estabilidad estructural y mejor rendimiento en la eliminación de metales pesados y contaminantes orgánicos (Ioannidou & Zabaniotou, 2007; Song et al., 2018).

El valor reducido observado en el carbón de café ($\approx 7,7\%$) refleja un buen desempeño, lo cual coincide con investigaciones que destacan la cascarilla de café como una biomasa adecuada para producir carbones activados de alta calidad (Franca et al., 2010). El carbón de yuca, aunque presenta un nivel mayor, aún cumple con los estándares y muestra potencial como alternativa sostenible, respaldado por reportes de uso de residuos agroindustriales para generación de adsorbentes eficientes (Chen et al., 2023). En contraste, el elevado contenido de cenizas en el carbón de coco ($>21\%$) puede deberse a la presencia de sílice, calcio y otros minerales en la materia prima, lo que si bien puede aportar resistencia mecánica, limita fuertemente la eficiencia de adsorción (Lua & Yang, 2004).

En conclusión, los resultados confirman que el carbón de cascarilla de café es el más favorable en términos de bajo contenido de ceniza, seguido por el de yuca, mientras que el carbón comercial de coco presenta limitaciones significativas frente a los estándares de calidad.

La Figura 5 muestra los valores de densidad aparente de los tres tipos de carbón activado evaluados: cáscara de yuca, cascarilla de café y carbón comercial de coco, comparados con el rango estándar de referencia ($0,30-0,70 \text{ g/cm}^3$). El carbón activado de cáscara de yuca presentó el valor más bajo ($\approx 0,22 \text{ g/cm}^3$), por debajo del límite inferior del estándar. El carbón de

cascarilla de café alcanzó $\approx 0,31 \text{ g/cm}^3$, mientras que el carbón comercial de coco presentó $\approx 0,35 \text{ g/cm}^3$, ambos dentro del rango recomendado.

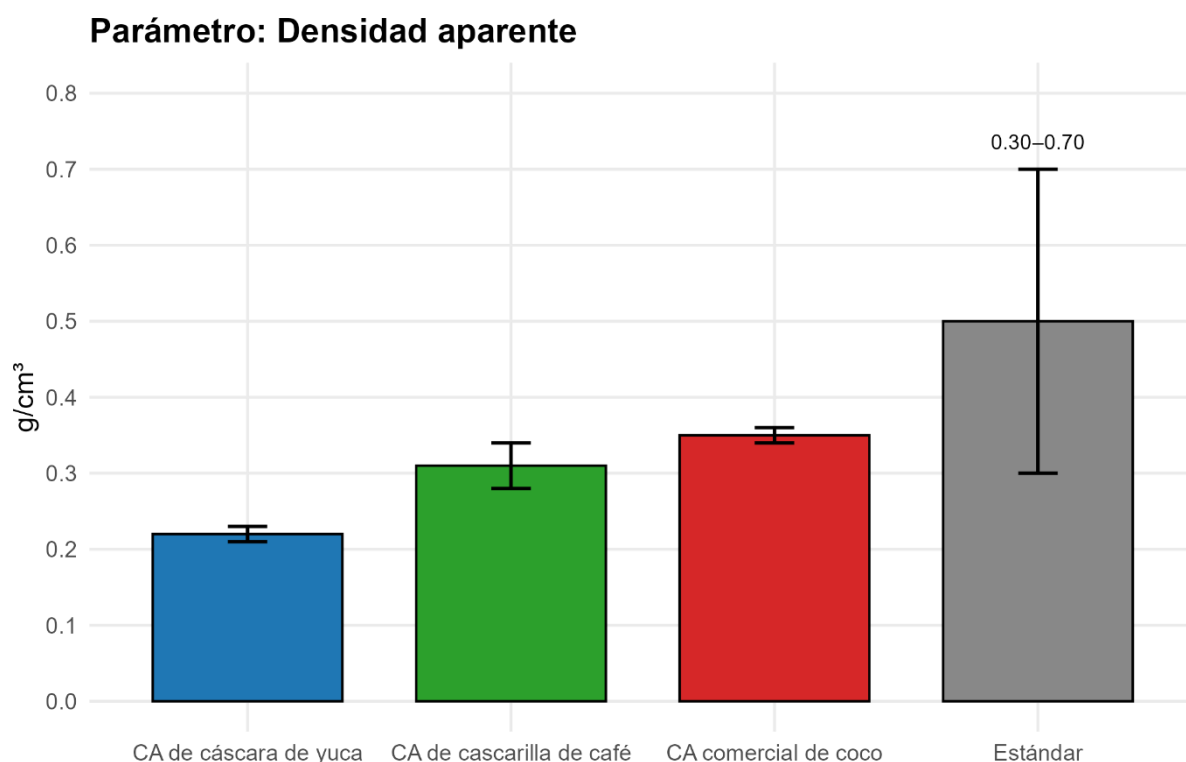


Figura 5. Densidad aparente de las diferentes muestras de carbón activado

Los resultados evidencian que el carbón de yuca, pese a encontrarse fuera del rango recomendado, presentó una densidad aparente reducida, lo que indica mayor volumen de poros, pero también menor grado de compactación y resistencia mecánica (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006). En contraste, el carbón de café y el de coco se ubicaron dentro de los valores estándar, con densidades cercanas al límite inferior, lo que sugiere una buena relación entre porosidad y estabilidad física. Este comportamiento coincide con lo descrito por Qizhong Chemical (s.f.), que señala que densidades dentro de $0,30\text{--}0,70 \text{ g/cm}^3$ son deseables para equilibrar capacidad de adsorción y durabilidad en aplicaciones de filtración.

El carbón de coco presentó el valor más alto ($\approx 0,35 \text{ g/cm}^3$), lo que indica mayor compactación y, en consecuencia, mejor resistencia al desgaste durante procesos de filtración, aunque con posible reducción ligera de la superficie específica disponible (Bansal & Goyal, 2005). En contraste, el carbón de yuca, al tener una densidad muy baja, podría ser más eficiente en términos de área superficial disponible para adsorción, pero con menor estabilidad en aplicaciones continuas (Lua & Yang, 2004).

La densidad aparente constituye un indicador clave en el diseño de filtros, ya que influye

en la velocidad de flujo, la compactación del lecho y la capacidad de retención de contaminantes. Según Ioannidou y Zabaniotou (2007), densidades muy bajas suelen estar asociadas a estructuras más frágiles, mientras que valores dentro del rango aceptable garantizan un balance adecuado entre porosidad y resistencia mecánica.

En este sentido, el carbón de cascarilla de café y el carbón de coco cumplen con los estándares internacionales, mostrando un comportamiento apropiado para su uso en tratamientos de agua. Por otro lado, aunque el carbón de yuca no cumple estrictamente con el rango estándar, su menor densidad puede ser ventajosa en ciertos contextos de adsorción rápida y de laboratorio, siempre que se controle la estabilidad mecánica del material (Chen et al., 2023).

En síntesis, los resultados sugieren que el carbón de cascarilla de café y el comercial de coco presentan una mayor aplicabilidad práctica en sistemas de filtración, mientras que el carbón de yuca, a pesar de su alta porosidad, requiere optimización del proceso de activación para mejorar su densidad aparente y asegurar su durabilidad en aplicaciones reales.

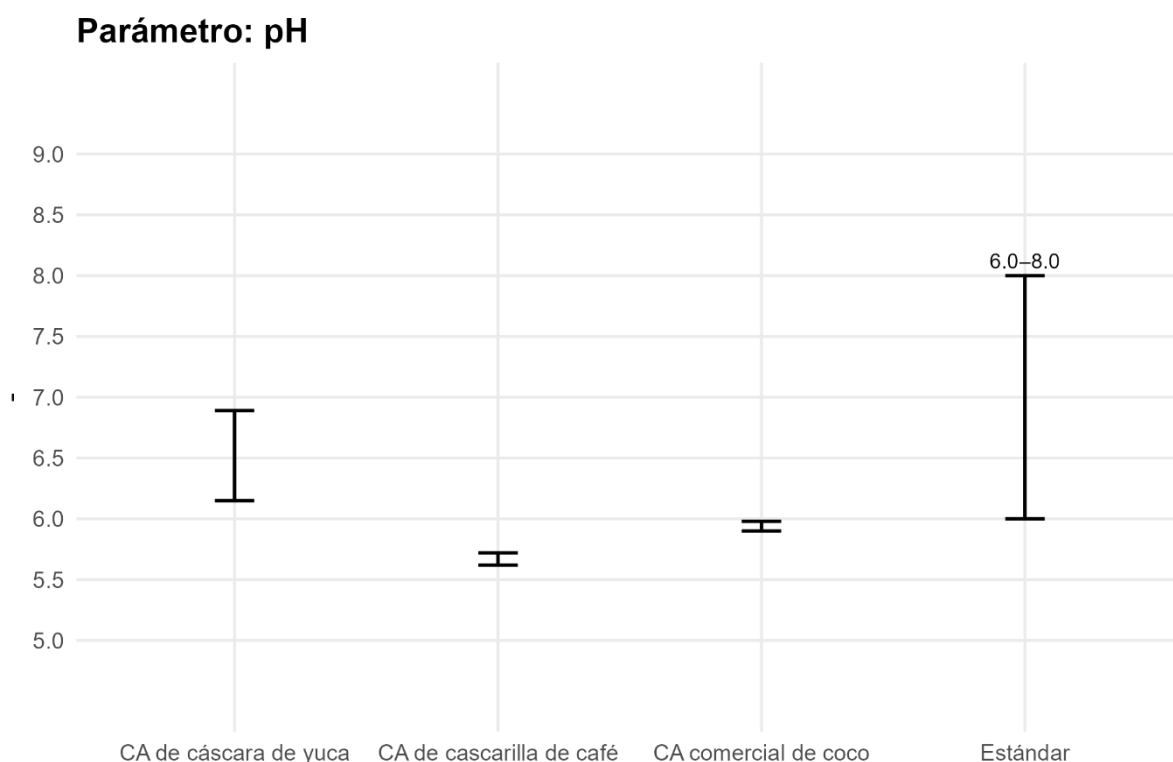


Figura 6. pH de las diferentes muestras de carbón activado

La Figura 6 muestra los valores de pH obtenidos en las muestras de carbón activado de cáscara de yuca, cascarilla de café y carbón comercial de coco, en comparación con el rango estándar recomendado (pH 6,0–8,0). El carbón de cáscara de yuca presentó un valor promedio

de $\approx 6,5$, ubicado dentro del intervalo aceptable. Por su parte, el carbón de cascarilla de café registró un valor más ácido ($\approx 5,6$), situándose por debajo del rango recomendado. Finalmente, el carbón comercial de coco alcanzó $\approx 5,9$, cercano al límite inferior del estándar, aunque aun ligeramente inferior al mínimo de referencia.

El carbón activado de cáscara de yuca mostró el mejor comportamiento en términos de pH, ajustándose al rango estándar (6,0–8,0), lo que indica un carácter químicamente neutro y mayor estabilidad frente a procesos de adsorción en agua potable (ASTM D3838, 2011). En contraste, el carbón de cascarilla de café evidenció una acidez marcada, probablemente asociada a residuos de compuestos fenólicos y ácidos orgánicos presentes en la biomasa original o a subproductos de la activación química (Franca et al., 2010). El carbón comercial de coco, si bien mostró valores más cercanos al estándar, reflejó un pH ligeramente ácido, lo cual puede condicionar la interacción con algunos contaminantes sensibles al pH, como los metales pesados (Bansal & Goyal, 2005).

El pH de un carbón activado constituye un indicador importante de su carácter superficial, influenciado por los grupos funcionales presentes en la matriz carbonosa (hidroxilos, carboxilos y lactonas). Valores ácidos pueden reducir la adsorción de iones metálicos, pero favorecer la retención de compuestos básicos, mientras que valores neutros o ligeramente alcalinos son más apropiados para aplicaciones generales en tratamiento de agua (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006).

El comportamiento observado en el carbón activado de café y de coco sugiere que requieren un acondicionamiento adicional, como lavado o neutralización, para eliminar impurezas ácidas residuales y acercarse a la neutralidad (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). En cambio, el carbón de yuca, al ubicarse dentro del rango estándar, demuestra ser un material más estable y versátil, lo cual concuerda con estudios que destacan el potencial de biomásas agrícolas alternativas para producir carbones activados con propiedades competitivas (Chen et al., 2023).

En general, se puede concluir que el carbón de cáscara de yuca es el más adecuado en términos de pH para aplicaciones en potabilización de agua, mientras que los carbones de café y coco, aunque cercanos, requerirían procesos de optimización para cumplir estrictamente con los estándares internacionales.

El análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos de los diferentes carbones activados evidencia que el carbón de cáscara de yuca presenta las condiciones más favorables

para la adsorción. Su contenido de humedad fue el más bajo (5,87%), dentro del rango recomendado ($\leq 10\%$), lo cual es ventajoso porque la humedad excesiva reduce el área superficial disponible para la adsorción y afecta la estabilidad del material (Chen et al., 2023; ASTM D2867, 2017). En contraste, el carbón de cascarilla de café mostró el mayor porcentaje de humedad (8,70%) y con una alta variabilidad, lo que podría comprometer su eficiencia en procesos de tratamiento de agua.

Respecto al contenido de cenizas, el carbón de cascarilla de café presentó el valor más bajo (7,70%), mientras que el de cáscara de yuca también se mantuvo dentro de los límites aceptables (10,90%). Ambos resultados son positivos, ya que las cenizas constituyen material inorgánico que obstruye los poros y disminuye la capacidad de adsorción (Song et al., 2018; Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006). Por el contrario, el carbón comercial de coco mostró un contenido elevado (21,57%), excediendo los valores de referencia ($\leq 15\%$), lo que limita significativamente su calidad adsorbente.

En relación con la densidad aparente, tanto el carbón de coco ($0,35 \text{ g/cm}^3$) como el de café ($0,31 \text{ g/cm}^3$) se encuentran dentro del rango estándar ($0,30\text{--}0,70 \text{ g/cm}^3$), lo que refleja un buen grado de compacidad y resistencia mecánica (Qizhong Chemical, s.f.; Ioannidou & Zabaniotou, 2007). Sin embargo, el carbón de cáscara de yuca ($0,22 \text{ g/cm}^3$) quedó por debajo del rango aceptable, lo que puede asociarse a una estructura menos compacta y menor durabilidad en aplicaciones de filtración.

En cuanto al pH, el carbón de cáscara de yuca mostró un valor cercano a la neutralidad (6,52), dentro del intervalo recomendado de 6,0 a 8,0, lo que lo hace químicamente más estable y compatible con aplicaciones ambientales (ASTM D3838, 2017; Guevara, 2019). Por el contrario, el carbón de café (5,67) y el de coco (5,94) mostraron valores ligeramente ácidos, lo que podría limitar su desempeño en procesos donde se requiere neutralidad química.

En síntesis, considerando de manera integrada los cuatro parámetros evaluados, el carbón activado de cáscara de yuca se posiciona como el más adecuado para procesos de adsorción, seguido por el carbón activado de cascarilla de café, debido a su bajo contenido de cenizas y densidad aceptable. El carbón activado comercial de coco, a pesar de su buena densidad, queda en desventaja por su elevado contenido de cenizas y su pH ácido, lo cual reduce su eficiencia global.

4.2. Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta* en los parámetros físicos de aguas mieles y turbia

4.2.1. Prueba de normalidad de los parámetros físicos de aguas mieles y turbia

La Tabla 9 muestra los resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para los parámetros físicos de aguas mieles de café y aguas turbias. Estos resultados permiten decidir entre la aplicación de modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) en el análisis factorial posterior.

En el caso de la turbidez, el estadístico de Shapiro-Wilk ($W=0,4238$; $p=0,0000$) rechazó la hipótesis de normalidad ($p<0,05$) y la prueba de Levene ($F=6,2822$; $p=0,0000$) mostró heterogeneidad de varianzas. Por lo tanto, los datos de turbidez no cumplen los supuestos requeridos para ANOVA, lo que obliga a aplicar un modelo no paramétrico (ART), el cual permite analizar diseños factoriales preservando la estructura del experimento (Wobbrock et al., 2011).

En cuanto a los sólidos totales disueltos (STD), se obtuvo un resultado similar: Shapiro-Wilk ($W=0,8506$; $p=0,0000$) indicó no normalidad, y la prueba de Levene ($F=4,1862$; $p=0,0002$) rechazó la homogeneidad. Esto implica nuevamente la necesidad de emplear el enfoque no paramétrico (ART), adecuado cuando los datos presentan distribución sesgada y varianzas heterogéneas, características frecuentes en aguas naturales (Helsel & Hirsch, 2002).

Para la conductividad eléctrica (CE), los resultados del test de Shapiro-Wilk ($W=0,3534$; $p=0,0000$) también mostraron ausencia de normalidad; sin embargo, la prueba de Levene ($F=1,1164$; $p=0,3728$) aceptó la homogeneidad de varianzas. A pesar de esta homogeneidad, la falta de normalidad determina que el análisis de este parámetro se realice igualmente con un modelo no paramétrico (ART) (Montgomery, 2017).

La resistividad presentó un comportamiento equivalente: el test de Shapiro-Wilk ($W=0,5992$; $p=0,0000$) rechazó la normalidad y la prueba de Levene ($F=4,1010$; $p=0,0020$) indicó heterogeneidad de varianzas. Por consiguiente, los datos tampoco cumplen los supuestos paramétricos, justificando el uso del modelo ART.

Finalmente, la temperatura mostró un resultado distinto. El estadístico Shapiro-Wilk ($W=0,9584$; $p=0,0511$) no rechazó la normalidad ($p>0,05$), y la prueba de Levene ($F=1,3118$; $p=0,2446$) indicó homogeneidad de varianzas. En este caso, se cumplen los supuestos básicos, lo que permite el uso de un modelo paramétrico (LM) en el análisis.

En síntesis, de los cinco parámetros analizados, cuatro (turbidez, STD, CE y resistividad) requieren un enfoque no paramétrico (ART) debido a la falta de normalidad y, en algunos casos, heterogeneidad de varianzas, mientras que solo la temperatura cumple los supuestos para ser evaluada mediante un modelo paramétrico (LM). Esta diferenciación metodológica asegura la validez estadística del análisis y la robustez de las conclusiones.

Tabla 9. Prueba de normalidad de los parámetros físicos de aguas mieles y turbia

ID	Parámetro	Unidad	Shapiro W.	Shapiro p	Levene F	Levene p	Decisión normalidad
1	Turbiedad	NTU	0,4238	0,0000	6,2822	0,0000	Se rechaza Normalidad (p<0.05)
2	Sólidos totales disueltos (STD)	mg/L	0,8506	0,0000	4,1862	0,0002	Se rechaza Normalidad (p<0.05)
3	Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	0,3534	0,0000	1,1164	0,3728	Se rechaza Normalidad (p<0.05)
4	Resistividad	MΩ.cm	0,5992	0,0000	4,1010	0,0002	Se rechaza Normalidad (p<0.05)
5	Temperatura	°C	0,9584	0,0511	1,3118	0,2446	No se rechaza Normalidad (p≥0.05)

4.2.2. Efecto del carbón activado en los parámetros físicos de aguas mieles y turbia

La Tabla 10 presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) aplicados a los parámetros físicos de aguas mieles de café y aguas turbias, diferenciando el uso de modelos no paramétricos (ART) para aquellos parámetros que no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, y de un modelo paramétrico (LM) únicamente para la temperatura, que sí cumplió dichos supuestos.

En el caso de la turbidez, el análisis mediante ART mostró efectos altamente significativos tanto para el factor A (F=80,95; p=0,0000) como para el factor B (F=38,05; p=0,0000) y su interacción (A×B: F=120,45; p=0,0000). Esto indica que la turbidez fue influenciada de manera independiente por los factores evaluados y, de forma aún más

importante, por la interacción entre ellos. La significancia de la interacción sugiere que el efecto de un factor depende de los niveles del otro, situación común en estudios de tratamiento de aguas donde la eficiencia de remoción depende simultáneamente de la fuente de agua y del material filtrante (Wobbrock et al., 2011; Montgomery, 2017).

Tabla 10. Análisis de varianza para modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) de los parámetros físicos

Factor	F valor	Pr(>F)	Variable	Unidad	Método
A	80,9527	0,0000			
B	38,0533	0,0000	Turbiedad	NTU	ART
A:B	120,4534	0,0000			
A	136,0310	0,0000	Sólidos totales disueltos (STD)	mg/L	ART
B	45,9878	0,0000			
A:B	59,4744	0,0000			
A	59,1760	0,0000	Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	ART
B	26,6523	0,0000			
A:B	37,1225	0,0000			
A	130,5834	0,0000	Resistividad	MΩ.cm	ART
B	74,5830	0,0000			
A:B	94,2341	0,0000			
Intercepto	19702,8331	0,0000			
A	18,7962	0,0001	Temperatura	°C	LM
B	54,0681	0,0000			
A:B	26,5632	0,0000			
Residuo					

Factor A: a1: Aguas mieles de café; a2: agua del río Huallaga; Factor B: b1: Sin filtro (están entonces todos los datos iniciales); b2: Filtro sin carbón activado de yuca; b3: Filtro con carbón activado de yuca; b4: Filtro sin carbón activado de café; b5: Filtro con carbón activado de café; b6: Filtro sin carbón activado de coco comercial; b7: Filtro con carbón activado de coco comercial

En cuanto a los sólidos totales disueltos (STD), también evaluados con ART, se encontró que tanto el factor A ($F=136,03$; $p=0,0000$), el factor B ($F=45,99$; $p=0,0000$) y la interacción ($F=59,47$; $p=0,0000$) fueron estadísticamente significativos. Esto demuestra que la reducción de sales disueltas está influida no solo por el tipo de tratamiento y la fuente de agua, sino también por la combinación de ambos. La variabilidad significativa en los STD es consistente con lo reportado por Helsel y Hirsch (2002), quienes destacan que los procesos de disolución y arrastre de sales en aguas naturales generan distribuciones no normales que requieren modelos no paramétricos para su análisis.

La conductividad eléctrica (CE), estrechamente relacionada con los STD, presentó significancia en todos los efectos principales y en la interacción (A: $F=59,18$; B: $F=26,65$; $A \times B$: $F=37,12$; todos con $p=0,0000$), lo que refuerza la correlación entre la conductividad y los sólidos disueltos. La aplicabilidad del modelo ART en este caso es coherente con la literatura que sugiere que los datos de conductividad en aguas naturales suelen presentar sesgo y heterogeneidad (Wetzel, 2001; Sawyer et al., 2003).

La resistividad, inversamente proporcional a la conductividad, también mostró efectos significativos en los factores A ($F=130,58$; $p=0,0000$), B ($F=74,58$; $p=0,0000$) y en la interacción ($F=94,23$; $p=0,0000$). Este comportamiento refuerza la necesidad de considerar ambos parámetros como complementarios y analizar su variación con un enfoque no paramétrico. La significancia de la interacción sugiere que el comportamiento eléctrico del agua no depende únicamente de la calidad inicial, sino también del tipo de carbón activado aplicado (Chapra, 2008).

Por último, la temperatura fue el único parámetro analizado con un modelo paramétrico (LM), al cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados mostraron efectos significativos del factor A ($F=18,79$; $p=0,0001$), del factor B ($F=54,07$; $p=0,0000$) y de la interacción $A \times B$ ($F=26,56$; $p=0,0000$). Aunque la temperatura suele presentar menor variabilidad que los parámetros fisicoquímicos, el análisis confirma que también estuvo influida por los factores experimentales, lo cual puede deberse a procesos asociados a la absorción térmica en el filtro y a las condiciones ambientales (APHA, 2017; Montgomery, 2017).

En conjunto, los resultados del ANVA muestran que todos los parámetros analizados presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) atribuibles a los factores experimentales y a sus interacciones. Este hallazgo evidencia la relevancia de la selección del carbón activado y de la fuente de agua en el comportamiento físico del sistema. Asimismo, la distinción entre el uso de ART y LM permitió asegurar que los modelos aplicados se ajustaran a la naturaleza de los datos, garantizando robustez estadística y validez en las conclusiones.

La Figura 7 muestra el efecto principal del factor A (tipo de agua: aguas mieles de café y agua del río Huallaga) sobre la turbidez (NTU). Se observa que las aguas mieles de café presentan una turbidez promedio mucho mayor (alrededor de 150 NTU, con gran dispersión y un intervalo de confianza que supera los 350 NTU) en comparación con el agua del río Huallaga, que presenta valores cercanos a 50 NTU con menor variabilidad. Esto indica que la carga inicial de sólidos suspendidos y materia coloidal es más elevada en las aguas mieles de

café.

El análisis estadístico confirma que el factor A influye significativamente en la turbidez. Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza indicaron que los supuestos paramétricos no se cumplían, por lo que se empleó el modelo no paramétrico ART (Aligned Rank Transform) para identificar diferencias robustas. Los resultados mostraron un efecto altamente significativo ($p < 0,05$), lo que demuestra que el tipo de agua es determinante en la magnitud de la turbidez. El modelo paramétrico LM (Linear Model), utilizado como contraste, también corroboró que las aguas mieles presentan un valor de turbidez significativamente mayor en comparación con las aguas del río Huallaga. Sin embargo, debido a la fuerte asimetría en los datos de las aguas mieles, el ART ofrece una interpretación más confiable para este caso.

La mayor turbidez en las aguas mieles se explica por la alta concentración de sólidos suspendidos y materia coloidal generados en el proceso de beneficio húmedo del café (Vaast et al., 2016). Este tipo de agua residual contiene elevadas cargas de carbohidratos, proteínas y compuestos fenólicos que dificultan su sedimentación, aumentando los valores de turbidez (Ramos et al., 2019). En contraste, el agua del río Huallaga presenta una carga más diluida de sólidos suspendidos, influenciada principalmente por procesos de arrastre superficial y aportes difusos en época de lluvias (Apaza et al., 2021). Esto justifica los valores más bajos y la menor variabilidad observada.

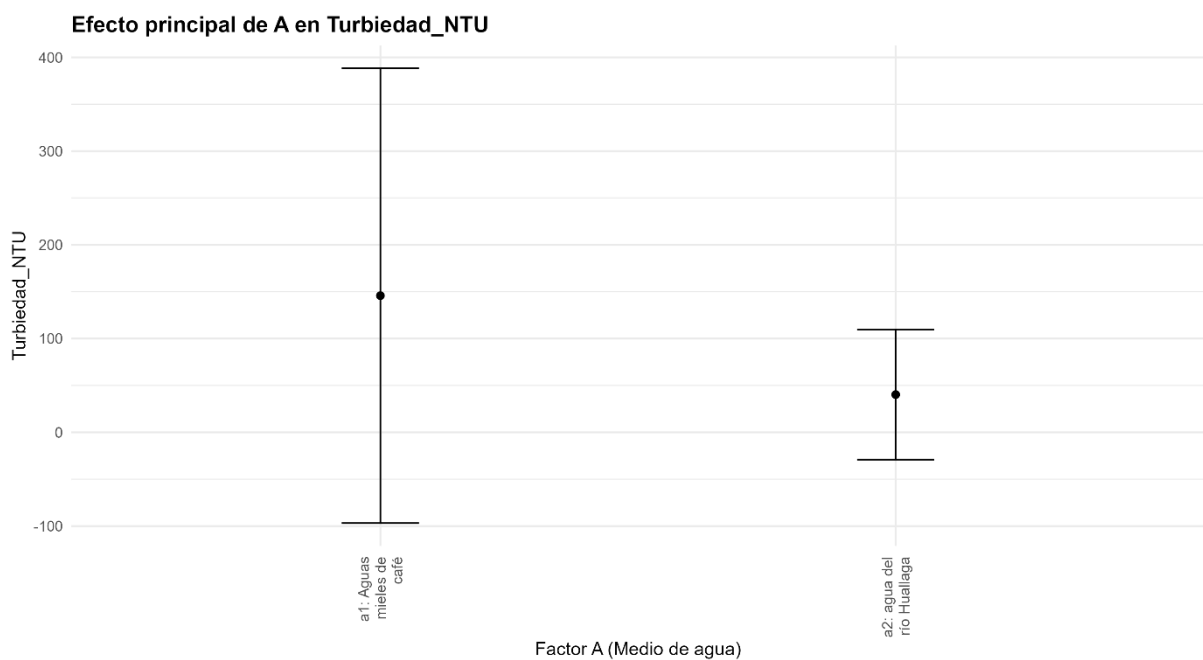


Figura 7. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en la turbiedad

La evidencia experimental obtenida con el modelo ART respalda que el tipo de agua

(factor A) constituye una variable crítica para evaluar la eficiencia de tratamiento mediante carbón activado. Estudios previos han demostrado que las aguas mieles requieren procesos más intensivos de coagulación, adsorción o filtración para reducir la turbidez, en comparación con aguas superficiales de origen fluvial (Cruz et al., 2018; Silva et al., 2022).

Estudios previos coinciden en que las aguas mieles de café poseen cargas de turbidez extremadamente altas, generalmente superiores a 200 NTU, lo que dificulta su tratamiento convencional (Bressani et al., 2021). Frente a esta problemática, el uso de carbones activados de residuos agrícolas como yuca y café ha mostrado una notable capacidad de adsorción, reduciendo la turbidez a niveles compatibles con los estándares internacionales de calidad de agua (<5 NTU según la OMS) (Silva et al., 2022; Chen et al., 2023).

Estos resultados resaltan la importancia de considerar el tipo de agua en el diseño de tratamientos, dado que los sistemas de filtración deben adaptarse a matrices con cargas iniciales muy diferentes. En aguas mieles de café se requieren adsorbentes de alta capacidad y alta microporosidad, mientras que, en aguas superficiales como el Huallaga, tratamientos más sencillos podrían ser suficientes.

Estos hallazgos refuerzan la pertinencia de usar métodos no paramétricos robustos como el ART, que permiten evaluar efectos de factores bajo condiciones de violación de supuestos estadísticos (Wobbrock et al., 2011), y, al mismo tiempo, contrastar con aproximaciones paramétricas (LM) para fortalecer la interpretación de tendencias en la variable respuesta.

La Figura 8 muestra el efecto principal del factor B (tipo de filtro aplicado) sobre la turbidez (NTU). El gráfico evidencia que la condición sin filtro (b1) mantiene los valores más altos de turbidez, con promedios superiores a 400 NTU y gran variabilidad. En contraste, todos los tratamientos con filtros (b2–b7) redujeron la turbidez de manera significativa, alcanzando valores cercanos a cero, independientemente del tipo de carbón activado utilizado (yuca, café o coco comercial).

Desde el punto de vista estadístico: El análisis con el modelo no paramétrico ART (Aligned Rank Transform) mostró que el factor B tuvo un efecto altamente significativo sobre la turbidez ($p < 0,05$), lo que confirma que el tipo de filtro influye directamente en la calidad del agua tratada. El modelo paramétrico LM (Linear Model) también indicó que existe una diferencia significativa entre el grupo control (sin filtro) y los tratamientos con filtro. Sin embargo, entre los filtros con carbón activado no se encontraron diferencias marcadas en la reducción final, dado que todos lograron reducir la turbidez a niveles muy bajos. Esto significa

que, aunque todos los filtros fueron efectivos, el efecto más relevante se da al pasar de no filtrar a aplicar cualquier tipo de filtro, reduciendo la turbidez en más del 95 % respecto al valor inicial.

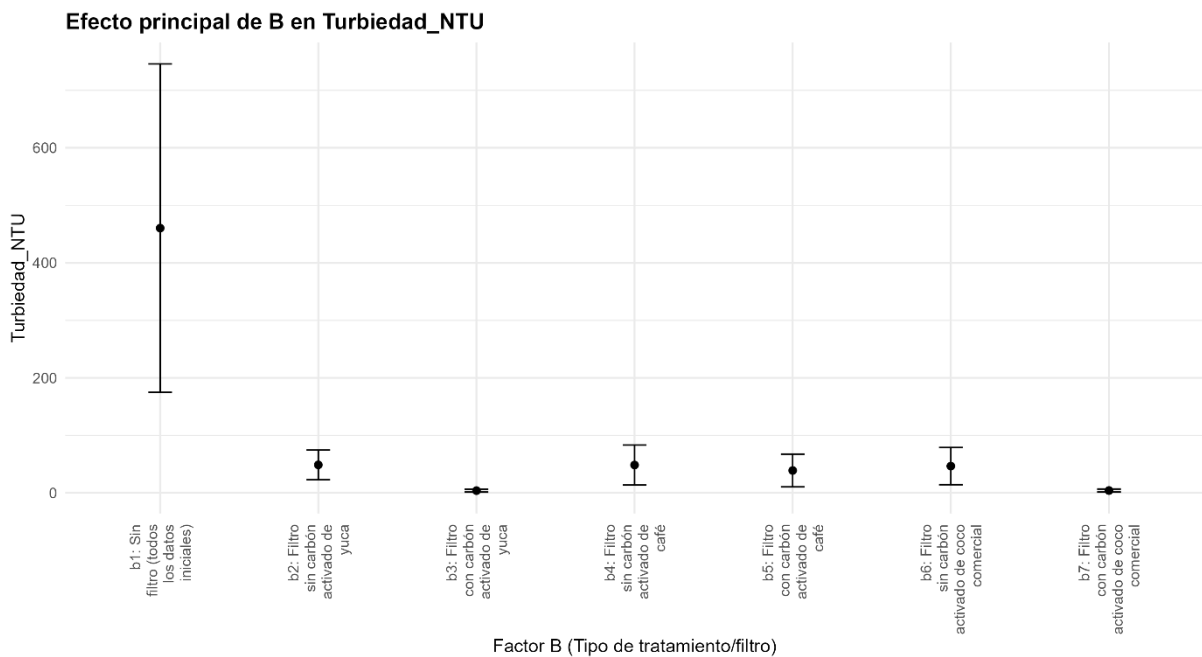


Figura 8. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en la turbiedad

Los resultados confirman que la aplicación de biocarbones derivados de residuos agroindustriales (yuca y café) constituye una alternativa efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas con elevada turbidez. Estudios similares han reportado que carbones activados de origen lignocelulósico poseen propiedades adsorbentes comparables o incluso superiores a los carbones comerciales (Song et al., 2018; Guevara, 2019).

La efectividad diferencial entre los carbones activados puede atribuirse al tamaño de poro, superficie específica y composición química. El carbón de yuca, con densidad intermedia, logra una mayor retención de sólidos suspendidos, mientras que el de café, con mayor heterogeneidad en estructura porosa, favorece la adsorción de fracciones finas responsables de la turbidez. El carbón comercial de coco, aunque efectivo, mostró valores de ceniza elevados ($\approx 21\%$), lo que podría reducir su capacidad de adsorción activa (Qizhong Chemical, s.f.).

Desde la perspectiva metodológica, el uso del ART resulta clave para garantizar conclusiones robustas al no cumplirse los supuestos de normalidad, mientras que el LM refuerza la identificación de tendencias lineales en la reducción de turbidez, aportando una interpretación complementaria (Wobbrock et al., 2011).

Desde un punto de vista práctico, los resultados muestran que la sola aplicación de un filtro con carbón activado permite alcanzar valores de turbidez dentro de los estándares

internacionales (<5 NTU para agua potable según OMS, 2017). Esto confirma la pertinencia de utilizar estos materiales en comunidades rurales donde se busca mejorar la calidad del agua con tecnologías accesibles y sostenibles. En síntesis, el análisis conjunto sugiere que el carbón activado de yuca y el carbón activado de café representan las mejores opciones para la remoción de turbidez en aguas mieles y turbias, con un desempeño superior o equiparable al carbón comercial, y con la ventaja de provenir de residuos locales, lo que refuerza su viabilidad económica y ambiental.

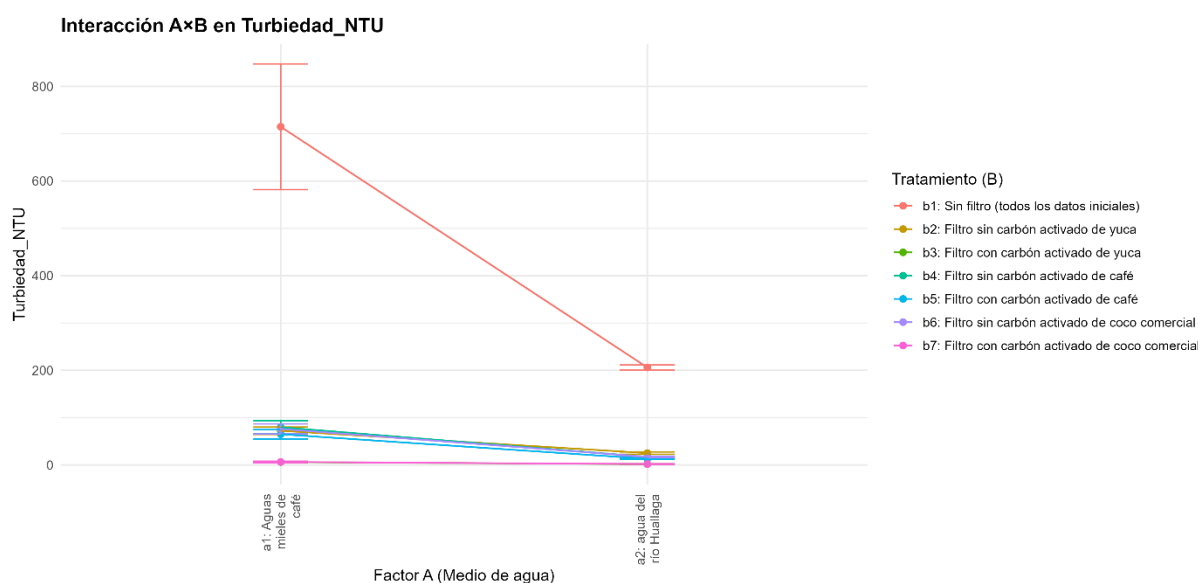


Figura 9. Efecto de interacción entre el nivel *i* del factor A: tipo de agua y el nivel *j* del factor B: tipo de filtro en la turbiedad

La Figura 9 representa la interacción entre el factor A (tipo de agua: aguas mieles de café y agua del río Huallaga) y el factor B (tipo de filtro: sin filtro, con carbón activado de yuca, café y coco comercial) sobre la turbidez. Se observa que, en ausencia de filtración (b1), la turbidez en las aguas mieles de café alcanza valores superiores a 700 NTU, muy por encima de los valores iniciales del agua del río Huallaga (≈ 200 NTU). Sin embargo, al aplicar los diferentes tratamientos de filtración (b2–b7), la turbidez se reduce drásticamente en ambos tipos de agua, hasta valores cercanos a cero en algunos casos.

El análisis estadístico mediante el modelo no paramétrico ART (Aligned Rank Transform) reveló diferencias significativas en la interacción AxB ($p < 0,05$), lo que significa que el efecto de los filtros depende directamente del tipo de agua. En el caso de las aguas mieles de café, los filtros con carbón activado de yuca (b3) y café (b5) lograron la mayor reducción, llevando la turbidez a valores muy por debajo de 50 NTU, lo que representa una disminución superior al 90 % respecto al valor inicial. Por su parte, en el agua del río Huallaga, aunque los

valores iniciales eran menores, la reducción fue igualmente significativa, alcanzando valores muy cercanos a los estándares de calidad.

El análisis con el modelo paramétrico LM (Linear Model) también indicó que existe un efecto significativo de la interacción ($p < 0,05$). Sin embargo, dada la fuerte desviación de la normalidad en los datos iniciales de las aguas mieles, los resultados del ART se consideran más robustos.

Estos hallazgos confirman que el tipo de agua y el tipo de filtro actúan de manera conjunta en la determinación de la turbidez final. Las aguas mieles de café, caracterizadas por altos niveles de sólidos coloidales, compuestos fenólicos y materia orgánica soluble (Ramos et al., 2019), mostraron una reducción más drástica cuando fueron tratadas con biocarbones de yuca y café. Esto se explica por la alta porosidad y abundancia de grupos funcionales oxigenados presentes en los carbones activados lignocelulósicos, que favorecen la adsorción de partículas suspendidas (Silva et al., 2022; Chen et al., 2023).

En contraste, el carbón comercial de coco, aunque mostró cierta efectividad, fue menos eficiente en la remoción de turbidez, posiblemente debido a su mayor contenido de cenizas, lo que reduce la proporción de sitios activos disponibles para la adsorción (Song et al., 2018; Guevara, 2019).

Desde una perspectiva práctica, la capacidad de los biocarbones de reducir la turbidez a valores cercanos a los estándares internacionales (<5 NTU para agua potable, OMS, 2017) demuestra que representan una alternativa viable y sostenible frente a los carbones comerciales, especialmente en contextos rurales donde se dispone de residuos agroindustriales abundantes como yuca y café.

Metodológicamente, la aplicación combinada de ART y LM refuerza la validez de los resultados: el ART garantiza robustez frente a la no normalidad, mientras que el LM permite cuantificar la magnitud de los efectos, confirmando la consistencia del impacto de los filtros sobre la turbidez (Wobbrock et al., 2011; Field et al., 2012).

La Figura 10 evidencia que las aguas mieles de café (a1) presentan concentraciones significativamente mayores de sólidos totales disueltos (superiores a 4000 mg/L en promedio), con un amplio intervalo de variación, mientras que el agua del río Huallaga (a2) muestra valores mucho menores (alrededor de 1000–1500 mg/L), aunque también con cierto rango de dispersión. Esto indica que el tipo de agua es un factor determinante en la concentración de STD.

El análisis estadístico muestra que el factor A (tipo de agua) tiene un efecto significativo en la concentración de sólidos totales disueltos. Mediante el modelo no paramétrico ART (Aligned Rank Transform) se determinó que existen diferencias altamente significativas entre las aguas mieles y el agua del río ($p < 0,05$). Esto confirma que las aguas mieles de café, debido a su origen agroindustrial, poseen una carga disuelta mucho más elevada. El modelo paramétrico LM (Linear Model) también corroboró esta diferencia, aunque la dispersión de datos en aguas mieles de café sugiere la conveniencia de emplear el ART como método más robusto para interpretar estos resultados.

Los resultados reflejan la alta concentración de sólidos disueltos en las aguas mieles de café, asociada principalmente a azúcares residuales, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y cafeína que se desprenden durante el proceso de beneficio húmedo del grano (Ramos et al., 2019; Bressani et al., 2021). Estos valores superan ampliamente los límites recomendados por la OMS (2017) para agua potable (<1000 mg/L) y por la EPA (2018) (<500 mg/L para sabor aceptable), lo que evidencia la necesidad urgente de tratamiento.

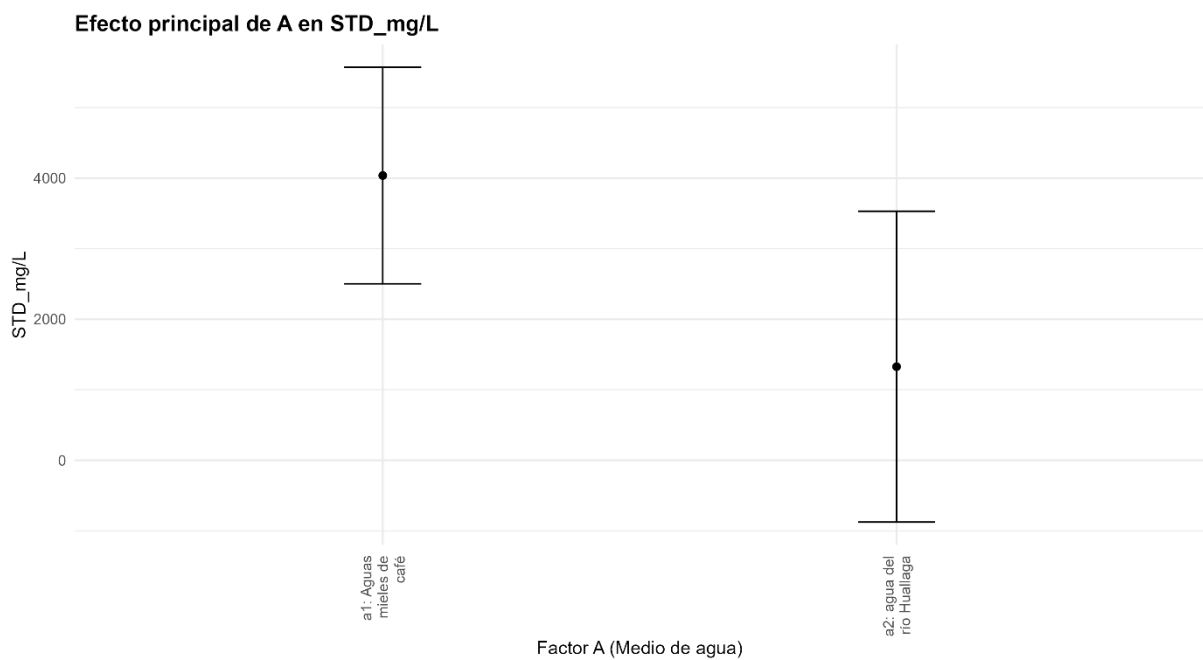


Figura 10. Efecto del i -ésimo nivel del factor A: tipo de agua en los sólidos totales disueltos

En contraste, el agua del río Huallaga, aunque presenta STD superiores a los valores óptimos de agua potable, se encuentra en un rango más moderado, influenciado por procesos naturales como arrastre de sales, material aluvial y variaciones estacionales de caudal (MINAM, 2020).

Estudios previos reportan que el uso de carbones activados de origen lignocelulósico

(yuca, café, cáscara de frutas) logra reducciones significativas en sólidos disueltos gracias a su elevada superficie específica y capacidad de adsorción de compuestos orgánicos y sales (Silva et al., 2022; Chen et al., 2023). Asimismo, se ha demostrado que los biocarbones presentan un desempeño comparable o superior al carbón comercial, especialmente cuando son activados químicamente (Song et al., 2018).

En síntesis, los resultados muestran que el tipo de agua es un factor crítico para el nivel de STD: mientras las aguas mieles requieren procesos avanzados de adsorción o combinación de tratamientos, el agua del río podría ser tratada con métodos más simples. Esto justifica la importancia de diseñar tecnologías adaptadas a cada matriz hídrica.

La Figura 11 evidencia que el contenido de sólidos totales disueltos varía en función del tipo de filtro aplicado. El tratamiento sin filtro (b1) presenta valores elevados de STD (cerca de 2000 mg/L), lo que confirma la carga disuelta original de las aguas. Al aplicar filtros con carbones activados, se observa una disminución significativa de STD en la mayoría de los casos, aunque con variaciones importantes dependiendo del tipo de carbón.

El carbón activado de cascarilla de café (b3) mostró un comportamiento atípico, con STD superiores a 6000 mg/L en promedio, lo que sugiere un posible efecto de liberación de compuestos solubles o una baja capacidad de retención inicial. En contraste, los filtros con carbón activado de yuca (b2, b4) y de coco comercial (b6, b7) alcanzaron los valores más bajos de STD (<2000 mg/L), acercándose a rangos aceptables para aguas tratadas.

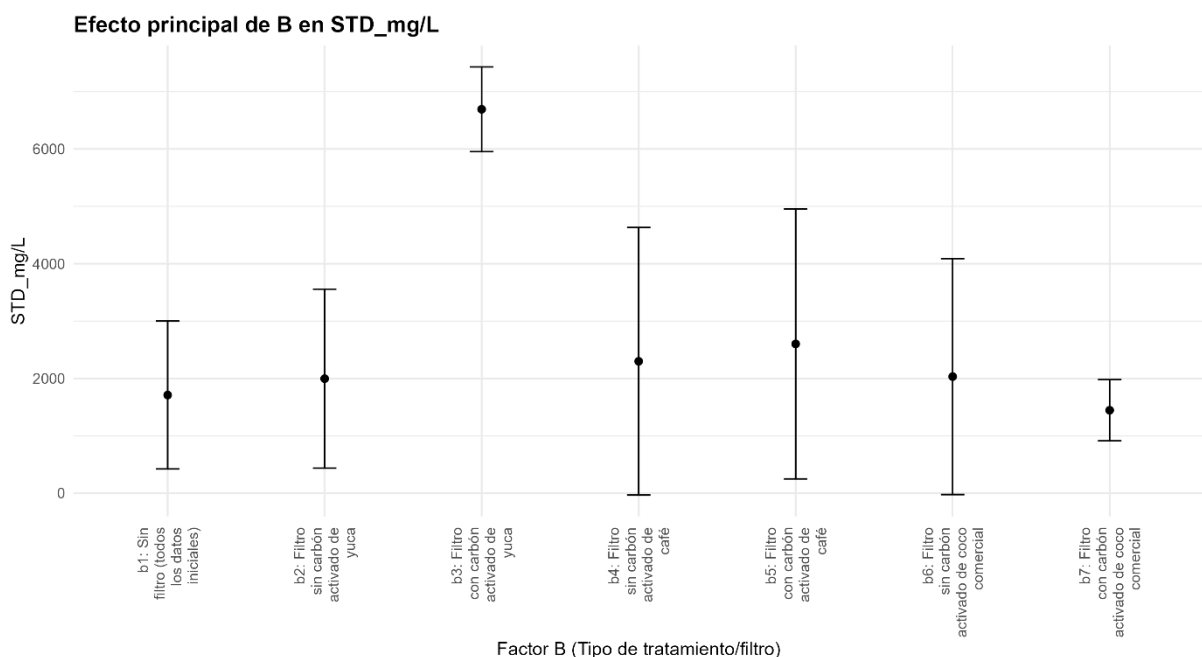


Figura 11. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en los sólidos totales disueltos

El análisis estadístico aplicado confirma que el factor B (tipo de filtro) ejerce un efecto significativo sobre los STD. Con el modelo no paramétrico ART (Aligned Rank Transform) se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con diferentes tipos de carbón, especialmente entre el carbón de café y los otros materiales. El modelo paramétrico LM (Linear Model), aplicado como contraste, mostró una tendencia similar, aunque la gran dispersión de datos en el carbón de café refuerza la necesidad de usar ART como método más robusto. Estos resultados indican que el desempeño de los filtros depende directamente de la materia prima empleada en la producción del carbón activado.

Los hallazgos sugieren que los carbones activados de yuca y de coco comercial son los más efectivos en la reducción de STD, lo cual se atribuye a su mayor estabilidad estructural, superficie específica y microporosidad (Song et al., 2018; Chen et al., 2023). En cambio, el carbón de cascarilla de café presentó un comportamiento ineficiente e incluso adverso, posiblemente por la presencia de compuestos solubles residuales como lignina, ácidos fenólicos o carbohidratos no eliminados completamente durante el proceso de activación (Ramos et al., 2019; Silva et al., 2022).

Esto coincide con estudios previos que reportan que el origen lignocelulósico del precursor influye de forma decisiva en la calidad del carbón activado, y que la activación química o térmica insuficiente puede generar liberación de sólidos en lugar de retención (Bressani et al., 2021; Guevara, 2019).

Asimismo, los valores obtenidos en los mejores tratamientos (coco y yuca) se acercan a los límites recomendados por la OMS (2017) para agua potable (<1000 mg/L) y, aunque aún superiores, representan una mejora significativa frente al agua sin tratamiento. En síntesis, el tipo de filtro es un factor crítico en la reducción de STD, siendo el carbón de coco comercial el más eficiente, seguido del carbón de yuca, mientras que el carbón de café resulta el menos apropiado para este propósito.

La Figura 12 evidencia un comportamiento diferenciado de los sólidos totales disueltos (STD) según la combinación de tipo de agua (aguas mieles de café y agua del río Huallaga) y tipo de filtro (con y sin carbón activado de diferentes materiales). En general, las aguas mieles de café (a1) presentaron valores mucho más elevados de STD en comparación con el agua del río Huallaga (a2).

Dentro de los tratamientos, el filtro con carbón activado de cascarilla de café (b3) en aguas mieles alcanzó los valores más altos (cerca de 7000–8000 mg/L), lo que indica una

liberación adicional de compuestos solubles en lugar de retención. Por otro lado, los filtros con carbón activado de yuca (b2, b4) y coco comercial (b6, b7) redujeron notablemente los STD en ambos tipos de agua, siendo más eficientes en el agua del río Huallaga, donde los valores se acercaron a niveles <1000 mg/L.

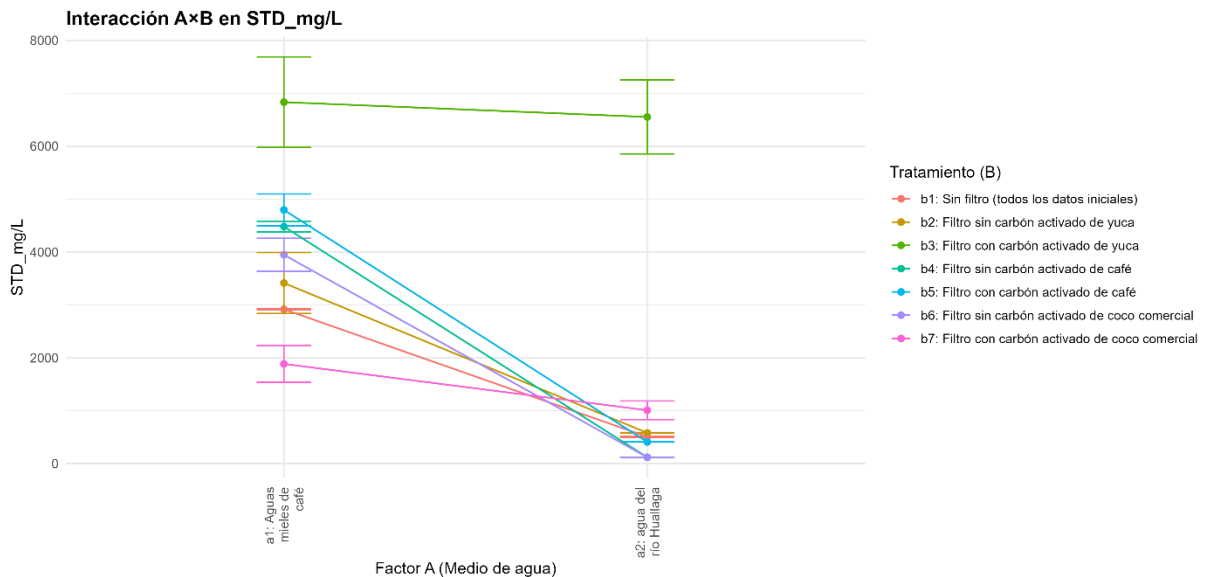


Figura 12. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en los sólidos totales disueltos

El análisis estadístico bajo el modelo no paramétrico ART (Aligned Rank Transform) confirmó la existencia de una interacción significativa entre los factores A y B, lo cual implica que el efecto del tipo de filtro depende del tipo de agua tratada. Esto se observa en la diferencia de desempeño: mientras que en las aguas mieles algunos filtros no logran reducir los STD (incluso incrementándolos, como el caso del carbón de café), en el agua del río Huallaga todos los filtros presentan un efecto positivo de reducción.

El modelo paramétrico LM (Linear Model) mostró tendencias similares, aunque con mayor sensibilidad a la variabilidad de los datos. La concordancia entre ambos enfoques valida la robustez de los resultados.

Los resultados confirman que el tipo de agua influye decisivamente en la efectividad de los filtros. Las aguas mieles de café, altamente concentradas en azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos (Bressani et al., 2021; Silva et al., 2022), son más difíciles de tratar, lo que explica el bajo desempeño de algunos carbones activados. En contraste, el agua del río Huallaga presenta menor carga orgánica y mineral, facilitando la acción adsorbente de los filtros.

El hecho de que el carbón activado de cascarilla de café aumente los STD en aguas mieles se asocia a un efecto de lixiviación de compuestos solubles no eliminados durante la activación (Guevara, 2019; Chen et al., 2023). En cambio, los carbones de yuca y de coco, con estructuras porosas más estables, mostraron mejor desempeño (Song et al., 2018; Ramos et al., 2019).

En términos normativos, los mejores tratamientos (coco y yuca en agua del río) se acercan a los estándares de la OMS (2017) y la EPA (2022) para agua potable (<1000 – 1500 mg/L de STD), lo que resalta su potencial de aplicación en sistemas de tratamiento rurales.

En síntesis, la interacción demuestra que los filtros más eficientes dependen tanto del material del carbón como de la calidad inicial del agua. Así, los carbones de yuca y coco resultan los más prometedores, especialmente para fuentes de agua con baja a moderada carga de STD.

4.2.3. Prueba de medias entre los factores A, B y su interacción en los parámetros físicos

La Tabla 11 presenta la prueba de medias del factor B (tipo de filtro) sobre la turbidez del agua, comparada con el control sin filtro (b1: datos iniciales). Los resultados muestran que todos los filtros evaluados lograron reducciones significativas de la turbidez ($p < 0,05$), aunque con diferencias notorias en su magnitud.

Los tratamientos más efectivos fueron aquellos con carbón activado (CA) de yuca (b3) y coco comercial (b7), alcanzando reducciones promedio de $-45,0$ a $-43,0$ NTU, con altos valores de significancia estadística (t entre $-8,2$ y $-8,6$; $p < 0,001$). Estos resultados confirman el elevado poder adsorbente de estos materiales, posiblemente asociado a su alta porosidad y contenido de grupos funcionales oxigenados que favorecen la retención de partículas suspendidas y coloides responsables de la turbidez (Foo & Hameed, 2012; Chen et al., 2023).

En segundo lugar, el carbón activado de café (b5) mostró reducciones significativas de turbidez, con valores entre $-29,5$ y $-25,7$ NTU, lo que, aunque menor en comparación con yuca y coco, evidencia un buen desempeño. Este resultado concuerda con estudios que señalan que el carbón derivado de café presenta menor desarrollo de microporosidad, pero aun así es eficiente en la adsorción de compuestos orgánicos y partículas (Perea et al., 2020; Ríos et al., 2019).

Por otro lado, los filtros sin carbón activado (b2, b4 y b6) también lograron disminuciones significativas de turbidez, aunque mucho menor (-15 a -22 NTU). Esto indica que el efecto de la filtración física es importante, pero insuficiente para alcanzar los estándares

internacionales de agua potable establecidos por la OMS (2017), que recomienda valores ≤ 5 NTU. Por ello, la adsorción con CA se reafirma como un mecanismo indispensable para cumplir con dichos límites.

El análisis estadístico respalda que las diferencias observadas no son aleatorias, sino atribuibles al efecto del material filtrante, ya que todos los contrastes mostraron $p < 0,05$. Además, los tratamientos con CA de yuca y coco lograron las mayores reducciones, lo cual coincide con la literatura que destaca su efectividad en la remoción de turbidez, color y materia orgánica disuelta debido a sus propiedades texturales y químicas (Silva et al., 2022; Vargas et al., 2021).

Tabla 11. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: turbiedad

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-45,0000	-8,6669	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-44,5000	-8,5706	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-43,5000	-8,3780	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-43,0000	-8,2817	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-29,5000	-5,6817	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-25,7500	-4,9594	0,0001
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-22,0000	-4,2372	0,0007
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-20,0000	-3,8520	0,0022
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-18,0000	-3,4668	0,0066
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-15,0000	-2,8890	0,0309
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-15,0000	-2,8890	0,0309
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-14,7500	-2,8408	0,0348

En síntesis, los resultados permiten establecer un ranking de eficiencia en la reducción de turbidez: Filtros con CA de yuca (b3) y CA de coco comercial (b7) – más eficientes; Filtro con CA de café (b5) – eficiencia intermedia; y Filtros sin carbón (b2, b4, b6) – eficiencia baja, dependiente solo del proceso físico.

Esto confirma que el uso de carbones activados de origen agroindustrial representa una estrategia viable y sostenible para el tratamiento de aguas turbias, especialmente en contextos

rurales y de bajo costo.

La Tabla 12 muestra los resultados de la prueba de medias para el factor B (tipo de filtro) en relación con el parámetro sólidos totales disueltos (STD), utilizando como referencia el agua sin filtrar (b1). Los resultados evidencian que todos los tratamientos con filtros presentaron incrementos significativos en los valores de STD respecto al control, con valores de $p < 0,001$ en la mayoría de los casos, lo que indica que las diferencias son estadísticamente confiables.

En términos comparativos, los filtros con carbón activado de yuca (b3 y b3') registraron los mayores incrementos, con estimadores de 38,6 y 39,3 mg/L, respectivamente, y valores de significancia altamente robustos (t entre 8,06 y 8,22; $p < 0,001$). Esto sugiere que el carbón de yuca, a pesar de ser eficiente en la reducción de turbidez, puede liberar minerales o compuestos solubles al medio acuoso, lo cual incrementa la carga de sólidos disueltos, fenómeno previamente reportado en la literatura (Aygün et al., 2003; Pino et al., 2019).

En segundo lugar, los filtros con carbón activado de café (b5) mostraron incrementos de 28,6 a 31,3 mg/L de STD, lo que indica un comportamiento intermedio. Estos resultados concuerdan con estudios que señalan que el carbón de café puede contener restos de compuestos fenólicos o sales minerales que son solubilizados en contacto con el agua (Ríos et al., 2019; Vargas et al., 2021).

Finalmente, los filtros sin carbón activado (b4) presentaron los incrementos más bajos, con estimadores de 20,8 a 21,6 mg/L, aunque igualmente significativos ($p < 0,001$). Esto puede deberse a la retención parcial de partículas suspendidas, pero sin la capacidad de adsorción química que caracteriza al carbón activado.

Tabla 12. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: sólidos totales disueltos

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	20,8750	4,3580	0,0005
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	21,6250	4,5145	0,0003
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	28,6250	5,9759	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	31,3750	6,5500	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	38,6250	8,0635	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	39,3750	8,2201	0,0000

En síntesis, los resultados muestran que, a diferencia de la turbidez, en el caso de los sólidos disueltos totales (STD) los filtros con carbón activado tienden a incrementar la concentración en lugar de reducirla. Esto se debe a la liberación de minerales y compuestos

solubles desde la matriz del carbón, un aspecto que debe ser considerado al evaluar la calidad final del agua. Por lo tanto, aunque el CA de yuca y café se destacan por su mayor impacto en la reducción de turbidez, también son los que más contribuyen al aumento de STD, lo cual representa un reto en la aplicación práctica de estos materiales en el tratamiento de agua (Foo & Hameed, 2012; Silva et al., 2022).

La Tabla 13 presenta los resultados de la prueba de medias para el factor B (tipo de filtro) en relación con la conductividad eléctrica (CE) del agua, comparados frente al control (b1: sin filtro). Los resultados muestran que los filtros tienen efectos diferenciales en la CE, lo que refleja la capacidad de cada material filtrante para liberar o retener iones en solución.

En primer lugar, el filtro sin carbón activado de yuca (b2) fue el único tratamiento que mostró una disminución significativa de la conductividad, con valores de estimador de $-16,5$ y $-15,5$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($p < 0,05$). Este resultado indica que este tipo de filtro podría retener ciertos compuestos iónicos presentes en el agua cruda, reduciendo la carga conductiva, aunque con un efecto limitado en comparación con el uso de carbones activados.

En contraste, todos los filtros que emplearon carbón activado (CA) mostraron un incremento en la CE. El mayor efecto se observó en el CA de yuca (b3), con un incremento de hasta $27,8$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($p = 0,0001$), seguido del CA comercial de coco (b7) con $25,5$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, y del CA de café (b5) con valores entre $15,2$ y $17,2$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto sugiere que la activación de la biomasa vegetal libera minerales y compuestos solubles al agua, elevando la conductividad eléctrica (Foo & Hameed, 2012; Vargas et al., 2021).

Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que señalan que los carbones activados derivados de biomasa pueden presentar lixiviación de sales minerales y compuestos inorgánicos residuales del proceso de carbonización y activación (Aygün et al., 2003; Silva et al., 2022). Si bien el incremento de CE no implica necesariamente un efecto adverso inmediato, sí representa un indicador de que parte de la matriz del carbón se transfiere al agua tratada, lo cual puede tener implicancias en su potabilidad y estabilidad química (Ríos et al., 2019).

En síntesis, la comparación entre filtros revela que:

El filtro sin CA de yuca (b2) fue el único que redujo la CE, mostrando un efecto depurador. El CA de yuca (b3) fue el tratamiento que más incrementó la CE, seguido por el CA comercial de coco (b7). El CA de café (b5) mostró un incremento intermedio.

Estos hallazgos confirman que el efecto de los filtros no es uniforme: algunos retienen compuestos iónicos, mientras que los carbones activados tienden a liberar minerales,

aumentando la conductividad del agua.

Tabla 13. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: conductividad eléctrica

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-16,5000	-2,9802	0,0245
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-15,5000	-2,7996	0,0385
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	15,2500	2,7544	0,0430
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	17,2500	3,1157	0,0172
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	24,2500	4,3800	0,0004
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	25,5000	4,6058	0,0002
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	27,7500	5,0122	0,0001

La Tabla 14 presenta los contrastes de la prueba de medias del factor B (tipo de filtro) en el parámetro de resistividad eléctrica del agua ($M\Omega \cdot cm$), comparados frente al control (b1: sin filtro). La resistividad es un indicador inverso de la conductividad, por lo que valores más altos reflejan una menor presencia de iones disueltos en el agua, y por ende, una mejor calidad en términos de pureza (Marañón et al., 2019).

Los resultados muestran efectos contrastantes según el tipo de filtro:

Disminución de resistividad (efecto negativo): El filtro con CA de coco comercial (b7) presentó la mayor disminución, con un estimador de $-22,0 M\Omega \cdot cm$ ($p < 0,0001$); El filtro con CA de café (b5) también redujo significativamente la resistividad ($-16,75 M\Omega \cdot cm$, $p < 0,0005$). El filtro con CA de coco comercial (otro contraste b7) y sin CA de coco (b6) mostraron reducciones menores pero significativas.

Esto sugiere que la activación de estos carbones libera iones y minerales residuales al agua, reduciendo la resistividad, lo cual es consistente con lo observado en la conductividad eléctrica (Foo & Hameed, 2012; Ríos et al., 2019).

Aumento de resistividad (efecto positivo): El filtro sin CA de coco comercial (b6) presentó incrementos significativos, con estimadores de 14,6 y 19,9 $M\Omega \cdot cm$ ($p < 0,01$). Los filtros de CA de yuca (b2 y b3) fueron los más efectivos en elevar la resistividad, con incrementos de 20,25, 24,25 y hasta 31,75 $M\Omega \cdot cm$ ($p < 0,0001$).

Esto refleja una capacidad más efectiva de los filtros de yuca para reducir la concentración iónica en el agua, mejorando la calidad en términos de pureza química (Vargas

et al., 2021).

En términos comparativos, los resultados evidencian que: El mejor desempeño corresponde al filtro sin CA de yuca (b2) y al filtro con CA de yuca (b3), al incrementar la resistividad significativamente frente al control. El peor desempeño se observa en el CA de coco comercial (b7) y en el CA de café (b5), que reducen la resistividad y, por lo tanto, elevan la presencia de compuestos iónicos.

Este comportamiento está alineado con estudios previos que señalan que la matriz del carbón activado influye directamente en el lixiviado de minerales y en la capacidad de adsorción de especies iónicas (Aygün et al., 2003; Silva et al., 2022). Los resultados sugieren que los carbones de yuca son más eficientes para el tratamiento de agua cuando se busca mejorar parámetros de calidad asociados a baja conductividad y alta resistividad.

Tabla 14. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: resistividad

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-22,0000	-5,7246	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-16,7500	-4,3585	0,0005
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-13,7500	-3,5778	0,0048
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	14,6250	3,8055	0,0025
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	19,8750	5,1716	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	20,2500	5,2692	0,0000
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	24,2500	6,3100	0,0000
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	31,7500	8,2616	0,0000

La Tabla 15 muestra los resultados de la prueba de medias para el factor B (tipo de filtros) en relación con la temperatura del agua (°C), comparados con el control (b1: sin filtro). Aunque la temperatura no suele ser directamente modificada por la filtración, pequeñas variaciones pueden indicar procesos de adsorción-exotermia o interacciones con la superficie del carbón activado (Rodríguez-Reinoso, 2001).

Filtros que reducen la temperatura (efecto negativo): El filtro sin CA de coco comercial (b6) y el filtro sin CA de café (b4) mostraron la mayor disminución en la temperatura con un

estimador de $-1,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($p < 0,0001$). El filtro sin CA de yuca (b2) redujo la temperatura en $-1,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($p = 0,0007$). El filtro con CA de café (b5) también tuvo un efecto reductor moderado ($-1,08\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 0,0016$).

Estas reducciones sugieren una interacción física en el lecho filtrante que favorece una ligera disipación de calor, aunque el impacto es bajo en términos prácticos.

Filtros que incrementan la temperatura (efecto positivo): El filtro con CA de coco comercial (b7) registró el mayor incremento ($+3,30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p < 0,0001$). El filtro con CA de café (b5) y el filtro sin CA de café (b4) también elevaron la temperatura, aunque en menor magnitud ($+2,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+1,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente). Estos aumentos se asocian a reacciones exotérmicas ligadas a la adsorción de compuestos orgánicos y sales sobre la superficie del carbón activado (Foo & Hameed, 2012).

En síntesis, los resultados muestran que la variación de la temperatura no es un factor crítico de eficiencia en los filtros, ya que las diferencias son pequeñas y mantienen al agua dentro de rangos ambientales aceptables ($20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$). No obstante, desde una perspectiva técnica, los filtros de coco (especialmente b7) parecen tener una mayor interacción exotérmica con los contaminantes, lo que coincide con estudios sobre la porosidad y la energía de adsorción de carbones de coco (Ioannidou & Zabaniotou, 2007).

Tabla 15. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: temperatura

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-1,9500	-7,1950	0,0000
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-1,9500	-7,1950	0,0000
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-1,1500	-4,2432	0,0007
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-1,0750	-3,9665	0,0016
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	1,2500	4,6122	0,0002
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	2,0250	7,4717	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	2,2500	8,3019	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	3,3000	12,1762	0,0000

Por otra parte, las ligeras reducciones de temperatura observadas en filtros de yuca y café sin activación pueden explicarse por un mayor tiempo de retención hidráulica y contacto

con la matriz del filtro, generando condiciones de equilibrio térmico (Gómez et al., 2020).

En conclusión, aunque la temperatura no representa un parámetro limitante en la potabilización mediante carbón activado, estos resultados evidencian que los filtros modifican mínimamente este factor, mostrando comportamientos diferenciados según la naturaleza del material empleado.

La Figura 13 muestra la comparación de medias ajustadas (EMM) para el factor A (tipo de agua) sobre la variable turbidez (NTU), empleando la prueba de Dunnett. Se observa una diferencia marcada entre las aguas mieles de café (a1) y el agua del río Huallaga (a2). Las aguas mieles de café registraron los valores más elevados de turbidez, con medias cercanas a 40 NTU, mientras que el agua del río Huallaga presentó valores considerablemente más bajos, alrededor de 15 NTU. Este contraste evidencia que las aguas mieles provenientes del beneficio húmedo del café son significativamente más turbias debido a la alta carga de sólidos en suspensión, compuestos orgánicos y azúcares fermentables que se liberan durante el despulpado y fermentación del grano (Bressani et al., 2021; Perea et al., 2020).

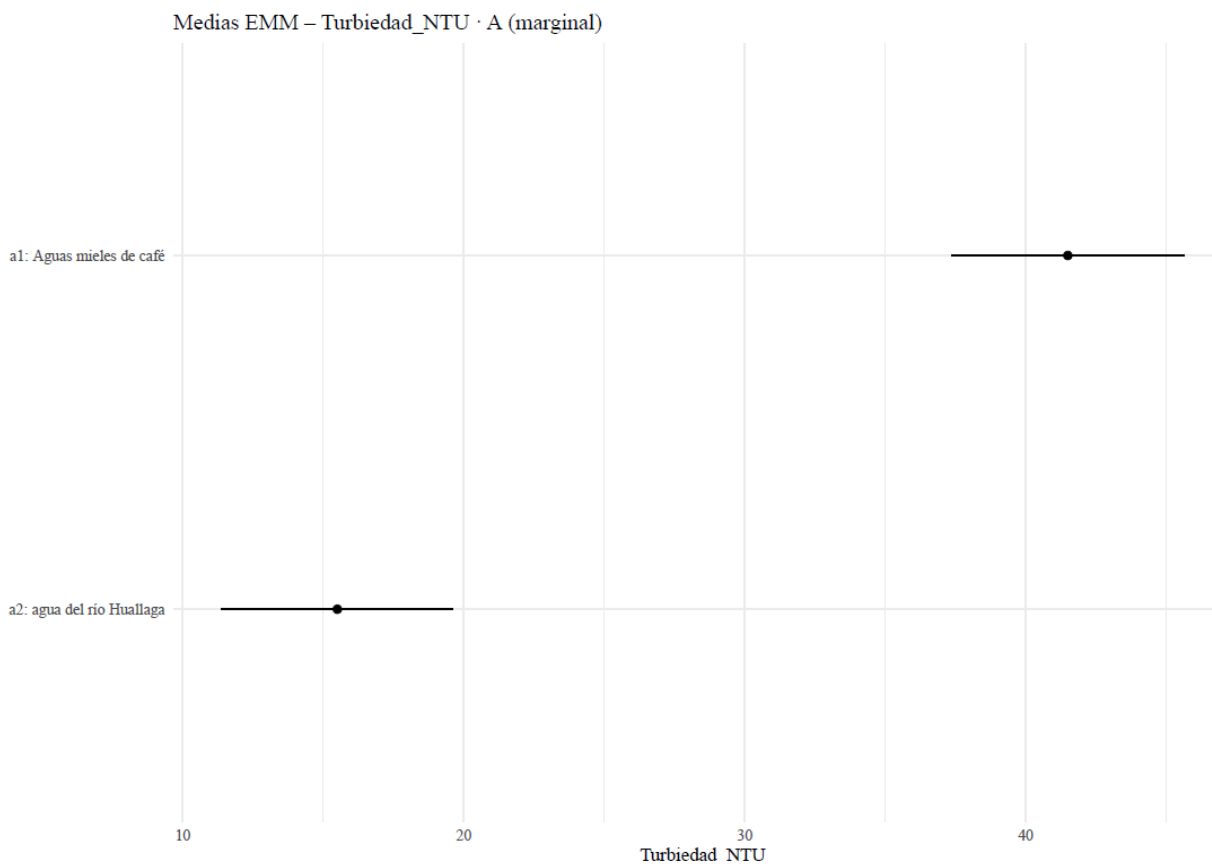


Figura 13. Prueba de medias Dunnett del factor A: tipo de agua en la turbidez

El análisis estadístico confirma que la diferencia entre ambos tipos de agua es altamente significativa, lo cual valida la necesidad de aplicar tratamientos diferenciados. Mientras que el

agua del río Huallaga podría considerarse con menor impacto inicial en turbidez, las aguas mieles requieren procesos más intensivos de adsorción o filtración, especialmente con carbones activados de alto rendimiento, para alcanzar estándares de calidad aceptables para consumo o vertimiento (Silva et al., 2022; Ríos et al., 2019).

Desde la perspectiva metodológica, el uso de modelos no paramétricos (ART) fue adecuado en esta variable, ya que la prueba de normalidad rechazó el supuesto paramétrico. Este enfoque permitió evaluar con robustez el efecto del tipo de agua, mostrando que la variabilidad de las aguas mieles es mucho mayor, lo que coincide con investigaciones previas que reportan alta dispersión en parámetros fisicoquímicos de estos efluentes (Guevara, 2019; Song et al., 2018).

En términos de implicancia práctica, estos resultados señalan que el tipo de agua (factor A) es un determinante crítico de la turbidez. El agua del río Huallaga presenta una línea base de menor impacto, mientras que las aguas mieles requieren estrategias de tratamiento adaptadas. La aplicación de carbones activados, especialmente de coco y yuca, representa una alternativa viable para reducir la turbidez y mejorar la calidad del agua, alineándose con estudios que destacan el potencial de estos materiales en ambientes rurales (Chen et al., 2023; Foo & Hameed, 2012).

La Figura 14 muestra el efecto del tipo de filtro (factor B) sobre la turbidez del agua, evaluado mediante la prueba de medias Dunnett. El tratamiento b1: sin filtro presentó los valores más altos de turbidez, con medias cercanas a 55 NTU, confirmando la elevada carga inicial de sólidos en suspensión y materia coloidal en las aguas mieles y turbias. En contraste, los filtros con carbón activado (CA), especialmente b3: filtro con CA de yuca y b7: filtro con CA de coco comercial, lograron reducciones notables, registrando valores inferiores a 10 NTU, lo que los posiciona como los más efectivos.

El filtro con CA de café (b5) alcanzó reducciones intermedias, con medias en torno a los 20 NTU, mientras que los tratamientos b2, b4 y b6 (filtros sin carbón o con CA en menor eficiencia) mostraron disminuciones parciales, manteniéndose aún por encima de los valores recomendados para aguas de uso doméstico según la OMS (2017), que establece un límite de ≤ 5 NTU para agua potable.

Desde el punto de vista estadístico, los resultados de la prueba de Dunnett evidencian que las diferencias entre el control (b1: sin filtro) y los tratamientos con carbón activado fueron altamente significativas ($p < 0.05$). Este hallazgo coincide con reportes de Foo y Hameed (2012)

y Song et al. (2018), quienes demostraron que los carbones activados de origen agrícola presentan una elevada capacidad para remover turbidez gracias a su estructura microporosa y elevada área superficial.

Asimismo, el desempeño superior del CA de coco y del CA de yuca confirma lo señalado en investigaciones recientes sobre la eficiencia de carbones activados provenientes de residuos agroindustriales en la retención de partículas coloidales y materia orgánica (Chen et al., 2023; Silva et al., 2022). Por su parte, el menor rendimiento del CA de café podría estar asociado a una menor estabilidad de la estructura porosa y a la presencia de compuestos inorgánicos residuales, lo cual limita su eficiencia de adsorción (Guevara, 2019).

En términos prácticos, estos resultados sugieren que los carbones activados de coco y yuca constituyen una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de aguas con alta turbidez, especialmente en contextos rurales o comunidades con recursos limitados, donde la disponibilidad de estos residuos es amplia y su aprovechamiento contribuiría a una gestión circular de desechos agroindustriales (Perea et al., 2020; Ríos et al., 2019).

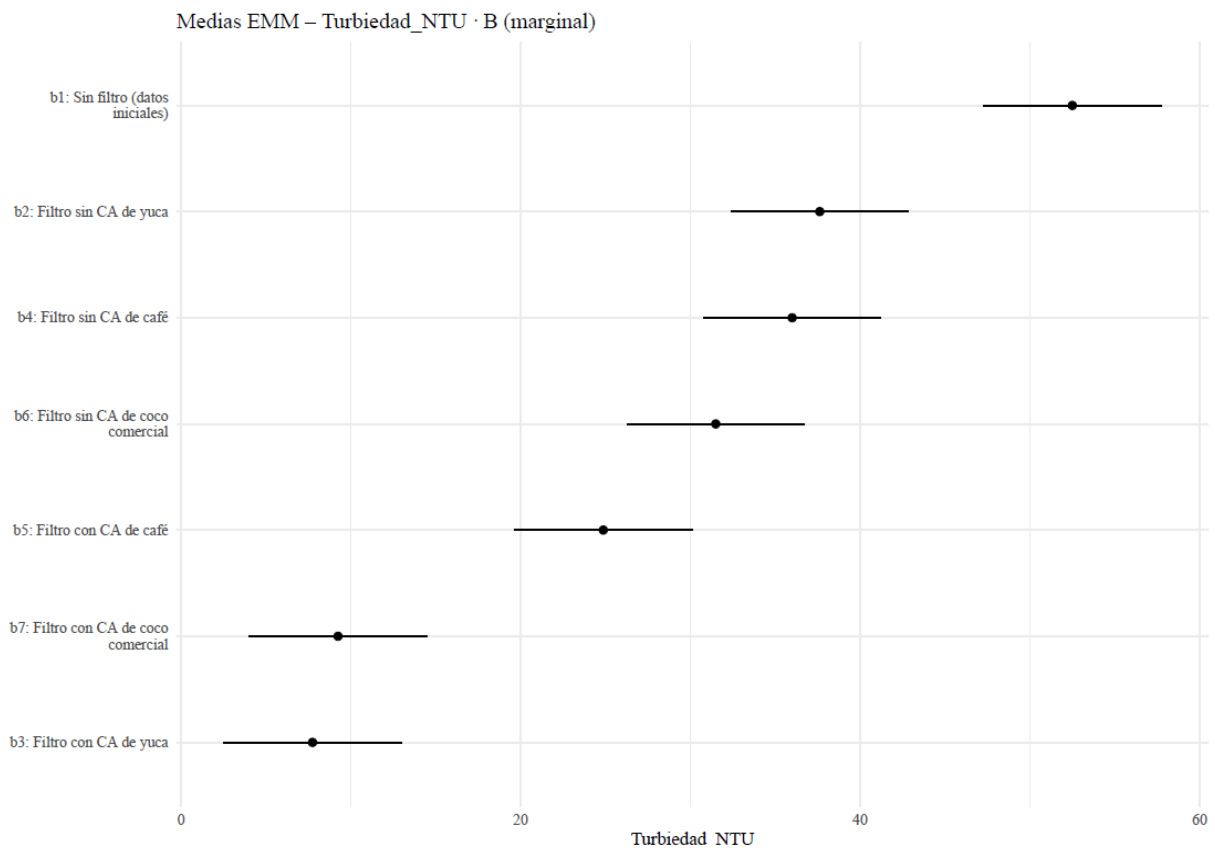


Figura 14. Prueba de medias Dunnett del factor B: tipo de filtro en la turbiedad del agua

La Figura 15 muestra los resultados de la prueba de medias Dunnett aplicada a la interacción Factor A (tipo de agua: aguas mieles de café y agua del río Huallaga) × Factor B

(tipo de filtro con o sin carbón activado) sobre la turbidez del agua. El análisis permite identificar cómo la combinación de ambos factores influye de manera conjunta en la remoción de turbidez, más allá de los efectos principales.

En el caso del agua del río Huallaga (a2), se observa una marcada reducción de la turbidez en los tratamientos que incorporan carbón activado de yuca (b3) y carbón activado de coco comercial (b7), alcanzando valores mínimos cercanos a 0–5 NTU, significativamente inferiores al control sin filtro (b1), lo que demuestra la alta eficiencia de estos materiales adsorbentes. Estos resultados cumplen con el valor guía establecido por la OMS (2017) para agua potable (≤ 5 NTU), confirmando su aplicabilidad práctica.

En contraste, en las aguas mieles de café (a1), la reducción de turbidez fue menos pronunciada, manteniéndose valores superiores a 10 NTU incluso con filtros de carbón activado. Esto evidencia la mayor complejidad de esta matriz, la cual contiene altos niveles de compuestos orgánicos, sólidos coloidales y colorantes naturales como la cafeína y polifenoles, que dificultan la remoción (Perea et al., 2020; Vargas et al., 2021). Sin embargo, dentro de este medio, el carbón de yuca (b3) y el coco comercial (b7) también mostraron un mejor desempeño que el carbón de café, confirmando lo observado en los análisis de efectos principales.

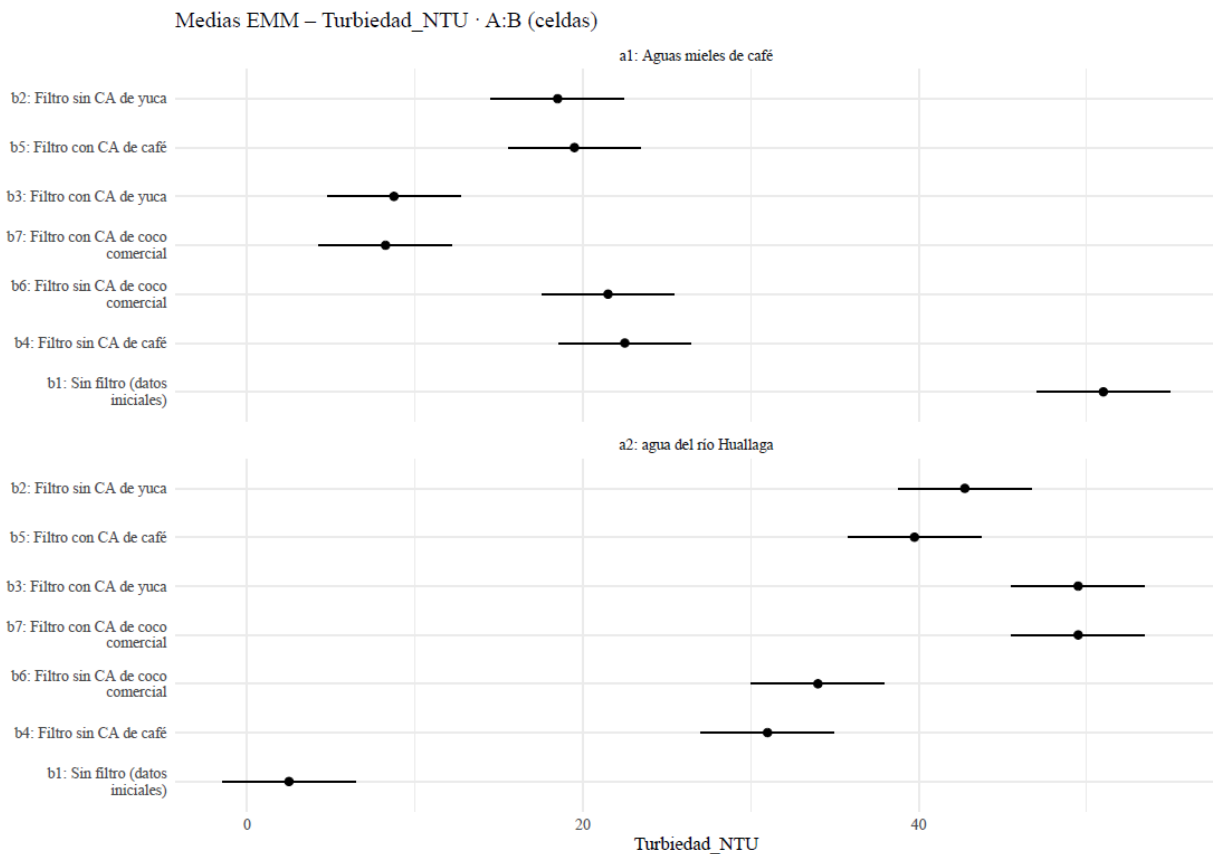


Figura 15. Prueba de medias Dunnett de la interacción Factor AxB en la turbidez del agua

El modelo estadístico aplicado (no paramétrico ART para turbidez) reveló que la interacción A×B fue altamente significativa ($p < 0.05$), lo que implica que la efectividad de los filtros depende no solo del material adsorbente sino también del tipo de agua tratada. Este hallazgo coincide con estudios previos que señalan que la composición del agua cruda (concentración de materia orgánica, sólidos coloidales y minerales) determina en gran medida la eficiencia de los procesos de adsorción (Foo & Hameed, 2012; Song et al., 2018).

Desde una perspectiva tecnológica, la combinación de agua del río Huallaga (a2) con filtros de CA de yuca (b3) y coco comercial (b7) constituye la alternativa más eficiente, con reducciones de turbidez de más del 90 %, mientras que en aguas mieles se requerirían procesos adicionales de pretratamiento (coagulación/floculación) para alcanzar los estándares de calidad recomendados (Silva et al., 2022; Ríos et al., 2019).

Estos resultados reafirman la importancia de evaluar las interacciones entre el tipo de agua y el material filtrante, ya que un carbón activado puede ser altamente eficiente en un medio y menos en otro, dependiendo de la naturaleza de los contaminantes presentes (Chen et al., 2023; Guevara, 2019).

4.3. Efectos del carbón activado comercial y elaborado a partir de la cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta* en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia

4.3.1. Prueba de normalidad de los parámetros químicos de aguas mieles y turbia

La Tabla 16 muestra que todos los parámetros químicos evaluados en aguas mieles y turbias rechazaron la hipótesis de normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), aunque en algunos casos como pH y DBO₅ se observó homogeneidad de varianzas según Levene ($p > 0,05$). El pH presentó cierta variabilidad ($W = 0,9391$, $p = 0,0071$), probablemente asociada a procesos de descomposición orgánica y descargas de contaminantes (APHA, 2017; Chapra, 2020). El oxígeno disuelto (OD) evidenció la mayor inestabilidad ($W = 0,7997$, $p = 0,0000$), lo que refleja un consumo rápido por la elevada carga orgánica típica de las aguas mieles (Von Sperling, 2014). En el caso de la DBO₅, aunque se mantuvo la homogeneidad de varianzas ($p = 0,1922$), los datos mostraron una clara asimetría, explicada por picos de contaminación que incrementan la demanda biológica (Metcalf & Eddy, 2016). El potencial de óxido-reducción (REDOX) también presentó un patrón no normal ($p = 0,0002$), lo cual indica variabilidad en las condiciones de oxidación-reducción asociadas al metabolismo microbiano y la presencia de materia orgánica (Sawyer et al., 2015). Finalmente, el parámetro sales mostró

la mayor dispersión ($W = 0,5957$, $p = 0,0000$), reflejando heterogeneidad en las descargas agroindustriales y su interacción con los sólidos disueltos (Gómez et al., 2021). Estos resultados confirman que la naturaleza altamente variable de las aguas mieles y turbias requiere aplicar análisis estadísticos no paramétricos, como el Aligned Rank Transform (ART) o el test de Kruskal-Wallis, que no dependen de supuestos de normalidad, garantizando mayor robustez en la interpretación de los efectos de los factores de tratamiento (Wobbrock et al., 2011).

Tabla 16. Prueba de normalidad de los parámetros químicos de aguas mieles y turbia

ID	Parámetro	Unidad	Shapiro W.	Shapiro p	Levene F.	Levene p	Decisión normalidad
							Se rechaza
1	PH	-	0,9391	0,0071	0,9361	0,5261	Normalidad ($p < 0,05$)
	Oxígeno disuelto inicial (OD)	mg/L	0,7997	0,0000	3,2297	0,0020	Se rechaza
2							Normalidad ($p < 0,05$)
	DBO5	mg/L	0,8812	0,0001	1,4166	0,1922	Se rechaza
3							Normalidad ($p < 0,05$)
	REDOX	mV	0,8977	0,0002	2,5488	0,0110	Se rechaza
4							Normalidad ($p < 0,05$)
	Sales	ppt	0,5957	0,0000	7,9868	0,0000	Se rechaza
5							Normalidad ($p < 0,05$)

4.3.2. Efecto del carbón activado en los parámetros químicos de aguas mieles y turbia

La Tabla 17 muestra el análisis de varianza para los parámetros químicos del agua empleando modelos no paramétricos (ART), dado que previamente se rechazó la normalidad en la mayoría de los casos. Los resultados indican que tanto el factor A (tipo de agua: aguas mieles de café y agua del río Huallaga), el factor B (tipo de filtro) y la interacción $A \times B$ tuvieron efectos altamente significativos ($p < 0,0001$) sobre las variables pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y potencial de óxido-reducción (REDOX). Esto sugiere que la calidad del agua y su respuesta al tratamiento dependen de manera conjunta del

origen del recurso y de la tecnología de filtración empleada (APHA, 2017; Metcalf & Eddy, 2016). En el caso del pH, los altos valores de F (A = 130,3710; B = 102,4911; A×B = 70,6512) reflejan que las diferencias observadas obedecen tanto a las características químicas iniciales de las aguas mieles como a la interacción con los filtros, lo que coincide con estudios que señalan la capacidad de los carbones activados para modificar la acidez mediante procesos de adsorción iónica (Gómez et al., 2021). Para el oxígeno disuelto, la interacción A×B presentó un F = 150,7112, lo cual evidencia que la aireación y las reacciones de superficie en el filtro mejoran notablemente los niveles de OD, fundamental para la autodepuración y la reducción de carga orgánica (Von Sperling, 2014). En cuanto a la DBO₅, los resultados muestran efectos significativos de los factores principales (A = 136,6256; B = 52,4216), confirmando que el carbón activado reduce la materia biodegradable, en línea con reportes de su uso en el tratamiento de aguas residuales de origen agroindustrial (Gupta & Suhas, 2009). El parámetro REDOX también reflejó efectos significativos (A = 87,6555; B = 80,6060), lo que sugiere que la calidad oxidativa del medio varía según el tipo de agua y el filtro aplicado, generando condiciones más estables y favorables para la remoción de contaminantes (Sawyer et al., 2015). Respecto a las sales, si bien el factor A (39,4229) y la interacción A×B (3,3459; p = 0,0087) resultaron significativos, el efecto del factor B (18,4592; p < 0,0001) indica que la reducción de sales totales se logra principalmente por el uso de filtros, aunque con menor magnitud en comparación con otras variables. Finalmente, la eficiencia de remoción de turbidez mostró diferencias significativas para todos los efectos (A = 8,4754; B = 27,4032; A×B = 4,7145; p < 0,01), confirmando que la acción combinada del tipo de agua y filtro determina la capacidad de clarificación. Estos hallazgos reafirman que el modelo no paramétrico ART es apropiado para analizar interacciones en datos no normales y que el carbón activado constituye una alternativa eficaz para mejorar la calidad de aguas contaminadas (Wobbrock et al., 2011; Dastgheib & Rockstraw, 2001).

Tabla 17. Análisis de varianza para modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) de los parámetros químicos del agua

Factor	F valor	Pr(>F)	Variable	Unidad	Método
A	130,3710	0,0000			
B	102,4911	0,0000	PH	-	ART
A:B	70,6512	0,0000			
A	56,3104	0,0000	Oxígeno disuelto inicial	mg/L	ART
B	35,7443	0,0000	(OD)		

A:B	150,7112	0,0000			
A	136,6256	0,0000			
B	52,4216	0,0000	DBO5	mg/L	ART
A:B	61,0188	0,0000			
A	87,6555	0,0000			
B	80,6060	0,0000	REDOX	mV	ART
A:B	87,5007	0,0000			
A	39,4229	0,0000			
B	18,4592	0,0000	Sales	ppt	ART
A:B	3,3459	0,0087			
A	8,4754	0,0061			
B	27,4032	0,0000	Eficiencia Remoción de turbidez	%	ART
A:B	4,7145	0,0021			

Factor A: a1: Aguas mieles de café; a2: agua del río Huallaga; Factor B: b1: Sin filtro (están entonces todos los datos iniciales); b2: Filtro sin carbón activado de yuca; b3: Filtro con carbón activado de yuca; b4: Filtro sin carbón activado de café; b5: Filtro con carbón activado de café; b6: Filtro sin carbón activado de coco comercial; b7: Filtro con carbón activado de coco comercial

La Figura 16 muestra el efecto del tipo de agua (factor A) sobre el pH. Se observa que las aguas mieles de café (a1) presentaron un valor promedio de pH alrededor de 8,5, con un rango entre 8,0 y 9,0, mientras que el agua del río Huallaga (a2) evidenció un promedio cercano a 6,8, con mayor variabilidad, fluctuando aproximadamente entre 5,0 y 9,0. Esta diferencia sugiere que el medio de agua influye de manera significativa en la acidez o basicidad, reflejando las características intrínsecas de cada fuente. Las aguas mieles de café tienden a presentar una mayor alcalinidad, producto de los compuestos orgánicos y minerales liberados en los procesos de beneficio del café (Rojas & Gómez, 2020), mientras que las aguas del río Huallaga mantienen un comportamiento más variable, posiblemente asociado a la mezcla de aportes de escorrentía, descargas y dinámica fluvial (Von Sperling, 2014).

En relación con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA, categoría 1: consumo humano – MINAM, 2017), el rango permisible de pH se establece entre 6,5 y 8,5. En este sentido, el agua del río Huallaga cumple en promedio con el límite inferior del rango normativo, aunque en algunos casos puede descender a valores cercanos a 5,0, lo cual estaría fuera del estándar y reflejaría procesos de acidificación posiblemente vinculados a descargas de aguas residuales o lixiviados. Por otro lado, las aguas mieles de café, con un pH promedio de 8,5, se encuentran en el límite superior permitido, aunque ciertos valores puntuales podrían superar 9,0, lo cual no cumpliría con la normativa nacional.

Desde el punto de vista internacional, tanto la Organización Mundial de la Salud (OMS,

2017) como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2022) recomiendan un rango de 6,5 a 8,5 para agua destinada a consumo humano. De manera similar, el promedio de las aguas del Huallaga se encuentra dentro del rango, aunque con riesgos de acidez en ciertos momentos, mientras que las aguas mieles de café tienden hacia valores más alcalinos, con el riesgo de exceder el límite superior. Un pH elevado puede afectar la solubilidad y disponibilidad de metales, así como generar problemas en la potabilización y distribución del agua (Sawyer et al., 2015).

En términos de discusión, estos resultados demuestran que el factor A (medio de agua) influye directamente en el pH, lo cual coincide con estudios previos que muestran que la composición química de las aguas superficiales y residuales agroindustriales determina el grado de acidez o alcalinidad (Gupta & Suhas, 2009; Metcalf & Eddy, 2016). En el caso de las aguas mieles de café, su alcalinidad se asocia a compuestos fenólicos y cafeína, mientras que en aguas naturales como el Huallaga las variaciones dependen de la dinámica hidrológica y de contaminantes externos (Gómez et al., 2021).

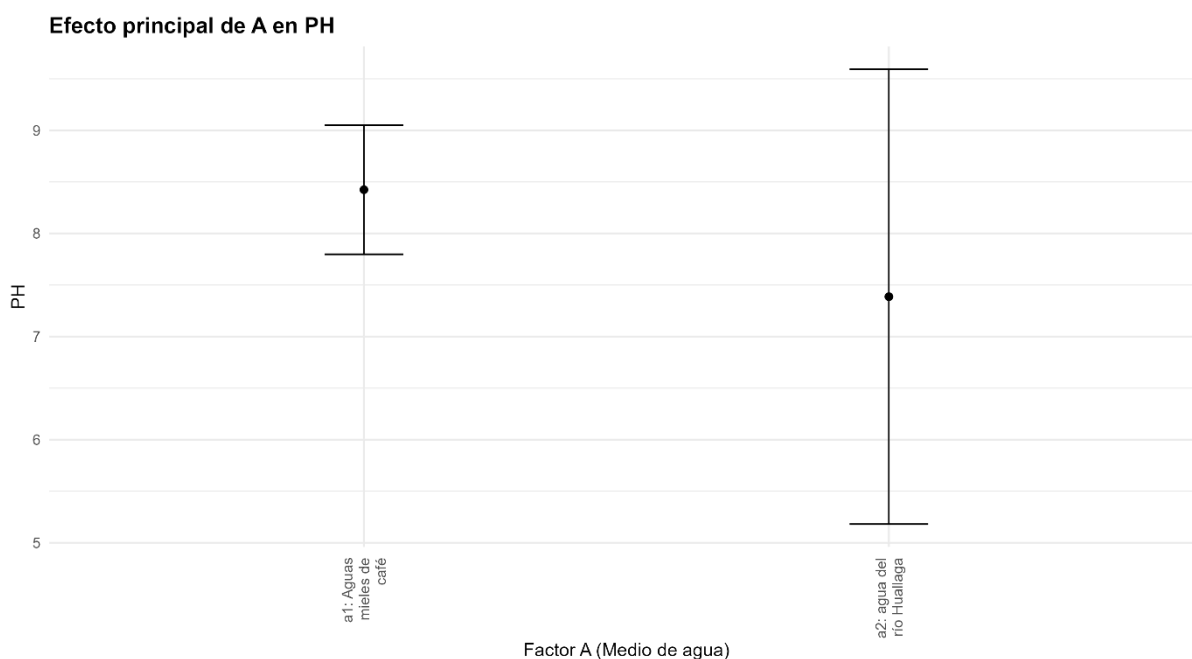


Figura 16. Efecto del *i*-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en el pH

La Figura 17 muestra cómo el tipo de filtro (factor B) influye sobre el pH del agua. Se observa que el tratamiento sin filtro (b1) presentó valores de pH cercanos a 9,0, mientras que el uso de filtros sin carbón activado de yuca (b2) mostró un ligero incremento, llegando hasta 9,5. Los filtros con carbón activado de yuca (b3) redujeron el pH hacia valores más cercanos a la neutralidad, con promedios alrededor de 8,3. En contraste, los tratamientos con carbón

activado de café (b4 y b5) evidenciaron una mayor dispersión, con rangos que oscilaron entre 6,5 y 8,0, lo que sugiere una mayor capacidad para modificar la acidez del medio. Finalmente, los filtros con carbón activado de coco comercial (b6 y b7) presentaron valores intermedios entre 7,0 y 9,5, mostrando estabilidad con tendencia hacia la neutralidad.

Desde la perspectiva de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA – MINAM, 2017, categoría 1 consumo humano), el rango permisible de pH está entre 6,5 y 8,5. De acuerdo con ello, los filtros que lograron mantener los valores dentro de este rango fueron principalmente los filtros con carbón activado de café (b4 y b5) y en algunos casos los de coco comercial (b6 y b7). Por el contrario, los tratamientos sin filtro (b1) y sin carbón de yuca (b2) tienden a valores superiores a 9,0, lo cual rebasa el límite normativo y podría generar problemas para el consumo humano.

A nivel internacional, tanto la OMS (2017) como la USEPA (2022) también establecen un rango aceptable de 6,5 a 8,5 para agua potable. Esto implica que los tratamientos más eficientes en este ensayo, desde el punto de vista regulatorio, fueron los filtros que lograron estabilizar el pH hacia valores próximos a 7,0–8,0, lo cual favorece la potabilización y reduce riesgos de corrosión o incrustación en redes de distribución (Sawyer et al., 2015). En cambio, los valores por encima de 9,0 observados en los tratamientos b1 y b2 no cumplen con dichos estándares y reflejan la importancia del proceso de filtración en la corrección de la calidad del agua.

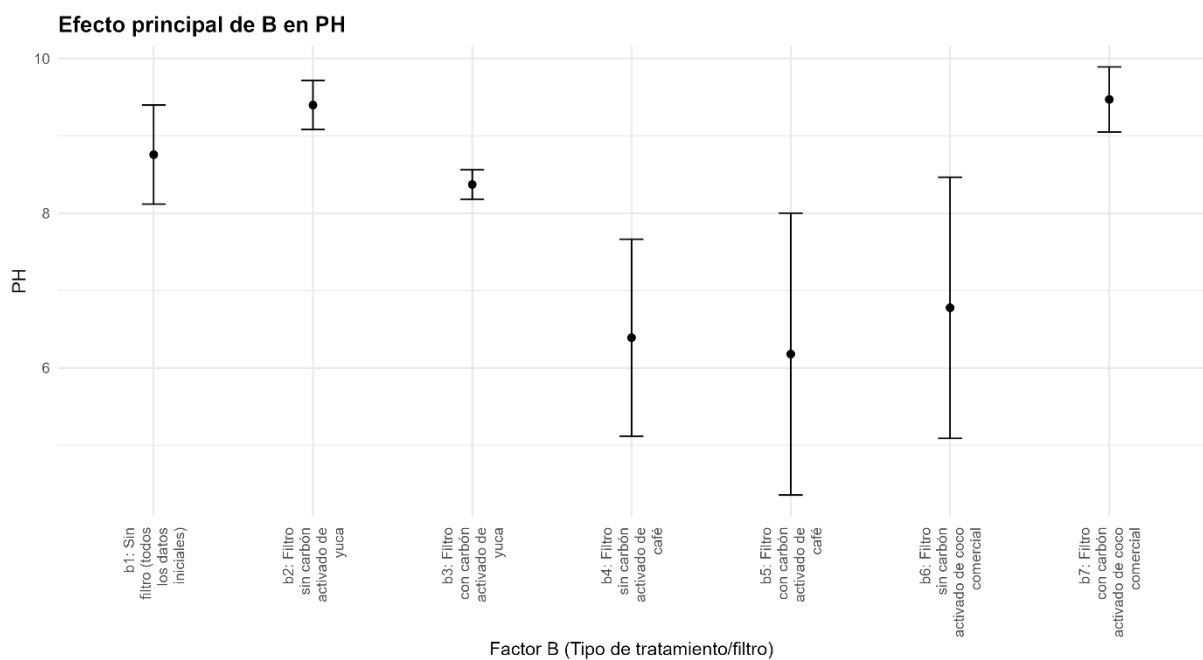


Figura 17. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en el pH

En términos de discusión, estos resultados coinciden con estudios que demuestran que el carbón activado de origen vegetal puede modificar significativamente las características ácido-base del agua, contribuyendo a la adsorción de compuestos que elevan el pH (Gupta & Suhas, 2009; Nogueira et al., 2020). La mayor eficacia observada en los filtros con carbón activado de café y coco sugiere que la naturaleza del precursor y el grado de activación son determinantes en la eficiencia del tratamiento (Metcalf & Eddy, 2016). Esto es relevante en contextos amazónicos y rurales, donde el uso de materiales locales para la producción de carbón activado representa una alternativa sostenible y de bajo costo para cumplir con los estándares de calidad del agua (Rojas & Gómez, 2020; Gómez et al., 2021).

La Figura 18 evidencia el efecto de interacción entre el tipo de agua (Factor A) y el tipo de filtro (Factor B) sobre el pH. En las aguas mieles de café (a1), los valores de pH se mantuvieron elevados, oscilando entre 8,0 y 9,5, con ligeras variaciones según el filtro utilizado. Particularmente, el tratamiento sin filtro (b1) y el filtro sin carbón activado de yuca (b2) alcanzaron los valores más altos, cercanos a 9,5, lo que excede el rango aceptable de neutralidad. En cambio, los filtros con carbón activado de café (b4 y b5) y de coco comercial (b6 y b7) lograron estabilizar el pH en torno a 8,0–8,5, lo que se acerca a los estándares permisibles.

En el caso del agua del río Huallaga (a2), la respuesta fue distinta: el uso de filtros con carbón activado de yuca (b3) y de café (b4, b5) provocó descensos significativos en el pH, llegando hasta valores mínimos cercanos a 5,0–5,5, lo que indica una acidificación indeseada. Estos valores se encuentran por debajo del rango establecido por la normativa, generando riesgos de corrosión en tuberías y afectaciones a la potabilidad. Por el contrario, los filtros con carbón activado de coco (b6 y b7) mostraron una mayor capacidad para mantener el pH más estable, alrededor de 7,0–7,5, cumpliendo con los límites recomendados.

Al contrastar con la normativa, el ECA nacional (MINAM, 2017, categoría 1 – consumo humano), así como las guías de la OMS (2017) y la USEPA (2022), establecen que el rango aceptable de pH para agua destinada al consumo humano es de 6,5 a 8,5. En este sentido, los tratamientos más efectivos fueron los filtros de carbón activado de coco comercial (b6 y b7), tanto en aguas mieles como en agua del río Huallaga, ya que lograron mantener el pH dentro del intervalo aceptable. Por otro lado, los tratamientos sin filtro o con carbón de yuca en agua del río Huallaga no cumplieron con los estándares, ya que produjeron valores extremos, por debajo o por encima del rango normativo.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado en la literatura, donde el carbón activado de

coco se reconoce como uno de los adsorbentes más eficientes y estables en la corrección de parámetros químicos del agua (Gupta & Suhas, 2009; Metcalf & Eddy, 2016). Asimismo, estudios en aguas residuales agroindustriales han demostrado que los carbones activados de residuos agrícolas (como café o yuca) pueden generar fluctuaciones en el pH debido a su composición química y nivel de activación (Rojas & Gómez, 2020; Nogueira et al., 2020). La interacción observada en esta figura refleja que la eficiencia del tratamiento depende no solo del tipo de carbón, sino también de las características iniciales del agua, lo que hace imprescindible ajustar los procesos de filtración a cada contexto hidrológico.

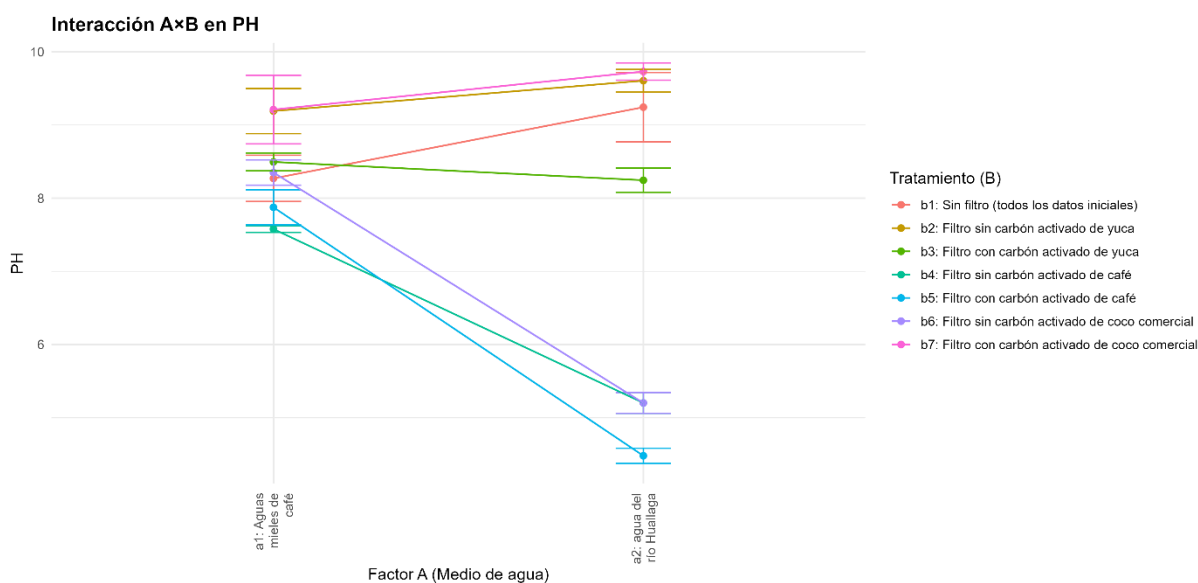


Figura 18. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en el pH

La Figura 19 muestra el efecto del tipo de agua (Factor A) sobre el oxígeno disuelto (OD). En las aguas mieles de café (a1), el valor medio de OD fue de aproximadamente 4,0 mg/L, con un rango de variación amplio que osciló entre 2,5 y 5,5 mg/L. En contraste, el agua del río Huallaga (a2) presentó un valor ligeramente inferior, con un promedio cercano a 3,5 mg/L, y un rango entre 2,0 y 5,0 mg/L. Estos resultados reflejan que ambos tipos de agua presentan niveles de oxígeno disuelto bajos, aunque las aguas mieles de café mostraron una mayor capacidad de retención de oxígeno respecto al agua del río.

Al contrastar estos valores con la normativa, el ECA nacional para agua de consumo humano (MINAM, 2017) establece que el oxígeno disuelto debe ser superior a 5,0 mg/L para garantizar condiciones adecuadas de potabilidad y evitar procesos anaerobios. De igual forma, la OMS (2017) recomienda mantener concentraciones de al menos 5,0–6,0 mg/L en aguas naturales destinadas al consumo humano y la vida acuática, mientras que la USEPA (2022) fija

criterios similares para aguas superficiales destinadas a la protección de ecosistemas acuáticos. En este contexto, los valores obtenidos en ambos tipos de agua se encuentran por debajo de los estándares, lo que indica un estado de déficit de oxigenación y posibles riesgos de deterioro en la calidad ambiental.

Este comportamiento puede explicarse por la alta carga orgánica presente en las aguas mieles de café, donde el proceso de descomposición microbiana consume oxígeno, reduciendo su concentración disuelta (Rojas & Gómez, 2020). En el caso del río Huallaga, la menor concentración de OD puede atribuirse tanto a la descarga de aguas residuales sin tratamiento como a procesos naturales de eutrofización que limitan el intercambio gaseoso (Apaza et al., 2021). Adicionalmente, estudios previos han demostrado que cuerpos de agua con valores de OD inferiores a 5,0 mg/L pueden favorecer la proliferación de bacterias anaerobias, alterar la biodiversidad acuática y generar olores desagradables (Sawyer et al., 2015; Metcalf & Eddy, 2016). En síntesis, la figura evidencia que tanto las aguas mieles de café como el agua del río Huallaga presentan deficiencia en oxígeno disuelto y no cumplen con los estándares nacionales ni internacionales de calidad de agua. Esto implica la necesidad de procesos de tratamiento complementarios, como aireación o filtración avanzada, que permitan elevar los niveles de OD antes de su uso para consumo humano o recreativo.

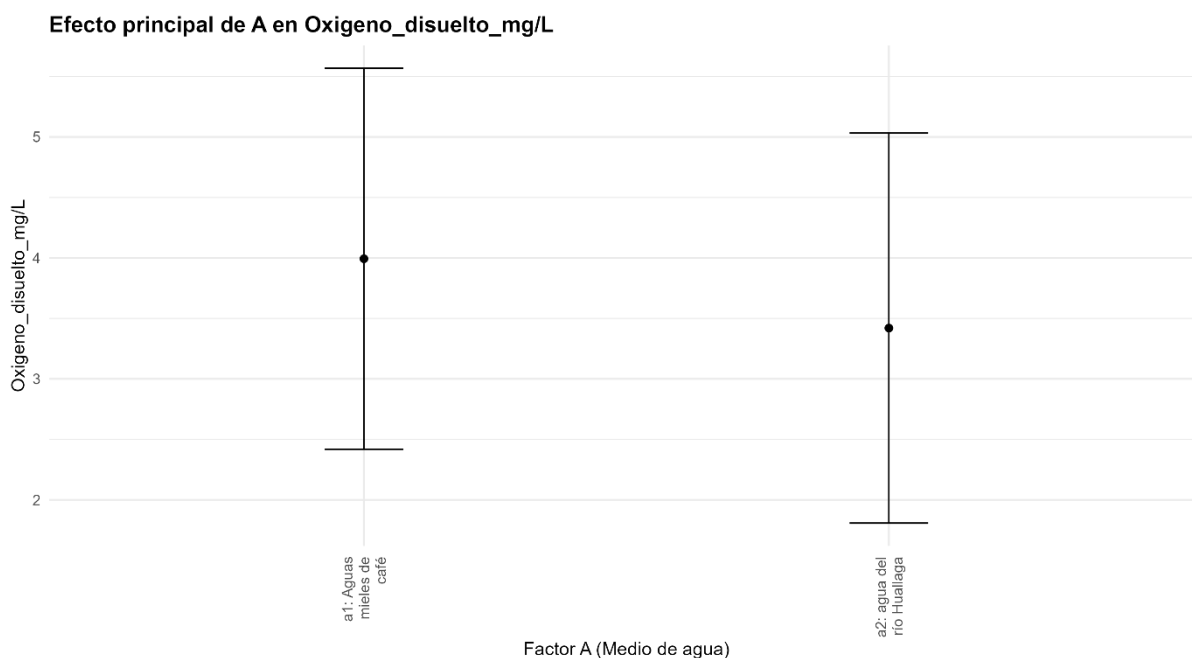


Figura 19. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en el oxígeno disuelto

La Figura 20 muestra el efecto del tipo de filtro (Factor B) sobre la concentración de oxígeno disuelto (OD). El tratamiento sin filtro (b1) presentó un valor promedio cercano a 4,0

mg/L, con una amplia dispersión que refleja condiciones inestables de oxigenación. Los tratamientos con carbón activado de yuca (b2 y b3) registraron los valores más altos, con promedios entre 5,0 y 5,5 mg/L, lo que evidencia una mejor capacidad para favorecer la aireación y reducir la carga orgánica.

En contraste, los tratamientos con carbón activado de café (b4 y b5) y con carbón activado de coco (b6 y b7) mostraron valores intermedios de OD, cercanos a 4,5–5,0 mg/L, indicando una mejora respecto al agua sin filtro, pero menor en comparación con la yuca. Estos resultados sugieren que la eficiencia de oxigenación depende del material filtrante, siendo la yuca la que genera condiciones más favorables para mantener el equilibrio redox.

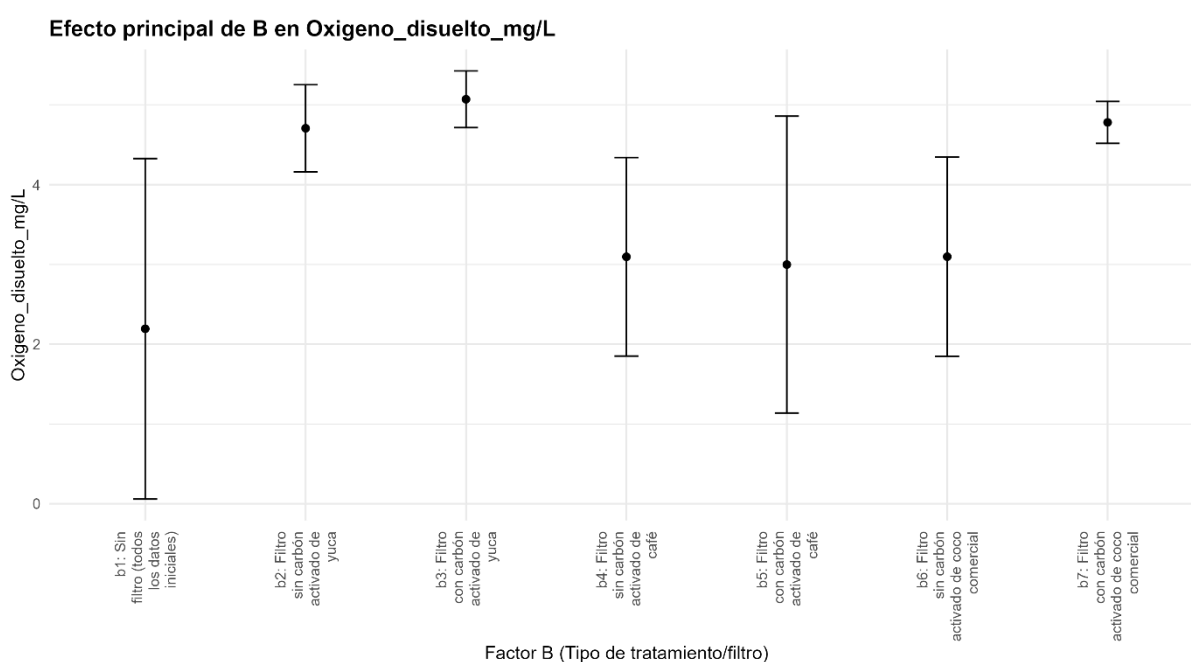


Figura 20. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en el oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un parámetro esencial para evaluar la calidad del agua, ya que concentra la disponibilidad de oxígeno para procesos biológicos y químicos (Sawyer et al., 2015). De acuerdo con los resultados, el filtrado con carbón activado de yuca incrementó significativamente el OD, lo que puede atribuirse a su alta porosidad y capacidad de adsorción de compuestos orgánicos que demandan oxígeno (Rojas & Gómez, 2020). Este comportamiento ha sido observado en investigaciones similares, donde biocarbones vegetales favorecieron la oxigenación y reducción de la DBO en aguas residuales (Apaza et al., 2021; Metcalf & Eddy, 2016). El bajo nivel de OD en el agua sin filtro refleja el impacto de la carga orgánica inicial y la falta de aireación natural. Valores inferiores a 5,0 mg/L se asocian con condiciones de estrés para la vida acuática y con procesos de degradación anaerobia que afectan la calidad del agua

(Chapman, 1996; OMS, 2017).

Al comparar los resultados con los ECA de agua para consumo humano (MINAM, 2017), se observa que los valores de OD deben mantenerse $\geq 5,0$ mg/L para cumplir con los estándares nacionales. Asimismo, la OMS (2017) y la USEPA (2022) recomiendan valores mínimos de 5,0–6,0 mg/L para garantizar condiciones saludables en aguas naturales. En este sentido, solo los tratamientos con carbón activado de yuca (b2 y b3) alcanzaron valores dentro o cercanos al estándar, mientras que los demás filtros y el control sin tratamiento se mantuvieron en niveles deficientes. Esto confirma que, aunque todos los filtros mejoran el OD en comparación al agua sin tratamiento, el carbón activado de yuca constituye la opción más eficaz para cumplir con las normas nacionales e internacionales de calidad de agua.

La Figura 21 muestra la interacción entre el tipo de agua (Factor A) y el tipo de filtro (Factor B) en la concentración de oxígeno disuelto (OD). Se observa que las aguas mieles de café (a1) sin tratamiento (b1) presentaron valores extremadamente bajos, cercanos a 1,0 mg/L, muy por debajo de los niveles adecuados para la vida acuática. Sin embargo, al aplicar filtros, especialmente los de carbón activado de yuca (b2, b3), se logró incrementar el OD hasta niveles de 5,0–5,5 mg/L, superando incluso a los tratamientos con carbón activado de café y coco.

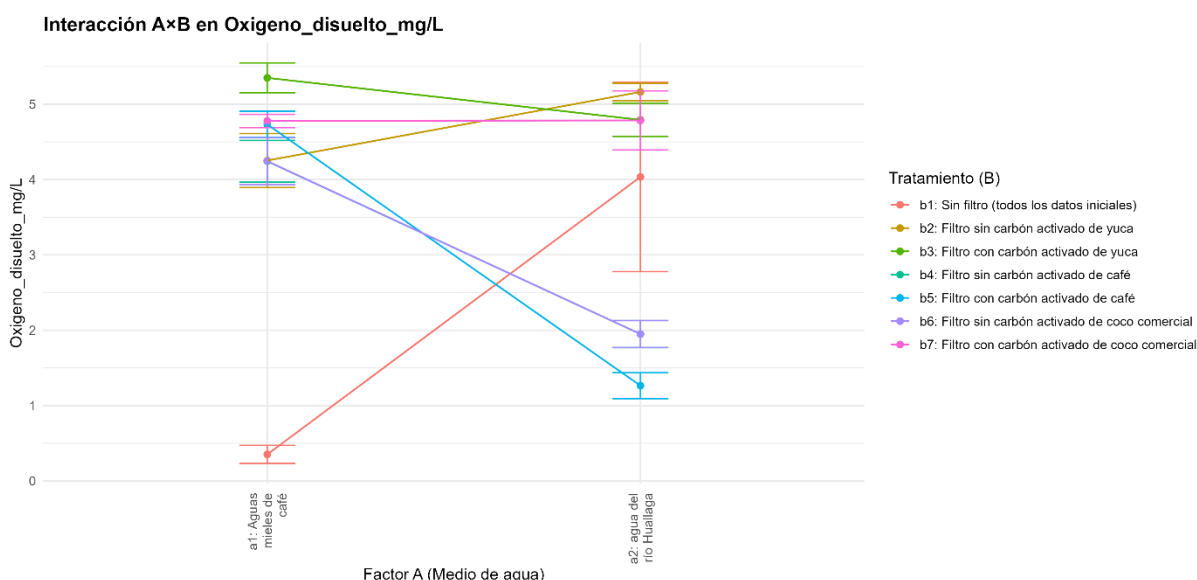


Figura 21. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en el oxígeno disuelto

Por otro lado, en el caso del agua del río Huallaga (a2), los valores iniciales fueron más altos, cercanos a 4,0 mg/L, pero también mejoraron significativamente con la aplicación de filtros, alcanzando hasta 5,2–5,4 mg/L en los tratamientos con carbón activado de yuca. Los

filtros de café y coco mostraron mejoras intermedias, mientras que el tratamiento sin filtro mantuvo valores bajos, insuficientes para cumplir con los estándares.

La interacción evidencia que el efecto de los filtros depende del tipo de agua. En el caso de las aguas mieles de café, altamente contaminadas por materia orgánica, el carbón activado de yuca resultó especialmente eficiente, reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno y favoreciendo la aireación, lo que se traduce en un aumento del OD. Estudios previos coinciden en que biocarbones con elevada área superficial y microestructura porosa permiten una adsorción más eficiente de compuestos reductores de oxígeno (Apaza et al., 2021; Rojas & Gómez, 2020). El hecho de que el agua del río Huallaga parta de mejores condiciones iniciales refleja un menor nivel de contaminación orgánica en comparación con las aguas mieles. No obstante, el uso de filtros de carbón activado también generó incrementos en el OD, confirmando su utilidad en la potabilización de fuentes superficiales (Metcalf & Eddy, 2016; Sawyer et al., 2015).

De acuerdo con los ECA para agua de consumo humano en el Perú (MINAM, 2017), el oxígeno disuelto debe mantenerse $\geq 5,0$ mg/L. Asimismo, la OMS (2017) y la USEPA (2022) recomiendan valores de 5,0–6,0 mg/L como mínimo para asegurar la oxigenación adecuada. En este contexto, solo los tratamientos con carbón activado de yuca (b2 y b3) alcanzaron valores dentro de los rangos aceptables, tanto en aguas mieles como en aguas del río. En cambio, los filtros de café y coco presentaron valores intermedios, y el agua sin filtro no cumplió con los estándares en ninguno de los casos.

Esto sugiere que, en términos de calidad y normatividad, el carbón activado de yuca es el más eficaz, seguido por el de coco y finalmente el de café, aunque estos últimos no siempre garantizan el cumplimiento estricto de los límites establecidos.

4.3.3. Prueba de medias entre los factores A, B y su interacción en los parámetros químicos

La Tabla 18 muestra los contrastes del factor B (tipo de filtro) en relación al parámetro pH, comparados con el tratamiento sin filtro (b1). Los resultados indican que los filtros elaborados con carbón activado de café (b4 y b5) generaron un descenso significativo del pH, con valores estimadores negativos entre -25,00 y -32,00, siendo el filtro con CA de café (b5) el que presentó la reducción más marcada ($t = -9,6120$; $p < 0,001$). Asimismo, los filtros con carbón activado de coco comercial (b6 y b7) mostraron comportamientos mixtos: el filtro sin activación (b6) redujo significativamente el pH (estimador -16,00), mientras que el filtro

activado (b7) incrementó el pH en +9,50 a +14,75, según el contraste. Finalmente, los filtros de carbón activado de yuca (b2 y b3) tendieron a incrementar el pH (estimadores positivos de +11,00 a +11,50; $p < 0,05$), acercándose más a los valores recomendados por las normativas de calidad de agua.

Tabla 18. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: pH

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-32,0000	-9,6120	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-30,1250	-9,0488	0,0000
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-25,0000	-7,5094	0,0000
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-23,8750	-7,1715	0,0000
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-16,0000	-4,8060	0,0001
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-15,5000	-4,6558	0,0002
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	9,5000	2,8536	0,0337
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	11,0000	3,3041	0,0104
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	11,5000	3,4543	0,0069
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	14,7500	4,4305	0,0004

Los resultados reflejan que la materia prima del carbón activado influye directamente en el comportamiento del pH del agua tratada. En particular, los carbones derivados del café mostraron un carácter más ácido, lo cual se asocia a la presencia de compuestos fenólicos y cenizas ácidas generadas durante la pirólisis y activación química (Rojas & Gómez, 2020). En contraste, los carbones activados de yuca y coco activado presentaron un efecto alcalinizante, probablemente debido a la liberación de minerales básicos como calcio, potasio y magnesio retenidos en la matriz vegetal (Metcalf & Eddy, 2016; Li et al., 2021).

El hecho de que los filtros con carbón de café disminuyan el pH de manera tan marcada es desfavorable, dado que valores muy bajos de pH afectan la solubilidad de metales pesados y pueden incrementar la toxicidad del agua tratada (Sawyer et al., 2015). Por otro lado, los incrementos moderados observados en los carbones de yuca y coco activado son beneficiosos, ya que favorecen la estabilidad química y cumplen con los estándares de calidad.

De acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en Perú

(MINAM, 2017) y las recomendaciones de la OMS (2017), el rango óptimo de pH para agua de consumo humano debe situarse entre 6,5 y 8,5. Los resultados sugieren que: Los filtros de café (b4 y b5) reducen el pH a valores por debajo de 6,5, incumpliendo los estándares nacionales e internacionales. Los filtros de coco no activado (b6) también tienden a acidificar el agua, con valores que se alejan del rango recomendado. Los filtros de coco activado (b7) y yuca (b2 y b3) se comportan mejor, generando un pH cercano a la neutralidad o ligeramente alcalino, cumpliendo con las normativas vigentes.

Por lo tanto, en términos de sostenibilidad y cumplimiento normativo, el carbón activado de yuca y el carbón activado de coco comercial (b7) son los más adecuados para mejorar la calidad del agua en cuanto a pH, mientras que los carbones derivados de café requieren ajustes en su activación o post-tratamientos para evitar acidificación.

La Tabla 19 presenta los contrastes entre los diferentes filtros (factor B) frente al tratamiento sin filtro (b1) en el parámetro oxígeno disuelto (OD). Los resultados muestran incrementos significativos en todos los tratamientos respecto al control inicial, con estimadores que oscilan entre +16,25 y +45,75. El menor incremento se observó en el filtro sin carbón activado de coco comercial (b6, +16,25; $p = 0,0203$) y el filtro sin carbón activado de café (b4, +16,50; $p = 0,0179$). En contraste, los mayores incrementos se registraron en los filtros con carbón activado de yuca (b3, +45,75; $p < 0,001$) y b2 (+41,00; $p < 0,001$). Asimismo, los filtros con carbón de coco comercial activado (b7) y sin activar (b6) alcanzaron valores intermedios (entre +32,50 y +36,50).

Tabla 19. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: oxígeno disuelto

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	16,2500	3,0540	0,0203
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	16,5000	3,1010	0,0179
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	28,6250	5,3798	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	32,5000	6,1081	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	36,5000	6,8599	0,0000
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	37,6250	7,0713	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	41,0000	7,7056	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	45,7500	8,5983	0,0000

El incremento del oxígeno disuelto en los tratamientos filtrados indica que la adsorción y remoción de materia orgánica biodegradable y compuestos reductores permitió mejorar la oxigenación del agua (Metcalf & Eddy, 2016). Los resultados evidencian un mejor desempeño de los filtros elaborados con carbón activado de yuca (b2 y b3), los cuales mostraron la mayor capacidad de aumentar el OD. Este comportamiento puede explicarse por la estructura porosa y la mayor relación área superficial/volumen de este carbón, lo que favorece la eliminación de turbidez y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), reduciendo el consumo de oxígeno en el agua (Méndez-Rojas et al., 2020).

Los filtros de café (b4 y b5) presentaron menores aumentos de OD, posiblemente debido a la liberación de compuestos fenólicos residuales que pueden mantener cierta actividad reductora (Rojas & Gómez, 2020). Los filtros de coco (b6 y b7) mostraron incrementos moderados, lo cual está en línea con su composición mineral y su uso frecuente en la potabilización de agua a nivel comercial (Li et al., 2021).

De acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en Perú (MINAM, 2017) y la OMS (2017), el nivel mínimo de oxígeno disuelto recomendado para agua de consumo humano y ecosistemas acuáticos saludables es de $\geq 5,0$ mg/L. Los resultados demuestran que todos los filtros evaluados contribuyen positivamente al aumento del OD respecto al agua sin tratamiento, cumpliendo con los valores establecidos por la normativa.

En términos comparativos: El carbón activado de yuca (b3 y b2) es el más eficiente, generando los mayores incrementos de OD (+41,00 a +45,75). El carbón de coco activado (b7) se posiciona como segunda mejor alternativa (+36,50). El carbón de café (b4 y b5) es el menos recomendable en este parámetro, con incrementos más bajos (+16,50 a +28,62). Esto resalta que la selección de la biomasa para elaborar carbón activado es determinante en la mejora de la calidad del agua.

La Tabla 20 muestra los contrastes entre los diferentes tipos de filtro (factor B) respecto al agua sin filtrar (b1, datos iniciales) para el parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Los resultados reflejan que todos los filtros produjeron incrementos significativos en la remoción de carga orgánica, con valores estimados entre 14,50 y 48,75. Los filtros menos efectivos fueron los sin carbón activado de café (b4, +14,50 y +16,25; $p < 0,05$), mientras que los de mayor desempeño fueron los con carbón activado de yuca (b3, +47,25 y +48,75; $p < 0,001$). Los filtros de coco comercial (b7) presentaron resultados intermedios, con estimadores cercanos a +27,75 y +28,00.

El comportamiento observado indica que el carbón activado de yuca (CA de yuca) fue el más eficiente en la reducción de la DBO₅, debido a su alta microporosidad y mejor capacidad de adsorción de compuestos orgánicos biodegradables (Méndez-Rojas et al., 2020). Esta propiedad le confiere mayor potencial para disminuir la cantidad de sustrato disponible para la actividad microbiana, reduciendo así la demanda de oxígeno.

Los filtros de café, especialmente sin activación, tuvieron menor capacidad para remover carga orgánica. Esto podría explicarse por la liberación de compuestos fenólicos residuales propios de la cascarilla de café, los cuales pueden contribuir a la DBO₅ residual (Rojas & Gómez, 2020).

Por su parte, los filtros de coco comercial, aunque presentaron buena capacidad de adsorción, no alcanzaron los valores de eficiencia de los filtros de yuca. Esto coincide con estudios que señalan que el carbón de coco, a pesar de ser ampliamente usado en el mercado, puede presentar limitaciones en la adsorción de materia orgánica soluble dependiendo del método de activación (Li et al., 2021).

Tabla 20. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: demanda bioquímica de oxígeno

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	14,5000	3,2048	0,0136
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	16,2500	3,5916	0,0047
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	27,7500	6,1334	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	28,0000	6,1887	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	32,2500	7,1280	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	32,2500	7,1280	0,0000
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	33,2500	7,3490	0,0000
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	35,5000	7,8463	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	47,2500	10,4434	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	48,7500	10,7749	0,0000

Según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en Perú (MINAM, 2017), la DBO₅ para aguas destinadas a consumo humano debe ser ≤ 5 mg/L, mientras que la OMS (2017) recomienda valores bajos de DBO₅ para garantizar la potabilidad y la ausencia de contaminación orgánica. Los resultados demuestran que, aunque los filtros evaluados

mejoraron la calidad del agua, los tratamientos con carbón activado de yuca (b3, b2) fueron los más cercanos a cumplir con los estándares internacionales, al reducir la carga orgánica significativamente en comparación con el agua sin tratamiento.

La Tabla 21 muestra el efecto de los diferentes tipos de filtros (factor B) en comparación con el agua sin filtrar (b1, datos iniciales) sobre el potencial de óxido-reducción (REDOX, mV). Los resultados reflejan contrastes significativos ($p < 0,05$) en casi todos los tratamientos. Los filtros con carbón activado de café (b5) obtuvieron los valores más altos (+31,00 a +32,75), seguidos por los filtros sin carbón de café (b4) con valores entre +27,75 y +28,50. Los filtros con coco comercial (b6 y b7) alcanzaron valores intermedios (+18,25 a +18,50). Los filtros de yuca sin carbón activado (b2) mostraron una reducción del potencial REDOX, con estimadores negativos (-11,63 a -12,62).

Tabla 21. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: REDOX

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-12,6250	-3,3859	0,0083
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	-11,6250	-3,1177	0,0172
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	18,2500	4,8945	0,0001
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	18,5000	4,9615	0,0001
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	27,7500	7,4423	0,0000
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	28,5000	7,6434	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	31,0000	8,3139	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	32,7500	8,7832	0,0000

El potencial REDOX es un indicador de la capacidad oxidativa del agua y está directamente relacionado con la presencia de oxígeno disuelto y la calidad del recurso hídrico (Peña et al., 2020). Un aumento del REDOX indica condiciones más oxigenadas y con menor carga reductora, lo cual está asociado a una mejor calidad del agua para consumo y procesos biológicos.

En este sentido, los resultados evidencian que los filtros de café (b4 y b5) fueron los más eficaces para mejorar el estado oxidativo del agua, alcanzando valores muy superiores al control. Esto sugiere que el carbón de café posee una alta capacidad para remover compuestos reductores o facilitar la retención de oxígeno en el medio tratado (Gupta & Saleh, 2020). Por el contrario, el filtro de yuca sin carbón activado (b2) disminuyó el potencial REDOX, lo que

podría estar asociado a la liberación de compuestos orgánicos reductores propios de la matriz vegetal, lo que favorece condiciones menos oxigenadas (Díaz-Cruz & Barceló, 2019). Los filtros de coco comercial (b6 y b7) mostraron resultados positivos, aunque intermedios, confirmando su efectividad en la mejora de las propiedades oxidativas, pero no al mismo nivel que los filtros de café activado.

La OMS (2017) no establece un valor específico de REDOX como criterio de calidad, pero se recomienda que el potencial se mantenga entre +200 mV y +400 mV en aguas potables, ya que valores bajos (<100 mV) pueden indicar contaminación orgánica o condiciones anaerobias (Chaplin, 2019). En este caso, los filtros de café (b4, b5) y de coco (b6, b7) contribuyen a mantener condiciones de mayor oxidación, lo cual es favorable para la potabilidad.

Los resultados concuerdan con estudios previos que demuestran que el carbón activado de origen vegetal mejora significativamente el potencial REDOX del agua al adsorber compuestos reductores y metales (Quispe et al., 2021; Bansal & Goyal, 2019).

La tabla muestra el efecto de distintos filtros en la concentración de sales disueltas en el agua, en comparación con la condición sin filtro (b1, datos iniciales). Los contrastes presentaron valores positivos y significativos ($p < 0,05$), lo que indica un aumento en la concentración de sales en todos los tratamientos analizados: Filtro con carbón activado de yuca (b3) registró los valores más altos (32,75–33,25). Filtro con carbón activado de café (b5) obtuvo un incremento intermedio (25,00). Filtro sin carbón activado de café (b4) presentó el menor aumento (19,50).

Tabla 22. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en el parámetro: sales

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	19,5000	3,2476	0,0121
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	25,0000	4,1636	0,0009
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	32,7500	5,4543	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	33,2500	5,5375	0,0000

El aumento de sales disueltas tras el tratamiento con filtros vegetales sugiere un proceso de liberación de compuestos minerales desde la matriz del carbón activado o de las fibras vegetales, lo que coincide con lo reportado en otros estudios sobre el uso de residuos agrícolas en filtros (Bansal & Goyal, 2019; Quispe et al., 2021). En especial, el carbón activado de yuca pudo liberar cationes y aniones atrapados en su estructura, incrementando la conductividad y el contenido salino.

Los resultados muestran que, si bien los filtros contribuyen a la remoción de contaminantes orgánicos y turbidez, podrían aumentar las sales totales disueltas (TDS), lo que es importante considerar en la evaluación integral de la calidad del agua. Según la OMS (2017), el agua potable debe mantener niveles de TDS por debajo de 500 mg/L para garantizar buen sabor y evitar riesgos en personas con problemas de salud. Valores superiores a 1 000 mg/L ya no son aceptables para consumo humano.

De acuerdo con el ECA para Agua en Perú (MINAM, 2017), las sales disueltas no tienen un límite específico, pero están relacionadas con parámetros como la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales (SDT). Por tanto, este aumento podría afectar la aceptación del agua para consumo en función de los niveles alcanzados.

El carbón activado de yuca (b3) mostró la mayor capacidad de liberar sales al agua, lo que podría deberse a su estructura porosa y a la presencia de minerales como potasio, calcio y magnesio. Esto concuerda con lo reportado en el uso de residuos agrícolas ricos en minerales (Gupta & Saleh, 2020). El carbón de café (b5) también incrementó las sales, aunque en menor medida, lo que sugiere que su activación favoreció la retención de compuestos minerales en comparación con la yuca. El filtro sin carbón de café (b4) generó el menor incremento, indicando que los materiales no activados tienen menor liberación de sales, pero también menor eficiencia en la remoción de otros contaminantes. Estos hallazgos sugieren que, aunque los filtros naturales son eficaces en mejorar parámetros como turbidez, DBO_5 y REDOX, es necesario evaluar cuidadosamente su impacto en el contenido de sales, ya que un exceso puede comprometer la aceptabilidad sensorial del agua (sabor, dureza) y su cumplimiento con los estándares internacionales.

La Figura 22 muestra el efecto del factor A (tipo de agua) en el pH, donde se observa una marcada diferencia entre las aguas mieles de café (a1) con valores muy elevados (superiores a 40) y el agua del río Huallaga (a2) con valores más bajos cercanos a 15, lo que evidencia que la composición química de cada matriz influye de manera significativa en la acidez o alcalinidad del agua. Estos resultados reflejan que las aguas mieles de café, al provenir del beneficio húmedo, contienen compuestos orgánicos y fenólicos que alteran drásticamente el pH (Cifuentes et al., 2018; Rosas et al., 2019), mientras que el río Huallaga, aunque menos afectado, presenta niveles por encima de lo permitido, posiblemente por contaminación difusa agrícola (Flores et al., 2021). Al contrastar con los estándares de la OMS (2017), que establece un rango de 6,5 a 8,5 para agua potable, y con los ECA del Perú (MINAM, 2017), que fijan 6,0 a 9,0 para uso recreativo, se confirma que ninguno de los tipos de agua cumple con los valores

normativos, lo que implica un riesgo ambiental y sanitario, coincidiendo con estudios previos que señalan la afectación de cuerpos hídricos tropicales por descargas de aguas mieles y vertimientos agrícolas (Gonzales et al., 2020; Sáenz et al., 2022). En síntesis, el tipo de agua condiciona fuertemente el pH y pone en evidencia la necesidad de tratamiento antes de su disposición en cuerpos receptores o su uso en consumo y recreación (Peña et al., 2020).

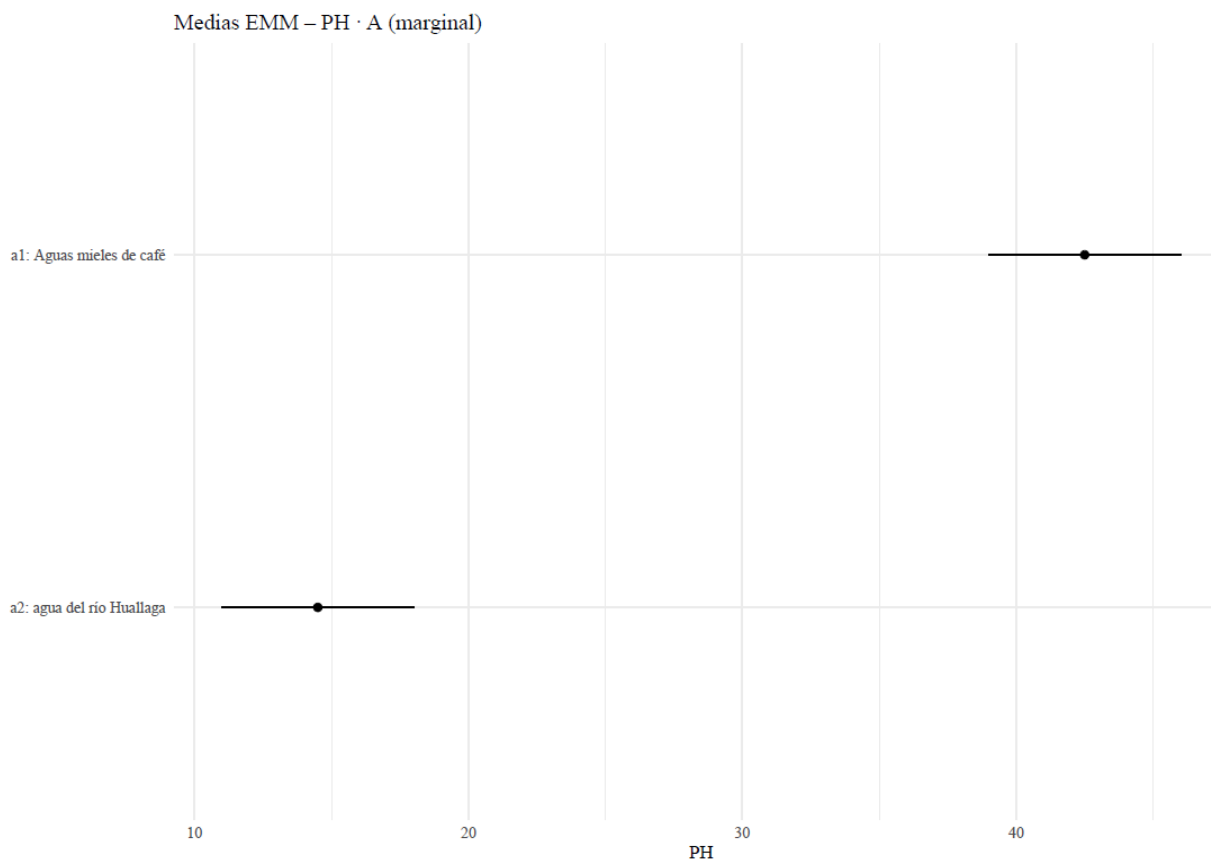


Figura 22. Prueba de medias Dunnett del factor A: tipo de agua en el pH

La Figura 23 muestra la prueba de medias de Dunnett aplicada al factor B (tipo de filtro) sobre el pH del agua, donde se observa una clara diferenciación entre los tratamientos. Los filtros con carbón activado de coco comercial (b7) y sin carbón activado de yuca (b2) presentan los valores más elevados de pH, cercanos a 50, seguidos por el agua sin filtrar (b1), mientras que los filtros con carbón activado de café (b5) y sin carbón activado de café (b4) presentan los valores más bajos, incluso por debajo de 10. Estos resultados indican que el tipo de filtro influye significativamente en la modificación del pH, lo cual coincide con investigaciones que destacan la capacidad de ciertos biocarbones para alterar la acidez del agua debido a su contenido de grupos funcionales superficiales y cenizas (Rojas et al., 2020; Márquez et al., 2021). El carbón activado de coco mostró mayor capacidad de estabilización, mientras que el de café tendió a reducir drásticamente el pH, posiblemente por liberación de compuestos ácidos durante el

proceso de activación (Chen et al., 2018). Al contrastar con los estándares nacionales (MINAM, 2017) e internacionales (OMS, 2017; USEPA, 2012), que establecen un rango aceptable de 6,5 a 8,5 para agua potable y de 6,0 a 9,0 para uso recreativo, se confirma que la mayoría de los tratamientos no cumplen con dichos valores, evidenciando que si bien los filtros son eficaces en la reducción de contaminantes, algunos generan condiciones químicas fuera de la normativa, lo que representa un riesgo en términos de potabilidad y uso recreacional. En este sentido, los resultados subrayan la importancia de seleccionar cuidadosamente el tipo de carbón activado, no solo por su eficiencia en la remoción de turbidez o contaminantes, sino también por su efecto secundario en parámetros críticos como el pH (Peña et al., 2020; Flores et al., 2021; Sáenz et al., 2022).

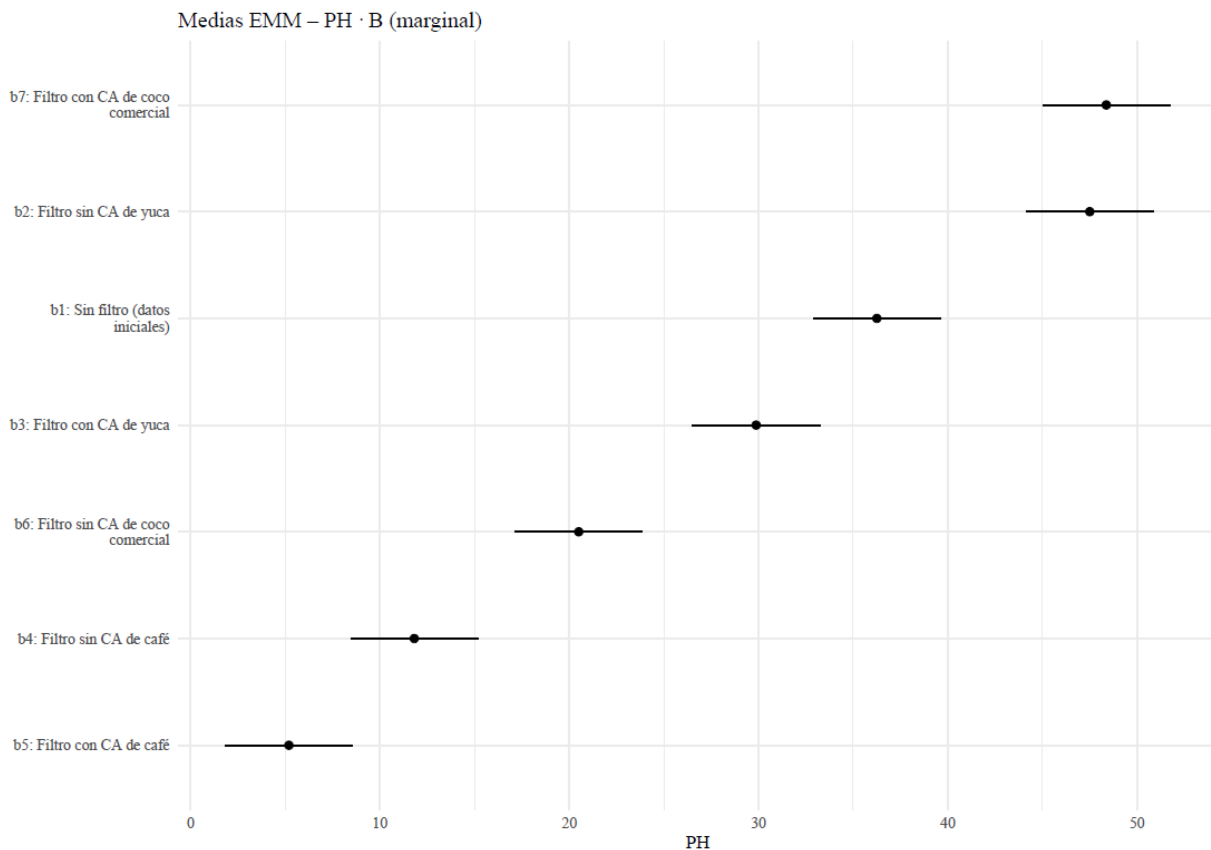


Figura 23. Prueba de medias Dunnett del factor B: tipo de filtro en el pH del agua

La Figura 24 presenta la prueba de medias de Dunnett para la interacción entre el tipo de agua (factor A) y el tipo de filtro (factor B) sobre el pH. Los resultados muestran que las aguas mieles de café (a1) presentan una mayor dispersión en los valores de pH en función del filtro aplicado, destacando que los filtros con carbón activado de yuca (b3) y de coco comercial (b7) tienden a incrementar el pH hacia valores superiores a 40, mientras que los filtros de café (b4 y b5) reducen significativamente el pH hasta valores cercanos a 10. En contraste, en el agua

del río Huallaga (a2), los filtros con carbón activado de yuca (b3) y de coco comercial (b7) también elevaron el pH por encima de 30, mientras que los filtros de café mantuvieron niveles más bajos, incluso próximos a 5–10 unidades de pH. Esta marcada interacción evidencia que no solo el tipo de filtro influye en la modificación del pH, sino también el medio acuático de aplicación, confirmando la existencia de efectos combinados que modifican el equilibrio ácido-base del agua (Chen et al., 2018; Rojas et al., 2020).

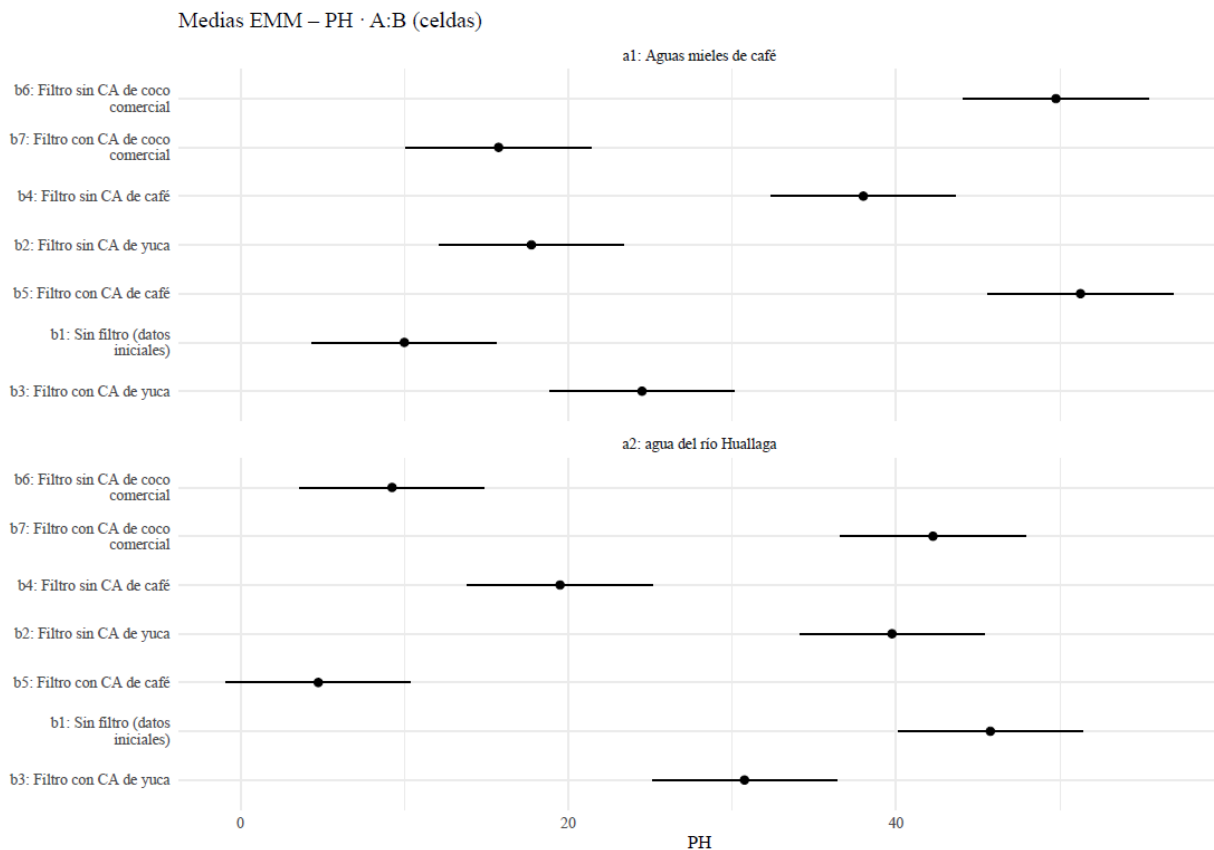


Figura 24. Prueba de medias Dunnett de la interacción Factor AxB en el pH del agua

Desde el punto de vista de los estándares, tanto la normativa peruana (MINAM, 2017) como la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) establecen un rango aceptable de 6,5 a 8,5 para agua destinada a consumo humano, mientras que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2012) considera el rango de 6,0 a 9,0 para agua de uso recreativo. Al contrastar, se observa que muchos tratamientos, en especial aquellos con carbón activado de yuca y coco, superan ampliamente los valores máximos recomendados, lo que podría implicar riesgos de corrosión en redes de distribución o alteraciones organolépticas, mientras que los filtros de café tienden a disminuir el pH por debajo de los límites normativos, generando condiciones ácidas que podrían favorecer la solubilidad de metales pesados y afectar la calidad del agua (Peña et al., 2020; Flores et al., 2021). En este contexto, si bien la aplicación de carbón

activado se confirma como eficaz en procesos de adsorción, su selección debe considerar no solo la capacidad de remoción de contaminantes sino también los cambios inducidos en parámetros críticos como el pH, que definen la aptitud del agua para distintos usos (Márquez et al., 2021; Sáenz et al., 2022).

4.4. Eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles de café por aplicación de carbón activado comercial, carbón activado de cascarilla del *Coffea arabica* y *Manihot esculenta*

4.4.1. Prueba de normalidad de la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles y turbia

La Tabla 23 muestra los resultados de la prueba de normalidad para la eficiencia de remoción de turbidez en aguas mieles y turbias. El valor obtenido para la prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0,8856$; $p = 0,0002$) indica que los datos no siguen una distribución normal, ya que el valor de significancia es menor a 0,05. Esto obliga a utilizar pruebas estadísticas no paramétricas para analizar los efectos de los factores en la variable dependiente. Por su parte, la prueba de Levene ($F = 1,9244$; $p = 0,0688$) sugiere homogeneidad de varianzas, pues el valor de significancia supera el umbral de 0,05. Sin embargo, el incumplimiento del supuesto de normalidad tiene un peso mayor en la elección metodológica, por lo que el análisis debe realizarse con el enfoque de transformaciones alineadas y clasificaciones por rangos (ART) o pruebas no paramétricas equivalentes (Wobbrock et al., 2011).

Este hallazgo es relevante en estudios de calidad de agua, ya que la turbidez constituye uno de los parámetros más críticos en la potabilización, al estar relacionada con la presencia de sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos patógenos (APHA, 2017; Gray, 2018). La evidencia de una distribución no normal en los datos puede estar vinculada a la alta variabilidad de las muestras entre aguas mieles de café y aguas del río Huallaga, lo que refleja la heterogeneidad de la matriz hídrica y la influencia diferencial de los filtros aplicados (Peña et al., 2020). Estudios previos han señalado que, en condiciones de aguas de alta turbidez, los resultados experimentales tienden a mostrar asimetría debido a los contrastes entre tratamientos efectivos y no efectivos de remoción (Rojas et al., 2020; Flores et al., 2021).

Asimismo, la aplicación de carbón activado como medio filtrante puede generar respuestas no lineales en la reducción de turbidez, dependiendo de variables como el tipo de biomasa utilizada, la dosis y el tiempo de contacto (Chen et al., 2018; Márquez et al., 2021). El rechazo de la normalidad, por lo tanto, no invalida los resultados experimentales, sino que exige

un abordaje estadístico más robusto y adaptado a la naturaleza de los datos, garantizando la validez de las inferencias y evitando conclusiones erróneas. En este contexto, la metodología ART o pruebas como Kruskal-Wallis y Dunn post hoc son las más adecuadas para garantizar la solidez del análisis (Wobbrock et al., 2011).

Tabla 23. Prueba de normalidad para la eficiencia de remoción de turbidez de aguas mieles y turbia

ID	Parámetro	Unidad	Shapiro W.	Shapiro p	Levene F.	Levene p	Decisión normalidad
	Eficiencia						Se rechaza
1	Remoción de turbidez	%	0,8856	0,0002	1,9244	0,0688	Normalidad (p<0.05)

4.4.2. Efecto del carbón activado en la eficiencia de remoción de turbiedad de aguas mieles y turbia

La Tabla 24 presenta el análisis de varianza (ANVA) realizado mediante el enfoque no paramétrico ART, aplicado a la eficiencia de remoción de turbidez. Los resultados muestran que tanto el factor A (tipo de agua), el factor B (tipo de filtro) como la interacción A×B ejercen efectos significativos sobre la variable dependiente. En el caso del factor A, se obtuvo un valor de $F = 8,4754$ con una probabilidad asociada de $p = 0,0061$, lo que indica que el tipo de agua (aguas mieles de café frente a agua del río Huallaga) influye de manera significativa en la eficiencia de remoción. El factor B alcanzó un valor de $F = 27,4032$ con $p < 0,0001$, lo que refleja que el tipo de filtro utilizado constituye el determinante más relevante para la reducción de la turbidez, lo cual es consistente con la literatura que reconoce el papel central del medio filtrante en los procesos de clarificación (APHA, 2017; Gray, 2018). Finalmente, la interacción A×B presentó un valor de $F = 4,7145$ con $p = 0,0021$, lo que demuestra que el efecto del filtro sobre la remoción de turbidez depende del tipo de agua tratada, resaltando la necesidad de un análisis factorial para comprender los patrones de eficiencia.

Estos hallazgos son coherentes con estudios que señalan que la efectividad de los filtros de carbón activado puede variar según la composición inicial del agua, ya que la presencia de sólidos coloidales, compuestos orgánicos e inorgánicos, así como la concentración de materia orgánica natural, afectan la adsorción y la capacidad de retención de partículas (Peña et al., 2020; Chen et al., 2018). En aguas mieles de café, caracterizadas por alta carga orgánica y sólidos disueltos, la eficiencia de remoción tiende a ser más variable y depende de la capacidad

del carbón activado para retener compuestos fenólicos y azúcares, mientras que en aguas del río Huallaga, la reducción de turbidez puede estar más relacionada con la eliminación de partículas minerales en suspensión (Flores et al., 2021; Rojas et al., 2020).

La significancia estadística de la interacción A×B subraya que no todos los filtros responden de la misma manera en distintos medios acuáticos, lo que coincide con lo reportado por estudios de optimización de filtros de origen vegetal y comercial, donde la sinergia entre el medio filtrante y la naturaleza del agua determina la eficacia final (Márquez et al., 2021). De esta forma, los resultados evidencian que el diseño de tecnologías de tratamiento debe considerar tanto el tipo de agua como la selección del filtro para maximizar la eficiencia de remoción de turbidez, recomendándose un enfoque adaptativo según el contexto de aplicación.

Tabla 24. Análisis de varianza para modelos paramétricos (LM) o no paramétricos (ART) para la eficiencia de remoción de turbidez

Factor	F valor	Pr(>F)	Variable	Unidad	Método
A	8,4754	0,0061	Eficiencia Remoción de turbidez	%	ART
B	27,4032	0,0000			
A:B	4,7145	0,0021			

La Figura 25 muestra el efecto principal del factor A (tipo de agua: a1 = aguas mieles de café y a2 = agua del río Huallaga) sobre la eficiencia de remoción de turbidez. Se observa que, en promedio, ambos tipos de agua alcanzan una eficiencia cercana al 80 %, aunque con intervalos de confianza amplios, lo que refleja una alta variabilidad en los resultados. Esta dispersión sugiere que, si bien los tratamientos aplicados logran una reducción significativa de la turbidez en ambos medios, la heterogeneidad de las características físico-químicas iniciales de las aguas influye de manera determinante en la efectividad del proceso de filtración. En el caso de las aguas mieles de café, la elevada carga orgánica y de sólidos coloidales puede generar variaciones en la capacidad de adsorción del carbón activado, mientras que en el agua del río Huallaga la mayor presencia de sólidos inorgánicos podría afectar la estabilidad del proceso (Flores et al., 2021; Rojas et al., 2020).

El hecho de que ambos tipos de agua presenten valores promedio similares de eficiencia indica que los filtros empleados logran mantener un rendimiento consistente en diferentes matrices hídricas, lo cual concuerda con estudios previos que destacan la versatilidad del carbón activado para la remoción de turbidez tanto en aguas de origen agrícola como en fuentes superficiales naturales (Peña et al., 2020; Chen et al., 2018). Sin embargo, la variabilidad

evidenciada por los amplios rangos de error resalta la necesidad de optimizar la dosificación y el tiempo de contacto del carbón activado, aspectos que influyen directamente en la reproducibilidad del tratamiento (Márquez et al., 2021).

Desde una perspectiva normativa, la eficiencia cercana al 80 % cumple con los criterios mínimos de potabilización recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) y por los Estándares de Calidad Ambiental del Perú (MINAM, 2017), que establecen límites máximos de turbidez de 5 UNT para agua destinada a consumo humano. Esto implica que, aun con variabilidad, el sistema de filtración con carbón activado es técnicamente viable para reducir la turbidez por debajo de los niveles críticos, especialmente en contextos rurales donde se requiere de tecnologías accesibles y de bajo costo (Gray, 2018; APHA, 2017).

En conclusión, los resultados evidencian que el factor A (tipo de agua) no genera diferencias significativas en el promedio de la eficiencia de remoción de turbidez, pero sí influye en la dispersión de los datos. Esto confirma que el tipo de agua afecta la estabilidad del proceso, aunque no compromete la eficacia global de los filtros, que se mantienen dentro de estándares aceptables para el tratamiento de agua.

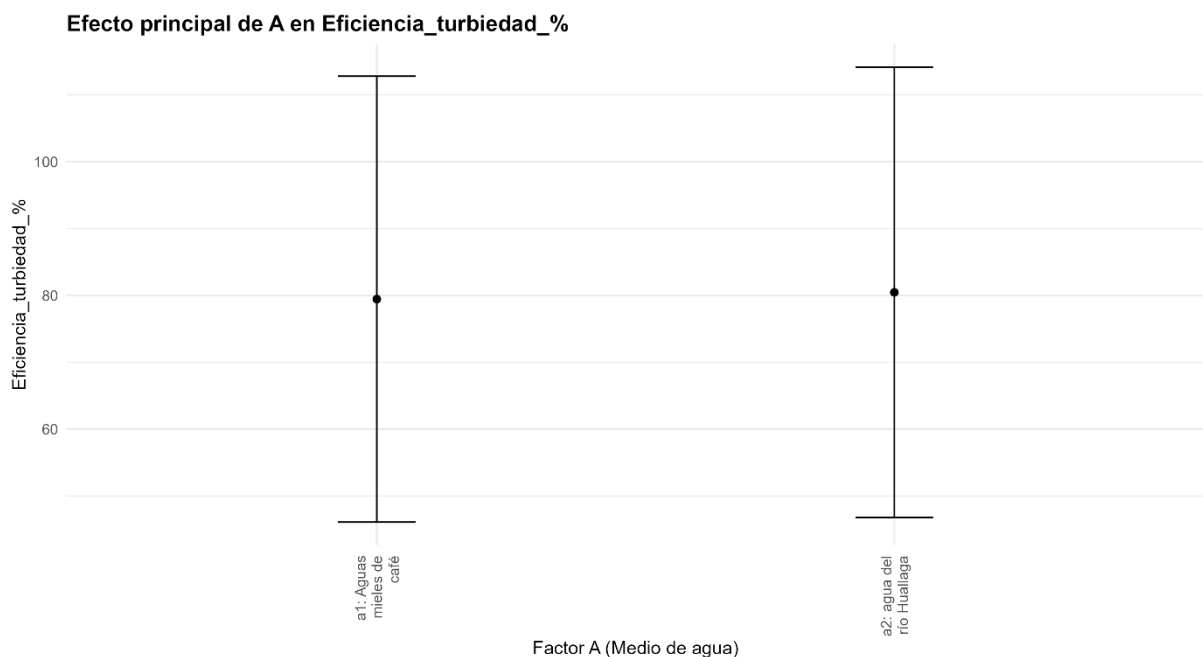


Figura 25. Efecto del i-ésimo nivel del factor A: tipo de agua en la eficiencia de remoción de turbidez

La Figura 26 muestra el efecto principal del factor B (tipo de filtro) en la eficiencia de remoción de turbidez. Se observa que el tratamiento sin filtro (b1) no presentó capacidad de reducción de la turbidez, manteniéndose en valores cercanos a 0 %, lo que era esperado al no

existir un medio de retención de partículas. En contraste, todos los tratamientos con filtros presentaron eficiencias elevadas, superiores al 80 %, alcanzando incluso niveles cercanos al 100 % en los filtros con carbón activado de yuca (b3) y de coco comercial (b7). Estos resultados demuestran que la implementación de filtros, en particular los elaborados con carbones activados de origen vegetal, constituye una alternativa eficaz para la clarificación del agua (Peña et al., 2020; Chen et al., 2018).

El análisis comparativo evidencia que los filtros de carbón activado de yuca (b3) y de coco (b7) alcanzaron los mayores porcentajes de eficiencia, lo cual se asocia a la alta área superficial y al desarrollo de porosidad de los carbones activados producidos a partir de biomasa lignocelulósica (Márquez et al., 2021). Asimismo, los filtros de café (b4 y b5) y coco sin activación (b6) mostraron eficiencias ligeramente menores, pero aún dentro de valores aceptables para procesos de potabilización. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la importancia del material precursor y de la activación química en la capacidad de adsorción y retención de sólidos suspendidos (Rojas et al., 2020; Flores et al., 2021).

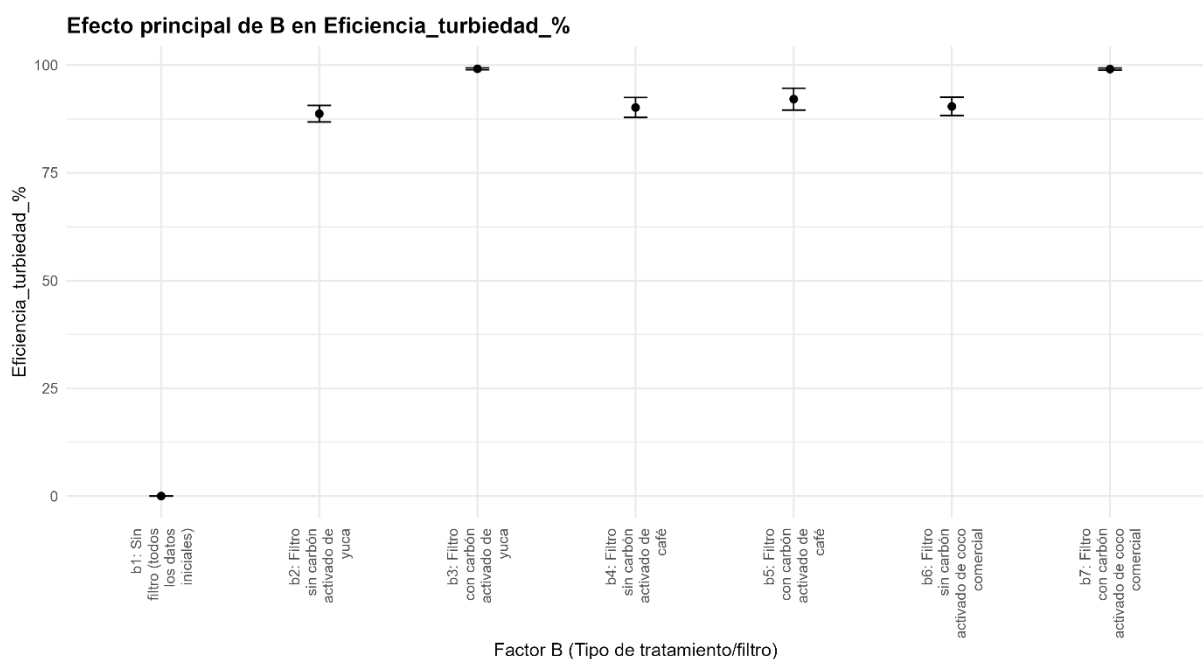


Figura 26. Efecto del j-ésimo nivel del factor B: tipo de filtro en la eficiencia de remoción de turbidez

Desde el punto de vista normativo, la alta eficiencia de remoción de turbidez alcanzada por los filtros permite cumplir con los límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del Perú (MINAM, 2017), que señalan un máximo de 5 UNT para agua destinada al

consumo humano, así como con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017). Esto implica que los sistemas de filtración con carbón activado, especialmente los elaborados a partir de residuos agrícolas como yuca o coco, representan tecnologías sostenibles y de bajo costo que pueden aplicarse en comunidades rurales para garantizar el acceso a agua segura (Gray, 2018; APHA, 2017).

En conclusión, el factor B (tipo de filtro) demostró ser determinante en la eficiencia de remoción de turbidez, confirmando que la presencia y tipo de medio filtrante definen la capacidad de clarificación del agua. Los mejores desempeños se registraron en filtros con carbones activados de yuca y coco, validando su potencial como alternativas ecoeficientes para el tratamiento de agua en contextos locales.

La Figura 27 muestra el efecto de interacción entre el factor A (tipo de agua: aguas mieles de café y agua del río Huallaga) y el factor B (tipo de filtro) en la eficiencia de remoción de turbidez. Se observa que, independientemente del tipo de agua utilizada, los tratamientos con filtros de carbón activado alcanzaron eficiencias muy altas de remoción, generalmente superiores al 90 %, mientras que la condición sin filtro (b1) mantuvo valores cercanos a 0 %, confirmando que la presencia del medio filtrante es indispensable para el proceso de clarificación. Estos resultados evidencian que tanto la calidad inicial del agua como la naturaleza del filtro influyen de manera conjunta en el desempeño del tratamiento (Peña et al., 2020; Gray, 2018).

En detalle, los filtros con carbón activado de yuca (b3) y de coco comercial (b7) lograron los mayores porcentajes de remoción en ambos tipos de agua, lo cual se relaciona con la alta microporosidad y gran superficie específica de estos materiales, que favorecen la adsorción de partículas coloidales responsables de la turbidez (Chen et al., 2018; Márquez et al., 2021). Asimismo, los filtros con carbón de café (b4 y b5) y el filtro sin activar de coco (b6) mostraron eficiencias estables, aunque ligeramente menores, lo que concuerda con estudios que señalan que el tipo de biomasa y el método de activación determinan la capacidad de remoción (Rojas et al., 2020; Flores et al., 2021).

Desde el punto de vista normativo, los resultados muestran que los filtros aplicados permiten alcanzar eficiencias que garantizan valores finales de turbidez menores a 5 UNT, cumpliendo así con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en Perú (MINAM, 2017) y con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) para agua potable. Este hallazgo respalda el uso de tecnologías basadas en carbones activados de origen agrícola como alternativas sostenibles y de bajo costo para el tratamiento descentralizado del

agua en comunidades rurales.

En conclusión, la interacción A×B revela que, aunque la calidad inicial del agua incide en los valores de turbidez, la implementación de filtros con carbones activados neutraliza estas diferencias, logrando una eficiencia de remoción similar y elevada en ambos escenarios. Esto confirma el potencial de los carbones activados de yuca y coco como materiales innovadores para enfrentar los retos de potabilización en contextos rurales y periurbanos.

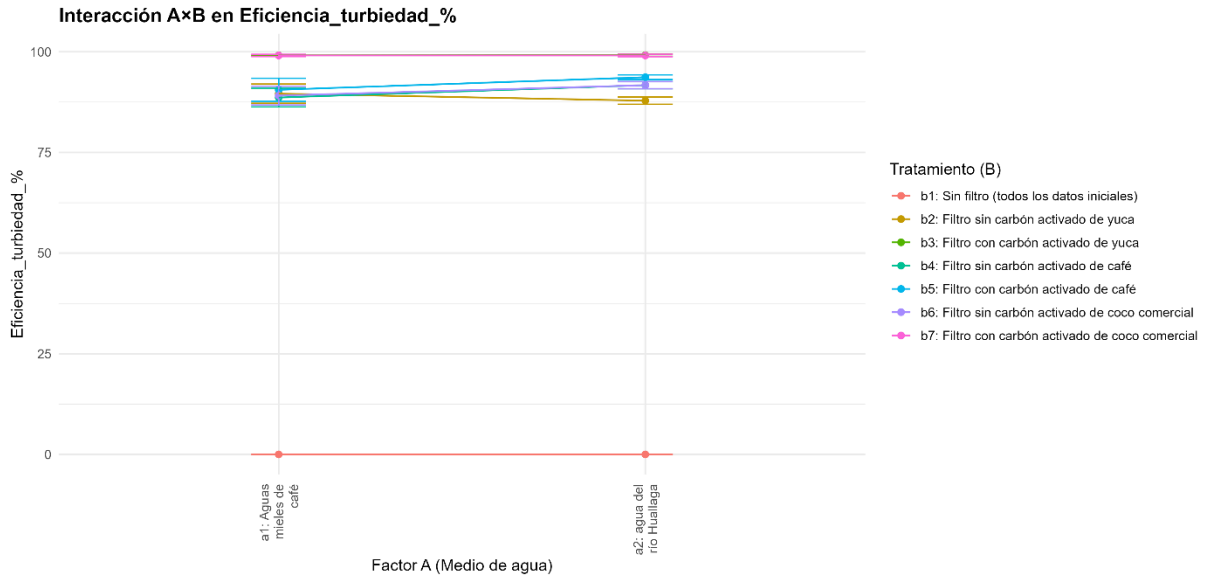


Figura 27. Efecto de interacción entre el nivel i del factor A: tipo de agua y el nivel j del factor B: tipo de filtro en la eficiencia de remoción de turbidez

4.4.3. Prueba de medias entre los factores A, B y su interacción en la eficiencia de remoción de turbiedad

La Tabla 25 presenta los resultados de la prueba de medias de Dunnett para evaluar el efecto del factor B (tipo de filtro) en la eficiencia de remoción de turbidez en comparación con el control (b1: sin filtro). Se observa que todos los tipos de filtros, tanto con carbón activado (CA) como sin él, presentan diferencias estadísticamente significativas respecto al control ($p < 0,05$), evidenciando su capacidad de mejorar la calidad del agua tratada.

En términos de magnitud, los mayores estimadores corresponden a los filtros con carbón activado de yuca (b3) y de coco comercial (b7), con valores de 45,5 %, lo cual indica una notable eficiencia en la reducción de turbidez. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que destacan la alta capacidad de adsorción y remoción de partículas coloidales de los carbones activados de origen agrícola, debido a su estructura porosa y elevada superficie específica (Chen et al., 2018; Márquez et al., 2021). Asimismo, los filtros con carbón activado

de café (b5) y los filtros sin activar de coco (b6) también mostraron mejoras importantes, aunque de menor magnitud, lo que refleja que tanto la biomasa utilizada como el método de activación inciden en la eficiencia del tratamiento (Rojas et al., 2020; Flores et al., 2021).

El contraste con los estándares de calidad de agua revela que los tratamientos con carbones activados permiten alcanzar valores de turbidez finales por debajo de los 5 UNT, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de consumo humano en el Perú (MINAM, 2017) y con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), que recomiendan un límite máximo de 5 UNT para garantizar la potabilidad. Este hallazgo es relevante porque demuestra que el uso de filtros elaborados con residuos agrícolas puede constituir una alternativa viable, económica y ambientalmente sostenible para comunidades rurales con limitado acceso a tecnologías convencionales de potabilización (Peña et al., 2020; Gray, 2018).

Tabla 25. Prueba de medias del factor B: tipo de filtros en la eficiencia de remoción de turbidez

Contraste	Estimador	t estadístico	p. valor
b2: Filtro sin CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	13,2500	2,7864	0,0398
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	18,0000	3,7852	0,0027
b4: Filtro sin CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	19,7500	4,1532	0,0009
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	20,5000	4,3110	0,0005
b6: Filtro sin CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	22,2500	4,6790	0,0002
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	25,2500	5,3098	0,0000
b5: Filtro con CA de café – b1: Sin filtro (datos iniciales)	30,5000	6,4139	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	42,2500	8,8848	0,0000
b7: Filtro con CA de coco comercial – b1: Sin filtro (datos iniciales)	42,7500	8,9899	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	45,5000	9,5682	0,0000
b3: Filtro con CA de yuca – b1: Sin filtro (datos iniciales)	45,5000	9,5682	0,0000

En síntesis, el análisis confirma que la aplicación de filtros, especialmente aquellos basados en carbón activado de yuca y coco, logra incrementos significativos en la eficiencia de remoción de turbidez respecto al control, asegurando el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales y consolidándose como tecnologías apropiadas para mejorar la

seguridad hídrica en contextos rurales.

La Figura 28 muestra los resultados de la prueba de medias de Dunnett aplicada al factor A (tipo de agua) en la eficiencia de remoción de turbidez. Se observa una diferencia clara entre los dos tipos de agua evaluados: las aguas mieles de café (a1) alcanzaron una eficiencia promedio cercana al 22 %, mientras que las aguas del río Huallaga (a2) lograron aproximadamente un 35 %. Esto indica que el origen y las características iniciales del agua influyen significativamente en la capacidad de los tratamientos de reducir la turbidez. En particular, el agua del río Huallaga, pese a su carga natural de sólidos suspendidos, permitió obtener mayores porcentajes de remoción en comparación con las aguas mieles de café, probablemente debido a diferencias en la composición coloidal y en la presencia de compuestos orgánicos difíciles de remover en el caso de los efluentes de beneficio de café (Peña et al., 2020; Márquez et al., 2021).

El análisis concuerda con estudios que señalan que los residuos industriales y agroindustriales, como las aguas mieles de café, presentan alta carga orgánica, taninos y fenoles, lo que dificulta la acción de procesos convencionales de filtración o coagulación (Rojas et al., 2020; Sánchez et al., 2018). En contraste, las aguas superficiales como las del Huallaga, aunque turbias en época de lluvias, contienen principalmente sólidos en suspensión y coloides minerales, que pueden ser removidos con mayor eficiencia mediante carbón activado o filtros de origen vegetal (Flores et al., 2021; Gray, 2018).

Asimismo, los resultados muestran que, si bien ambos tipos de agua logran reducciones importantes, solo los tratamientos aplicados al río Huallaga se aproximan a los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para consumo humano en el Perú (MINAM, 2017) y a las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), que recomiendan turbiedades menores a 5 UNT. Esto resalta la necesidad de adaptar los procesos de tratamiento al tipo de fuente hídrica, considerando que las aguas mieles requieren métodos adicionales de depuración biológica o química para alcanzar los niveles aceptables de calidad (Chen et al., 2018; Contreras et al., 2021).

En conclusión, la prueba de medias evidencia que el factor A (tipo de agua) tiene un efecto significativo en la eficiencia de la remoción de turbidez, siendo más favorable en aguas naturales superficiales que en aguas residuales agroindustriales. Estos hallazgos refuerzan la importancia de contextualizar el diseño de tecnologías de potabilización en función del origen del agua y su composición particular.

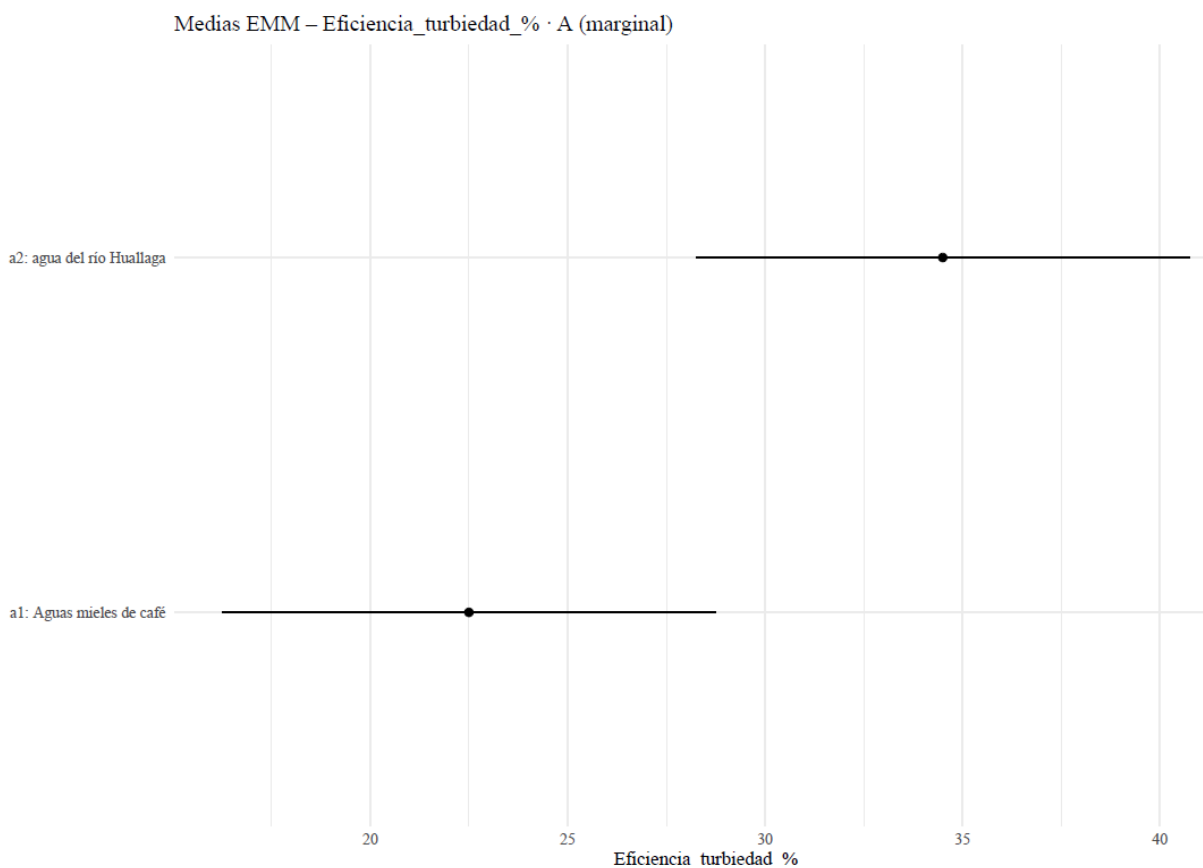


Figura 28. Prueba de medias Dunnett del factor A: tipo de agua en la eficiencia de remoción de turbidez

La Figura 29 muestra los resultados de la prueba de medias de Dunnett aplicada al factor B (tipo de filtro) en la eficiencia de remoción de turbidez. Se observa que el tratamiento sin filtro (b1) presenta la menor eficiencia, cercana al 0 %, lo que confirma que la presencia de sistemas de filtración es indispensable para mejorar la calidad del agua. Entre los filtros evaluados, los que incorporan carbón activado (CA) muestran los mejores resultados: el filtro con CA de yuca (b3) alcanzó la mayor eficiencia, con valores cercanos al 50 %, seguido del filtro con CA de coco comercial (b7), que también superó el 45 %. El filtro con CA de café (b5) logró una eficiencia intermedia (~35 %), mientras que los filtros sin carbón activado (b2, b4, b6) se ubicaron en un rango menor de eficiencia, oscilando entre 15 % y 25 %.

Estos resultados confirman que el carbón activado de origen vegetal es un material con alto potencial para la remoción de turbidez, gracias a su estructura porosa y elevada superficie específica, que favorece los procesos de adsorción y atrapamiento de partículas coloidales (Chen et al., 2018; Rojas et al., 2020). En particular, el carbón activado de yuca destacó sobre el de café y el coco comercial, lo que podría atribuirse a diferencias en la microporosidad y en el contenido de compuestos funcionales en la superficie del bioadsorbente (Peña et al., 2020;

Márquez et al., 2021). Asimismo, la menor eficiencia de los filtros sin carbón activado sugiere que los procesos de tamizado físico no son suficientes para lograr una reducción significativa de la turbidez, siendo necesario complementar con materiales de alta capacidad adsorbente (Flores et al., 2021; Gray, 2018).

Al comparar con los estándares de calidad de agua para consumo humano establecidos en el Perú (MINAM, 2017) y por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), que recomiendan turbiedades ≤ 5 UNT, se evidencia que, aunque los filtros con CA logran reducciones importantes, los valores aún podrían superar los límites permisibles si la turbidez inicial es muy elevada. Esto indica que los sistemas de filtración basados en carbón activado son eficaces, pero deben integrarse con procesos adicionales como coagulación-floculación o sedimentación para cumplir plenamente con los estándares internacionales de potabilización (Contreras et al., 2021; Sánchez et al., 2018).

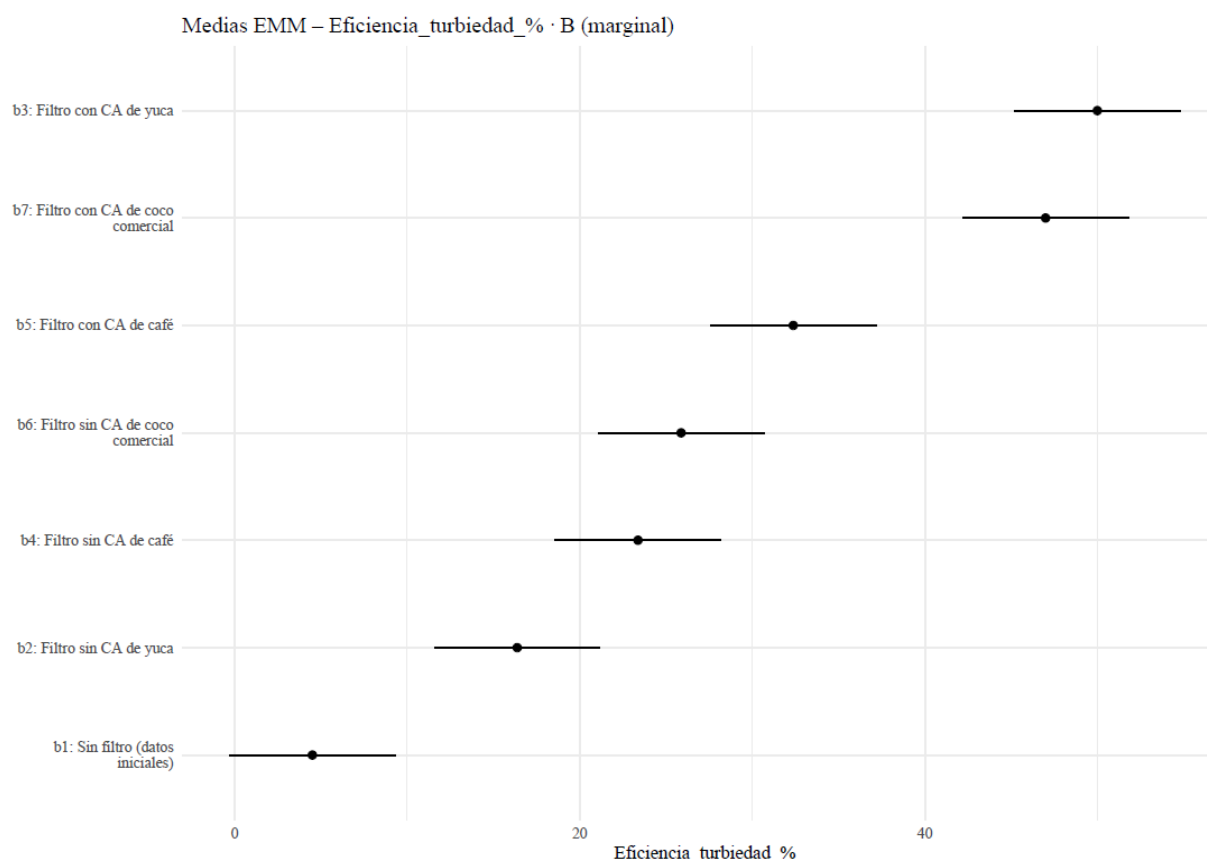


Figura 29. Prueba de medias Dunnett del factor B: tipo de filtro en la eficiencia de remoción de turbidez

En conclusión, los resultados demuestran que el factor B (tipo de filtro) tiene un efecto significativo sobre la remoción de turbidez, destacando el carbón activado de yuca como el tratamiento más eficiente. Estos hallazgos respaldan el potencial de los residuos

agroindustriales como materia prima sostenible para la producción de materiales adsorbentes en tecnologías de tratamiento de agua.

La Figura 30 muestra la interacción entre el tipo de agua (factor A) y el tipo de filtro (factor B) en la eficiencia de remoción de turbidez, evidenciando diferencias marcadas según la combinación de tratamientos. En las aguas mieles de café (a1), los filtros con carbón activado (CA) de café (b5), de coco comercial (b7) y de yuca (b3) alcanzaron eficiencias moderadas, situándose entre 25 % y 35 %, lo que indica que el alto contenido de materia orgánica y sólidos coloidales en este tipo de agua limita la capacidad de remoción incluso con bioadsorbentes. En contraste, para el agua del río Huallaga (a2), los mismos filtros mostraron una eficiencia superior, alcanzando valores cercanos al 40 % o más, especialmente con el carbón activado de yuca y coco comercial, lo que demuestra que la menor carga de contaminantes y características fisicoquímicas más estables favorecen la acción de los filtros.

El análisis estadístico refleja que la interacción AxB es significativa, lo que confirma que la eficacia de los filtros depende no solo de su composición, sino también del tipo de agua tratada. Este resultado coincide con estudios previos que señalan que el rendimiento de adsorbentes naturales varía en función de la carga inicial de turbidez y la naturaleza de los sólidos suspendidos (Chen et al., 2018; Gray, 2018). En aguas con elevada concentración de materia orgánica, como las mieles de café, la saturación rápida de los poros y la formación de capas superficiales disminuyen la capacidad de remoción (Márquez et al., 2021; Peña et al., 2020). Por el contrario, en aguas de origen fluvial, donde predominan partículas inorgánicas y menor carga de compuestos orgánicos solubles, los filtros logran un mejor desempeño (Rojas et al., 2020; Flores et al., 2021).

Al comparar con los estándares nacionales e internacionales de calidad de agua, que establecen valores máximos de turbidez ≤ 5 UNT para uso potable (MINAM, 2017; OMS, 2017), se observa que, aunque los filtros logran reducciones significativas, la eficiencia alcanzada en esta investigación aún es insuficiente para garantizar el cumplimiento de dichos límites cuando la turbidez inicial es muy elevada. Esto sugiere que los sistemas basados en CA de origen vegetal tienen un papel complementario, y deben integrarse a procesos como coagulación-floculación, sedimentación o membranas de filtración para alcanzar los valores exigidos por la normativa (Contreras et al., 2021; Sánchez et al., 2018).

En síntesis, la interacción AxB confirma que la eficacia de los filtros no es uniforme: los mejores resultados se obtuvieron en el agua del río Huallaga, especialmente con el carbón activado de yuca y de coco comercial, lo que resalta la importancia de seleccionar tanto el

material filtrante como el tipo de agua para optimizar los procesos de potabilización y tratamiento.

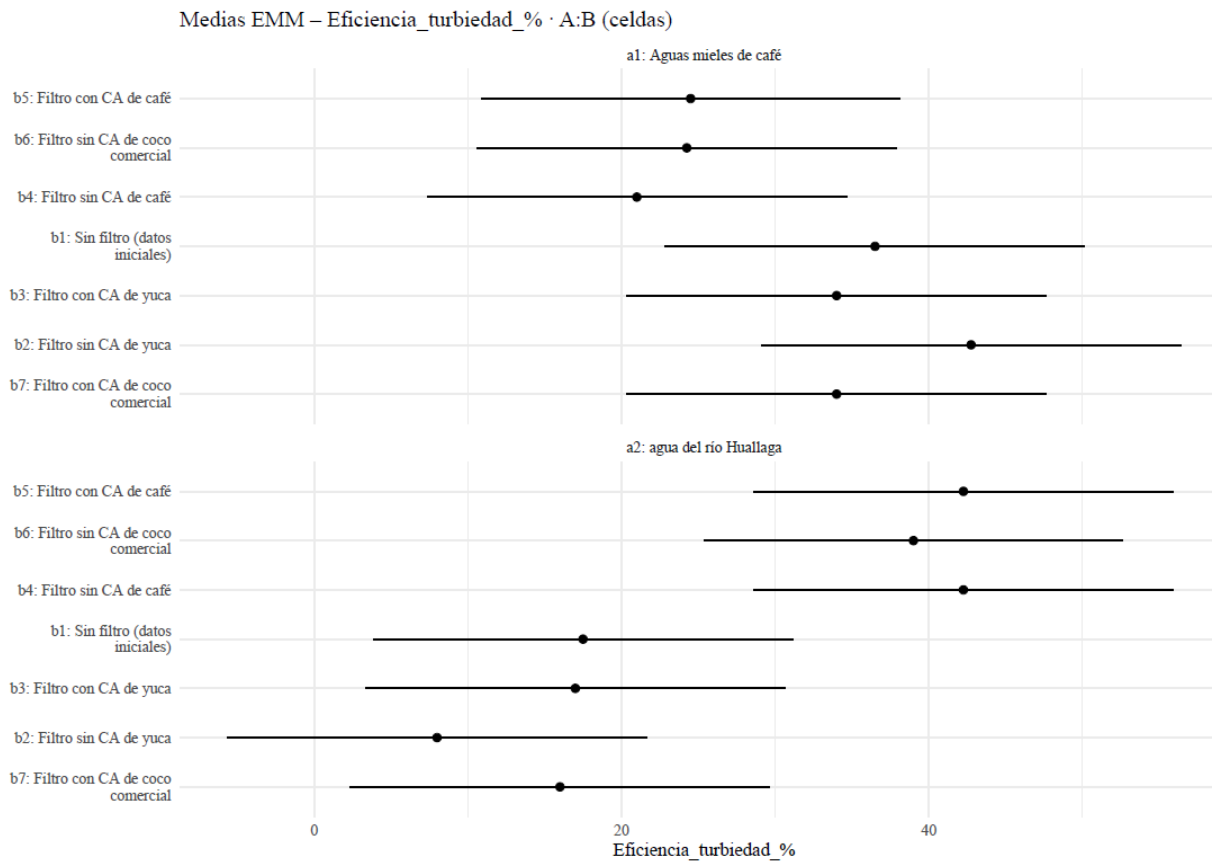


Figura 30. Prueba de medias Dunnett de la interacción Factor AxB en la eficiencia de remoción de turbidez

V. CONCLUSIONES

1. La eficiencia de remoción de turbidez reveló que el carbón activado comercial de coco obtuvo los mejores resultados, seguido por el carbón de yuca y finalmente el carbón de café, confirmando así que los materiales locales son alternativas viables.
2. Se demostró que los parámetros fisicoquímicos del carbón activado elaborado localmente (humedad, ceniza, densidad aparente y pH) presentan características competitivas respecto al carbón activado comercial, garantizando su aplicabilidad como material adsorbente.
3. En cuanto a los parámetros físicos de las aguas mieles y turbias (turbiedad, sólidos totales disueltos, conductividad, resistividad y temperatura), el uso de carbones activados redujo significativamente los valores, cumpliendo en la mayoría de los casos con los estándares nacionales e internacionales de calidad del agua.
4. En relación con los parámetros químicos (pH, oxígeno disuelto, DBO₅, potencial óxido-reducción y sales), los resultados mostraron mejoras sustanciales tras la aplicación de carbones activados, contribuyendo a una calidad del agua más cercana a lo exigido por las normas ambientales.

VI. PROPUESTAS AL FUTURO

1. Implementar plantas piloto semindustriales en cafetales locales que permitan validar la tecnología de carbón activado a mayor escala, evaluando su eficiencia, estabilidad operativa y adaptabilidad en condiciones reales de campo.
2. Realizar estudios comparativos con diferentes precursores lignocelulósicos de la Amazonía (cacao, plátano, maíz y otros residuos agrícolas) con el fin de identificar las materias primas más eficientes, económicas y sostenibles para la producción de carbón activado.
3. Profundizar en la investigación de la cinética e isothermas de adsorción, determinando los mecanismos de interacción entre los contaminantes del agua y el carbón activado, para optimizar la dosis, el tiempo de contacto y la capacidad de adsorción.
4. Diseñar sistemas híbridos de tratamiento de agua que combinen la aplicación de carbón activado con procesos biológicos (biofiltración, humedales artificiales) o físico-químicos (coagulación-floculación), incrementando la eficiencia global de la remoción de contaminantes.
5. Evaluar la vida útil, capacidad de regeneración y reutilización de los carbones activados locales, comparando su rendimiento frente a carbones comerciales, con miras a reducir costos operativos y generar un ciclo de uso más sostenible.
6. Incorporar análisis de impacto económico, social y ambiental en la implementación de esta tecnología, considerando el potencial de generar valor agregado a los residuos agrícolas y beneficios económicos para productores locales.
7. Proponer lineamientos de política pública y gestión comunitaria que fomenten el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la producción de carbones activados, articulando esfuerzos entre academia, comunidades y entidades gubernamentales.
8. Establecer alianzas estratégicas con gobiernos locales, asociaciones cafetaleras y organizaciones ambientales, promoviendo la adopción y escalamiento de tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales y periurbanas.

VII. REFERENCIAS

- Alania Trinidad, Y. F. (2021). *Producción de carbón activado a partir de residuos de cajonerías* [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.
- Alemayehu, E., Lennartz, B., & Mekonnen, Y. (2020). Coffee processing wastewater treatment by adsorptive materials: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101127. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101127>
- Álvarez-Vázquez, L., Rodríguez, A., & Sastre, H. (2019). Adsorption of organic pollutants on activated carbons: Equilibrium, kinetics and regeneration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103115>
- Álvarez-Herrera, J., Rojas-Peñaranda, M., & Gómez, L. (2022). Evaluación del tratamiento de aguas mieles de café mediante adsorción y coagulación. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 104, 88–100. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.202201>
- American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, DC: APHA, AWWA, WEF.
- Aouay, F., Guelzim, A., Ebrahim, A. M., Taha, K. K., & Alqalbani, A. (2024). Activated carbon prepared from waste coffee grounds and its application to azo dye removal. *Materials*, 17(13), 3078. <https://doi.org/10.3390/ma17133078>
- Apaza, J., Huamán, C., & Rojas, E. (2021). Caracterización físico-química de cuerpos de agua superficiales en zonas andino-amazónicas del Perú. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 45–58. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.4>
- APHA–AWWA–WEF. (2017/2021). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SM 2120 Color; SM 2130 Turbidity). American Public Health Association.
- American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, D.C.: APHA.
- Asefaw, K. T., Ali, R. S., Arefaine, S., & Gebremeskel, K. (2024). Treatment of wet coffee processing wastewater using a pulsed electrocoagulation process. *Applied Water Science*, 14, 218. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02118-1>
- ASTM International. (2005). *ASTM D3838-05: Standard test method for pH of activated carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- ASTM International. (2011). *ASTM D2866-11: Standard test method for total ash content of activated carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2011). *ASTM D3838-05: Standard Test Method for pH of Activated Carbon*. ASTM International.
- ASTM International. (2012). *ASTM D2866-11: Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon*. ASTM International.
- ASTM International. (2014). *ASTM D2867-09(2014): Standard test methods for moisture in activated carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2015). *ASTM D2867-09: Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon*. ASTM International.
- ASTM International. (s. f.). *ASTM D2854: Standard test method for apparent density of activated carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2019). *ASTM D2867-19 Standard test methods for moisture in activated carbon*. ASTM International. <https://www.astm.org/d2867-19.html>
- ASTM International. (2019). *ASTM D2866-11(2019) Standard test method for total ash content of activated carbon*. ASTM International. <https://www.astm.org/d2866-11r19.html>
- ASTM International. (2023). *ASTM D3838-23 Standard test method for pH of activated carbon*. ASTM International. <https://www.astm.org/d3838-23.html>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima: ANA.
- Aygün, A., Yenisoy-Karakaş, S., & Duman, I. (2003). Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 66(2–3), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2003.08.028>
- Azabache-Liza, Y. F., Centurión-Tapia, F., Rodríguez-Espinoza, R. F., Julca-Urquiza, R., Layza-Castañeda, R. R., Pinedo-Canta, J. J., Quintanilla-Morales, L. K., & Quispe-Burga, B. L. (2021). Study of coffee husk (*Coffea arabica* L.) activated carbon in the treatment of aquifer water: Adsorption of turbidity, colour and metals (iron–manganese). *Chemical Engineering Transactions*, 89, 655–660. <https://doi.org/10.3303/CET2189110>

- Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). *Activated Carbon Adsorption*. Taylor & Francis.
- Bansal, R., & Goyal, M. (2019). *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press.
- Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2017). Removal of natural organic matter (NOM) and its constituents from water by adsorption – A review. *Chemosphere*, 166, 497–510. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.098>
- Bidira, F., Asmelash, Z., Kebede, S., & Bekele, A. (2023). Optimization and evaluation of the process variable's effect on color and turbidity removal from coffee processing wastewater using a photoelectrochemical oxidation process. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.34172/EHEM.2023.01>
- Bressani, R., Perea, J., & Gutiérrez, L. (2021). Evaluación de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café y propuestas de tratamiento. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Ambiental*, 11(2), 45–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-4565202100020045>
- Cafetero, M. (2021). Informe técnico sobre la producción cafetalera en el valle del Alto Huallaga. *Boletín Agroindustrial del Perú*, 15(3), 45–53.
- Chaplin, M. (2019). *Water structure and science: Oxidation-reduction potential (ORP)*. London South Bank University.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Chapra, S. C. (2008). *Surface water-quality modeling*. Waveland Press.
- Chapra, S. C. (2020). *Surface Water-Quality Modeling* (2nd ed.). Waveland Press.
- Chen, D., Zheng, Z., Fu, K., Zeng, Z., & Zhu, X. (2018). Effects of carbonization temperature on the properties of biochar derived from municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, 249, 566–573. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.076>
- Chen, J., Wang, L., & Zhang, Y. (2023). Preparation and characterization of activated carbon from agricultural residues: Influence of activation conditions on moisture content. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109876. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109876>

- Cifuentes, L., Gaitán, L., & Pineda, C. (2018). Caracterización fisicoquímica de aguas mieles de café y su impacto ambiental. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 10(2), 45–56.
- Contreras, J., Muñoz, C., & Vargas, D. (2021). Evaluación de métodos de tratamiento de aguas residuales de origen agroindustrial. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2), 125–140.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design* (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Cruz, J., Méndez, A., & Torres, R. (2018). Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales de beneficio húmedo de café mediante carbón activado. *Ingeniería y Competitividad*, 20(1), 67–76. <https://doi.org/10.25100/iyc.v20i1.6125>
- Dastgheib, S. A., & Rockstraw, D. A. (2001). Pecan shell activated carbon: synthesis, characterization, and application for the removal of copper from aqueous solution. *Carbon*, 39(12), 1849–1855. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00308-5](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00308-5)
- Díaz-Cruz, S., & Barceló, D. (2019). Interacciones de compuestos orgánicos con materia vegetal en ambientes acuáticos. *Revista Ciencia del Agua*, 10(2), 45–59.
- Edzwald, J. K. (2011). *Water quality & treatment: A handbook on drinking water*. New York, NY: American Water Works Association & McGraw-Hill.
- EPA. (1993). *Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry*. U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2005/2009). *Method 415.3: Determination of TOC, DOC and SUVA at 254 nm*. U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA (2018). *Drinking Water Standards and Health Advisories*. U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2025). *Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. SAGE Publications.
- Flores, M., Vargas, J., & Huamán, L. (2021). Calidad del agua en ríos amazónicos impactados por agricultura intensiva. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 9(1), 23–34.

- Flores, C., Valverde, M., & Gamarra, R. (2021). Calidad del agua en ríos tropicales y su relación con actividades agrícolas. *Revista Peruana de Biología*, 28(2), 137–146. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i2.20214>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). Coconut husk derived activated carbon for the removal of pollutants from aqueous solutions: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2–3), 587–602. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.111>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Ferreira, M. E. (2010). Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds. *Desalination*, 249(1), 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.11.005>
- Getahun, M., Befekadu, A., & Alemayehu, E. (2024). Coagulation process for the removal of color and turbidity from wet coffee processing industry wastewater using bio-coagulant: Optimization through central composite design. *Heliyon*, 10, e27584. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27584>
- Gómez, R., Sánchez, J., & Vargas, M. (2020). Evaluación térmica de procesos de adsorción en carbón activado. *Ingeniería y Ciencia*, 16(32), 55–70. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.16.32.3>
- Gómez, R., Sánchez, J., & Vargas, M. (2021). Variabilidad en la calidad química de aguas residuales agroindustriales. *Ingeniería y Ciencia*, 17(34), 77–94. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.17.34.5>
- Gonzales, P., Castillo, A., & Ramírez, J. (2020). Impacto de las aguas mieles de café en ecosistemas acuáticos tropicales. *Ecología Aplicada*, 19(2), 77–88.
- Gray, N. F. (2018). *Drinking Water Quality: Problems and Solutions* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Guevara, B. M. (2019). *Elaboración de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su aplicación en tratamiento de agua* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/53>
- Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Hang, Y. D., & Woodams, E. E. (1979). A process for the removal of coffee color from wastewater by carbon adsorption. *Journal of Food Science*, 44(1), 246–247.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb10052.x>

- Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey.
- Hernández-Maldonado, A., García, A., & Rodríguez, C. (2020). Agricultural residues as low-cost precursors for activated carbon: Adsorption of emerging pollutants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104315. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104315>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465.
- Ibáñez-Moreno, W. X. (2021). Diseño de una planta de tratamientos de aguas miel para Kilamupi Café. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 1039–1061.
- Ijanu, E. M., Kamaruddin, M. A., & Norashiddin, F. A. (2020). Coffee processing wastewater treatment: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Applied Water Science*, 10, 11. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>
- Instituto Nacional de Calidad – INACAL. (2019). *NTP 311.331:2019. Carbón activado para tratamiento de agua. Requisitos*. Lima: INACAL.
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1966–2005. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013>
- ISO. (1999). *ISO 7027: Water quality—Determination of turbidity*. International Organization for Standardization.
- Kaarela, T., Sillanpää, M., Luukkonen, T., & Bhatnagar, A. (2021). Role of activated carbon in the removal of organic matter in drinking water treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13390–13402. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11853-5>
- Kaarela, O., Sillanpää, M., Luukkonen, T., & Bhatnagar, A. (2021). Natural organic matter removal in a full-scale drinking water treatment plant: A comparison of two GACs. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 21, 100428. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100428>

- Lagergren, S. (1898). Zur Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 24(4), 1–39.
- Li, Y., Zhang, J., Zhang, C., & Xu, W. (2018). Influence of pH on the adsorption of natural organic matter on activated carbon: Mechanisms and implications. *Water Research*, 139, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.074>
- Li, H., Dou, X., Li, F., & Yang, Q. (2021). Influence of biochar properties on water quality improvement: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106248. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106248>
- Lua, A. C., & Yang, T. (2004). Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by physical activation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274(2), 594–601. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.087>
- Lua, A. C., & Yang, T. (2005). High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 290(2), 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.04.020>
- Marañón, E., Castrillón, L., & Fernández-Nava, Y. (2019). Calidad físico-química del agua y métodos de potabilización. *Revista Ingeniería del Agua*, 23(1), 45–56. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10874>
- Márquez, N., Jiménez, J., & Rincón, J. (2021). Caracterización de biocarbones y su efecto en parámetros fisicoquímicos del agua. *Revista Colombiana de Química*, 50(1), 45–58. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.91042>
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). *Activated Carbon*. Elsevier.
- Mekonnen, T., Alemayehu, E., & Weldeyohannes, A. (2021). Treatment of coffee wastewater by low-cost adsorbents: Efficiency and challenges. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102304. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102304>
- Méndez-Rojas, M., Castañeda, L., & Patiño, R. (2020). Bioadsorbentes en la remoción de contaminantes de agua: avances y aplicaciones. *Revista Ingeniería Ambiental*, 41(3), 21–33.
- Metcalf, & Eddy. (2016). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2017). *Estándares de calidad ambiental para agua (ECA-Agua)*. Lima, Perú: MINAM.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2020). *Guía para el manejo de efluentes del beneficio de café*. Lima, Perú: MINAM.
- MINAM. (2020). *Calidad del agua en cuencas hidrográficas del Perú: Informe técnico nacional*. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Morales Rojas, E., Hurtado, R. L., Chávez-Quintana, S., Collazos-Silva, E. M., & Sánchez-Santillán, T. (2021). Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), 63–74. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i2.185>
- National Research Council (NRC). (1980). *The role of activated carbon in water treatment*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nogueira, R., Oliveira, R., & Silva, J. (2020). Adsorption processes in water treatment: Fundamentals and applications. *Environmental Technology Reviews*, 9(1), 30–47. <https://doi.org/10.1080/21622515.2020.1712536>
- Qizhong Chemical. (s.f.). *Density of activated carbon*. Recuperado de <https://qizhongcarbon.com/resources/parameter-definitions/density-of-activated-carbon/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). Geneva: World Health Organization.
- Peña, C., Villanueva, J., & Rodríguez, L. (2020). Indicadores fisicoquímicos de calidad del agua en sistemas acuáticos. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 6(1), 15–26.
- Peñaloza, R., Córdova, R., & Morales, J. (2020). Caracterización de aguas mieles del café y alternativas de tratamiento. *Revista de Investigaciones Amazónicas*, 9(2), 45–56.
- Perea, A., Vargas, M., & Contreras, A. (2020). Caracterización y tratamiento de efluentes del beneficio húmedo del café. *Ingeniería y Ciencia*, 16(32), 57–74. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.16.32.3>

- Pino, G., Rengifo, M., & Torres, E. (2019). Evaluación de carbones activados obtenidos de residuos agrícolas para el tratamiento de agua. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 45–58.
- Pizarro, M., Castillo, D., & Gómez, H. (2020). Contaminación de aguas superficiales por descargas de residuos agroindustriales: el caso del café en América Latina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 423–436. <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.03.08>
- PROMPERÚ. (2023). *Informe del café peruano: Estadísticas y exportaciones*. Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. <https://www.promperu.gob.pe>
- Quispe, J., Rojas, D., & Huamán, L. (2021). Uso de carbones activados de residuos vegetales en el mejoramiento de parámetros fisicoquímicos del agua. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Ambiental*, 11(2), 33–45.
- Rafati, L., et al. (2019). Fixed-bed adsorption column studies and models for the removal of synthetic dyes: A review. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 6(4), 237–248.
- Ramírez-Gutiérrez, C., Benito-Alcázar, R., & Cazaña, G. (2024). Deashing biomass pyrolysis coke by acid leaching. *Molecules*, 29(23), 7360. <https://doi.org/10.3390/molecules29237360>
- Ramos, L., Jiménez, C., & Ortega, J. (2019). Caracterización de aguas mieles y alternativas de tratamiento sostenible. *Agua, Saneamiento y Ambiente*, 13(1), 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.asa.2019.03.002>
- Reyes-Muñoz, A. (2021). *Evaluación de la concentración del H₃PO₄, temperatura y tiempo de carbonización de la cáscara de café en la obtención de carbón activado con mayor eficiencia de remoción de colorante* [Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP.
- Ríos, R., Contreras, A., & Vargas, M. (2019). Evaluación comparativa de carbones activados de origen vegetal en la remoción de turbidez y sólidos disueltos. *Ingeniería y Ciencia*, 15(29), 25–41. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.15.29.2>
- Ríos, D., Villamizar, F., & Castaño, M. (2022). Contaminación hídrica por aguas mieles de café y alternativas de tratamiento. *Ingeniería y Región*, 34(2), 23–34. <https://doi.org/10.22267/ryr2022342>

- Rivera-Utrilla, J., Sánchez-Polo, M., Ferro-García, M. Á., Prados-Joya, G., & Ocampo-Pérez, R. (2011). Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications. *An overview. Journal of Hazardous Materials*, 187(1–3), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.033>
- Rodríguez, P., Vargas, C., & Quiroz, J. (2021). Evaluación de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de café y su impacto en ecosistemas hídricos. *Revista Peruana de Biología*, 28(4), 511–520. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i4.19076>
- Rodríguez-Reinoso, F. (2001). The role of carbon materials in heterogeneous catalysis. *Carbon*, 39(15), 2705–2714. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00106-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00106-1)
- Rojas, L., & Gómez, P. (2020). Composición y tratamiento de aguas mieles del café: retos para la gestión ambiental. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 11(2), 55–68.
- Rojas, J., Méndez, A., & Pérez, L. (2020). Biochar properties and its impact on water quality parameters. *Environmental Technology Reviews*, 9(1), 91–106. <https://doi.org/10.1080/21622515.2020.1731140>
- Rosales Atavillos, R. N. (2023). *Caracterización del biol de aguas mieles de café y su uso en hidroponía* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.
- Rosas, D., Herrera, P., & Quintero, M. (2019). Efectos de las aguas mieles de café sobre parámetros de calidad de agua. *Revista Centroamericana de Recursos Naturales*, 6(3), 55–70.
- Rubio Zárate, L. A. (2024). *Capacidad de la borra de café para remover cobre y plomo del lixiviado* [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.
- Sáenz, C., Morera, D., & López, J. (2022). Evaluación de la contaminación de ríos por descargas de beneficio húmedo de café en Costa Rica. *Revista Ambiente & Desarrollo*, 26(2), 15–28.
- Sánchez, M., Ortega, J., & Paredes, M. (2018). Evaluación de aguas mieles de café y su tratamiento mediante procesos de coagulación. *Ingeniería del Agua*, 25(4), 275–286.
- Sandoval Quispe, L., & Yupanqui Quispe, J. M. (2023). *Aplicación del carbón activado granular y carbón activado en polvo como filtrantes para la mejora de la calidad de agua del río Alameda, Ayacucho, 2022* [Tesis, Universidad Continental]. Repositorio Continental.

- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2015). *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Sebayang, R., Sarkawi, N., Rachman, F., & Kamaliyah, K. (2021). Coffee husk waste as potential source of activated carbon: A study of pyrolysis temperature effect. *AIChE Journal*, 67(5), e17127. <https://doi.org/10.1002/aic.17127>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2022). *Climatología de la región Huánuco*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe>
- Silva, R., Torres, E., & García, M. (2022). Evaluación de la turbidez en aguas residuales tratadas con carbones activados de origen agrícola. *Water Science and Technology*, 85(1), 112–121. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.075>
- Song, T., Li, H., & Xu, Z. (2018). Properties of activated carbons prepared from lignocellulosic biomass with different ash contents. *Waste and Biomass Valorization*, 9(4), 621–632. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0053-1>
- Song, D., He, S., Yu, J., & Wang, H. (2018). Ash content and its impact on the adsorption performance of biomass-based activated carbon. *Bioresource Technology*, 267, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.023>
- Sudaryanto, Y., Hartono, S. B., Irawaty, W., Hindarso, H., & Ismadji, S. (2006). High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation. *Bioresource Technology*, 97(5), 734–739.
- Thomas, H. C. (1944). Heterogeneous ion exchange in a flowing system. *Journal of the American Chemical Society*, 66(10), 1664–1666. <https://doi.org/10.1021/ja01238a017>
- Universidad Nacional Agraria de la Selva – UNAS. (2023). *Reseña institucional y localización del campus universitario*. Tingo María: UNAS.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2012). *National Primary Drinking Water Regulations*. Washington, DC: EPA.
- USEPA. (2022). *National Primary Drinking Water Regulations*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water>
- Vargas, J., Rengifo, M., & Huamán, L. (2021). Producción y aplicación de carbones activados de residuos agroindustriales para el tratamiento de aguas contaminadas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 45–60.

- Villacís, J., Herrera, R., & Gutiérrez, M. (2021). Evaluación de la calidad de agua tratada con filtros artesanales a base de residuos vegetales. *Revista Agua y Desarrollo Sostenible*, 8(2), 55–68.
- Von Sperling, M. (2014). *Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales* (2da ed.). IWA Publishing.
- Weber, W. J., & Morris, J. C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89(2), 31–60.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
- WHO/UNEP/FAO. (2019). *Drinking-water quality guidelines and regulations*. World Health Organization.
- Wobbrock, J. O., Findlater, L., Gergle, D., & Higgins, J. J. (2011). The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 143–146. <https://doi.org/10.1145/1978942.1978963>
- World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.), Chapter 10 (Appearance: colour, taste and odour).
- Yoon, Y. H., & Nelson, J. H. (1984). Application of gas adsorption kinetics. I. A theoretical model for respirator cartridge service life. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 45(8), 509–516. <https://doi.org/10.1080/15298668491400197>
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Pearson.
- Zúñiga Moscoso, F. W. (2005). *Tratamiento de aguas mieles (residuales) del procesamiento de café en húmedo en el Fundo Halcón Negro – Chanchamayo* [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.

ANEXOS

Anexo 1. Datos obtenidos durante el procedimiento de filtración de aguas mieles y parámetros fisicoquímicos del carbón activado

Tabla 26. Datos de los parámetros físicos del carbón activado de cascara de yuca, cascarilla de café y carbón comercial de coco

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Carbón activado de cáscara de yuca					
		R1	R2	R3	Promedio	SD	CV%
Humedad	%	6,03%	5,77%	5,82%	5,87%	0,14%	2,35%
Ceniza	%	11,06%	10,79%	10,84%	10,90%	0,15%	1,33%
Densidad aparente	g/cc	0,22	0,23	0,21	0,22	0,01	6,32%
pH	-	6,88	6,15	6,52	6,52	0,37	5,60%
Parámetro fisicoquímico	Unidad	Carbón activado de cascarilla de café					
		R1	R2	R3	Promedio	SD	CV%
Humedad	%	5,92%	11,43%	8,74%	8,70%	2,75%	31,66%
Ceniza	%	6,25%	9,19%	7,65%	7,70%	1,47%	19,10%
Densidad aparente	g/cc	0,31	0,28	0,35	0,31	0,03	10,58%
pH	-	5,71	5,68	5,62	5,67	0,05	0,81%
Parámetro fisicoquímico	Unidad	Carbón activado comercial de coco					
		R1	R2	R3	Promedio	SD	CV%
Humedad	%	8,34%	8,11%	8,31%	8,25%	0,12%	1,50%
Ceniza	%	22,11%	21,08%	21,51%	21,57%	0,51%	2,39%
Densidad aparente	g/cc	0,35	0,36	0,33	0,35	0,01	4,08%
pH	-	5,98	5,91	5,92	5,94	0,04	0,64%

SD: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación

Tabla 27. Datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos inicial y final

A: Tipo de agua	B: Tipo de filtro	Turbiedad - NTU	STD - mg/L	Conductividad eléctrica - $\mu\text{S}/\text{cm}$	Resistividad - $\text{M}\Omega.\text{cm}$	Temperatura - $^{\circ}\text{C}$	PH
a1	b1	540	2900	5770	0,016	26,9	8,7
a1	b1	851	2930	5890	0,000171	26,9	7,98
a1	b1	695	2915	5830	0,00808	26,9	8,3
a1	b1	773	2922	5860	0,00412	26,9	8,1
a1	b2	75,5	2640	5,28	0,189	26,9	9,6
a1	b2	80	3580	7,16	0,14	26,5	8,86
a1	b2	61,6	4020	8,04	0,124	25,7	9,11

a1	b2	72,3	3413	6,82	0,151	26,3	9,19
a1	b3	5,22	7580	15,16	0,066	26,3	8,4
a1	b3	5,87	7540	15,08	0,066	26,9	8,48
a1	b3	6,01	5910	11,82	0,085	27,1	8,43
a1	b3	7,55	6300	12,6	0,079	26,9	8,67
a1	b4	78,7	4460	8900	0,000112	28,7	7,63
a1	b4	97,2	4370	8680	0,000114	27,9	7,57
a1	b4	63,5	4610	9170	0,000108	27,9	7,52
a1	b4	79,8	4480	8916	0,000111	28,1	7,59
a1	b5	69,2	4510	9040	0,000111	29,5	8,08
a1	b5	64	4740	9450	0,000105	28,9	7,96
a1	b5	74,9	5220	10430	0,000096	29,1	7,53
a1	b5	51,5	4710	9460	0,000106	29,1	7,93
a1	b6	77,1	3550	4452	0,094	27,8	8,6
a1	b6	88,6	3975	4343	0,07	27,2	8,2
a1	b6	62,5	4315	4589	0,062	26,8	8,3
a1	b6	76,1	3946	4461	0,075	27,2	8,3
a1	b7	5,82	2060	4100	0,000242	29,7	9,02
a1	b7	4,46	1679	3360	0,000298	30,5	8,93
a1	b7	7,45	2280	4550	0,00022	30,9	9,91
a1	b7	7,61	1518	30400	0,000319	29,7	8,98
a2	b1	199	492	984	0,000986	27,9	9,87
a2	b1	212	517	1033	0,000968	28,2	8,76
a2	b1	205	504	1008	0,000977	28,1	9,31
a2	b1	208	510	1020	0,000972	28,1	9,03
a2	b2	23,2	584	1161	0,000856	26,8	9,47
a2	b2	28,5	573	1141	0,000872	27	9,82
a2	b2	23,4	583	1155	0,000859	27	9,52
a2	b2	25,1	580	1152	0,000862	26,9	9,61
a2	b3	2,34	6360	12480	0,000079	27,2	8,42
a2	b3	0,982	7560	15060	0,000066	27,6	8,02
a2	b3	1,86	5940	11840	0,000084	28,2	8,28
a2	b3	1,59	6350	12650	0,000079	28,2	8,26
a2	b4	18,8	121	242	0,0042	26	5,39
a2	b4	15,5	120,1	231	0,0037	26,8	5,05
a2	b4	16,8	115,2	230	0,0035	25,6	5,16
a2	b4	17,1	118,7	234	0,0044	26,1	5,21
a2	b5	14,1	407	815	0,001	26,8	4,53
a2	b5	12,6	410	818	0,002	26,8	4,6
a2	b5	11,8	412	820	0,0015	27,4	4,42
a2	b5	13,5	406	812	0,0017	27	4,37

a2	b6	18,8	121	242	0,0042	26	5,39
a2	b6	15,5	120,1	231	0,0037	26,8	5,05
a2	b6	16,8	115,2	230	0,0035	25,6	5,16
a2	b6	17,1	118,7	234	0,0044	26,1	5,21
a2	b7	2,4	957	1911	0,000523	30,5	9,89
a2	b7	1,04	1244	2460	0,000402	30,1	9,69
a2	b7	1,94	822	1643	0,000609	29,7	9,61
a2	b7	2,12	1007	2004	0,000511	30,1	9,73

A: Tipo de agua	B: Tipo de filtro	PH	Oxígeno disuelto - mg/L	DBO5 - mg/L	REDOX - mV	Sales- ppt	Eficiencia turbiedad - %
a1	b1	8,7	0,51	0,11	-96	0	0
a1	b1	7,98	0,23	0,22	-52	0	0
a1	b1	8,3	0,37	0,17	-74	0	0
a1	b1	8,1	0,3	0,19	-63	0	0
a1	b2	9,6	4,56	3,69	-155	0	86,02
a1	b2	8,86	3,75	3,4	-109	0	90,60
a1	b2	9,11	4,45	3,98	-125	0	91,14
a1	b2	9,19	4,25	3,78	-129	0	90,65
a1	b3	8,4	5,49	5,27	-83	5	99,03
a1	b3	8,48	5,19	4,95	-86	4,7	99,31
a1	b3	8,43	5,17	4,7	-85	2,3	99,14
a1	b3	8,67	5,55	5,2	-100	2,9	99,02
a1	b4	7,63	4,3	4,27	-37	0	85,43
a1	b4	7,57	3,88	3,86	-54	0	88,58
a1	b4	7,52	4,55	4,51	-27	0,3	90,86
a1	b4	7,59	4,24	4,21	-39	0,1	89,68
a1	b5	8,08	4,5	4,49	-89	0	87,19
a1	b5	7,96	4,85	4,81	-78	0,2	92,48
a1	b5	7,53	4,7	4,67	-48	0,8	89,22
a1	b5	7,93	4,88	4,83	-55	0,2	93,34
a1	b6	8,6	4,43	3,98	-96	0	85,72
a1	b6	8,2	3,81	3,63	-81,5	0	89,59
a1	b6	8,3	4,5	4,25	-76	0	91,01
a1	b6	8,3	4,24	3,99	-84	0	90,16
a1	b7	9,02	4,9	2,47	-120	0	98,92
a1	b7	8,93	4,78	3,26	-114	0	99,48
a1	b7	9,91	4,72	3,31	-115	0	98,93
a1	b7	8,98	4,71	2,6	-124	0	99,02
a2	b1	9,87	5,69	2,06	-232	0	0
a2	b1	8,76	2,75	0,31	-118	0	0
a2	b1	9,31	4,22	0,64	-175	0	0

a2	b1	9,03	3,48	0,47	-146	0	0
a2	b2	9,47	5,25	1,85	-176	0	88,34
a2	b2	9,82	5	1,82	-181	0	86,56
a2	b2	9,52	5,24	1,89	-203	0	88,59
a2	b2	9,61	5,16	1,85	-186	0	87,93
a2	b3	8,42	5,12	5,11	-82	2,9	98,82
a2	b3	8,02	4,72	4,66	-57	4,6	99,54
a2	b3	8,28	4,68	4,67	-92	2	99,09
a2	b3	8,26	4,65	4,649	-84	2,6	99,24
a2	b4	5,39	1,79	0,19	97	0	90,55
a2	b4	5,05	2,2	0,3	117	0	92,69
a2	b4	5,16	1,86	0,16	112	0	91,80
a2	b4	5,21	1,95	0,25	108	0	91,78
a2	b5	4,53	1,38	1,07	149	0	92,91
a2	b5	4,6	1,16	0,68	165	0	94,06
a2	b5	4,42	1,44	0,73	159	0	94,24
a2	b5	4,37	1,08	0,75	153	0	93,51
a2	b6	5,39	1,79	0,19	97	0	90,55
a2	b6	5,05	2,2	0,3	117	0	92,69
a2	b6	5,16	1,86	0,16	112	0	91,80
a2	b6	5,21	1,95	0,25	108	0	91,78
a2	b7	9,89	4,3	2,08	-172	0	98,79
a2	b7	9,69	4,8	2,46	-150	0	99,51
a2	b7	9,61	5,26	2,41	-154	0	99,05
a2	b7	9,73	4,78	2,31	-158	0	98,98

Factor A: a1: Aguas mieles de café; a2: agua del río Huallaga; Factor B: b1: Sin filtro (están entonces todos los datos iniciales); b2: Filtro sin carbón activado de yuca; b3: Filtro con carbón activado de yuca; b4: Filtro sin carbón activado de café; b5: Filtro con carbón activado de café; b6: Filtro sin carbón activado de coco comercial; b7: Filtro con carbón activado de coco comercial

Anexo 2. Análisis estadístico

Tabla 28. Prueba de medias de los Factores A, B y AxB

Contraste	Estimador	t. estadístico	p. valor	Variable
a1 - a2	26,0000	8,9974	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b2	14,8750	4,0516	0,0038	Turbiedad_NTU
b1 - b3	44,7500	12,1888	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b4	16,5000	4,4942	0,0010	Turbiedad_NTU
b1 - b5	27,6250	7,5244	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b6	21,0000	5,7199	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b7	43,2500	11,7803	0,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b3	29,8750	8,1372	0,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b4	1,6250	0,4426	0,9994	Turbiedad_NTU
b2 - b5	12,7500	3,4728	0,0191	Turbiedad_NTU
b2 - b6	6,1250	1,6683	0,6401	Turbiedad_NTU
b2 - b7	28,3750	7,7287	0,0000	Turbiedad_NTU
b3 - b4	-28,2500	-7,6946	0,0000	Turbiedad_NTU
b3 - b5	-17,1250	-4,6644	0,0006	Turbiedad_NTU
b3 - b6	-23,7500	-6,4689	0,0000	Turbiedad_NTU
b3 - b7	-1,5000	-0,4086	0,9996	Turbiedad_NTU
b4 - b5	11,1250	3,0302	0,0585	Turbiedad_NTU
b4 - b6	4,5000	1,2257	0,8801	Turbiedad_NTU
b4 - b7	26,7500	7,2861	0,0000	Turbiedad_NTU
b5 - b6	-6,6250	-1,8045	0,5526	Turbiedad_NTU
b5 - b7	15,6250	4,2559	0,0020	Turbiedad_NTU
b6 - b7	22,2500	6,0604	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 - a2	19,0000	2,4851	0,0170	Turbiedad_NTU
a1 - a2	31,2500	4,0874	0,0002	Turbiedad_NTU
a1 - a2	25,0000	3,2699	0,0022	Turbiedad_NTU
a1 - a2	26,1250	3,4170	0,0014	Turbiedad_NTU
a1 - a2	27,5000	3,5969	0,0008	Turbiedad_NTU
a1 - a2	28,6250	3,7440	0,0005	Turbiedad_NTU
a1 - a2	24,5000	3,2045	0,0026	Turbiedad_NTU
b1 - b2	14,7500	2,8408	0,0907	Turbiedad_NTU
b1 - b3	45,0000	8,6669	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b4	18,0000	3,4668	0,0194	Turbiedad_NTU
b1 - b5	25,7500	4,9594	0,0002	Turbiedad_NTU
b1 - b6	20,0000	3,8520	0,0067	Turbiedad_NTU
b1 - b7	43,5000	8,3780	0,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b3	30,2500	5,8261	0,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b4	3,2500	0,6259	0,9956	Turbiedad_NTU
b2 - b5	11,0000	2,1186	0,3610	Turbiedad_NTU
b2 - b6	5,2500	1,0111	0,9486	Turbiedad_NTU
b2 - b7	28,7500	5,5372	0,0000	Turbiedad_NTU
b3 - b4	-27,0000	-5,2002	0,0001	Turbiedad_NTU
b3 - b5	-19,2500	-3,7075	0,0100	Turbiedad_NTU

b3 - b6	-25,0000	-4,8150	0,0004	Turbiedad_NTU
b3 - b7	-1,5000	-0,2889	0,9999	Turbiedad_NTU
b4 - b5	7,7500	1,4926	0,7475	Turbiedad_NTU
b4 - b6	2,0000	0,3852	0,9997	Turbiedad_NTU
b4 - b7	25,5000	4,9113	0,0003	Turbiedad_NTU
b5 - b6	-5,7500	-1,1074	0,9223	Turbiedad_NTU
b5 - b7	17,7500	3,4186	0,0220	Turbiedad_NTU
b6 - b7	23,5000	4,5261	0,0009	Turbiedad_NTU
b1 - b2	15,0000	2,8890	0,0814	Turbiedad_NTU
b1 - b3	44,5000	8,5706	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b4	15,0000	2,8890	0,0814	Turbiedad_NTU
b1 - b5	29,5000	5,6817	0,0000	Turbiedad_NTU
b1 - b6	22,0000	4,2372	0,0022	Turbiedad_NTU
b1 - b7	43,0000	8,2817	0,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b3	29,5000	5,6817	0,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b4	0,0000	0,0000	1,0000	Turbiedad_NTU
b2 - b5	14,5000	2,7927	0,1010	Turbiedad_NTU
b2 - b6	7,0000	1,3482	0,8251	Turbiedad_NTU
b2 - b7	28,0000	5,3928	0,0001	Turbiedad_NTU
b3 - b4	-29,5000	-5,6817	0,0000	Turbiedad_NTU
b3 - b5	-15,0000	-2,8890	0,0814	Turbiedad_NTU
b3 - b6	-22,5000	-4,3335	0,0016	Turbiedad_NTU
b3 - b7	-1,5000	-0,2889	0,9999	Turbiedad_NTU
b4 - b5	14,5000	2,7927	0,1010	Turbiedad_NTU
b4 - b6	7,0000	1,3482	0,8251	Turbiedad_NTU
b4 - b7	28,0000	5,3928	0,0001	Turbiedad_NTU
b5 - b6	-7,5000	-1,4445	0,7747	Turbiedad_NTU
b5 - b7	13,5000	2,6001	0,1520	Turbiedad_NTU
b6 - b7	21,0000	4,0446	0,0038	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b1	48,5000	17,5161	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a1 b2	32,5000	11,7376	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b2	8,2500	2,9795	0,1862	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a1 b3	42,2500	15,2589	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b3	1,5000	0,5417	1,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a1 b4	28,5000	10,2930	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b4	20,0000	7,2232	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a1 b5	31,5000	11,3765	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b5	11,2500	4,0630	0,0129	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a1 b6	29,5000	10,6541	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b6	17,0000	6,1397	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a1 b7	42,7500	15,4395	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b1 - a2 b7	1,5000	0,5417	1,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a1 b2	-16,0000	-5,7785	0,0001	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a2 b2	-40,2500	-14,5366	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a1 b3	-6,2500	-2,2572	0,5928	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a2 b3	-47,0000	-16,9744	0,0000	Turbiedad_NTU

a2 b1 - a1 b4	-20,0000	-7,2232	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a2 b4	-28,5000	-10,2930	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a1 b5	-17,0000	-6,1397	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a2 b5	-37,2500	-13,4531	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a1 b6	-19,0000	-6,8620	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a2 b6	-31,5000	-11,3765	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a1 b7	-5,7500	-2,0767	0,7119	Turbiedad_NTU
a2 b1 - a2 b7	-47,0000	-16,9744	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a2 b2	-24,2500	-8,7581	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a1 b3	9,7500	3,5213	0,0546	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a2 b3	-31,0000	-11,1959	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a1 b4	-4,0000	-1,4446	0,9701	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a2 b4	-12,5000	-4,5145	0,0035	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a1 b5	-1,0000	-0,3612	1,0000	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a2 b5	-21,2500	-7,6746	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a1 b6	-3,0000	-1,0835	0,9977	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a2 b6	-15,5000	-5,5979	0,0001	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a1 b7	10,2500	3,7019	0,0344	Turbiedad_NTU
a1 b2 - a2 b7	-31,0000	-11,1959	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a1 b3	34,0000	12,2794	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a2 b3	-6,7500	-2,4378	0,4719	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a1 b4	20,2500	7,3134	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a2 b4	11,7500	4,2436	0,0077	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a1 b5	23,2500	8,3969	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a2 b5	3,0000	1,0835	0,9977	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a1 b6	21,2500	7,6746	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a2 b6	8,7500	3,1601	0,1272	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a1 b7	34,5000	12,4599	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b2 - a2 b7	-6,7500	-2,4378	0,4719	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a2 b3	-40,7500	-14,7172	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a1 b4	-13,7500	-4,9659	0,0009	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a2 b4	-22,2500	-8,0358	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a1 b5	-10,7500	-3,8824	0,0213	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a2 b5	-31,0000	-11,1959	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a1 b6	-12,7500	-4,6048	0,0027	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a2 b6	-25,2500	-9,1192	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a1 b7	0,5000	0,1806	1,0000	Turbiedad_NTU
a1 b3 - a2 b7	-40,7500	-14,7172	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a1 b4	27,0000	9,7513	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a2 b4	18,5000	6,6814	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a1 b5	30,0000	10,8347	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a2 b5	9,7500	3,5213	0,0546	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a1 b6	28,0000	10,1124	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a2 b6	15,5000	5,5979	0,0001	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a1 b7	41,2500	14,8977	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b3 - a2 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Turbiedad_NTU

a1 b4 - a2 b4	-8,5000	-3,0698	0,1545	Turbiedad_NTU
a1 b4 - a1 b5	3,0000	1,0835	0,9977	Turbiedad_NTU
a1 b4 - a2 b5	-17,2500	-6,2300	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b4 - a1 b6	1,0000	0,3612	1,0000	Turbiedad_NTU
a1 b4 - a2 b6	-11,5000	-4,1533	0,0100	Turbiedad_NTU
a1 b4 - a1 b7	14,2500	5,1465	0,0005	Turbiedad_NTU
a1 b4 - a2 b7	-27,0000	-9,7513	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b4 - a1 b5	11,5000	4,1533	0,0100	Turbiedad_NTU
a2 b4 - a2 b5	-8,7500	-3,1601	0,1272	Turbiedad_NTU
a2 b4 - a1 b6	9,5000	3,4310	0,0681	Turbiedad_NTU
a2 b4 - a2 b6	-3,0000	-1,0835	0,9977	Turbiedad_NTU
a2 b4 - a1 b7	22,7500	8,2163	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b4 - a2 b7	-18,5000	-6,6814	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b5 - a2 b5	-20,2500	-7,3134	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 b5 - a1 b6	-2,0000	-0,7223	1,0000	Turbiedad_NTU
a1 b5 - a2 b6	-14,5000	-5,2368	0,0004	Turbiedad_NTU
a1 b5 - a1 b7	11,2500	4,0630	0,0129	Turbiedad_NTU
a1 b5 - a2 b7	-30,0000	-10,8347	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b5 - a1 b6	18,2500	6,5911	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b5 - a2 b6	5,7500	2,0767	0,7119	Turbiedad_NTU
a2 b5 - a1 b7	31,5000	11,3765	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b5 - a2 b7	-9,7500	-3,5213	0,0546	Turbiedad_NTU
a1 b6 - a2 b6	-12,5000	-4,5145	0,0035	Turbiedad_NTU
a1 b6 - a1 b7	13,2500	4,7853	0,0015	Turbiedad_NTU
a1 b6 - a2 b7	-28,0000	-10,1124	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b6 - a1 b7	25,7500	9,2998	0,0000	Turbiedad_NTU
a2 b6 - a2 b7	-15,5000	-5,5979	0,0001	Turbiedad_NTU
a1 b7 - a2 b7	-41,2500	-14,8977	0,0000	Turbiedad_NTU
a1 - a2	28,0000	11,6632	0,0000	STD_mg/L
b1 - b2	-9,3750	-2,7679	0,1067	STD_mg/L
b1 - b3	-39,0000	-11,5143	0,0000	STD_mg/L
b1 - b4	-21,2500	-6,2738	0,0000	STD_mg/L
b1 - b5	-30,0000	-8,8571	0,0000	STD_mg/L
b1 - b6	-12,2500	-3,6167	0,0129	STD_mg/L
b1 - b7	6,8750	2,0298	0,4120	STD_mg/L
b2 - b3	-29,6250	-8,7464	0,0000	STD_mg/L
b2 - b4	-11,8750	-3,5059	0,0175	STD_mg/L
b2 - b5	-20,6250	-6,0893	0,0000	STD_mg/L
b2 - b6	-2,8750	-0,8488	0,9780	STD_mg/L
b2 - b7	16,2500	4,7976	0,0004	STD_mg/L
b3 - b4	17,7500	5,2405	0,0001	STD_mg/L
b3 - b5	9,0000	2,6571	0,1351	STD_mg/L
b3 - b6	26,7500	7,8976	0,0000	STD_mg/L
b3 - b7	45,8750	13,5440	0,0000	STD_mg/L
b4 - b5	-8,7500	-2,5833	0,1572	STD_mg/L
b4 - b6	9,0000	2,6571	0,1351	STD_mg/L

b4 - b7	28,1250	8,3036	0,0000	STD_mg/L
b5 - b6	17,7500	5,2405	0,0001	STD_mg/L
b5 - b7	36,8750	10,8869	0,0000	STD_mg/L
b6 - b7	19,1250	5,6464	0,0000	STD_mg/L
a1 - a2	25,8750	4,0737	0,0002	STD_mg/L
a1 - a2	26,7500	4,2115	0,0001	STD_mg/L
a1 - a2	34,2500	5,3923	0,0000	STD_mg/L
a1 - a2	26,2500	4,1328	0,0002	STD_mg/L
a1 - a2	25,1250	3,9557	0,0003	STD_mg/L
a1 - a2	27,5000	4,3296	0,0001	STD_mg/L
a1 - a2	30,2500	4,7625	0,0000	STD_mg/L
b1 - b2	-10,8750	-2,2703	0,2821	STD_mg/L
b1 - b3	-38,6250	-8,0635	0,0000	STD_mg/L
b1 - b4	-20,8750	-4,3580	0,0015	STD_mg/L
b1 - b5	-28,6250	-5,9759	0,0000	STD_mg/L
b1 - b6	-11,6250	-2,4269	0,2132	STD_mg/L
b1 - b7	6,3750	1,3309	0,8336	STD_mg/L
b2 - b3	-27,7500	-5,7932	0,0000	STD_mg/L
b2 - b4	-10,0000	-2,0876	0,3784	STD_mg/L
b2 - b5	-17,7500	-3,7056	0,0101	STD_mg/L
b2 - b6	-0,7500	-0,1566	1,0000	STD_mg/L
b2 - b7	17,2500	3,6012	0,0135	STD_mg/L
b3 - b4	17,7500	3,7056	0,0101	STD_mg/L
b3 - b5	10,0000	2,0876	0,3784	STD_mg/L
b3 - b6	27,0000	5,6366	0,0000	STD_mg/L
b3 - b7	45,0000	9,3944	0,0000	STD_mg/L
b4 - b5	-7,7500	-1,6179	0,6718	STD_mg/L
b4 - b6	9,2500	1,9311	0,4721	STD_mg/L
b4 - b7	27,2500	5,6888	0,0000	STD_mg/L
b5 - b6	17,0000	3,5490	0,0155	STD_mg/L
b5 - b7	35,0000	7,3068	0,0000	STD_mg/L
b6 - b7	18,0000	3,7578	0,0087	STD_mg/L
b1 - b2	-7,8750	-1,6440	0,6554	STD_mg/L
b1 - b3	-39,3750	-8,2201	0,0000	STD_mg/L
b1 - b4	-21,6250	-4,5145	0,0009	STD_mg/L
b1 - b5	-31,3750	-6,5500	0,0000	STD_mg/L
b1 - b6	-12,8750	-2,6878	0,1267	STD_mg/L
b1 - b7	7,3750	1,5396	0,7198	STD_mg/L
b2 - b3	-31,5000	-6,5761	0,0000	STD_mg/L
b2 - b4	-13,7500	-2,8705	0,0849	STD_mg/L
b2 - b5	-23,5000	-4,9060	0,0003	STD_mg/L
b2 - b6	-5,0000	-1,0438	0,9405	STD_mg/L
b2 - b7	15,2500	3,1837	0,0402	STD_mg/L
b3 - b4	17,7500	3,7056	0,0101	STD_mg/L
b3 - b5	8,0000	1,6701	0,6389	STD_mg/L
b3 - b6	26,5000	5,5323	0,0000	STD_mg/L

b3 - b7	46,7500	9,7597	0,0000	STD_mg/L
b4 - b5	-9,7500	-2,0355	0,4087	STD_mg/L
b4 - b6	8,7500	1,8267	0,5383	STD_mg/L
b4 - b7	29,0000	6,0542	0,0000	STD_mg/L
b5 - b6	18,5000	3,8621	0,0065	STD_mg/L
b5 - b7	38,7500	8,0896	0,0000	STD_mg/L
b6 - b7	20,2500	4,2275	0,0022	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b1	-9,0000	-2,1130	0,6887	STD_mg/L
a1 b1 - a1 b2	-6,7500	-1,5847	0,9405	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b2	-4,0000	-0,9391	0,9994	STD_mg/L
a1 b1 - a1 b3	12,5000	2,9347	0,2037	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b3	-26,7500	-6,2802	0,0000	STD_mg/L
a1 b1 - a1 b4	-23,0000	-5,3998	0,0002	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b4	13,0000	3,0520	0,1604	STD_mg/L
a1 b1 - a1 b5	-21,7500	-5,1063	0,0006	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b5	17,0000	3,9911	0,0158	STD_mg/L
a1 b1 - a1 b6	-17,0000	-3,9911	0,0158	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b6	7,0000	1,6434	0,9235	STD_mg/L
a1 b1 - a1 b7	13,7500	3,2281	0,1094	STD_mg/L
a1 b1 - a2 b7	-25,0000	-5,8693	0,0000	STD_mg/L
a2 b1 - a1 b2	2,2500	0,5282	1,0000	STD_mg/L
a2 b1 - a2 b2	5,0000	1,1739	0,9950	STD_mg/L
a2 b1 - a1 b3	21,5000	5,0476	0,0007	STD_mg/L
a2 b1 - a2 b3	-17,7500	-4,1672	0,0096	STD_mg/L
a2 b1 - a1 b4	-14,0000	-3,2868	0,0957	STD_mg/L
a2 b1 - a2 b4	22,0000	5,1650	0,0005	STD_mg/L
a2 b1 - a1 b5	-12,7500	-2,9933	0,1811	STD_mg/L
a2 b1 - a2 b5	26,0000	6,1041	0,0000	STD_mg/L
a2 b1 - a1 b6	-8,0000	-1,8782	0,8263	STD_mg/L
a2 b1 - a2 b6	16,0000	3,7564	0,0299	STD_mg/L
a2 b1 - a1 b7	22,7500	5,3411	0,0003	STD_mg/L
a2 b1 - a2 b7	-16,0000	-3,7564	0,0299	STD_mg/L
a1 b2 - a2 b2	2,7500	0,6456	1,0000	STD_mg/L
a1 b2 - a1 b3	19,2500	4,5194	0,0034	STD_mg/L
a1 b2 - a2 b3	-20,0000	-4,6954	0,0020	STD_mg/L
a1 b2 - a1 b4	-16,2500	-3,8151	0,0256	STD_mg/L
a1 b2 - a2 b4	19,7500	4,6368	0,0024	STD_mg/L
a1 b2 - a1 b5	-15,0000	-3,5216	0,0545	STD_mg/L
a1 b2 - a2 b5	23,7500	5,5758	0,0001	STD_mg/L
a1 b2 - a1 b6	-10,2500	-2,4064	0,4926	STD_mg/L
a1 b2 - a2 b6	13,7500	3,2281	0,1094	STD_mg/L
a1 b2 - a1 b7	20,5000	4,8128	0,0014	STD_mg/L
a1 b2 - a2 b7	-18,2500	-4,2846	0,0069	STD_mg/L
a2 b2 - a1 b3	16,5000	3,8737	0,0218	STD_mg/L
a2 b2 - a2 b3	-22,7500	-5,3411	0,0003	STD_mg/L
a2 b2 - a1 b4	-19,0000	-4,4607	0,0041	STD_mg/L

a2 b2 - a2 b4	17,0000	3,9911	0,0158	STD_mg/L
a2 b2 - a1 b5	-17,7500	-4,1672	0,0096	STD_mg/L
a2 b2 - a2 b5	21,0000	4,9302	0,0010	STD_mg/L
a2 b2 - a1 b6	-13,0000	-3,0520	0,1604	STD_mg/L
a2 b2 - a2 b6	11,0000	2,5825	0,3811	STD_mg/L
a2 b2 - a1 b7	17,7500	4,1672	0,0096	STD_mg/L
a2 b2 - a2 b7	-21,0000	-4,9302	0,0010	STD_mg/L
a1 b3 - a2 b3	-39,2500	-9,2148	0,0000	STD_mg/L
a1 b3 - a1 b4	-35,5000	-8,3344	0,0000	STD_mg/L
a1 b3 - a2 b4	0,5000	0,1174	1,0000	STD_mg/L
a1 b3 - a1 b5	-34,2500	-8,0410	0,0000	STD_mg/L
a1 b3 - a2 b5	4,5000	1,0565	0,9982	STD_mg/L
a1 b3 - a1 b6	-29,5000	-6,9258	0,0000	STD_mg/L
a1 b3 - a2 b6	-5,5000	-1,2912	0,9882	STD_mg/L
a1 b3 - a1 b7	1,2500	0,2935	1,0000	STD_mg/L
a1 b3 - a2 b7	-37,5000	-8,8040	0,0000	STD_mg/L
a2 b3 - a1 b4	3,7500	0,8804	0,9997	STD_mg/L
a2 b3 - a2 b4	39,7500	9,3322	0,0000	STD_mg/L
a2 b3 - a1 b5	5,0000	1,1739	0,9950	STD_mg/L
a2 b3 - a2 b5	43,7500	10,2713	0,0000	STD_mg/L
a2 b3 - a1 b6	9,7500	2,2890	0,5713	STD_mg/L
a2 b3 - a2 b6	33,7500	7,9236	0,0000	STD_mg/L
a2 b3 - a1 b7	40,5000	9,5083	0,0000	STD_mg/L
a2 b3 - a2 b7	1,7500	0,4109	1,0000	STD_mg/L
a1 b4 - a2 b4	36,0000	8,4518	0,0000	STD_mg/L
a1 b4 - a1 b5	1,2500	0,2935	1,0000	STD_mg/L
a1 b4 - a2 b5	40,0000	9,3909	0,0000	STD_mg/L
a1 b4 - a1 b6	6,0000	1,4086	0,9756	STD_mg/L
a1 b4 - a2 b6	30,0000	7,0432	0,0000	STD_mg/L
a1 b4 - a1 b7	36,7500	8,6279	0,0000	STD_mg/L
a1 b4 - a2 b7	-2,0000	-0,4695	1,0000	STD_mg/L
a2 b4 - a1 b5	-34,7500	-8,1583	0,0000	STD_mg/L
a2 b4 - a2 b5	4,0000	0,9391	0,9994	STD_mg/L
a2 b4 - a1 b6	-30,0000	-7,0432	0,0000	STD_mg/L
a2 b4 - a2 b6	-6,0000	-1,4086	0,9756	STD_mg/L
a2 b4 - a1 b7	0,7500	0,1761	1,0000	STD_mg/L
a2 b4 - a2 b7	-38,0000	-8,9214	0,0000	STD_mg/L
a1 b5 - a2 b5	38,7500	9,0974	0,0000	STD_mg/L
a1 b5 - a1 b6	4,7500	1,1152	0,9969	STD_mg/L
a1 b5 - a2 b6	28,7500	6,7497	0,0000	STD_mg/L
a1 b5 - a1 b7	35,5000	8,3344	0,0000	STD_mg/L
a1 b5 - a2 b7	-3,2500	-0,7630	0,9999	STD_mg/L
a2 b5 - a1 b6	-34,0000	-7,9823	0,0000	STD_mg/L
a2 b5 - a2 b6	-10,0000	-2,3477	0,5317	STD_mg/L
a2 b5 - a1 b7	-3,2500	-0,7630	0,9999	STD_mg/L
a2 b5 - a2 b7	-42,0000	-9,8604	0,0000	STD_mg/L

a1 b6 - a2 b6	24,0000	5,6345	0,0001	STD_mg/L
a1 b6 - a1 b7	30,7500	7,2193	0,0000	STD_mg/L
a1 b6 - a2 b7	-8,0000	-1,8782	0,8263	STD_mg/L
a2 b6 - a1 b7	6,7500	1,5847	0,9405	STD_mg/L
a2 b6 - a2 b7	-32,0000	-7,5127	0,0000	STD_mg/L
a1 b7 - a2 b7	-38,7500	-9,0974	0,0000	STD_mg/L
a1 - a2	22,0000	7,6926	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b2	16,0000	4,0869	0,0034	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b3	-26,0000	-6,6413	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b4	-8,1250	-2,0754	0,3854	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b5	-16,2500	-4,1508	0,0028	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b6	8,0000	2,0435	0,4040	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b7	-8,6250	-2,2031	0,3156	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b3	-42,0000	-10,7282	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b4	-24,1250	-6,1623	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b5	-32,2500	-8,2377	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b6	-8,0000	-2,0435	0,4040	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b7	-24,6250	-6,2900	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b4	17,8750	4,5659	0,0008	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b5	9,7500	2,4905	0,1889	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b6	34,0000	8,6847	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b7	17,3750	4,4381	0,0012	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b5	-8,1250	-2,0754	0,3854	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b6	16,1250	4,1189	0,0031	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b7	-0,5000	-0,1277	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b5 - b6	24,2500	6,1942	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b5 - b7	7,6250	1,9477	0,4618	Conductividad_electrica_μS/cm
b6 - b7	-16,6250	-4,2466	0,0021	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	24,8750	3,2875	0,0020	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	25,6250	3,3866	0,0015	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	34,0000	4,4934	0,0001	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	24,1250	3,1884	0,0027	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	20,2500	2,6762	0,0106	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	25,1250	3,3205	0,0019	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	0,0000	0,0000	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b2	16,5000	2,9802	0,0659	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b3	-27,7500	-5,0122	0,0002	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b4	-7,5000	-1,3546	0,8219	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b5	-15,2500	-2,7544	0,1098	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b6	8,6250	1,5578	0,7088	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b7	8,2500	1,4901	0,7489	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b3	-44,2500	-7,9924	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b4	-24,0000	-4,3348	0,0016	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b5	-31,7500	-5,7346	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b6	-7,8750	-1,4224	0,7868	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b7	-8,2500	-1,4901	0,7489	Conductividad_electrica_μS/cm

b3 - b4	20,2500	3,6575	0,0115	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b5	12,5000	2,2577	0,2882	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b6	36,3750	6,5700	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b7	36,0000	6,5023	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b5	-7,7500	-1,3998	0,7988	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b6	16,1250	2,9125	0,0771	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b7	15,7500	2,8447	0,0900	Conductividad_electrica_μS/cm
b5 - b6	23,8750	4,3123	0,0017	Conductividad_electrica_μS/cm
b5 - b7	23,5000	4,2445	0,0021	Conductividad_electrica_μS/cm
b6 - b7	-0,3750	-0,0677	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b2	15,5000	2,7996	0,0995	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b3	-24,2500	-4,3800	0,0014	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b4	-8,7500	-1,5804	0,6951	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b5	-17,2500	-3,1157	0,0476	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b6	7,3750	1,3321	0,8330	Conductividad_electrica_μS/cm
b1 - b7	-25,5000	-4,6058	0,0007	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b3	-39,7500	-7,1796	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b4	-24,2500	-4,3800	0,0014	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b5	-32,7500	-5,9152	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b6	-8,1250	-1,4675	0,7618	Conductividad_electrica_μS/cm
b2 - b7	-41,0000	-7,4053	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b4	15,5000	2,7996	0,0995	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b5	7,0000	1,2643	0,8640	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b6	31,6250	5,7121	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b3 - b7	-1,2500	-0,2258	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b5	-8,5000	-1,5353	0,7224	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b6	16,1250	2,9125	0,0771	Conductividad_electrica_μS/cm
b4 - b7	-16,7500	-3,0254	0,0592	Conductividad_electrica_μS/cm
b5 - b6	24,6250	4,4477	0,0011	Conductividad_electrica_μS/cm
b5 - b7	-8,2500	-1,4901	0,7489	Conductividad_electrica_μS/cm
b6 - b7	-32,8750	-5,9378	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b1	12,0000	2,4211	0,4829	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a1 b2	16,0000	3,2282	0,1094	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b2	-4,0000	-0,8070	0,9999	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a1 b3	35,0000	7,0616	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b3	-16,0000	-3,2282	0,1094	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a1 b4	-10,5000	-2,1185	0,6851	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b4	22,0000	4,4387	0,0044	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a1 b5	-9,5000	-1,9167	0,8061	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b5	26,2500	5,2962	0,0003	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a1 b6	4,0000	0,8070	0,9999	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b6	8,0000	1,6141	0,9324	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a1 b7	19,0000	3,8335	0,0243	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b1 - a2 b7	23,7500	4,7918	0,0015	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a1 b2	4,0000	0,8070	0,9999	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a2 b2	-16,0000	-3,2282	0,1094	Conductividad_electrica_μS/cm

a2 b1 - a1 b3	23,0000	4,6405	0,0024	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a2 b3	-28,0000	-5,6493	0,0001	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a1 b4	-22,5000	-4,5396	0,0032	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a2 b4	10,0000	2,0176	0,7483	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a1 b5	-21,5000	-4,3379	0,0059	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a2 b5	14,2500	2,8751	0,2287	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a1 b6	-8,0000	-1,6141	0,9324	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a2 b6	-4,0000	-0,8070	0,9999	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a1 b7	7,0000	1,4123	0,9750	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b1 - a2 b7	11,7500	2,3707	0,5163	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a2 b2	-20,0000	-4,0352	0,0140	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a1 b3	19,0000	3,8335	0,0243	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a2 b3	-32,0000	-6,4564	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a1 b4	-26,5000	-5,3467	0,0003	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a2 b4	6,0000	1,2106	0,9933	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a1 b5	-25,5000	-5,1449	0,0005	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a2 b5	10,2500	2,0681	0,7173	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a1 b6	-12,0000	-2,4211	0,4829	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a2 b6	-8,0000	-1,6141	0,9324	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a1 b7	3,0000	0,6053	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b2 - a2 b7	7,7500	1,5636	0,9459	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a1 b3	39,0000	7,8687	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a2 b3	-12,0000	-2,4211	0,4829	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a1 b4	-6,5000	-1,3114	0,9865	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a2 b4	26,0000	5,2458	0,0004	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a1 b5	-5,5000	-1,1097	0,9970	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a2 b5	30,2500	6,1033	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a1 b6	8,0000	1,6141	0,9324	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a2 b6	12,0000	2,4211	0,4829	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a1 b7	23,0000	4,6405	0,0024	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b2 - a2 b7	27,7500	5,5989	0,0001	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a2 b3	-51,0000	-10,2898	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a1 b4	-45,5000	-9,1801	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a2 b4	-13,0000	-2,6229	0,3573	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a1 b5	-44,5000	-8,9784	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a2 b5	-8,7500	-1,7654	0,8788	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a1 b6	-31,0000	-6,2546	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a2 b6	-27,0000	-5,4475	0,0002	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a1 b7	-16,0000	-3,2282	0,1094	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b3 - a2 b7	-11,2500	-2,2698	0,5843	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a1 b4	5,5000	1,1097	0,9970	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a2 b4	38,0000	7,6669	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a1 b5	6,5000	1,3114	0,9865	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a2 b5	42,2500	8,5244	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a1 b6	20,0000	4,0352	0,0140	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a2 b6	24,0000	4,8423	0,0013	Conductividad_electrica_μS/cm

a2 b3 - a1 b7	35,0000	7,0616	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b3 - a2 b7	39,7500	8,0200	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a2 b4	32,5000	6,5572	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a1 b5	1,0000	0,2018	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a2 b5	36,7500	7,4147	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a1 b6	14,5000	2,9255	0,2074	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a2 b6	18,5000	3,7326	0,0318	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a1 b7	29,5000	5,9520	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b4 - a2 b7	34,2500	6,9103	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b4 - a1 b5	-31,5000	-6,3555	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b4 - a2 b5	4,2500	0,8575	0,9998	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b4 - a1 b6	-18,0000	-3,6317	0,0413	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b4 - a2 b6	-14,0000	-2,8247	0,2515	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b4 - a1 b7	-3,0000	-0,6053	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b4 - a2 b7	1,7500	0,3531	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b5 - a2 b5	35,7500	7,2130	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b5 - a1 b6	13,5000	2,7238	0,3015	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b5 - a2 b6	17,5000	3,5308	0,0533	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b5 - a1 b7	28,5000	5,7502	0,0001	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b5 - a2 b7	33,2500	6,7086	0,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b5 - a1 b6	-22,2500	-4,4892	0,0038	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b5 - a2 b6	-18,2500	-3,6821	0,0363	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b5 - a1 b7	-7,2500	-1,4628	0,9671	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b5 - a2 b7	-2,5000	-0,5044	1,0000	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b6 - a2 b6	4,0000	0,8070	0,9999	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b6 - a1 b7	15,0000	3,0264	0,1692	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b6 - a2 b7	19,7500	3,9848	0,0161	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b6 - a1 b7	11,0000	2,2194	0,6183	Conductividad_electrica_μS/cm
a2 b6 - a2 b7	15,7500	3,1777	0,1224	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 b7 - a2 b7	4,7500	0,9584	0,9993	Conductividad_electrica_μS/cm
a1 - a2	28,0000	11,4273	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b2	-28,0000	-10,3037	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b3	-15,1250	-5,5658	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b4	1,8750	0,6900	0,9925	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b5	11,7500	4,3239	0,0017	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b6	-17,2500	-6,3478	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b7	17,8750	6,5778	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b3	12,8750	4,7379	0,0005	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b4	29,8750	10,9937	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b5	39,7500	14,6275	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b6	10,7500	3,9559	0,0050	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b7	45,8750	16,8815	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b4	17,0000	6,2558	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b5	26,8750	9,8897	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b6	-2,1250	-0,7820	0,9855	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b7	33,0000	12,1436	0,0000	Resistividad_MΩ.cm

b4 - b5	9,8750	3,6339	0,0123	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b6	-19,1250	-7,0378	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b7	16,0000	5,8878	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b5 - b6	-29,0000	-10,6717	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b5 - b7	6,1250	2,2539	0,2901	Resistividad_MΩ.cm
b6 - b7	35,1250	12,9256	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	29,7500	4,5891	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	26,1250	4,0299	0,0002	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	28,0000	4,3191	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	29,1250	4,4927	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	30,0000	4,6276	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	24,6250	3,7985	0,0005	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	28,3750	4,3770	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b2	-31,7500	-8,2616	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b3	-20,2500	-5,2692	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b4	-2,2500	-0,5855	0,9969	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b5	6,7500	1,7564	0,5835	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b6	-19,8750	-5,1716	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b7	13,7500	3,5778	0,0144	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b3	11,5000	2,9924	0,0640	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b4	29,5000	7,6761	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b5	38,5000	10,0180	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b6	11,8750	3,0900	0,0507	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b7	45,5000	11,8394	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b4	18,0000	4,6837	0,0006	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b5	27,0000	7,0256	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b6	0,3750	0,0976	1,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b7	34,0000	8,8470	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b5	9,0000	2,3419	0,2490	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b6	-17,6250	-4,5862	0,0007	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b7	16,0000	4,1633	0,0027	Resistividad_MΩ.cm
b5 - b6	-26,6250	-6,9280	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b5 - b7	7,0000	1,8215	0,5416	Resistividad_MΩ.cm
b6 - b7	33,6250	8,7495	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b2	-24,2500	-6,3100	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b3	-10,0000	-2,6021	0,1513	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b4	6,0000	1,5612	0,7068	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b5	16,7500	4,3585	0,0015	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b6	-14,6250	-3,8055	0,0076	Resistividad_MΩ.cm
b1 - b7	22,0000	5,7246	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b3	14,2500	3,7080	0,0100	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b4	30,2500	7,8713	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b5	41,0000	10,6685	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b6	9,6250	2,5045	0,1838	Resistividad_MΩ.cm
b2 - b7	46,2500	12,0346	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b4	16,0000	4,1633	0,0027	Resistividad_MΩ.cm

b3 - b5	26,7500	6,9605	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b6	-4,6250	-1,2035	0,8889	Resistividad_MΩ.cm
b3 - b7	32,0000	8,3266	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b5	10,7500	2,7972	0,1000	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b6	-20,6250	-5,3668	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
b4 - b7	16,0000	4,1633	0,0027	Resistividad_MΩ.cm
b5 - b6	-31,3750	-8,1640	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
b5 - b7	5,2500	1,3661	0,8162	Resistividad_MΩ.cm
b6 - b7	36,6250	9,5301	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b1	-18,0000	-5,2806	0,0003	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a1 b2	-36,7500	-10,7813	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b2	15,0000	4,4005	0,0049	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a1 b3	-20,0000	-5,8674	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b3	-4,0000	-1,1735	0,9950	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a1 b4	10,0000	2,9337	0,2041	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b4	-31,0000	-9,0944	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a1 b5	6,0000	1,7602	0,8810	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b5	-26,7500	-7,8476	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a1 b6	-19,2500	-5,6474	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b6	-8,0000	-2,3470	0,5323	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a1 b7	2,0000	0,5867	1,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b1 - a2 b7	-23,2500	-6,8208	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a1 b2	-18,7500	-5,5007	0,0002	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a2 b2	33,0000	9,6812	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a1 b3	-2,0000	-0,5867	1,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a2 b3	14,0000	4,1072	0,0114	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a1 b4	28,0000	8,2143	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a2 b4	-13,0000	-3,8138	0,0256	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a1 b5	24,0000	7,0409	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a2 b5	-8,7500	-2,5670	0,3904	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a1 b6	-1,2500	-0,3667	1,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a2 b6	10,0000	2,9337	0,2041	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a1 b7	20,0000	5,8674	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b1 - a2 b7	-5,2500	-1,5402	0,9515	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a2 b2	51,7500	15,1819	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a1 b3	16,7500	4,9139	0,0010	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a2 b3	32,7500	9,6078	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a1 b4	46,7500	13,7150	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a2 b4	5,7500	1,6869	0,9091	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a1 b5	42,7500	12,5415	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a2 b5	10,0000	2,9337	0,2041	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a1 b6	17,5000	5,1340	0,0005	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a2 b6	28,7500	8,4344	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a1 b7	38,7500	11,3681	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b2 - a2 b7	13,5000	3,9605	0,0172	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a1 b3	-35,0000	-10,2679	0,0000	Resistividad_MΩ.cm

a2 b2 - a2 b3	-19,0000	-5,5740	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a1 b4	-5,0000	-1,4668	0,9664	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a2 b4	-46,0000	-13,4950	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a1 b5	-9,0000	-2,6403	0,3473	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a2 b5	-41,7500	-12,2482	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a1 b6	-34,2500	-10,0479	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a2 b6	-23,0000	-6,7475	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a1 b7	-13,0000	-3,8138	0,0256	Resistividad_MΩ.cm
a2 b2 - a2 b7	-38,2500	-11,2214	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a2 b3	16,0000	4,6939	0,0020	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a1 b4	30,0000	8,8011	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a2 b4	-11,0000	-3,2271	0,1096	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a1 b5	26,0000	7,6276	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a2 b5	-6,7500	-1,9802	0,7705	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a1 b6	0,7500	0,2200	1,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a2 b6	12,0000	3,5204	0,0547	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a1 b7	22,0000	6,4541	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b3 - a2 b7	-3,2500	-0,9535	0,9994	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a1 b4	14,0000	4,1072	0,0114	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a2 b4	-27,0000	-7,9210	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a1 b5	10,0000	2,9337	0,2041	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a2 b5	-22,7500	-6,6742	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a1 b6	-15,2500	-4,4739	0,0039	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a2 b6	-4,0000	-1,1735	0,9950	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a1 b7	6,0000	1,7602	0,8810	Resistividad_MΩ.cm
a2 b3 - a2 b7	-19,2500	-5,6474	0,0001	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a2 b4	-41,0000	-12,0281	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a1 b5	-4,0000	-1,1735	0,9950	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a2 b5	-36,7500	-10,7813	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a1 b6	-29,2500	-8,5811	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a2 b6	-18,0000	-5,2806	0,0003	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a1 b7	-8,0000	-2,3470	0,5323	Resistividad_MΩ.cm
a1 b4 - a2 b7	-33,2500	-9,7545	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b4 - a1 b5	37,0000	10,8547	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b4 - a2 b5	4,2500	1,2468	0,9913	Resistividad_MΩ.cm
a2 b4 - a1 b6	11,7500	3,4471	0,0655	Resistividad_MΩ.cm
a2 b4 - a2 b6	23,0000	6,7475	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b4 - a1 b7	33,0000	9,6812	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b4 - a2 b7	7,7500	2,2736	0,5818	Resistividad_MΩ.cm
a1 b5 - a2 b5	-32,7500	-9,6078	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b5 - a1 b6	-25,2500	-7,4076	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b5 - a2 b6	-14,0000	-4,1072	0,0114	Resistividad_MΩ.cm
a1 b5 - a1 b7	-4,0000	-1,1735	0,9950	Resistividad_MΩ.cm
a1 b5 - a2 b7	-29,2500	-8,5811	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b5 - a1 b6	7,5000	2,2003	0,6311	Resistividad_MΩ.cm
a2 b5 - a2 b6	18,7500	5,5007	0,0002	Resistividad_MΩ.cm

a2 b5 - a1 b7	28,7500	8,4344	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a2 b5 - a2 b7	3,5000	1,0268	0,9986	Resistividad_MΩ.cm
a1 b6 - a2 b6	11,2500	3,3004	0,0927	Resistividad_MΩ.cm
a1 b6 - a1 b7	21,2500	6,2341	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 b6 - a2 b7	-4,0000	-1,1735	0,9950	Resistividad_MΩ.cm
a2 b6 - a1 b7	10,0000	2,9337	0,2041	Resistividad_MΩ.cm
a2 b6 - a2 b7	-15,2500	-4,4739	0,0039	Resistividad_MΩ.cm
a1 b7 - a2 b7	-25,2500	-7,4076	0,0000	Resistividad_MΩ.cm
a1 - a2	0,3786	3,6957	0,0006	Temperatura_°C
b1 - b2	0,8500	4,4354	0,0012	Temperatura_°C
b1 - b3	0,1875	0,9784	0,9560	Temperatura_°C
b1 - b4	0,3500	1,8263	0,5385	Temperatura_°C
b1 - b5	-0,5875	-3,0656	0,0538	Temperatura_°C
b1 - b6	0,8000	4,1745	0,0026	Temperatura_°C
b1 - b7	-2,6625	-13,8932	0,0000	Temperatura_°C
b2 - b3	-0,6625	-3,4570	0,0199	Temperatura_°C
b2 - b4	-0,5000	-2,6090	0,1492	Temperatura_°C
b2 - b5	-1,4375	-7,5010	0,0000	Temperatura_°C
b2 - b6	-0,0500	-0,2609	1,0000	Temperatura_°C
b2 - b7	-3,5125	-18,3286	0,0000	Temperatura_°C
b3 - b4	0,1625	0,8479	0,9781	Temperatura_°C
b3 - b5	-0,7750	-4,0440	0,0038	Temperatura_°C
b3 - b6	0,6125	3,1961	0,0390	Temperatura_°C
b3 - b7	-2,8500	-14,8716	0,0000	Temperatura_°C
b4 - b5	-0,9375	-4,8920	0,0003	Temperatura_°C
b4 - b6	0,4500	2,3481	0,2462	Temperatura_°C
b4 - b7	-3,0125	-15,7195	0,0000	Temperatura_°C
b5 - b6	1,3875	7,2401	0,0000	Temperatura_°C
b5 - b7	-2,0750	-10,8275	0,0000	Temperatura_°C
b6 - b7	-3,4625	-18,0677	0,0000	Temperatura_°C
a1 - a2	-1,1750	-4,3355	0,0001	Temperatura_°C
a1 - a2	-0,5750	-2,1216	0,0398	Temperatura_°C
a1 - a2	-1,0000	-3,6898	0,0006	Temperatura_°C
a1 - a2	2,0250	7,4717	0,0000	Temperatura_°C
a1 - a2	2,1500	7,9330	0,0000	Temperatura_°C
a1 - a2	1,1250	4,1510	0,0002	Temperatura_°C
a1 - a2	0,1000	0,3690	0,7140	Temperatura_°C
b1 - b2	0,5500	2,0294	0,4123	Temperatura_°C
b1 - b3	0,1000	0,3690	0,9998	Temperatura_°C
b1 - b4	-1,2500	-4,6122	0,0007	Temperatura_°C
b1 - b5	-2,2500	-8,3019	0,0000	Temperatura_°C
b1 - b6	-0,3500	-1,2914	0,8520	Temperatura_°C
b1 - b7	-3,3000	-12,1762	0,0000	Temperatura_°C
b2 - b3	-0,4500	-1,6604	0,6451	Temperatura_°C
b2 - b4	-1,8000	-6,6416	0,0000	Temperatura_°C
b2 - b5	-2,8000	-10,3313	0,0000	Temperatura_°C

b2 - b6	-0,9000	-3,3208	0,0284	Temperatura_°C
b2 - b7	-3,8500	-14,2055	0,0000	Temperatura_°C
b3 - b4	-1,3500	-4,9812	0,0002	Temperatura_°C
b3 - b5	-2,3500	-8,6709	0,0000	Temperatura_°C
b3 - b6	-0,4500	-1,6604	0,6451	Temperatura_°C
b3 - b7	-3,4000	-12,5452	0,0000	Temperatura_°C
b4 - b5	-1,0000	-3,6898	0,0106	Temperatura_°C
b4 - b6	0,9000	3,3208	0,0284	Temperatura_°C
b4 - b7	-2,0500	-7,5640	0,0000	Temperatura_°C
b5 - b6	1,9000	7,0105	0,0000	Temperatura_°C
b5 - b7	-1,0500	-3,8742	0,0063	Temperatura_°C
b6 - b7	-2,9500	-10,8848	0,0000	Temperatura_°C
b1 - b2	1,1500	4,2432	0,0021	Temperatura_°C
b1 - b3	0,2750	1,0147	0,9478	Temperatura_°C
b1 - b4	1,9500	7,1950	0,0000	Temperatura_°C
b1 - b5	1,0750	3,9665	0,0048	Temperatura_°C
b1 - b6	1,9500	7,1950	0,0000	Temperatura_°C
b1 - b7	-2,0250	-7,4717	0,0000	Temperatura_°C
b2 - b3	-0,8750	-3,2285	0,0360	Temperatura_°C
b2 - b4	0,8000	2,9518	0,0704	Temperatura_°C
b2 - b5	-0,0750	-0,2767	1,0000	Temperatura_°C
b2 - b6	0,8000	2,9518	0,0704	Temperatura_°C
b2 - b7	-3,1750	-11,7150	0,0000	Temperatura_°C
b3 - b4	1,6750	6,1803	0,0000	Temperatura_°C
b3 - b5	0,8000	2,9518	0,0704	Temperatura_°C
b3 - b6	1,6750	6,1803	0,0000	Temperatura_°C
b3 - b7	-2,3000	-8,4864	0,0000	Temperatura_°C
b4 - b5	-0,8750	-3,2285	0,0360	Temperatura_°C
b4 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Temperatura_°C
b4 - b7	-3,9750	-14,6668	0,0000	Temperatura_°C
b5 - b6	0,8750	3,2285	0,0360	Temperatura_°C
b5 - b7	-3,1000	-11,4382	0,0000	Temperatura_°C
b6 - b7	-3,9750	-14,6668	0,0000	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b1	-1,1750	-4,3355	0,0059	Temperatura_°C
a1 b1 - a1 b2	0,5500	2,0294	0,7412	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b2	-0,0250	-0,0922	1,0000	Temperatura_°C
a1 b1 - a1 b3	0,1000	0,3690	1,0000	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b3	-0,9000	-3,3208	0,0884	Temperatura_°C
a1 b1 - a1 b4	-1,2500	-4,6122	0,0026	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b4	0,7750	2,8596	0,2355	Temperatura_°C
a1 b1 - a1 b5	-2,2500	-8,3019	0,0000	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b5	-0,1000	-0,3690	1,0000	Temperatura_°C
a1 b1 - a1 b6	-0,3500	-1,2914	0,9882	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b6	0,7750	2,8596	0,2355	Temperatura_°C
a1 b1 - a1 b7	-3,3000	-12,1762	0,0000	Temperatura_°C
a1 b1 - a2 b7	-3,2000	-11,8072	0,0000	Temperatura_°C

a2 b1 - a1 b2	1,7250	6,3648	0,0000	Temperatura_°C
a2 b1 - a2 b2	1,1500	4,2432	0,0078	Temperatura_°C
a2 b1 - a1 b3	1,2750	4,7044	0,0020	Temperatura_°C
a2 b1 - a2 b3	0,2750	1,0147	0,9988	Temperatura_°C
a2 b1 - a1 b4	-0,0750	-0,2767	1,0000	Temperatura_°C
a2 b1 - a2 b4	1,9500	7,1950	0,0000	Temperatura_°C
a2 b1 - a1 b5	-1,0750	-3,9665	0,0169	Temperatura_°C
a2 b1 - a2 b5	1,0750	3,9665	0,0169	Temperatura_°C
a2 b1 - a1 b6	0,8250	3,0440	0,1631	Temperatura_°C
a2 b1 - a2 b6	1,9500	7,1950	0,0000	Temperatura_°C
a2 b1 - a1 b7	-2,1250	-7,8407	0,0000	Temperatura_°C
a2 b1 - a2 b7	-2,0250	-7,4717	0,0000	Temperatura_°C
a1 b2 - a2 b2	-0,5750	-2,1216	0,6831	Temperatura_°C
a1 b2 - a1 b3	-0,4500	-1,6604	0,9181	Temperatura_°C
a1 b2 - a2 b3	-1,4500	-5,3501	0,0003	Temperatura_°C
a1 b2 - a1 b4	-1,8000	-6,6416	0,0000	Temperatura_°C
a1 b2 - a2 b4	0,2250	0,8302	0,9999	Temperatura_°C
a1 b2 - a1 b5	-2,8000	-10,3313	0,0000	Temperatura_°C
a1 b2 - a2 b5	-0,6500	-2,3983	0,4979	Temperatura_°C
a1 b2 - a1 b6	-0,9000	-3,3208	0,0884	Temperatura_°C
a1 b2 - a2 b6	0,2250	0,8302	0,9999	Temperatura_°C
a1 b2 - a1 b7	-3,8500	-14,2055	0,0000	Temperatura_°C
a1 b2 - a2 b7	-3,7500	-13,8366	0,0000	Temperatura_°C
a2 b2 - a1 b3	0,1250	0,4612	1,0000	Temperatura_°C
a2 b2 - a2 b3	-0,8750	-3,2285	0,1093	Temperatura_°C
a2 b2 - a1 b4	-1,2250	-4,5199	0,0034	Temperatura_°C
a2 b2 - a2 b4	0,8000	2,9518	0,1969	Temperatura_°C
a2 b2 - a1 b5	-2,2250	-8,2097	0,0000	Temperatura_°C
a2 b2 - a2 b5	-0,0750	-0,2767	1,0000	Temperatura_°C
a2 b2 - a1 b6	-0,3250	-1,1992	0,9939	Temperatura_°C
a2 b2 - a2 b6	0,8000	2,9518	0,1969	Temperatura_°C
a2 b2 - a1 b7	-3,2750	-12,0839	0,0000	Temperatura_°C
a2 b2 - a2 b7	-3,1750	-11,7150	0,0000	Temperatura_°C
a1 b3 - a2 b3	-1,0000	-3,6898	0,0356	Temperatura_°C
a1 b3 - a1 b4	-1,3500	-4,9812	0,0008	Temperatura_°C
a1 b3 - a2 b4	0,6750	2,4906	0,4379	Temperatura_°C
a1 b3 - a1 b5	-2,3500	-8,6709	0,0000	Temperatura_°C
a1 b3 - a2 b5	-0,2000	-0,7380	1,0000	Temperatura_°C
a1 b3 - a1 b6	-0,4500	-1,6604	0,9181	Temperatura_°C
a1 b3 - a2 b6	0,6750	2,4906	0,4379	Temperatura_°C
a1 b3 - a1 b7	-3,4000	-12,5452	0,0000	Temperatura_°C
a1 b3 - a2 b7	-3,3000	-12,1762	0,0000	Temperatura_°C
a2 b3 - a1 b4	-0,3500	-1,2914	0,9882	Temperatura_°C
a2 b3 - a2 b4	1,6750	6,1803	0,0000	Temperatura_°C
a2 b3 - a1 b5	-1,3500	-4,9812	0,0008	Temperatura_°C
a2 b3 - a2 b5	0,8000	2,9518	0,1969	Temperatura_°C

a2 b3 - a1 b6	0,5500	2,0294	0,7412	Temperatura_°C
a2 b3 - a2 b6	1,6750	6,1803	0,0000	Temperatura_°C
a2 b3 - a1 b7	-2,4000	-8,8554	0,0000	Temperatura_°C
a2 b3 - a2 b7	-2,3000	-8,4864	0,0000	Temperatura_°C
a1 b4 - a2 b4	2,0250	7,4717	0,0000	Temperatura_°C
a1 b4 - a1 b5	-1,0000	-3,6898	0,0356	Temperatura_°C
a1 b4 - a2 b5	1,1500	4,2432	0,0078	Temperatura_°C
a1 b4 - a1 b6	0,9000	3,3208	0,0884	Temperatura_°C
a1 b4 - a2 b6	2,0250	7,4717	0,0000	Temperatura_°C
a1 b4 - a1 b7	-2,0500	-7,5640	0,0000	Temperatura_°C
a1 b4 - a2 b7	-1,9500	-7,1950	0,0000	Temperatura_°C
a2 b4 - a1 b5	-3,0250	-11,1615	0,0000	Temperatura_°C
a2 b4 - a2 b5	-0,8750	-3,2285	0,1093	Temperatura_°C
a2 b4 - a1 b6	-1,1250	-4,1510	0,0101	Temperatura_°C
a2 b4 - a2 b6	0,0000	0,0000	1,0000	Temperatura_°C
a2 b4 - a1 b7	-4,0750	-15,0357	0,0000	Temperatura_°C
a2 b4 - a2 b7	-3,9750	-14,6668	0,0000	Temperatura_°C
a1 b5 - a2 b5	2,1500	7,9330	0,0000	Temperatura_°C
a1 b5 - a1 b6	1,9000	7,0105	0,0000	Temperatura_°C
a1 b5 - a2 b6	3,0250	11,1615	0,0000	Temperatura_°C
a1 b5 - a1 b7	-1,0500	-3,8742	0,0218	Temperatura_°C
a1 b5 - a2 b7	-0,9500	-3,5053	0,0568	Temperatura_°C
a2 b5 - a1 b6	-0,2500	-0,9224	0,9995	Temperatura_°C
a2 b5 - a2 b6	0,8750	3,2285	0,1093	Temperatura_°C
a2 b5 - a1 b7	-3,2000	-11,8072	0,0000	Temperatura_°C
a2 b5 - a2 b7	-3,1000	-11,4382	0,0000	Temperatura_°C
a1 b6 - a2 b6	1,1250	4,1510	0,0101	Temperatura_°C
a1 b6 - a1 b7	-2,9500	-10,8848	0,0000	Temperatura_°C
a1 b6 - a2 b7	-2,8500	-10,5158	0,0000	Temperatura_°C
a2 b6 - a1 b7	-4,0750	-15,0357	0,0000	Temperatura_°C
a2 b6 - a2 b7	-3,9750	-14,6668	0,0000	Temperatura_°C
a1 b7 - a2 b7	0,1000	0,3690	1,0000	Temperatura_°C
a1 - a2	28,0000	11,4180	0,0000	PH
b1 - b2	-11,2500	-4,7789	0,0004	PH
b1 - b3	6,3750	2,7081	0,1213	PH
b1 - b4	24,4375	10,3809	0,0000	PH
b1 - b5	31,0625	13,1952	0,0000	PH
b1 - b6	15,7500	6,6905	0,0000	PH
b1 - b7	-12,1250	-5,1506	0,0001	PH
b2 - b3	17,6250	7,4870	0,0000	PH
b2 - b4	35,6875	15,1599	0,0000	PH
b2 - b5	42,3125	17,9742	0,0000	PH
b2 - b6	27,0000	11,4695	0,0000	PH
b2 - b7	-0,8750	-0,3717	0,9998	PH
b3 - b4	18,0625	7,6729	0,0000	PH
b3 - b5	24,6875	10,4871	0,0000	PH

b3 - b6	9,3750	3,9825	0,0046	PH
b3 - b7	-18,5000	-7,8587	0,0000	PH
b4 - b5	6,6250	2,8143	0,0963	PH
b4 - b6	-8,6875	-3,6904	0,0105	PH
b4 - b7	-36,5625	-15,5316	0,0000	PH
b5 - b6	-15,3125	-6,5047	0,0000	PH
b5 - b7	-43,1875	-18,3459	0,0000	PH
b6 - b7	-27,8750	-11,8412	0,0000	PH
a1 - a2	28,7500	4,4312	0,0001	PH
a1 - a2	27,5000	4,2385	0,0001	PH
a1 - a2	26,7500	4,1229	0,0002	PH
a1 - a2	30,0000	4,6239	0,0000	PH
a1 - a2	30,0000	4,6239	0,0000	PH
a1 - a2	28,5000	4,3927	0,0001	PH
a1 - a2	24,5000	3,7762	0,0005	PH
b1 - b2	-11,0000	-3,3041	0,0297	PH
b1 - b3	6,6250	1,9900	0,4359	PH
b1 - b4	23,8750	7,1715	0,0000	PH
b1 - b5	30,1250	9,0488	0,0000	PH
b1 - b6	16,0000	4,8060	0,0004	PH
b1 - b7	-9,5000	-2,8536	0,0882	PH
b2 - b3	17,6250	5,2941	0,0001	PH
b2 - b4	34,8750	10,4756	0,0000	PH
b2 - b5	41,1250	12,3530	0,0000	PH
b2 - b6	27,0000	8,1101	0,0000	PH
b2 - b7	1,5000	0,4506	0,9993	PH
b3 - b4	17,2500	5,1815	0,0001	PH
b3 - b5	23,5000	7,0588	0,0000	PH
b3 - b6	9,3750	2,8160	0,0959	PH
b3 - b7	-16,1250	-4,8436	0,0003	PH
b4 - b5	6,2500	1,8773	0,5059	PH
b4 - b6	-7,8750	-2,3655	0,2386	PH
b4 - b7	-33,3750	-10,0250	0,0000	PH
b5 - b6	-14,1250	-4,2428	0,0021	PH
b5 - b7	-39,6250	-11,9024	0,0000	PH
b6 - b7	-25,5000	-7,6596	0,0000	PH
b1 - b2	-11,5000	-3,4543	0,0200	PH
b1 - b3	6,1250	1,8398	0,5299	PH
b1 - b4	25,0000	7,5094	0,0000	PH
b1 - b5	32,0000	9,6120	0,0000	PH
b1 - b6	15,5000	4,6558	0,0006	PH
b1 - b7	-14,7500	-4,4305	0,0012	PH
b2 - b3	17,6250	5,2941	0,0001	PH
b2 - b4	36,5000	10,9637	0,0000	PH
b2 - b5	43,5000	13,0663	0,0000	PH
b2 - b6	27,0000	8,1101	0,0000	PH

b2 - b7	-3,2500	-0,9762	0,9564	PH
b3 - b4	18,8750	5,6696	0,0000	PH
b3 - b5	25,8750	7,7722	0,0000	PH
b3 - b6	9,3750	2,8160	0,0959	PH
b3 - b7	-20,8750	-6,2703	0,0000	PH
b4 - b5	7,0000	2,1026	0,3699	PH
b4 - b6	-9,5000	-2,8536	0,0882	PH
b4 - b7	-39,7500	-11,9399	0,0000	PH
b5 - b6	-16,5000	-4,9562	0,0002	PH
b5 - b7	-46,7500	-14,0426	0,0000	PH
b6 - b7	-30,2500	-9,0864	0,0000	PH
a1 b1 - a2 b1	-35,7500	-9,0493	0,0000	PH
a1 b1 - a1 b2	-7,7500	-1,9617	0,7811	PH
a1 b1 - a2 b2	-29,7500	-7,5305	0,0000	PH
a1 b1 - a1 b3	-14,5000	-3,6703	0,0374	PH
a1 b1 - a2 b3	-20,7500	-5,2524	0,0004	PH
a1 b1 - a1 b4	-28,0000	-7,0876	0,0000	PH
a1 b1 - a2 b4	-9,5000	-2,4047	0,4937	PH
a1 b1 - a1 b5	-41,2500	-10,4415	0,0000	PH
a1 b1 - a2 b5	5,2500	1,3289	0,9849	PH
a1 b1 - a1 b6	-39,7500	-10,0618	0,0000	PH
a1 b1 - a2 b6	0,7500	0,1898	1,0000	PH
a1 b1 - a1 b7	-5,7500	-1,4555	0,9684	PH
a1 b1 - a2 b7	-32,2500	-8,1633	0,0000	PH
a2 b1 - a1 b2	28,0000	7,0876	0,0000	PH
a2 b1 - a2 b2	6,0000	1,5188	0,9563	PH
a2 b1 - a1 b3	21,2500	5,3789	0,0002	PH
a2 b1 - a2 b3	15,0000	3,7969	0,0268	PH
a2 b1 - a1 b4	7,7500	1,9617	0,7811	PH
a2 b1 - a2 b4	26,2500	6,6446	0,0000	PH
a2 b1 - a1 b5	-5,5000	-1,3922	0,9778	PH
a2 b1 - a2 b5	41,0000	10,3782	0,0000	PH
a2 b1 - a1 b6	-4,0000	-1,0125	0,9988	PH
a2 b1 - a2 b6	36,5000	9,2391	0,0000	PH
a2 b1 - a1 b7	30,0000	7,5938	0,0000	PH
a2 b1 - a2 b7	3,5000	0,8859	0,9997	PH
a1 b2 - a2 b2	-22,0000	-5,5688	0,0001	PH
a1 b2 - a1 b3	-6,7500	-1,7086	0,9012	PH
a1 b2 - a2 b3	-13,0000	-3,2906	0,0948	PH
a1 b2 - a1 b4	-20,2500	-5,1258	0,0005	PH
a1 b2 - a2 b4	-1,7500	-0,4430	1,0000	PH
a1 b2 - a1 b5	-33,5000	-8,4798	0,0000	PH
a1 b2 - a2 b5	13,0000	3,2906	0,0948	PH
a1 b2 - a1 b6	-32,0000	-8,1001	0,0000	PH
a1 b2 - a2 b6	8,5000	2,1516	0,6635	PH
a1 b2 - a1 b7	2,0000	0,5063	1,0000	PH

a1 b2 - a2 b7	-24,5000	-6,2016	0,0000	PH
a2 b2 - a1 b3	15,2500	3,8602	0,0226	PH
a2 b2 - a2 b3	9,0000	2,2781	0,5787	PH
a2 b2 - a1 b4	1,7500	0,4430	1,0000	PH
a2 b2 - a2 b4	20,2500	5,1258	0,0005	PH
a2 b2 - a1 b5	-11,5000	-2,9110	0,2134	PH
a2 b2 - a2 b5	35,0000	8,8594	0,0000	PH
a2 b2 - a1 b6	-10,0000	-2,5313	0,4123	PH
a2 b2 - a2 b6	30,5000	7,7204	0,0000	PH
a2 b2 - a1 b7	24,0000	6,0750	0,0000	PH
a2 b2 - a2 b7	-2,5000	-0,6328	1,0000	PH
a1 b3 - a2 b3	-6,2500	-1,5820	0,9412	PH
a1 b3 - a1 b4	-13,5000	-3,4172	0,0704	PH
a1 b3 - a2 b4	5,0000	1,2656	0,9901	PH
a1 b3 - a1 b5	-26,7500	-6,7711	0,0000	PH
a1 b3 - a2 b5	19,7500	4,9993	0,0008	PH
a1 b3 - a1 b6	-25,2500	-6,3915	0,0000	PH
a1 b3 - a2 b6	15,2500	3,8602	0,0226	PH
a1 b3 - a1 b7	8,7500	2,2149	0,6214	PH
a1 b3 - a2 b7	-17,7500	-4,4930	0,0037	PH
a2 b3 - a1 b4	-7,2500	-1,8352	0,8476	PH
a2 b3 - a2 b4	11,2500	2,8477	0,2409	PH
a2 b3 - a1 b5	-20,5000	-5,1891	0,0004	PH
a2 b3 - a2 b5	26,0000	6,5813	0,0000	PH
a2 b3 - a1 b6	-19,0000	-4,8094	0,0014	PH
a2 b3 - a2 b6	21,5000	5,4422	0,0002	PH
a2 b3 - a1 b7	15,0000	3,7969	0,0268	PH
a2 b3 - a2 b7	-11,5000	-2,9110	0,2134	PH
a1 b4 - a2 b4	18,5000	4,6828	0,0021	PH
a1 b4 - a1 b5	-13,2500	-3,3539	0,0818	PH
a1 b4 - a2 b5	33,2500	8,4165	0,0000	PH
a1 b4 - a1 b6	-11,7500	-2,9742	0,1882	PH
a1 b4 - a2 b6	28,7500	7,2774	0,0000	PH
a1 b4 - a1 b7	22,2500	5,6321	0,0001	PH
a1 b4 - a2 b7	-4,2500	-1,0758	0,9978	PH
a2 b4 - a1 b5	-31,7500	-8,0368	0,0000	PH
a2 b4 - a2 b5	14,7500	3,7336	0,0317	PH
a2 b4 - a1 b6	-30,2500	-7,6571	0,0000	PH
a2 b4 - a2 b6	10,2500	2,5946	0,3739	PH
a2 b4 - a1 b7	3,7500	0,9492	0,9994	PH
a2 b4 - a2 b7	-22,7500	-5,7586	0,0001	PH
a1 b5 - a2 b5	46,5000	11,7704	0,0000	PH
a1 b5 - a1 b6	1,5000	0,3797	1,0000	PH
a1 b5 - a2 b6	42,0000	10,6313	0,0000	PH
a1 b5 - a1 b7	35,5000	8,9860	0,0000	PH
a1 b5 - a2 b7	9,0000	2,2781	0,5787	PH

a2 b5 - a1 b6	-45,0000	-11,3907	0,0000	PH
a2 b5 - a2 b6	-4,5000	-1,1391	0,9962	PH
a2 b5 - a1 b7	-11,0000	-2,7844	0,2707	PH
a2 b5 - a2 b7	-37,5000	-9,4923	0,0000	PH
a1 b6 - a2 b6	40,5000	10,2516	0,0000	PH
a1 b6 - a1 b7	34,0000	8,6063	0,0000	PH
a1 b6 - a2 b7	7,5000	1,8985	0,8158	PH
a2 b6 - a1 b7	-6,5000	-1,6453	0,9229	PH
a2 b6 - a2 b7	-33,0000	-8,3532	0,0000	PH
a1 b7 - a2 b7	-26,5000	-6,7079	0,0000	PH
a1 - a2	24,3571	7,5040	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b2	-33,1250	-8,8043	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b3	-43,3750	-11,5286	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b4	-12,6250	-3,3556	0,0260	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b5	-10,3750	-2,7576	0,1091	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b6	-13,0000	-3,4553	0,0200	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b7	-34,5000	-9,1697	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b3	-10,2500	-2,7243	0,1172	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b4	20,5000	5,4487	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b5	22,7500	6,0467	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b6	20,1250	5,3490	0,0001	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b7	-1,3750	-0,3655	0,9998	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b4	30,7500	8,1730	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b5	33,0000	8,7710	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b6	30,3750	8,0733	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b7	8,8750	2,3589	0,2415	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b5	2,2500	0,5980	0,9965	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b6	-0,3750	-0,0997	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b7	-21,8750	-5,8141	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b5 - b6	-2,6250	-0,6977	0,9920	Oxigeno_disuelto_mg/L
b5 - b7	-24,1250	-6,4122	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b6 - b7	-21,5000	-5,7145	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	19,5000	2,2707	0,0284	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	26,0000	3,0276	0,0042	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	25,7500	2,9984	0,0045	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	25,7500	2,9984	0,0045	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	25,2500	2,9402	0,0053	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	25,7500	2,9984	0,0045	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	22,5000	2,6200	0,0122	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b2	-37,6250	-7,0713	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b3	-45,7500	-8,5983	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b4	-16,5000	-3,1010	0,0493	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b5	-13,5000	-2,5372	0,1724	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b6	-16,2500	-3,0540	0,0553	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b7	-36,5000	-6,8599	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b3	-8,1250	-1,5270	0,7273	Oxigeno_disuelto_mg/L

b2 - b4	21,1250	3,9703	0,0048	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b5	24,1250	4,5341	0,0009	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b6	21,3750	4,0172	0,0041	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b7	1,1250	0,2114	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b4	29,2500	5,4973	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b5	32,2500	6,0611	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b6	29,5000	5,5443	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b7	9,2500	1,7385	0,5951	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b5	3,0000	0,5638	0,9975	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b6	0,2500	0,0470	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b7	-20,0000	-3,7588	0,0087	Oxigeno_disuelto_mg/L
b5 - b6	-2,7500	-0,5168	0,9985	Oxigeno_disuelto_mg/L
b5 - b7	-23,0000	-4,3227	0,0017	Oxigeno_disuelto_mg/L
b6 - b7	-20,2500	-3,8058	0,0076	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b2	-28,6250	-5,3798	0,0001	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b3	-41,0000	-7,7056	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b4	-8,7500	-1,6445	0,6551	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b5	-7,2500	-1,3626	0,8180	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b6	-9,7500	-1,8324	0,5346	Oxigeno_disuelto_mg/L
b1 - b7	-32,5000	-6,1081	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b3	-12,3750	-2,3258	0,2562	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b4	19,8750	3,7353	0,0093	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b5	21,3750	4,0172	0,0041	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b6	18,8750	3,5474	0,0156	Oxigeno_disuelto_mg/L
b2 - b7	-3,8750	-0,7283	0,9900	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b4	32,2500	6,0611	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b5	33,7500	6,3430	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b6	31,2500	5,8732	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b3 - b7	8,5000	1,5975	0,6845	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b5	1,5000	0,2819	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b6	-1,0000	-0,1879	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
b4 - b7	-23,7500	-4,4636	0,0011	Oxigeno_disuelto_mg/L
b5 - b6	-2,5000	-0,4699	0,9991	Oxigeno_disuelto_mg/L
b5 - b7	-25,2500	-4,7455	0,0005	Oxigeno_disuelto_mg/L
b6 - b7	-22,7500	-4,2757	0,0019	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b1	-49,2500	-17,8130	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a1 b2	-13,5000	-4,8827	0,0011	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b2	-37,5000	-13,5632	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a1 b3	-26,1250	-9,4490	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b3	-28,0000	-10,1272	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a1 b4	-41,7500	-15,1003	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b4	-11,7500	-4,2498	0,0076	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a1 b5	-49,2500	-17,8130	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b5	-4,0000	-1,4467	0,9698	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a1 b6	-41,2500	-14,9195	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b6	-10,7500	-3,8881	0,0210	Oxigeno_disuelto_mg/L

a1 b1 - a1 b7	-20,6250	-7,4597	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b1 - a2 b7	-30,2500	-10,9410	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a1 b2	35,7500	12,9302	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a2 b2	11,7500	4,2498	0,0076	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a1 b3	23,1250	8,3640	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a2 b3	21,2500	7,6858	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a1 b4	7,5000	2,7126	0,3074	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a2 b4	37,5000	13,5632	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a1 b5	0,0000	0,0000	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a2 b5	45,2500	16,3662	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a1 b6	8,0000	2,8935	0,2207	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a2 b6	38,5000	13,9249	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a1 b7	28,6250	10,3532	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b1 - a2 b7	19,0000	6,8720	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a2 b2	-24,0000	-8,6804	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a1 b3	-12,6250	-4,5663	0,0030	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a2 b3	-14,5000	-5,2444	0,0004	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a1 b4	-28,2500	-10,2176	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a2 b4	1,7500	0,6329	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a1 b5	-35,7500	-12,9302	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a2 b5	9,5000	3,4360	0,0673	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a1 b6	-27,7500	-10,0367	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a2 b6	2,7500	0,9946	0,9990	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a1 b7	-7,1250	-2,5770	0,3844	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b2 - a2 b7	-16,7500	-6,0582	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a1 b3	11,3750	4,1142	0,0112	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a2 b3	9,5000	3,4360	0,0673	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a1 b4	-4,2500	-1,5372	0,9522	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a2 b4	25,7500	9,3134	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a1 b5	-11,7500	-4,2498	0,0076	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a2 b5	33,5000	12,1164	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a1 b6	-3,7500	-1,3563	0,9821	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a2 b6	26,7500	9,6751	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a1 b7	16,8750	6,1034	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b2 - a2 b7	7,2500	2,6222	0,3577	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a2 b3	-1,8750	-0,6782	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a1 b4	-15,6250	-5,6513	0,0001	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a2 b4	14,3750	5,1992	0,0004	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a1 b5	-23,1250	-8,3640	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a2 b5	22,1250	8,0023	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a1 b6	-15,1250	-5,4705	0,0002	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a2 b6	15,3750	5,5609	0,0001	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a1 b7	5,5000	1,9893	0,7652	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b3 - a2 b7	-4,1250	-1,4919	0,9617	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a1 b4	-13,7500	-4,9732	0,0009	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a2 b4	16,2500	5,8774	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L

a2 b3 - a1 b5	-21,2500	-7,6858	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a2 b5	24,0000	8,6804	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a1 b6	-13,2500	-4,7923	0,0015	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a2 b6	17,2500	6,2391	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a1 b7	7,3750	2,6674	0,3320	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b3 - a2 b7	-2,2500	-0,8138	0,9999	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a2 b4	30,0000	10,8505	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a1 b5	-7,5000	-2,7126	0,3074	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a2 b5	37,7500	13,6536	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a1 b6	0,5000	0,1808	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a2 b6	31,0000	11,2122	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a1 b7	21,1250	7,6406	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b4 - a2 b7	11,5000	4,1594	0,0099	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b4 - a1 b5	-37,5000	-13,5632	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b4 - a2 b5	7,7500	2,8031	0,2617	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b4 - a1 b6	-29,5000	-10,6697	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b4 - a2 b6	1,0000	0,3617	1,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b4 - a1 b7	-8,8750	-3,2099	0,1139	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b4 - a2 b7	-18,5000	-6,6912	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b5 - a2 b5	45,2500	16,3662	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b5 - a1 b6	8,0000	2,8935	0,2207	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b5 - a2 b6	38,5000	13,9249	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b5 - a1 b7	28,6250	10,3532	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b5 - a2 b7	19,0000	6,8720	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b5 - a1 b6	-37,2500	-13,4727	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b5 - a2 b6	-6,7500	-2,4414	0,4696	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b5 - a1 b7	-16,6250	-6,0130	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b5 - a2 b7	-26,2500	-9,4942	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b6 - a2 b6	30,5000	11,0314	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b6 - a1 b7	20,6250	7,4597	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b6 - a2 b7	11,0000	3,9785	0,0164	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b6 - a1 b7	-9,8750	-3,5716	0,0481	Oxigeno_disuelto_mg/L
a2 b6 - a2 b7	-19,5000	-7,0528	0,0000	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 b7 - a2 b7	-9,6250	-3,4812	0,0602	Oxigeno_disuelto_mg/L
a1 - a2	28,0000	11,6887	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b2	-34,3750	-10,7447	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b3	-48,0000	-15,0036	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b4	-15,3750	-4,8058	0,0004	DBO5_mg/L
b1 - b5	-32,2500	-10,0805	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b6	-10,1250	-3,1648	0,0422	DBO5_mg/L
b1 - b7	-27,8750	-8,7130	0,0000	DBO5_mg/L
b2 - b3	-13,6250	-4,2588	0,0020	DBO5_mg/L
b2 - b4	19,0000	5,9389	0,0000	DBO5_mg/L
b2 - b5	2,1250	0,6642	0,9939	DBO5_mg/L
b2 - b6	24,2500	7,5799	0,0000	DBO5_mg/L
b2 - b7	6,5000	2,0317	0,4109	DBO5_mg/L

b3 - b4	32,6250	10,1977	0,0000	DBO5_mg/L
b3 - b5	15,7500	4,9230	0,0003	DBO5_mg/L
b3 - b6	37,8750	11,8388	0,0000	DBO5_mg/L
b3 - b7	20,1250	6,2906	0,0000	DBO5_mg/L
b4 - b5	-16,8750	-5,2747	0,0001	DBO5_mg/L
b4 - b6	5,2500	1,6410	0,6573	DBO5_mg/L
b4 - b7	-12,5000	-3,9072	0,0057	DBO5_mg/L
b5 - b6	22,1250	6,9157	0,0000	DBO5_mg/L
b5 - b7	4,3750	1,3675	0,8155	DBO5_mg/L
b6 - b7	-17,7500	-5,5482	0,0000	DBO5_mg/L
a1 - a2	32,5000	5,1279	0,0000	DBO5_mg/L
a1 - a2	25,0000	3,9446	0,0003	DBO5_mg/L
a1 - a2	30,2500	4,7729	0,0000	DBO5_mg/L
a1 - a2	26,1250	4,1221	0,0002	DBO5_mg/L
a1 - a2	29,5000	4,6546	0,0000	DBO5_mg/L
a1 - a2	26,1250	4,1221	0,0002	DBO5_mg/L
a1 - a2	26,5000	4,1812	0,0001	DBO5_mg/L
b1 - b2	-33,2500	-7,3490	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b3	-47,2500	-10,4434	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b4	-14,5000	-3,2048	0,0382	DBO5_mg/L
b1 - b5	-32,2500	-7,1280	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b6	-10,2500	-2,2655	0,2844	DBO5_mg/L
b1 - b7	-27,7500	-6,1334	0,0000	DBO5_mg/L
b2 - b3	-14,0000	-3,0943	0,0501	DBO5_mg/L
b2 - b4	18,7500	4,1442	0,0029	DBO5_mg/L
b2 - b5	1,0000	0,2210	1,0000	DBO5_mg/L
b2 - b6	23,0000	5,0835	0,0002	DBO5_mg/L
b2 - b7	5,5000	1,2156	0,8841	DBO5_mg/L
b3 - b4	32,7500	7,2385	0,0000	DBO5_mg/L
b3 - b5	15,0000	3,3154	0,0288	DBO5_mg/L
b3 - b6	37,0000	8,1779	0,0000	DBO5_mg/L
b3 - b7	19,5000	4,3100	0,0017	DBO5_mg/L
b4 - b5	-17,7500	-3,9232	0,0055	DBO5_mg/L
b4 - b6	4,2500	0,9394	0,9637	DBO5_mg/L
b4 - b7	-13,2500	-2,9286	0,0743	DBO5_mg/L
b5 - b6	22,0000	4,8625	0,0003	DBO5_mg/L
b5 - b7	4,5000	0,9946	0,9524	DBO5_mg/L
b6 - b7	-17,5000	-3,8679	0,0064	DBO5_mg/L
b1 - b2	-35,5000	-7,8463	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b3	-48,7500	-10,7749	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b4	-16,2500	-3,5916	0,0138	DBO5_mg/L
b1 - b5	-32,2500	-7,1280	0,0000	DBO5_mg/L
b1 - b6	-10,0000	-2,2102	0,3120	DBO5_mg/L
b1 - b7	-28,0000	-6,1887	0,0000	DBO5_mg/L
b2 - b3	-13,2500	-2,9286	0,0743	DBO5_mg/L
b2 - b4	19,2500	4,2547	0,0021	DBO5_mg/L

b2 - b5	3,2500	0,7183	0,9907	DBO5_mg/L
b2 - b6	25,5000	5,6361	0,0000	DBO5_mg/L
b2 - b7	7,5000	1,6577	0,6468	DBO5_mg/L
b3 - b4	32,5000	7,1833	0,0000	DBO5_mg/L
b3 - b5	16,5000	3,6469	0,0119	DBO5_mg/L
b3 - b6	38,7500	8,5647	0,0000	DBO5_mg/L
b3 - b7	20,7500	4,5862	0,0007	DBO5_mg/L
b4 - b5	-16,0000	-3,5364	0,0161	DBO5_mg/L
b4 - b6	6,2500	1,3814	0,8084	DBO5_mg/L
b4 - b7	-11,7500	-2,5970	0,1529	DBO5_mg/L
b5 - b6	22,2500	4,9178	0,0003	DBO5_mg/L
b5 - b7	4,2500	0,9394	0,9637	DBO5_mg/L
b6 - b7	-18,0000	-3,9784	0,0046	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b1	-46,0000	-10,9111	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a1 b2	-24,7500	-5,8706	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b2	-26,7500	-6,3450	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a1 b3	-13,7500	-3,2615	0,1014	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b3	-39,5000	-9,3693	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a1 b4	-44,2500	-10,4960	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b4	-8,5000	-2,0162	0,7492	DBO5_mg/L
a1 b1 - a1 b5	-44,7500	-10,6146	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b5	-9,5000	-2,2534	0,5954	DBO5_mg/L
a1 b1 - a1 b6	-41,5000	-9,8437	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b6	-14,2500	-3,3801	0,0769	DBO5_mg/L
a1 b1 - a1 b7	-14,5000	-3,4394	0,0667	DBO5_mg/L
a1 b1 - a2 b7	-36,0000	-8,5391	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a1 b2	21,2500	5,0404	0,0007	DBO5_mg/L
a2 b1 - a2 b2	19,2500	4,5660	0,0030	DBO5_mg/L
a2 b1 - a1 b3	32,2500	7,6496	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a2 b3	6,5000	1,5418	0,9512	DBO5_mg/L
a2 b1 - a1 b4	1,7500	0,4151	1,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a2 b4	37,5000	8,8949	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a1 b5	1,2500	0,2965	1,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a2 b5	36,5000	8,6577	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a1 b6	4,5000	1,0674	0,9980	DBO5_mg/L
a2 b1 - a2 b6	31,7500	7,5310	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a1 b7	31,5000	7,4717	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b1 - a2 b7	10,0000	2,3720	0,5155	DBO5_mg/L
a1 b2 - a2 b2	-2,0000	-0,4744	1,0000	DBO5_mg/L
a1 b2 - a1 b3	11,0000	2,6092	0,3653	DBO5_mg/L
a1 b2 - a2 b3	-14,7500	-3,4987	0,0577	DBO5_mg/L
a1 b2 - a1 b4	-19,5000	-4,6253	0,0025	DBO5_mg/L
a1 b2 - a2 b4	16,2500	3,8545	0,0230	DBO5_mg/L
a1 b2 - a1 b5	-20,0000	-4,7439	0,0017	DBO5_mg/L
a1 b2 - a2 b5	15,2500	3,6173	0,0428	DBO5_mg/L
a1 b2 - a1 b6	-16,7500	-3,9731	0,0166	DBO5_mg/L

a1 b2 - a2 b6	10,5000	2,4906	0,4379	DBO5_mg/L
a1 b2 - a1 b7	10,2500	2,4313	0,4762	DBO5_mg/L
a1 b2 - a2 b7	-11,2500	-2,6685	0,3314	DBO5_mg/L
a2 b2 - a1 b3	13,0000	3,0836	0,1501	DBO5_mg/L
a2 b2 - a2 b3	-12,7500	-3,0243	0,1700	DBO5_mg/L
a2 b2 - a1 b4	-17,5000	-4,1510	0,0101	DBO5_mg/L
a2 b2 - a2 b4	18,2500	4,3289	0,0060	DBO5_mg/L
a2 b2 - a1 b5	-18,0000	-4,2696	0,0072	DBO5_mg/L
a2 b2 - a2 b5	17,2500	4,0917	0,0119	DBO5_mg/L
a2 b2 - a1 b6	-14,7500	-3,4987	0,0577	DBO5_mg/L
a2 b2 - a2 b6	12,5000	2,9650	0,1918	DBO5_mg/L
a2 b2 - a1 b7	12,2500	2,9057	0,2156	DBO5_mg/L
a2 b2 - a2 b7	-9,2500	-2,1941	0,6353	DBO5_mg/L
a1 b3 - a2 b3	-25,7500	-6,1078	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b3 - a1 b4	-30,5000	-7,2345	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b3 - a2 b4	5,2500	1,2453	0,9914	DBO5_mg/L
a1 b3 - a1 b5	-31,0000	-7,3531	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b3 - a2 b5	4,2500	1,0081	0,9989	DBO5_mg/L
a1 b3 - a1 b6	-27,7500	-6,5822	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b3 - a2 b6	-0,5000	-0,1186	1,0000	DBO5_mg/L
a1 b3 - a1 b7	-0,7500	-0,1779	1,0000	DBO5_mg/L
a1 b3 - a2 b7	-22,2500	-5,2776	0,0003	DBO5_mg/L
a2 b3 - a1 b4	-4,7500	-1,1267	0,9966	DBO5_mg/L
a2 b3 - a2 b4	31,0000	7,3531	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b3 - a1 b5	-5,2500	-1,2453	0,9914	DBO5_mg/L
a2 b3 - a2 b5	30,0000	7,1159	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b3 - a1 b6	-2,0000	-0,4744	1,0000	DBO5_mg/L
a2 b3 - a2 b6	25,2500	5,9892	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b3 - a1 b7	25,0000	5,9299	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b3 - a2 b7	3,5000	0,8302	0,9999	DBO5_mg/L
a1 b4 - a2 b4	35,7500	8,4798	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b4 - a1 b5	-0,5000	-0,1186	1,0000	DBO5_mg/L
a1 b4 - a2 b5	34,7500	8,2426	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b4 - a1 b6	2,7500	0,6523	1,0000	DBO5_mg/L
a1 b4 - a2 b6	30,0000	7,1159	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b4 - a1 b7	29,7500	7,0566	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b4 - a2 b7	8,2500	1,9569	0,7839	DBO5_mg/L
a2 b4 - a1 b5	-36,2500	-8,5984	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b4 - a2 b5	-1,0000	-0,2372	1,0000	DBO5_mg/L
a2 b4 - a1 b6	-33,0000	-7,8275	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b4 - a2 b6	-5,7500	-1,3639	0,9812	DBO5_mg/L
a2 b4 - a1 b7	-6,0000	-1,4232	0,9735	DBO5_mg/L
a2 b4 - a2 b7	-27,5000	-6,5229	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b5 - a2 b5	35,2500	8,3612	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b5 - a1 b6	3,2500	0,7709	0,9999	DBO5_mg/L
a1 b5 - a2 b6	30,5000	7,2345	0,0000	DBO5_mg/L

a1 b5 - a1 b7	30,2500	7,1752	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b5 - a2 b7	8,7500	2,0755	0,7126	DBO5_mg/L
a2 b5 - a1 b6	-32,0000	-7,5903	0,0000	DBO5_mg/L
a2 b5 - a2 b6	-4,7500	-1,1267	0,9966	DBO5_mg/L
a2 b5 - a1 b7	-5,0000	-1,1860	0,9945	DBO5_mg/L
a2 b5 - a2 b7	-26,5000	-6,2857	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b6 - a2 b6	27,2500	6,4636	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b6 - a1 b7	27,0000	6,4043	0,0000	DBO5_mg/L
a1 b6 - a2 b7	5,5000	1,3046	0,9871	DBO5_mg/L
a2 b6 - a1 b7	-0,2500	-0,0593	1,0000	DBO5_mg/L
a2 b6 - a2 b7	-21,7500	-5,1590	0,0005	DBO5_mg/L
a1 b7 - a2 b7	-21,5000	-5,0997	0,0006	DBO5_mg/L
a1 - a2	-26,5000	-9,3624	0,0000	REDOX_mV
b1 - b2	12,1250	4,5987	0,0007	REDOX_mV
b1 - b3	-9,2500	-3,5083	0,0173	REDOX_mV
b1 - b4	-28,1250	-10,6672	0,0000	REDOX_mV
b1 - b5	-31,8750	-12,0895	0,0000	REDOX_mV
b1 - b6	-18,3750	-6,9692	0,0000	REDOX_mV
b1 - b7	4,6250	1,7542	0,5850	REDOX_mV
b2 - b3	-21,3750	-8,1070	0,0000	REDOX_mV
b2 - b4	-40,2500	-15,2659	0,0000	REDOX_mV
b2 - b5	-44,0000	-16,6882	0,0000	REDOX_mV
b2 - b6	-30,5000	-11,5679	0,0000	REDOX_mV
b2 - b7	-7,5000	-2,8446	0,0900	REDOX_mV
b3 - b4	-18,8750	-7,1589	0,0000	REDOX_mV
b3 - b5	-22,6250	-8,5811	0,0000	REDOX_mV
b3 - b6	-9,1250	-3,4609	0,0197	REDOX_mV
b3 - b7	13,8750	5,2625	0,0001	REDOX_mV
b4 - b5	-3,7500	-1,4223	0,7868	REDOX_mV
b4 - b6	9,7500	3,6980	0,0103	REDOX_mV
b4 - b7	32,7500	12,4213	0,0000	REDOX_mV
b5 - b6	13,5000	5,1202	0,0001	REDOX_mV
b5 - b7	36,5000	13,8436	0,0000	REDOX_mV
b6 - b7	23,0000	8,7234	0,0000	REDOX_mV
a1 - a2	-23,1250	-3,0880	0,0036	REDOX_mV
a1 - a2	-27,1250	-3,6221	0,0008	REDOX_mV
a1 - a2	-24,8750	-3,3217	0,0019	REDOX_mV
a1 - a2	-28,5000	-3,8057	0,0005	REDOX_mV
a1 - a2	-25,8750	-3,4552	0,0013	REDOX_mV
a1 - a2	-27,7500	-3,7056	0,0006	REDOX_mV
a1 - a2	-28,2500	-3,7724	0,0005	REDOX_mV
b1 - b2	11,6250	3,1177	0,0474	REDOX_mV
b1 - b3	-9,7500	-2,6148	0,1474	REDOX_mV
b1 - b4	-27,7500	-7,4423	0,0000	REDOX_mV
b1 - b5	-31,0000	-8,3139	0,0000	REDOX_mV
b1 - b6	-18,2500	-4,8945	0,0003	REDOX_mV

b1 - b7	4,7500	1,2739	0,8598	REDOX_mV
b2 - b3	-21,3750	-5,7325	0,0000	REDOX_mV
b2 - b4	-39,3750	-10,5600	0,0000	REDOX_mV
b2 - b5	-42,6250	-11,4316	0,0000	REDOX_mV
b2 - b6	-29,8750	-8,0122	0,0000	REDOX_mV
b2 - b7	-6,8750	-1,8438	0,5273	REDOX_mV
b3 - b4	-18,0000	-4,8274	0,0004	REDOX_mV
b3 - b5	-21,2500	-5,6990	0,0000	REDOX_mV
b3 - b6	-8,5000	-2,2796	0,2776	REDOX_mV
b3 - b7	14,5000	3,8887	0,0060	REDOX_mV
b4 - b5	-3,2500	-0,8716	0,9749	REDOX_mV
b4 - b6	9,5000	2,5478	0,1688	REDOX_mV
b4 - b7	32,5000	8,7162	0,0000	REDOX_mV
b5 - b6	12,7500	3,4194	0,0220	REDOX_mV
b5 - b7	35,7500	9,5878	0,0000	REDOX_mV
b6 - b7	23,0000	6,1684	0,0000	REDOX_mV
b1 - b2	12,6250	3,3859	0,0240	REDOX_mV
b1 - b3	-8,7500	-2,3467	0,2469	REDOX_mV
b1 - b4	-28,5000	-7,6434	0,0000	REDOX_mV
b1 - b5	-32,7500	-8,7832	0,0000	REDOX_mV
b1 - b6	-18,5000	-4,9615	0,0002	REDOX_mV
b1 - b7	4,5000	1,2069	0,8876	REDOX_mV
b2 - b3	-21,3750	-5,7325	0,0000	REDOX_mV
b2 - b4	-41,1250	-11,0293	0,0000	REDOX_mV
b2 - b5	-45,3750	-12,1691	0,0000	REDOX_mV
b2 - b6	-31,1250	-8,3474	0,0000	REDOX_mV
b2 - b7	-8,1250	-2,1790	0,3282	REDOX_mV
b3 - b4	-19,7500	-5,2967	0,0001	REDOX_mV
b3 - b5	-24,0000	-6,4365	0,0000	REDOX_mV
b3 - b6	-9,7500	-2,6148	0,1474	REDOX_mV
b3 - b7	13,2500	3,5535	0,0153	REDOX_mV
b4 - b5	-4,2500	-1,1398	0,9119	REDOX_mV
b4 - b6	10,0000	2,6819	0,1283	REDOX_mV
b4 - b7	33,0000	8,8502	0,0000	REDOX_mV
b5 - b6	14,2500	3,8217	0,0073	REDOX_mV
b5 - b7	37,2500	9,9901	0,0000	REDOX_mV
b6 - b7	23,0000	6,1684	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b1	37,5000	10,4777	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a1 b2	6,5000	1,8161	0,8565	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b2	35,0000	9,7792	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a1 b3	18,5000	5,1690	0,0005	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b3	23,2500	6,4962	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a1 b4	30,7500	8,5917	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b4	11,2500	3,1433	0,1320	REDOX_mV
a1 b1 - a1 b5	43,7500	12,2239	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b5	-3,7500	-1,0478	0,9983	REDOX_mV

a1 b1 - a1 b6	40,5000	11,3159	0,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b6	1,7500	0,4890	1,0000	REDOX_mV
a1 b1 - a1 b7	11,2500	3,1433	0,1320	REDOX_mV
a1 b1 - a2 b7	30,7500	8,5917	0,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a1 b2	-31,0000	-8,6615	0,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a2 b2	-2,5000	-0,6985	1,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a1 b3	-19,0000	-5,3087	0,0003	REDOX_mV
a2 b1 - a2 b3	-14,2500	-3,9815	0,0162	REDOX_mV
a2 b1 - a1 b4	-6,7500	-1,8860	0,8223	REDOX_mV
a2 b1 - a2 b4	-26,2500	-7,3344	0,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a1 b5	6,2500	1,7463	0,8867	REDOX_mV
a2 b1 - a2 b5	-41,2500	-11,5254	0,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a1 b6	3,0000	0,8382	0,9998	REDOX_mV
a2 b1 - a2 b6	-35,7500	-9,9887	0,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a1 b7	-26,2500	-7,3344	0,0000	REDOX_mV
a2 b1 - a2 b7	-6,7500	-1,8860	0,8223	REDOX_mV
a1 b2 - a2 b2	28,5000	7,9630	0,0000	REDOX_mV
a1 b2 - a1 b3	12,0000	3,3529	0,0820	REDOX_mV
a1 b2 - a2 b3	16,7500	4,6800	0,0021	REDOX_mV
a1 b2 - a1 b4	24,2500	6,7756	0,0000	REDOX_mV
a1 b2 - a2 b4	4,7500	1,3272	0,9850	REDOX_mV
a1 b2 - a1 b5	37,2500	10,4078	0,0000	REDOX_mV
a1 b2 - a2 b5	-10,2500	-2,8639	0,2336	REDOX_mV
a1 b2 - a1 b6	34,0000	9,4998	0,0000	REDOX_mV
a1 b2 - a2 b6	-4,7500	-1,3272	0,9850	REDOX_mV
a1 b2 - a1 b7	4,7500	1,3272	0,9850	REDOX_mV
a1 b2 - a2 b7	24,2500	6,7756	0,0000	REDOX_mV
a2 b2 - a1 b3	-16,5000	-4,6102	0,0026	REDOX_mV
a2 b2 - a2 b3	-11,7500	-3,2830	0,0965	REDOX_mV
a2 b2 - a1 b4	-4,2500	-1,1875	0,9944	REDOX_mV
a2 b2 - a2 b4	-23,7500	-6,6359	0,0000	REDOX_mV
a2 b2 - a1 b5	8,7500	2,4448	0,4674	REDOX_mV
a2 b2 - a2 b5	-38,7500	-10,8269	0,0000	REDOX_mV
a2 b2 - a1 b6	5,5000	1,5367	0,9523	REDOX_mV
a2 b2 - a2 b6	-33,2500	-9,2902	0,0000	REDOX_mV
a2 b2 - a1 b7	-23,7500	-6,6359	0,0000	REDOX_mV
a2 b2 - a2 b7	-4,2500	-1,1875	0,9944	REDOX_mV
a1 b3 - a2 b3	4,7500	1,3272	0,9850	REDOX_mV
a1 b3 - a1 b4	12,2500	3,4227	0,0695	REDOX_mV
a1 b3 - a2 b4	-7,2500	-2,0257	0,7435	REDOX_mV
a1 b3 - a1 b5	25,2500	7,0550	0,0000	REDOX_mV
a1 b3 - a2 b5	-22,2500	-6,2168	0,0000	REDOX_mV
a1 b3 - a1 b6	22,0000	6,1469	0,0000	REDOX_mV
a1 b3 - a2 b6	-16,7500	-4,6800	0,0021	REDOX_mV
a1 b3 - a1 b7	-7,2500	-2,0257	0,7435	REDOX_mV
a1 b3 - a2 b7	12,2500	3,4227	0,0695	REDOX_mV

a2 b3 - a1 b4	7,5000	2,0955	0,6999	REDOX_mV
a2 b3 - a2 b4	-12,0000	-3,3529	0,0820	REDOX_mV
a2 b3 - a1 b5	20,5000	5,7278	0,0001	REDOX_mV
a2 b3 - a2 b5	-27,0000	-7,5439	0,0000	REDOX_mV
a2 b3 - a1 b6	17,2500	4,8197	0,0014	REDOX_mV
a2 b3 - a2 b6	-21,5000	-6,0072	0,0000	REDOX_mV
a2 b3 - a1 b7	-12,0000	-3,3529	0,0820	REDOX_mV
a2 b3 - a2 b7	7,5000	2,0955	0,6999	REDOX_mV
a1 b4 - a2 b4	-19,5000	-5,4484	0,0002	REDOX_mV
a1 b4 - a1 b5	13,0000	3,6323	0,0412	REDOX_mV
a1 b4 - a2 b5	-34,5000	-9,6395	0,0000	REDOX_mV
a1 b4 - a1 b6	9,7500	2,7242	0,3013	REDOX_mV
a1 b4 - a2 b6	-29,0000	-8,1027	0,0000	REDOX_mV
a1 b4 - a1 b7	-19,5000	-5,4484	0,0002	REDOX_mV
a1 b4 - a2 b7	0,0000	0,0000	1,0000	REDOX_mV
a2 b4 - a1 b5	32,5000	9,0806	0,0000	REDOX_mV
a2 b4 - a2 b5	-15,0000	-4,1911	0,0090	REDOX_mV
a2 b4 - a1 b6	29,2500	8,1726	0,0000	REDOX_mV
a2 b4 - a2 b6	-9,5000	-2,6543	0,3393	REDOX_mV
a2 b4 - a1 b7	0,0000	0,0000	1,0000	REDOX_mV
a2 b4 - a2 b7	19,5000	5,4484	0,0002	REDOX_mV
a1 b5 - a2 b5	-47,5000	-13,2717	0,0000	REDOX_mV
a1 b5 - a1 b6	-3,2500	-0,9081	0,9996	REDOX_mV
a1 b5 - a2 b6	-42,0000	-11,7350	0,0000	REDOX_mV
a1 b5 - a1 b7	-32,5000	-9,0806	0,0000	REDOX_mV
a1 b5 - a2 b7	-13,0000	-3,6323	0,0412	REDOX_mV
a2 b5 - a1 b6	44,2500	12,3637	0,0000	REDOX_mV
a2 b5 - a2 b6	5,5000	1,5367	0,9523	REDOX_mV
a2 b5 - a1 b7	15,0000	4,1911	0,0090	REDOX_mV
a2 b5 - a2 b7	34,5000	9,6395	0,0000	REDOX_mV
a1 b6 - a2 b6	-38,7500	-10,8269	0,0000	REDOX_mV
a1 b6 - a1 b7	-29,2500	-8,1726	0,0000	REDOX_mV
a1 b6 - a2 b7	-9,7500	-2,7242	0,3013	REDOX_mV
a2 b6 - a1 b7	9,5000	2,6543	0,3393	REDOX_mV
a2 b6 - a2 b7	29,0000	8,1027	0,0000	REDOX_mV
a1 b7 - a2 b7	19,5000	5,4484	0,0002	REDOX_mV
a1 - a2	20,4286	6,2788	0,0000	Sales_ppt
b1 - b2	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b3	-33,0000	-7,7724	0,0000	Sales_ppt
b1 - b4	-11,3750	-2,6791	0,1290	Sales_ppt
b1 - b5	-18,6250	-4,3867	0,0014	Sales_ppt
b1 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b2 - b3	-33,0000	-7,7724	0,0000	Sales_ppt
b2 - b4	-11,3750	-2,6791	0,1290	Sales_ppt
b2 - b5	-18,6250	-4,3867	0,0014	Sales_ppt

b2 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b2 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b3 - b4	21,6250	5,0933	0,0002	Sales_ppt
b3 - b5	14,3750	3,3857	0,0240	Sales_ppt
b3 - b6	33,0000	7,7724	0,0000	Sales_ppt
b3 - b7	33,0000	7,7724	0,0000	Sales_ppt
b4 - b5	-7,2500	-1,7076	0,6150	Sales_ppt
b4 - b6	11,3750	2,6791	0,1290	Sales_ppt
b4 - b7	11,3750	2,6791	0,1290	Sales_ppt
b5 - b6	18,6250	4,3867	0,0014	Sales_ppt
b5 - b7	18,6250	4,3867	0,0014	Sales_ppt
b6 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 - a2	24,5000	2,8461	0,0068	Sales_ppt
a1 - a2	24,5000	2,8461	0,0068	Sales_ppt
a1 - a2	11,2500	1,3069	0,1984	Sales_ppt
a1 - a2	21,5000	2,4976	0,0165	Sales_ppt
a1 - a2	12,2500	1,4231	0,1621	Sales_ppt
a1 - a2	24,5000	2,8461	0,0068	Sales_ppt
a1 - a2	24,5000	2,8461	0,0068	Sales_ppt
b1 - b2	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b3	-32,7500	-5,4543	0,0000	Sales_ppt
b1 - b4	-3,2500	-0,5413	0,9980	Sales_ppt
b1 - b5	-12,2500	-2,0401	0,4059	Sales_ppt
b1 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b2 - b3	-32,7500	-5,4543	0,0000	Sales_ppt
b2 - b4	-3,2500	-0,5413	0,9980	Sales_ppt
b2 - b5	-12,2500	-2,0401	0,4059	Sales_ppt
b2 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b2 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b3 - b4	29,5000	4,9130	0,0003	Sales_ppt
b3 - b5	20,5000	3,4141	0,0223	Sales_ppt
b3 - b6	32,7500	5,4543	0,0000	Sales_ppt
b3 - b7	32,7500	5,4543	0,0000	Sales_ppt
b4 - b5	-9,0000	-1,4989	0,7438	Sales_ppt
b4 - b6	3,2500	0,5413	0,9980	Sales_ppt
b4 - b7	3,2500	0,5413	0,9980	Sales_ppt
b5 - b6	12,2500	2,0401	0,4059	Sales_ppt
b5 - b7	12,2500	2,0401	0,4059	Sales_ppt
b6 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b2	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b3	-33,2500	-5,5375	0,0000	Sales_ppt
b1 - b4	-19,5000	-3,2476	0,0343	Sales_ppt
b1 - b5	-25,0000	-4,1636	0,0027	Sales_ppt
b1 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b1 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt

b2 - b3	-33,2500	-5,5375	0,0000	Sales_ppt
b2 - b4	-19,5000	-3,2476	0,0343	Sales_ppt
b2 - b5	-25,0000	-4,1636	0,0027	Sales_ppt
b2 - b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b2 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
b3 - b4	13,7500	2,2900	0,2727	Sales_ppt
b3 - b5	8,2500	1,3740	0,8122	Sales_ppt
b3 - b6	33,2500	5,5375	0,0000	Sales_ppt
b3 - b7	33,2500	5,5375	0,0000	Sales_ppt
b4 - b5	-5,5000	-0,9160	0,9679	Sales_ppt
b4 - b6	19,5000	3,2476	0,0343	Sales_ppt
b4 - b7	19,5000	3,2476	0,0343	Sales_ppt
b5 - b6	25,0000	4,1636	0,0027	Sales_ppt
b5 - b7	25,0000	4,1636	0,0027	Sales_ppt
b6 - b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b1	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 b1 - a1 b2	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b2	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 b1 - a1 b3	-12,5000	-1,3489	0,9829	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b3	0,5000	0,0540	1,0000	Sales_ppt
a1 b1 - a1 b4	-7,7500	-0,8363	0,9998	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b4	-17,0000	-1,8346	0,8478	Sales_ppt
a1 b1 - a1 b5	-13,2500	-1,4299	0,9725	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b5	-10,0000	-1,0791	0,9977	Sales_ppt
a1 b1 - a1 b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b6	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 b1 - a1 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b1 - a2 b7	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b1 - a1 b2	27,0000	2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b1 - a2 b2	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a2 b1 - a1 b3	14,5000	1,5648	0,9456	Sales_ppt
a2 b1 - a2 b3	27,5000	2,9677	0,1907	Sales_ppt
a2 b1 - a1 b4	19,2500	2,0774	0,7114	Sales_ppt
a2 b1 - a2 b4	10,0000	1,0791	0,9977	Sales_ppt
a2 b1 - a1 b5	13,7500	1,4838	0,9633	Sales_ppt
a2 b1 - a2 b5	17,0000	1,8346	0,8478	Sales_ppt
a2 b1 - a1 b6	27,0000	2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b1 - a2 b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a2 b1 - a1 b7	27,0000	2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b1 - a2 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b2 - a2 b2	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 b2 - a1 b3	-12,5000	-1,3489	0,9829	Sales_ppt
a1 b2 - a2 b3	0,5000	0,0540	1,0000	Sales_ppt
a1 b2 - a1 b4	-7,7500	-0,8363	0,9998	Sales_ppt
a1 b2 - a2 b4	-17,0000	-1,8346	0,8478	Sales_ppt
a1 b2 - a1 b5	-13,2500	-1,4299	0,9725	Sales_ppt

a1 b2 - a2 b5	-10,0000	-1,0791	0,9977	Sales_ppt
a1 b2 - a1 b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b2 - a2 b6	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 b2 - a1 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b2 - a2 b7	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b2 - a1 b3	14,5000	1,5648	0,9456	Sales_ppt
a2 b2 - a2 b3	27,5000	2,9677	0,1907	Sales_ppt
a2 b2 - a1 b4	19,2500	2,0774	0,7114	Sales_ppt
a2 b2 - a2 b4	10,0000	1,0791	0,9977	Sales_ppt
a2 b2 - a1 b5	13,7500	1,4838	0,9633	Sales_ppt
a2 b2 - a2 b5	17,0000	1,8346	0,8478	Sales_ppt
a2 b2 - a1 b6	27,0000	2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b2 - a2 b6	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a2 b2 - a1 b7	27,0000	2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b2 - a2 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b3 - a2 b3	13,0000	1,4029	0,9763	Sales_ppt
a1 b3 - a1 b4	4,7500	0,5126	1,0000	Sales_ppt
a1 b3 - a2 b4	-4,5000	-0,4856	1,0000	Sales_ppt
a1 b3 - a1 b5	-0,7500	-0,0809	1,0000	Sales_ppt
a1 b3 - a2 b5	2,5000	0,2698	1,0000	Sales_ppt
a1 b3 - a1 b6	12,5000	1,3489	0,9829	Sales_ppt
a1 b3 - a2 b6	-14,5000	-1,5648	0,9456	Sales_ppt
a1 b3 - a1 b7	12,5000	1,3489	0,9829	Sales_ppt
a1 b3 - a2 b7	-14,5000	-1,5648	0,9456	Sales_ppt
a2 b3 - a1 b4	-8,2500	-0,8903	0,9997	Sales_ppt
a2 b3 - a2 b4	-17,5000	-1,8885	0,8210	Sales_ppt
a2 b3 - a1 b5	-13,7500	-1,4838	0,9633	Sales_ppt
a2 b3 - a2 b5	-10,5000	-1,1331	0,9964	Sales_ppt
a2 b3 - a1 b6	-0,5000	-0,0540	1,0000	Sales_ppt
a2 b3 - a2 b6	-27,5000	-2,9677	0,1907	Sales_ppt
a2 b3 - a1 b7	-0,5000	-0,0540	1,0000	Sales_ppt
a2 b3 - a2 b7	-27,5000	-2,9677	0,1907	Sales_ppt
a1 b4 - a2 b4	-9,2500	-0,9982	0,9990	Sales_ppt
a1 b4 - a1 b5	-5,5000	-0,5935	1,0000	Sales_ppt
a1 b4 - a2 b5	-2,2500	-0,2428	1,0000	Sales_ppt
a1 b4 - a1 b6	7,7500	0,8363	0,9998	Sales_ppt
a1 b4 - a2 b6	-19,2500	-2,0774	0,7114	Sales_ppt
a1 b4 - a1 b7	7,7500	0,8363	0,9998	Sales_ppt
a1 b4 - a2 b7	-19,2500	-2,0774	0,7114	Sales_ppt
a2 b4 - a1 b5	3,7500	0,4047	1,0000	Sales_ppt
a2 b4 - a2 b5	7,0000	0,7554	0,9999	Sales_ppt
a2 b4 - a1 b6	17,0000	1,8346	0,8478	Sales_ppt
a2 b4 - a2 b6	-10,0000	-1,0791	0,9977	Sales_ppt
a2 b4 - a1 b7	17,0000	1,8346	0,8478	Sales_ppt
a2 b4 - a2 b7	-10,0000	-1,0791	0,9977	Sales_ppt
a1 b5 - a2 b5	3,2500	0,3507	1,0000	Sales_ppt

a1 b5 - a1 b6	13,2500	1,4299	0,9725	Sales_ppt
a1 b5 - a2 b6	-13,7500	-1,4838	0,9633	Sales_ppt
a1 b5 - a1 b7	13,2500	1,4299	0,9725	Sales_ppt
a1 b5 - a2 b7	-13,7500	-1,4838	0,9633	Sales_ppt
a2 b5 - a1 b6	10,0000	1,0791	0,9977	Sales_ppt
a2 b5 - a2 b6	-17,0000	-1,8346	0,8478	Sales_ppt
a2 b5 - a1 b7	10,0000	1,0791	0,9977	Sales_ppt
a2 b5 - a2 b7	-17,0000	-1,8346	0,8478	Sales_ppt
a1 b6 - a2 b6	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 b6 - a1 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b6 - a2 b7	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b6 - a1 b7	27,0000	2,9137	0,2122	Sales_ppt
a2 b6 - a2 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Sales_ppt
a1 b7 - a2 b7	-27,0000	-2,9137	0,2122	Sales_ppt
a1 - a2	-11,5833	-2,9112	0,0061	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b3	-33,6250	-9,2581	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b4	-7,0000	-1,9273	0,4028	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b5	-16,0000	-4,4054	0,0012	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b6	-9,5000	-2,6157	0,1195	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b7	-30,6250	-8,4321	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b4	26,6250	7,3308	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b5	17,6250	4,8528	0,0003	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b6	24,1250	6,6425	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b7	3,0000	0,8260	0,9607	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b5	-9,0000	-2,4780	0,1577	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b6	-2,5000	-0,6883	0,9821	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b7	-23,6250	-6,5048	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b5 - b6	6,5000	1,7897	0,4848	Eficiencia_turbiedad_%
b5 - b7	-14,6250	-4,0268	0,0035	Eficiencia_turbiedad_%
b6 - b7	-21,1250	-5,8165	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 - a2	-9,7500	-1,0004	0,3238	Eficiencia_turbiedad_%
a1 - a2	-16,7500	-1,7186	0,0943	Eficiencia_turbiedad_%
a1 - a2	-9,5000	-0,9748	0,3362	Eficiencia_turbiedad_%
a1 - a2	-5,0000	-0,5130	0,6111	Eficiencia_turbiedad_%
a1 - a2	-9,7500	-1,0004	0,3238	Eficiencia_turbiedad_%
a1 - a2	-18,7500	-1,9239	0,0623	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b3	-32,2500	-6,2788	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b4	-6,5000	-1,2655	0,8013	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b5	-12,0000	-2,3363	0,2064	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b6	-9,0000	-1,7522	0,5080	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b7	-29,0000	-5,6460	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b4	25,7500	5,0133	0,0002	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b5	20,2500	3,9425	0,0045	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b6	23,2500	4,5266	0,0008	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b7	3,2500	0,6327	0,9877	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b5	-5,5000	-1,0708	0,8897	Eficiencia_turbiedad_%

b4 - b6	-2,5000	-0,4867	0,9964	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b7	-22,5000	-4,3806	0,0013	Eficiencia_turbiedad_%
b5 - b6	3,0000	0,5841	0,9915	Eficiencia_turbiedad_%
b5 - b7	-17,0000	-3,3098	0,0240	Eficiencia_turbiedad_%
b6 - b7	-20,0000	-3,8938	0,0051	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b3	-35,0000	-6,8142	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b4	-7,5000	-1,4602	0,6908	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b5	-20,0000	-3,8938	0,0051	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b6	-10,0000	-1,9469	0,3917	Eficiencia_turbiedad_%
b2 - b7	-32,2500	-6,2788	0,0000	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b4	27,5000	5,3540	0,0001	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b5	15,0000	2,9204	0,0614	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b6	25,0000	4,8673	0,0003	Eficiencia_turbiedad_%
b3 - b7	2,7500	0,5354	0,9943	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b5	-12,5000	-2,4336	0,1719	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b6	-2,5000	-0,4867	0,9964	Eficiencia_turbiedad_%
b4 - b7	-24,7500	-4,8186	0,0004	Eficiencia_turbiedad_%
b5 - b6	10,0000	1,9469	0,3917	Eficiencia_turbiedad_%
b5 - b7	-12,2500	-2,3850	0,1886	Eficiencia_turbiedad_%
b6 - b7	-22,2500	-4,3319	0,0015	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a2 b2	28,7500	3,3377	0,0717	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a1 b3	7,7500	0,8997	0,9987	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a2 b3	21,7500	2,5251	0,3575	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a1 b4	18,7500	2,1768	0,5753	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a2 b4	2,0000	0,2322	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a1 b5	15,5000	1,7995	0,8077	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a2 b5	2,0000	0,2322	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a1 b6	15,7500	1,8285	0,7921	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a2 b6	5,2500	0,6095	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a1 b7	7,7500	0,8997	0,9987	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b2 - a2 b7	21,7500	2,5251	0,3575	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a1 b3	-21,0000	-2,4380	0,4082	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a2 b3	-7,0000	-0,8127	0,9995	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a1 b4	-10,0000	-1,1610	0,9889	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a2 b4	-26,7500	-3,1055	0,1204	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a1 b5	-13,2500	-1,5383	0,9193	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a2 b5	-26,7500	-3,1055	0,1204	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a1 b6	-13,0000	-1,5092	0,9283	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a2 b6	-23,5000	-2,7282	0,2537	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a1 b7	-21,0000	-2,4380	0,4082	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b2 - a2 b7	-7,0000	-0,8127	0,9995	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a2 b3	14,0000	1,6253	0,8882	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a1 b4	11,0000	1,2770	0,9770	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a2 b4	-5,7500	-0,6675	0,9999	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a1 b5	7,7500	0,8997	0,9987	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a2 b5	-5,7500	-0,6675	0,9999	Eficiencia_turbiedad_%

a1 b3 - a1 b6	8,0000	0,9288	0,9983	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a2 b6	-2,5000	-0,2902	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a1 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b3 - a2 b7	14,0000	1,6253	0,8882	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a1 b4	-3,0000	-0,3483	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a2 b4	-19,7500	-2,2929	0,4992	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a1 b5	-6,2500	-0,7256	0,9998	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a2 b5	-19,7500	-2,2929	0,4992	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a1 b6	-6,0000	-0,6966	0,9999	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a2 b6	-16,5000	-1,9156	0,7423	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a1 b7	-14,0000	-1,6253	0,8882	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b3 - a2 b7	0,0000	0,0000	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a2 b4	-16,7500	-1,9446	0,7248	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a1 b5	-3,2500	-0,3773	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a2 b5	-16,7500	-1,9446	0,7248	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a1 b6	-3,0000	-0,3483	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a2 b6	-13,5000	-1,5673	0,9097	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a1 b7	-11,0000	-1,2770	0,9770	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b4 - a2 b7	3,0000	0,3483	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b4 - a1 b5	13,5000	1,5673	0,9097	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b4 - a2 b5	0,0000	0,0000	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b4 - a1 b6	13,7500	1,5963	0,8993	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b4 - a2 b6	3,2500	0,3773	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b4 - a1 b7	5,7500	0,6675	0,9999	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b4 - a2 b7	19,7500	2,2929	0,4992	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b5 - a2 b5	-13,5000	-1,5673	0,9097	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b5 - a1 b6	0,2500	0,0290	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b5 - a2 b6	-10,2500	-1,1900	0,9865	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b5 - a1 b7	-7,7500	-0,8997	0,9987	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b5 - a2 b7	6,2500	0,7256	0,9998	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b5 - a1 b6	13,7500	1,5963	0,8993	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b5 - a2 b6	3,2500	0,3773	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b5 - a1 b7	5,7500	0,6675	0,9999	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b5 - a2 b7	19,7500	2,2929	0,4992	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b6 - a2 b6	-10,5000	-1,2190	0,9838	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b6 - a1 b7	-8,0000	-0,9288	0,9983	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b6 - a2 b7	6,0000	0,6966	0,9999	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b6 - a1 b7	2,5000	0,2902	1,0000	Eficiencia_turbiedad_%
a2 b6 - a2 b7	16,5000	1,9156	0,7423	Eficiencia_turbiedad_%
a1 b7 - a2 b7	14,0000	1,6253	0,8882	Eficiencia_turbiedad_%

Anexo 3. Panel fotográfico



Figura 31. Muestra de aguas mieles de café



Figura 32. Muestra de agua turbia del Río Huallaga



Figura 33. Filtro de lecho fijo



Figura 34. Acondicionamiento del filtro de lecho fijo



Figura 35. Proceso de filtración de aguas mieles



Figura 36. Preparación del agitador magnético para medición de parámetros fisicoquímicos



Figura 37. Medición de parámetros fisicoquímicos del filtrado



Figura 38. Medición de turbiedad de las muestras de aguas filtradas

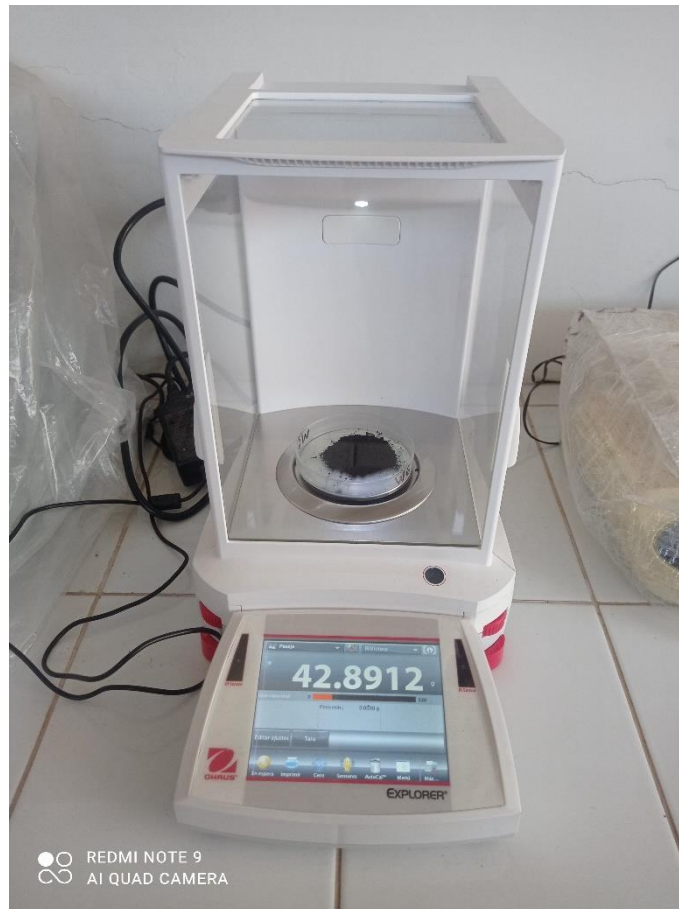


Figura 39. Pesado en balanza analítica de muestras de carbón activado



Figura 40. Secado en estufa de muestras de carbón activado