

Monitoreo de aguas residuales

Breve descripción:

La actividad más importante en aguas residuales es realizar procesos de monitoreo de los procedimientos técnicos establecidos para el tratamiento de dicha agua. En este componente, se abordan desde los protocolos de laboratorio requeridos para dicho monitoreo hasta los posibles análisis que deben ser desarrollados de acuerdo con la normatividad.

Tabla de contenido

Introducción	1
1. Protocolos de laboratorio	2
1.1. Normas generales de usos de laboratorios	2
1.2. Materiales para la caracterización de agua residual.....	5
1.3. Equipos de laboratorio.....	9
2. Análisis de muestras	23
2.1. Programas de monitoreo de agua residual	23
2.2. Normas de calidad	31
2.3. Ensayos, protocolos y procedimientos	32
Síntesis	42
Material complementario.....	43
Glosario	47
Referencias bibliográficas	49
Créditos	50

Introducción

Con este componente Monitoreo de aguas residuales, se busca identificar y controlar los cambios en el color, sabor y olor del acuífero, así como determinar las posibles causas de la contaminación, para realizar el proceso de monitoreo que prevenga una posible contaminación hídrica y sus consecuencias negativas para la comunidad. Además, se busca garantizar la calidad del agua y proteger el recurso hídrico, no solo para la comunidad local, sino también para aquellos que hacen uso aguas arriba y aguas abajo.

Lo anterior, implica el estudio de las variables necesarias para llevar a cabo el monitoreo de aguas residuales o vertimientos incluyendo la implementación de protocolos y normas aplicables, el uso de equipos y materiales adecuados y la realización de ensayos relevantes. El proceso de monitoreo debe ser constante y preventivo, para identificar posibles fuentes de contaminación y tomar las medidas necesarias antes de que los impactos en la calidad del agua se materialicen.

1. Protocolos de laboratorio

Monitorear las aguas residuales es un proceso que involucra diversos aspectos y fases, entre las cuales se destacan los protocolos de laboratorio. Estos procedimientos deben ser implementados con el fin de garantizar la ejecución de todas las acciones necesarias para obtener resultados en cuanto a las características de las aguas residuales, y que permitan la toma de decisiones.

A continuación, se hace una descripción de tres elementos importantes en el seguimiento y ejecución de los protocolos de laboratorio:

1.1. Normas generales de usos de laboratorios

Existen unas normas generales que deben ser tenidas en cuenta al momento de realizar cualquier ensayo o procedimiento dentro de un laboratorio, revíselas a continuación:

Norma 1. Inducción a la seguridad en los laboratorios

Reconocer y comprender las normas de seguridad en un laboratorio es crucial debido a los riesgos asociados con sustancias químicas y equipos. Aunque las normas varían según el laboratorio, es fundamental conocer las instalaciones y la ubicación de dispositivos de seguridad como salidas de emergencia, rutas de evacuación, extintores, botiquines de primeros auxilios, duchas de emergencia y fuentes de lavaojos. Estos conceptos son mínimos para actuar adecuadamente y responder a situaciones de emergencia en cualquier espacio de trabajo.

Norma 2. Uso de elementos de protección personal

Es obligatorio que todas las personas que trabajen en el laboratorio usen elementos de protección personal. Estos incluyen bata blanca, gafas de seguridad, guantes de nitrilo o neopreno, tapabocas y cofia. La bata debe ser de algodón, dril o gabardina, de color blanco, con mangas largas y cierre de botones. El uso de estos elementos garantiza la seguridad durante las actividades en el laboratorio y la toma de muestras.

Norma 3. Normas de protección personal

- a. Protección de los ojos:** requiere el uso constante de gafas de seguridad, incluso cuando no se realicen prácticas. Evitar el uso de lentes de contacto.
- b. Protección de las manos:** obligatorio usar guantes adecuados y limpios al manipular sustancias corrosivas, irritantes o tóxicas.
- c. Protección de las vías respiratorias:** cuando se manipulen compuestos volátiles, tóxicos o irritantes, se deben utilizar equipos de protección respiratoria homologados.
- d. Protección del cuerpo:** se recomienda recoger el cabello largo y usar cofia. Ingresar al laboratorio con ropa larga, zapatos cerrados y bajos, y medias adecuadas. No se deben llevar joyas, prendas sueltas o elementos que representen riesgos durante la práctica.

Norma 4. Solicitud de materiales y reactivos

La preparación de los ensayos de laboratorio es una fase importante y debe hacerse de manera previa a la solicitud de materiales y reactivos. Se recomienda que el usuario verifique el procedimiento interno del laboratorio que utilizará y siga los pasos correspondientes para asegurarse de tener todo preparado antes de iniciar los ensayos o prácticas.

Norma 5. Solicitud de equipos e instrumentos de análisis

Al igual que los materiales y reactivos, la solicitud de equipos e instrumentos de análisis debe hacerse con anterioridad, con el fin de realizar los procedimientos de calibración y verificación de funcionamiento de los mismos.

Norma 6. Manejo y disposición de los residuos químicos generados

Se deben recolectar y clasificar los residuos químicos generados en el laboratorio, utilizando vasos de precipitados identificados. Al finalizar, se depositan en contenedores adecuados. Los residuos deben ser transportados en neveras cerradas y considerando su compatibilidad. Los residuos sólidos deben ir en contenedores con bolsa roja. En caso de material cortopunzante roto, se debe informar al técnico de laboratorio. El manejo de los residuos químicos varía, por lo que se recomienda consultar el procedimiento específico del laboratorio.

Norma 7. Manejo de muestras

Cuando se requiera dejar muestras en la estufa, mufla o desecador, estas deben estar debidamente identificadas. Asimismo, se recomienda informar el propósito de dejar las muestras en el laboratorio y la duración estimada de su permanencia.

1.2. Materiales para la caracterización de agua residual

Para realizar la medición de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales, es necesario contar con una serie de materiales que permitan la operación dentro del laboratorio. Existen diferentes clasificaciones, sin embargo, la más utilizada es de acuerdo con el material de fabricación.

Cuando se tienen materiales de laboratorio, se busca que estos sean inertes, para que no afecten las mediciones obtenidas a partir de los métodos estandarizados, al tiempo que sean resistentes, para que tengan una vida útil prolongada. A continuación, se estudian algunos de los materiales más utilizados.

Materiales de vidrio

Son muy utilizados debido a que tienen una buena resistencia a la temperatura; adicionalmente, se pueden obtener formas, a partir de la fundición, práctica usada en el desarrollo de los laboratorios; pueden tener desprendimientos laterales, se pueden unir piezas de vidrio mediante la fundición, su transparencia permite observar el interior, entre otras ventajas. Algunos de los más comunes son:

- A. Vaso de precipitado.** Es un depósito cilíndrico que se usa principalmente para calentar, disolver y preparar sustancias. En este material también se pueden trasvasar y medir volúmenes de forma básica, ya que normalmente cuenta con líneas que indican los mililitros que contiene.
- B. Tubo de ensayo.** Es un tubo cilíndrico pequeño, que tiene un extremo abierto y el otro cerrado, la parte cerrada se encuentra redondeada; se le conoce como tubo de ensayo debido a que en él

se hacen las reacciones químicas a pequeña escala para determinar comportamientos; se puede utilizar tanto para líquidos como para sólidos.

- C. Matraz aforado.** Es un material diseñado para medir volúmenes con gran precisión, su base es plana y tiene un cuello estrecho; cuando los líquidos ingresan al matraz y alcanzan el nivel del cuello, este estrechamiento permite tomar con mejor precisión la medida del volumen.
- D. Vidrio de reloj.** Es un vidrio en forma de reloj, con curvatura cóncava, que se utiliza normalmente para pesar sustancias sólidas; también, en algunos casos, es utilizado para tapar muestras de forma no hermética, simplemente para evitar que le caiga polvo o alguna otra impureza.
- E. Probeta.** Es un material cilíndrico, con medidas a lo largo de su cuerpo que permite observar el volumen del líquido contenido en él; en la parte inferior, es cerrado, con base plana, y en la parte superior, es abierto, con un pico que permite la transferencia fácil y rápida de los líquidos que allí se encuentran.

Materiales de plástico

El plástico es un material ideal para la fabricación de material de laboratorio por su alta capacidad de resistencia a la corrosividad, en él se pueden hacer soluciones, tanto ácidas como básicas, sin que se altere su forma ni su calidad. Adicionalmente, el plástico tiene un peso ligero, lo que permite que sea transportado con mayor facilidad y

una mejor resistencia frente a los impactos comparado con el vidrio, lo que minimiza el gasto por material roto dentro del laboratorio.

En general, la mayoría de los materiales que se fabrican en vidrio también se obtienen en plástico, por las propiedades antes mencionadas. Otros que se pueden encontrar en el laboratorio se estudiarán a continuación.

I. Pipeta

Es un tubo cilíndrico graduado con punta cónica para medir volúmenes precisos. Se utiliza generando vacío mediante succión para que los líquidos entren en ella y sean medidos con precisión.

II. Jeringas

Son tubos cilíndricos con un émbolo que permite la generación de vacío para la succión de líquido y la posterior eyección.

III. Jarras

Son recipientes que permiten contener mayores volúmenes de líquidos, cuentan con base plana y un pico en la parte superior que permite el trasvase con mayor facilidad.

Materiales de porcelana

La porcelana es un tipo de material que encuentra una amplia aplicación en las prácticas de determinación de parámetros fisicoquímicos que requieren resistencia a altas temperaturas (superiores a 500 °C). Su excepcional resistencia térmica la convierte en una opción preferida cuando se necesitan soportar condiciones extremas. A continuación, se examinarán algunos de los materiales de porcelana más utilizados en este contexto.

Crisol: es un contenedor cóncavo, normalmente utilizado para la determinación de análisis gravimétricos, muy resistente a altas temperaturas; en este material, se pueden fundir, mezclar o calcinar diferentes compuestos.

Morteros: son contenedores cóncavos con base plana, diseñados para moler y triturar, cuentan con gran resistencia mecánica, por lo que se pueden pulverizar sólidos sobre él sin la preocupación de una ruptura.

Materiales de metal

En el entorno del laboratorio, el metal se destaca como un material ampliamente utilizado debido a su resistencia y durabilidad, es un material utilizado en las herramientas que se encuentran en el laboratorio. Algunas de las piezas principales que se pueden encontrar se estudiarán a continuación.

Pinza

Herramienta de dos piezas metálicas, unidas entre sí por un tornillo que permite la graduación de la distancia entre ellas, se utiliza para sujetar diferentes materiales de acuerdo con las necesidades de la práctica.



Soporte universal

Es una herramienta que permite sujetar diferentes montajes de materiales y accesorios para la realización de ensayos fisicoquímicos, está compuesto por una base de hierro pesada y de forma rectangular, que da soporte, y una varilla vertical que sirve como columna de los montajes; de esta varilla, se sujetan pinzas, nueces y otros accesorios.




1.3. Equipos de laboratorio

La determinación de los parámetros fisicoquímicos establecidos en la Resolución 0631 de 2015, exige el uso de equipos de laboratorio especializados en técnicas de medición. A continuación, se estudiará algunos de los más utilizados.

Multiparámetros

Los medidores portátiles, o multiparámetros, son equipos que se usan con sondas digitales para medir diversos parámetros en agua. El medidor reconoce el tipo de sonda que se le conecta. Los datos se pueden guardar y transferir a una impresora, PC o dispositivo de almacenamiento USB. Entre los parámetros más comunes que suelen medir a través de las sondas de multiparámetros, se encuentran el pH, la conductividad, la temperatura y el oxígeno disuelto.



Los medidores del multiparámetro tienen dos (2) conectores de sonda, con las siguientes características:

- ✓ Reconocimiento automático de sonda, incluyendo número de serie.
- ✓ Datos de calibración almacenados en la sonda.
- ✓ Métodos para el cumplimiento normativo y las buenas prácticas de laboratorio.
- ✓ Opciones de seguridad.
- ✓ Registro de datos en tiempo real mediante conexión USB.
- ✓ Almacenamiento de datos internos de 500 resultados.
- ✓ Conectividad USB con PC, impresora, dispositivo de almacenamiento interno, teclado.
- ✓ ID de muestra e ID de operador para la trazabilidad de los datos.
- ✓ Alimentación con pilas alcalinas AA o de hidruro metálico de níquel recargables o adaptador de CA.
- ✓ Apagado automático ajustable para una mayor duración de las pilas.
- ✓ IP67 (sumergible a 1 metro, durante 30 minutos, excluyendo la carcasa de las pilas. Compartimento de las pilas sumergible a 0,6 metros durante 15 segundos).

Los medidores del multiparámetro tienen dos (2) conectores de sonda, con las siguientes características:

- a. Reconocimiento automático de sonda, incluyendo número de serie.

- b. Datos de calibración almacenados en la sonda.
- c. Métodos para el cumplimiento normativo y las buenas prácticas de laboratorio.
- d. Opciones de seguridad.
- e. Registro de datos en tiempo real mediante conexión USB.
- f. Almacenamiento de datos internos de 500 resultados.
- g. Conectividad USB con PC, impresora, dispositivo de almacenamiento interno, teclado.
- h. ID de muestra e ID de operador para la trazabilidad de los datos.
- i. Alimentación con pilas alcalinas AA o de hidruro metálico de níquel recargables o adaptador de CA.
- j. Apagado automático ajustable para una mayor duración de las pilas.
- k. IP67 (sumergible a 1 metro, durante 30 minutos, excluyendo la carcasa de las pilas. Compartimento de las pilas sumergible a 0,6 metros durante 15 segundos).

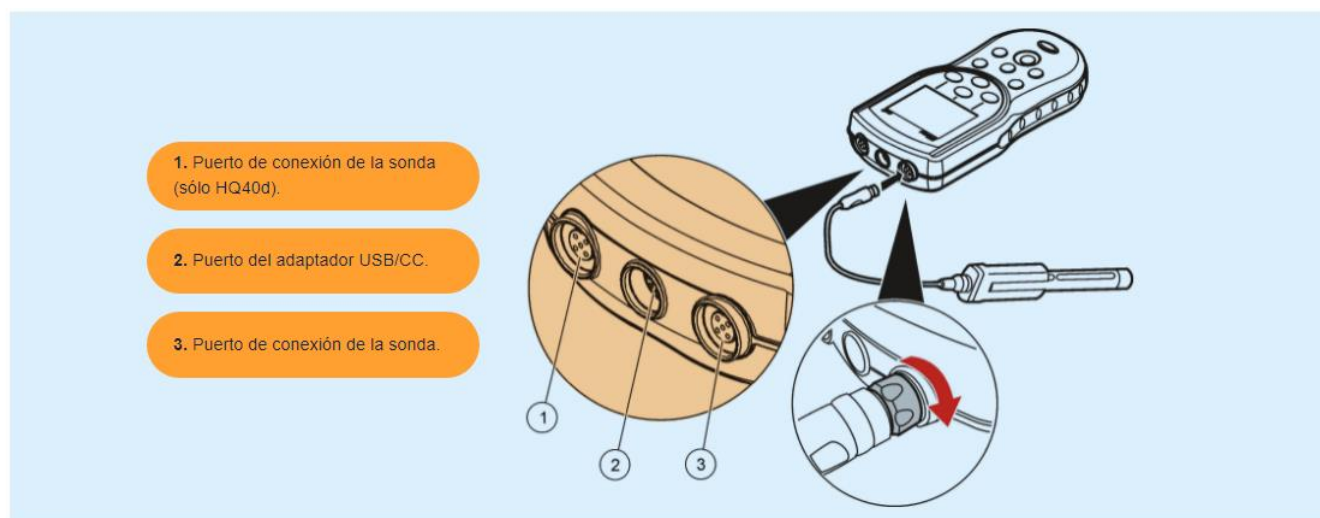
Para conectar las sondas al multiparámetro, de acuerdo con la medición que se quiere realizar, se debe asegurar que la pantalla muestre la fecha y hora actuales. Se debe verificar que el multiparámetro esté encendido y funcionando correctamente. En caso de que esté apagado, es recomendable encenderlo y esperar a que se inicialice.

Se debe observar la pantalla del multiparámetro para asegurarse de que muestre la fecha y hora correctas. En caso de que no sea así, se recomienda consultar el manual del dispositivo para ajustar la configuración de fecha y hora.

Nota: el sello de tiempo de las sondas se fija cuando se conecta por primera vez al medidor. Este sello de tiempo hace posible registrar la historia de la sonda y el tiempo en que se hacen mediciones.

La siguiente figura destaca tres elementos clave: el puerto de conexión de la sonda (número 1), el puerto del adaptador USB/CC (número 2) y el puerto de conexión de la sonda (número 3). Estos puertos permiten una conexión rápida y sencilla de las sondas correspondientes al multiparámetro:

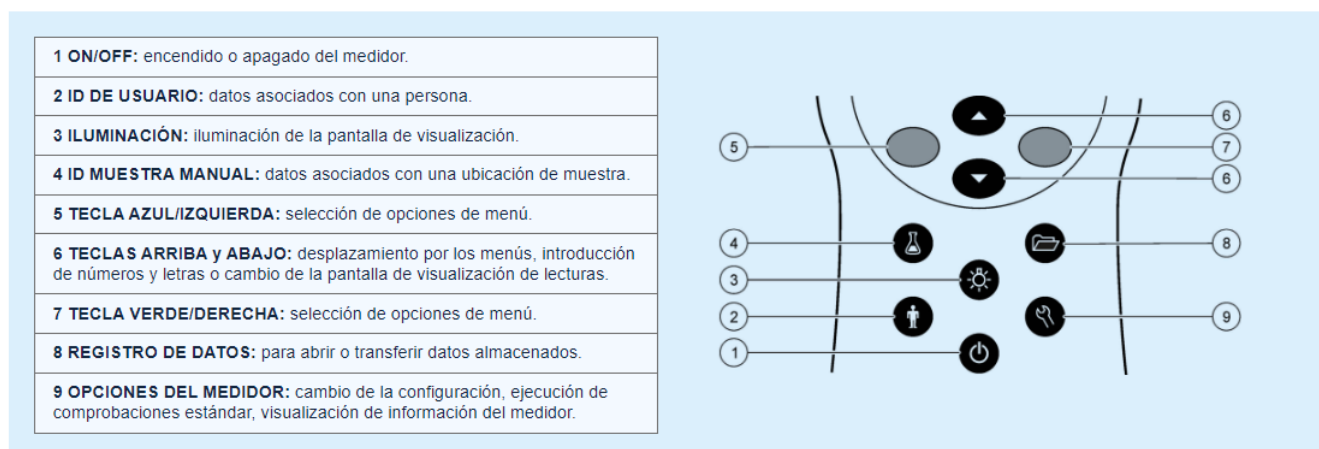
Figura 1. Conexión de sondas en multiparámetro



Nota. Tomado de Hach (2017, p. 12).

El teclado del multiparámetro es una herramienta fundamental que permite una interacción fácil y eficiente con el dispositivo. A continuación, se presenta una breve descripción de las diferentes teclas y funciones que ofrece:

Figura 2. Teclas del multiparámetro.



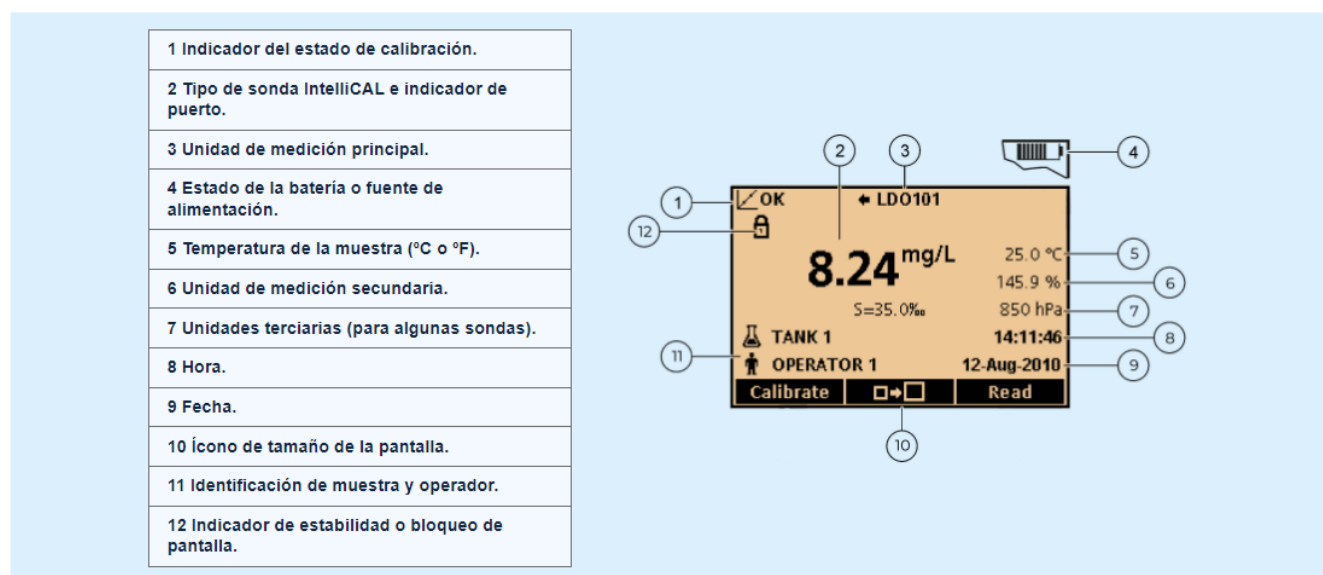
Nota. Tomado de Hach (2017, p. 9).

Las teclas multiparámetro son:

1. ON/OFF: encendido o apagado del medidor.
2. ID DE USUARIO: datos asociados con una persona.
3. ILUMINACIÓN: iluminación de la pantalla de visualización.
4. ID MUESTRA MANUAL: datos asociados con una ubicación de muestra.
5. TECLA AZUL/IZQUIERDA: selección de opciones de menú.
6. TECLAS ARRIBA y ABAJO: desplazamiento por los menús, introducción de números y letras o cambio de la pantalla de visualización de lecturas.
7. TECLA VERDE/DERECHA: selección de opciones de menú.
8. REGISTRO DE DATOS: para abrir o transferir datos almacenados.
9. OPCIONES DEL MEDIDOR: cambio de la configuración, ejecución de comprobaciones estándar, visualización de información del medidor.

Una vez las sondas están correctamente conectadas, la pantalla del medidor muestra la última concentración medida, unidades, temperatura, el estado de calibración, ID del operador, ID de la muestra, la fecha y la hora, como se muestra en la figura 3:

Figura 3. Pantalla multiparámetros



Nota. Tomada de Hach (2017, p.10).

Pantalla multiparámetros contiene:

- Indicador del estado de calibración.
- Tipo de sonda IntelliCAL e indicador de puerto.
- Unidad de medición principal.
- Estado de la batería o fuente de alimentación.
- Temperatura de la muestra (°C o °F).
- Unidad de medición secundaria.
- Unidades terciarias (para algunas sondas).
- Hora.

- i. Fecha.
- j. Ícono de tamaño de la pantalla.
- k. Identificación de muestra y operador.
- l. Indicador de estabilidad o bloqueo de pantalla.

Cada sonda requiere de una calibración específica; por ejemplo, el pH se hace mediante una curva de calibración con soluciones buffer de referencia a 4, 7 y 10; la sonda de oxígeno disuelto se calibra con una muestra de agua agitada; y la sonda de conductividad se hace con una solución estándar de cloruro de potasio.

Test de jarras

Este equipo sirve para la determinación de los agentes floculantes para lograr la sedimentación, en el diseño de mezclas para el tratamiento de agua potable, evaluación de la eficiencia, un absorbente sobre agentes tóxicos, para optimizar la adición de coagulantes y polielectrolitos para el tratamiento de aguas residuales y potables, es ideal para dosificación de mezclas y excelente para pruebas de campo por su poco peso.

El test de jarras es un equipo que ofrece una serie de características y funcionalidades destacadas. A continuación, se detallan sus principales aspectos:

- a. Control de velocidad tipo P.I.D. lazo cerrado.
- b. Transmisión de movimiento por piñón, igual velocidad en todas las aspas.
- c. Programación manual y automática de muy fácil operación, de baja a alta velocidad y viceversa.
- d. Visualización de velocidad en LCD, control digital por teclado.

- e. Nivel de presión +- 1 r.p.m.
- f. Ciclo de trabajo programable (0-99 minutos, 59 seg) y alarma de terminación ciclo.
- g. Lámpara fluorescente de 60 watts.
- h. Altura libre para vaso de prueba 22 cm.
- i. Aspas de acero inoxidable, altura fácil de graduar.
- j. Estructura construida en poliestireno de 1/4, lo que le permite tener alta resistencia mecánica y térmica.
- k. Línea de voltaje 120 AC, fusible de 1,5 amp.
- l. Excelente para pruebas de campo por su poco peso de tan solo 9 kg.
- m. No contiene partes que se puedan oxidar, ideal para ambientes cálidos y húmedos.

Para operar el test de jarras, es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

La máquina funciona con corriente eléctrica. La operación incorrecta podría provocar una descarga eléctrica, electrocución o una explosión.

El equipo está diseñado para funcionar con fuentes de alimentación de 115 V / 60 Hz. La conexión de otras fuentes de alimentación puede dañar la máquina. Es importante asegurarse de que la fuente de alimentación disponible coincida con los requisitos del dispositivo. Los motores no están protegidos contra explosiones.

Siempre es necesario revisar el cableado eléctrico, las conexiones sueltas y verificar que el cableado no esté pellizcado o deshilachado.

Al utilizar la máquina, es recomendable un enchufe de tres clavijas, que garantice la correcta conexión a tierra. Además, es importante asegurarse de que el cable se encuentre donde nadie pueda tropezar o enredarse.

Siempre es necesario desconectar y bloquear la fuente de alimentación antes de realizar el mantenimiento y las reparaciones.

Al operar o reparar esta máquina, es importante utilizar gafas de seguridad como medida de protección.

Estas medidas de seguridad deben seguirse rigurosamente para garantizar la integridad del operador y prevenir posibles accidentes durante la operación, mantenimiento o reparación de la máquina.

Turbidímetro

Es un equipo que se caracteriza por su capacidad de realizar mediciones turbidimétricas utilizando la relación entre una señal primaria nefelométrica de luz dispersa (90°) y la señal de luz dispersa transmitida; para llevar a cabo la transmisión de la luz, utiliza una lámpara de filamento de tungsteno que permite obtener una longitud de onda de 860 nm.

El rango de medición normal es entre 0 y 1000 NTU; sin embargo, cuando hay aguas residuales que exceden los 1000 NTU, se pueden hacer las diluciones que sean necesarias para que el valor final esté dentro del rango de medición del equipo; cuando el equipo entrega el resultado, este valor se deberá multiplicar por el número en el cual se hizo la dilución.

Con el fin de garantizar una medición precisa, se recomienda operar el equipo entre 0 a 50 °C y en una humedad relativa entre 0 y 90 %. Temperaturas mayores o una humedad relativa mayor pueden afectar la atmósfera en la cual el haz de luz se desplaza y generar error en la medición final de la turbidez.

Los turbidímetros normalmente cuentan con una pantalla donde se entrega información relacionada con el equipo y con las mediciones realizadas, y un teclado que cuenta con las descripciones de las siguientes teclas: revisar figura 4.

Figura 4. Esquema turbidímetro



Figura 4, muestra el esquema turbidímetro, que se compone de:

1. Tecla de CONFIGURACIONES: selecciona las opciones del menú para configurar el medidor.

2. Tecla CALIBRACIÓN: muestra la pantalla de calibración, inicia la calibración, selecciona las opciones de calibración.

3. Tecla ABAJO: se desplaza por los menús, ingresa números y letras.

4. Tecla IZQUIERDA (contextual): accede a la verificación de calibración, cancela o sale de la pantalla del menú actual y pasa a la pantalla del menú anterior.

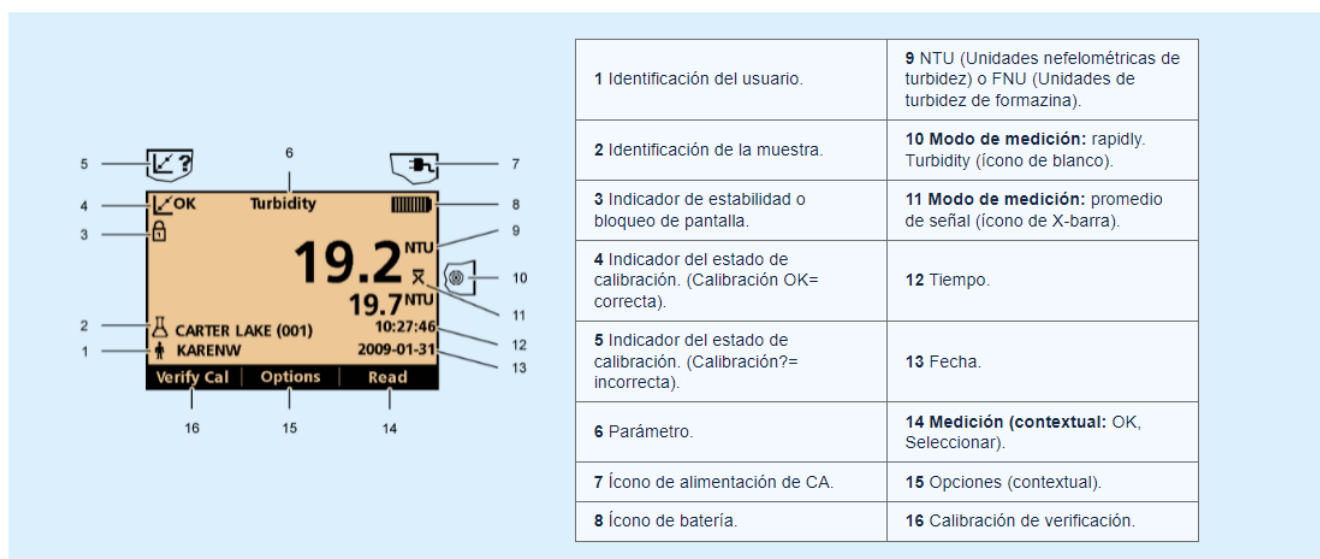
5. Tecla ARRIBA: se desplaza por los menús, ingresa números y letras.

6. Tecla DERECHA (contextual): lee la muestra de turbidez, selecciona o confirma opciones, abre/salta a los submenús.

7. Tecla GESTIÓN DE DATOS: visualiza, borra o transfiere los datos guardados.

La pantalla de medición muestra la turbidez, unidad, estado de calibración, fecha y hora, ID del usuario (si se configuró) y el ID de la muestra (si se configuró). revisar figura 5.

Figura 5. Pantalla turbidímetro



Nota. Tomada de Hach (2017, p.9).

Figura 5. muestra la estructura de una pantalla turbidímetro, que contiene:

1. Identificación del usuario.
2. Identificación de la muestra.
3. Indicador de estabilidad o bloqueo de pantalla.
4. Indicador del estado de calibración.
5. Indicador del estado de calibración (Calibración? = incorrecta).
6. Parámetro.
7. Ícono de alimentación de CA.
8. Ícono de batería.
9. NTU (Unidades nefelométricas de turbidez) o FNU (Unidades de turbidez de formazina).

10. Modo de medición: “rapidly”.

“Settling Turbidity” (ícono de blanco)

11. Modo de medición: promedio de señal (ícono de X-barra).

12. Tiempo.

13. Fecha.

14. Medición (contextual: OK, Seleccionar).

15. Opciones (contextual).

16. Calibración de verificación.

Es importante que el usuario comprenda que la turbidez se refiere a la cantidad de partículas suspendidas en un líquido, lo cual afecta su transparencia y claridad visual. El turbidímetro es un dispositivo especialmente diseñado para medir esta turbidez y proporcionar resultados cuantitativos.

A continuación, se describirá el procedimiento básico para llevar a cabo una medición de turbidez:

- I. **Muestra:** colocar una muestra representativa en un recipiente limpio.
Llenar una cubeta de muestra hasta la línea (aproximadamente 15 ml).
Asegurarse de manipular la cubeta por su parte superior. Tapar la cubeta.
- II. **Limpieza de cubeta:** limpiar la cubeta con un paño suave, sin pelusas, para eliminar las gotas de agua y huellas de dedos.

- III. **Lubricación cubeta:** aplicar una película delgada de aceite de silicona. Limpiar con un paño suave para obtener una película homogénea en toda la superficie.
- IV. **Botón de encendido y apagado:** pulsar el botón Encendido para encender el medidor. Colocar el instrumento sobre una superficie plana y resistente. Nota: no sostener el instrumento en las manos mientras toma las mediciones.
- V. **Ubicación correcta de la cubeta:** invertir la cubeta suavemente y luego insertarla en el compartimento de la cubeta, de manera que el diamante o marca de orientación quede alineado con la marca de orientación en relieve en el frente del compartimento de la cubeta. Colocar la tapa.
- VI. **Tecla de medición:** pulsar la tecla medición. La pantalla muestra un mensaje que dice que está estabilizando y luego la turbidez en NTU (FNU). El resultado se muestra y se guarda automáticamente.

La calibración del equipo se realiza a partir de muestras con una turbidez determinada, se hace una correlación lineal entre la medición obtenida y la medición esperada; si el coeficiente de correlación es superior a 0,99, se puede trabajar con el equipo.

Para una mayor precisión, se debe utilizar la misma cubeta de muestra o cuatro cubetas de muestras emparejadas para todas las lecturas durante la calibración.

La cubeta de muestra debe ser insertada en su compartimento, de manera que la marca de orientación o el diamante coincida con la marca de orientación en relieve en la parte frontal del compartimento de la cubeta. A continuación, se presenta el

siguiente recurso para consultar la calibración del turbidímetro con los estándares StablCal y obtener resultados precisos:

1. Pulse la tecla CALIBRACIÓN para entrar al modo de Calibración, siga las instrucciones en la pantalla. Nota: invierta suavemente cada estándar antes de insertarlo.
2. Inserte el estándar para 20 NTU y coloque la tapa. Nota: el estándar a ser insertado aparece en el display en un recuadro.
3. Pulse Medición, la pantalla muestra Estabilizando y luego muestra el resultado.
4. Repita los pasos 2 y 3 con el estándar para 100 NTU y 800 NTU. Nota: pulse “hecho” para completar una calibración de 2 puntos.
5. Pulse “Hecho” para revisar los detalles de la calibración.
6. Pulse “Guardar” para guardar los resultados. Después de terminar la calibración, el medidor automáticamente pasa al modo “Verificar cal”.

Con el fin de conocer más equipos utilizados en el laboratorio para la determinación de parámetros en aguas residuales, se invita a consultar:

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2018. [Manual para el uso del termo reactor ECO 25](#). Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2017. [Manual para uso del equipo cabina de extracción control superior CS-EO1200](#). Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2017. [Manual para uso del equipo MRC balanza de precisión BWLC 1-A2-C2](#). Centro de Gestión Industrial [CGI].

2. Análisis de muestras

Comprobar que los tratamientos seleccionados para el agua residual son los correctos y están siendo eficientes en comparación con lo exigido por la normatividad legal vigente es una actividad que debe ser desarrollada periódicamente, con el fin de garantizar que se cumple con los parámetros establecidos y así no tener impactos negativos sobre el medio ambiente, la salud, o económicos por causa de multas y sanciones por incumplimiento.

A continuación, se hace una descripción de tres elementos importantes en el seguimiento y ejecución de los protocolos de laboratorio:

2.1. Programas de monitoreo de agua residual

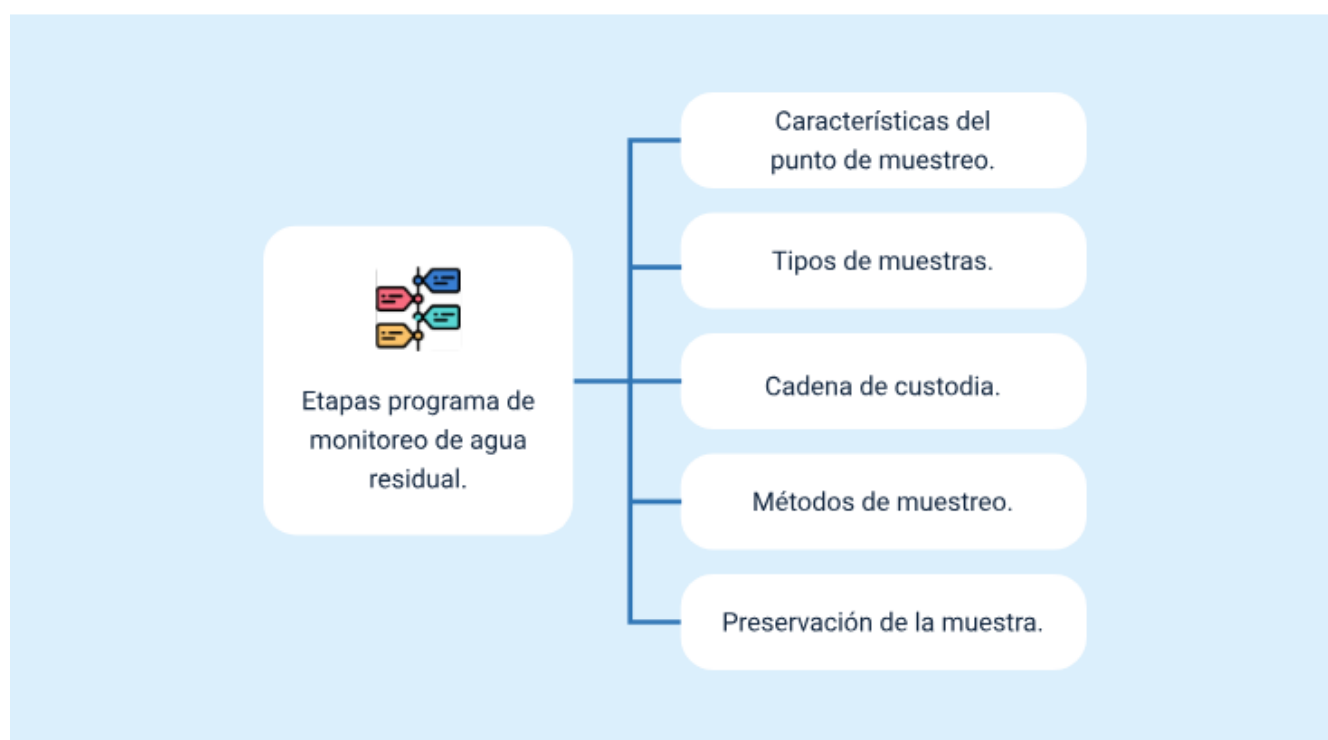
Para asegurar el cumplimiento de las normas, es necesario disponer de un programa de control basado en la toma y análisis de muestras aleatorias. Se considera apropiado establecer una frecuencia diferencial de las visitas de control por parte de la autoridad ambiental y una exigencia a las industrias de reportes de la calidad de los vertimientos de acuerdo con la carga contaminante.

Los muestreos se hacen con mayor frecuencia en las industrias prioritarias, y al azar en las de poco interés. De este modo, se optimiza el uso de los recursos técnicos y humanos disponibles para el control. En cualquier caso, para la realización de caracterizaciones industriales, se deben seguir los procedimientos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) para identificación, manejo de muestras y realización de muestreos. Es importante verificar

que los laboratorios que realizan las caracterizaciones estén debidamente acreditados ante esa institución.

Dentro de las etapas para definir o llevar a cabo un programa de monitoreo de agua residual, se encuentran las que se muestran en la siguiente figura:

Figura 6. Etapas de monitoreo de agua residual



Nota. Tomado de Hach (2017, p. 12).

En el contexto de la implementación de un programa de monitoreo de agua residual, se requiere seguir un conjunto de etapas clave para su definición y ejecución adecuada. A continuación, se menciona cada una de ellas.

Características del punto de muestreo.

Los muestreos de aguas residuales pueden darse en la cuenca hidrográfica, una vez se ha vertido en la misma, en las cajas de inspección (también llamadas cajas de aforo y muestreo), que suelen estar ubicadas antes y después de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR).

Lo más importante es, en lo posible, que se realice la toma de la muestra del agua residual antes de un tratamiento y después del mismo, para corroborar que el sistema propuesto está siendo eficiente en su funcionamiento. Se invita a ver el siguiente video donde exploraremos las características de la separación de líneas de agua, así como la caja de aforo y muestreo:

Video 1. Características del punto de muestreo



[Enlace de reproducción del video](#)

Síntesis del video: Características del punto de muestreo

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente (2002), en su documento Guía ambiental formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales, la separación de las aguas lluvias y las aguas residuales tiene el propósito de asegurar que el volumen y la clase de aguas a tratar sea el apropiado.

Las aguas lluvias no requieren tratamiento antes de su descarga, luego su conexión a la red de aguas residuales industriales no es deseable, puesto que implica la construcción de sistemas de tratamiento de mayor tamaño y afecta su operación y su eficiencia.

Por tanto, la separación de los drenajes internos tiene ventajas de recuperación de materias primas y menores costos de tratamiento.

En algunos casos, también es necesario separar las aguas residuales domésticas de las aguas residuales no domésticas; esto es importante cuando la industria se encuentra asentada en áreas urbanas, en las cuales se tienen plantas de tratamiento a nivel municipal.

Las aguas residuales de origen doméstico provenientes de la industria no requieren ser tratadas antes de su descarga al alcantarillado.

Su tratamiento resulta más eficiente y económico en la planta municipal.

Con el propósito de verificar el cumplimiento de las normas ambientales, es necesario disponer de cajas de aforo y muestreo antes y después del tratamiento de aguas.

Cuando es factible, las autoridades ambientales exigen que esta última sea externa al predio. Esta caja puede variar de diseño, de acuerdo con las condiciones locales.

Tipos de muestras

La primera fase de desarrollo del plan de muestreo es tener la muestra para analizar; esta muestra puede ser tomada de varias formas, dentro de las cuales se destacan:

- 01. Muestra simple:** representa la composición del agua en un tiempo y lugar específicos, asumiendo que la composición se mantiene constante en el tiempo y no hay cambios en la concentración espacial. Se utiliza para determinar las características de descargas instantáneas, identificar la fuente y evaluar los posibles efectos en los procesos de tratamiento.
- 02. Muestra compuesta:** es una mezcla de muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto en diferentes momentos, sin considerar el caudal. Se miden parámetros como DBO5, sólidos suspendidos, DQO, fósforo, aceites, grasas y nitrógeno total Kjeldahl. Se utiliza una metodología de aforo, como molinetes, métodos volumétricos, vertederos o equipos electrónicos de aforo.
- 03. Muestra integrada:** implica analizar múltiples muestras instantáneas o simples tomadas simultáneamente en diferentes puntos, considerando proporcionalmente los caudales. Se utiliza para caracterizar el caudal de un río y para tratamientos combinados de diversas corrientes de aguas residuales.

Cadena de custodia

Hace referencia al seguimiento que se le debe hacer a la muestra desde el alistamiento del material y la toma de la muestra hasta el análisis y reporte de datos. De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Económico (2000), en su documento Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS - 2000. Título - E Tratamiento de aguas residuales, los procedimientos de cadena de custodia que deben ser definidos y tenidos en cuenta son:

Procedimientos de cadena de custodia

- a. Rótulos de muestras.
- b. Sellos de muestras.
- c. Libro de registro de muestras.
- d. Registro de la carta de custodia.
- e. Hoja de remisión de muestras.
- f. Transporte de las muestras al laboratorio.
- g. Recepción y registro de muestras.
- h. Análisis de las muestras.

Para conocer al detalle cada procedimiento de la cadena de custodia, lo invitamos a leer el documento “Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS - 2000”, que se encuentra en el material complementario. Encontrará una descripción detallada de los procesos en el E.2.3.3 Cadena de custodia, páginas 19 a 23.

Métodos de muestreo

Después de definir el tipo de muestra requerido y los parámetros de cadena de custodia, se debe buscar el método para el muestreo que sea adecuado para la caracterización del agua residual; para ello, se presenta una tabla resumen de los métodos:

Tabla 1. Métodos de muestreo

Método de muestreo	Descripción	Recipientes para las muestras	Número de muestras	Cantidad
Muestreo manual	El que no se realiza con equipos. Puede ser muy costoso y demorado para muestreos a gran escala.	El tipo de recipiente usado para tomar la muestra es de vital importancia, porque pueden existir intercambios iónicos con las paredes del recipiente o producir una adsorción sobre estas. Los recipientes, por lo general, están hechos de plástico y de vidrio, teniendo cada uno un uso específico.	Una sola muestra puede ser insuficiente cuando se desea un cierto nivel de confianza. Se debe basar en estadística aplicada para disminuir el error.	Deben recogerse dos litros de muestra para la mayoría de los análisis fisicoquímicos. No debe utilizarse la misma muestra para ensayos químicos, bacteriológicos o microscópicos, debido a que los métodos de muestreo y manipulación son diferentes.
Muestreo automático	Usa muestreadores automáticos, pueden eliminar los errores humanos y reducir los costos, proveer un mayor número	El tipo de recipiente usado para tomar la muestra es de vital importancia, porque pueden existir intercambios iónicos con las paredes del	Una sola muestra puede ser insuficiente cuando se desea un cierto nivel de confianza. Se debe basar en	Deben recogerse dos litros de muestra para la mayoría de los análisis fisicoquímicos.

Método de muestreo	Descripción	Recipientes para las muestras	Número de muestras	Cantidad
	de muestreos y su uso se incrementa día a día.	recipiente o producir una adsorción sobre estas. Los recipientes, por lo general, están hechos de plástico y de vidrio, teniendo cada uno un uso específico.	estadística aplicada para disminuir el error.	No debe utilizarse la misma muestra para ensayos químicos, bacteriológicos o microscópicos, debido a que los métodos de muestreo y manipulación son diferentes.

Preservación de la muestra

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Económico (2000), en su documento Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS - 2000. Título - E Tratamiento de aguas residuales.

“las muestras obtenidas en campo deben constituirse en una representación precisa del material del que se está haciendo el muestreo; por tal razón, deben ser obtenidas, conservadas, transportadas y almacenadas de manera que, cuando lleguen al laboratorio, todavía sean representativas del material existente en el campo” (p. 24).

El objeto de la preservación es retardar los cambios químicos y biológicos que inevitablemente se dan después de recolectada la muestra, y así minimizar el potencial de volatilización o biodegradación entre el muestreo y el análisis de la muestra, retardar la acción biológica, retardar la hidrólisis de compuestos y complejos químicos, y retardar la volatilización de los constituyentes.

Dentro de los métodos de preservación se encuentran:

- I. Control de pH.
- II. Adición de reactivos.
- III. Uso de envases opacos o de color ámbar.
- IV. Refrigeración.
- V. Filtración.
- VI. Congelamiento.

2.2. Normas de calidad

Existen diferentes normas de calidad que deben ser tenidas en cuenta en el desarrollo de las acciones de monitoreo de aguas residuales, dentro de las cuales se pueden resaltar:

- 01. (NTC) 6151 (2015).** La Norma Técnica Colombiana (NTC) 6151 (2015), generada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec), la cual es una guía para la planificación de muestreo de agua con objeto de análisis microbiológico, brindando directrices desde los recipientes para muestras hasta el procedimiento de muestreo y transporte.
- 02. (NTC) 5667-1 (2010).** La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5667-1 (2010), norma de calidad de agua, que brinda las directrices para el diseño de programas y técnicas de muestreo.
- 03. (NTC) 5667-3 (2004).** La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5667-3 (2004), norma de calidad de agua, que brinda directrices para la preservación y el manejo de las muestras.

- 04. (NTC) 5667-3 (2000).** La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5667-3 (2000), norma de calidad de agua, que brinda directrices para el ensayo biológico de muestras, en especial, para procesos de investigación donde se quiera determinar ensayos de toxicidad o biodegradación.
- 05. (NTC) 5667- 13 (1998).** La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5667- 13 (1998), norma de calidad de agua, la cual es una guía para el muestreo de lodos en aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas.
- 06. (NTC) 5667- 13 (1995).** La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5667- 13 (1995), norma de calidad de agua, que contiene detalles sobre muestreo de agua residual doméstica e industrial.

2.3. Ensayos, protocolos y procedimientos

Teniendo en cuenta el tipo de parámetro a analizar, se deben contemplar los protocolos y procedimientos adecuados para tal fin; para ello, en la siguiente tabla, se presentan de manera resumida los parámetros que se deben considerar para analizar la muestra:

Tabla 2. Parámetros mínimos a medir de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema de tratamiento

Parámetro	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Oxígeno disuelto	X	X	X	X
DBO5				
Soluble	X	X	X	X
Total	X	X	X	X
SS				

Parámetro	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
SST	X	X	X	X
SSV	X	X	X	X
DQO				
Soluble	X	X	X	X
Total	X	X	X	X
NITRÓGENO				
Total	X	X		
Orgánico				X
Soluble				X
Particulado				
Amoniacal				X
Soluble				X
Particulado				X
Nitrito				X
Nitratos				
FÓSFORO TOTAL				
Soluble	X	X	X	X
Particulado	X	X	X	X
CLORUROS			X	X
ALCALINIDAD				X

Parámetro	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
ACEITES Y GRASAS			X	X
COLIFORMES				
Fecales			X	X
Totales			X	X
PH	X	X	X	X
ACIDEZ	X	X	X	X
DETERGENTES			X	X

Nota. Tomada de Ministerio de Desarrollo Económico (2000, p.25).

Teniendo en cuenta el tipo de parámetro a analizar, se deben contemplar los protocolos y procedimientos adecuados para tal fin; para ello, en la siguiente tabla, se presentan de manera resumida los parámetros que se deben considerar para analizar la muestra:

Tabla 3. Condiciones necesarias para los parámetros más relevantes a caracterizar en las muestras

Determinación	Recipiente para la muestra	Tamaño mínimo de la muestra ml	Preservación	Almacenamiento máximo (recomendado / regulatorio)
Acidez	Plástico (P) y Vidrio (V)	100	Refrigerada	24 h/14 días

Determinación	Recipiente para la muestra	Tamaño mínimo de la muestra ml	Preservación	Almacenamiento máximo (recomendado / regulatorio)
Alcalinidad	Plástico (P) y Vidrio (V)	200	Refrigerada	24 h/14 días
DBO	Plástico (P) y Vidrio (V)	1000	Refrigerada	6 h / 48 h
DQO	P, V	100	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2; refrigerar	7 d / 28 días
Color	P, V	500	Refrigerar	48 h / 48 h
Conductividad	P, V	500	Refrigerar	28 d / 28 días
Dureza	P, V	100	Adicionar HNO ₃ a pH < 2	6 meses/ 6 meses
Nitratos + Nitritos	P, V	200	Adicionar H ₂ SO ₄ ; refrigerar. Analizar tan pronto como sea posible, refrigerar.	ninguna / 28 días
Olores	V	500	Analizar tan pronto como sea posible; refrigerar.	6 h/ N.S
Aceites y grasas	V, Boquilla amplia calibrada	1000	Adicionar H ₂ SO ₄ , refrigerar.	28 d/ 28 días

Determinación	Recipiente para la muestra	Tamaño mínimo de la muestra ml	Preservación	Almacenamiento máximo (recomendado / regulatorio)
Oxígeno disuelto: Método de electrodo Método de Winkler	V, botella de DBO	300	Analizar inmediatamente. La titulación puede ser retrasada después de la acidificación.	8 h / 8 h
Ozono	V	1000	Analizar inmediatamente.	0.5 h / N.S
pH	P, V	-	Analizar inmediatamente.	2 h / N.S
Sólidos	P, V	-	Refrigerar.	7 días
Turbidez	P, V	-	Analizar el mismo día.	24 h / 48 h

N.S = No está en la referencia citada / Nota. Adaptación del Ministerio de Desarrollo Económico (2000).

Consideraciones para los ensayos microbiológicos.

Los microorganismos son seres microscópicos capaces de habitar diferentes ambientes, dentro de los cuales se encuentra el agua; es por ello que, en ríos, lagos y océanos, la presencia microbiana está asegurada y es diversa; dentro de esta variedad, se encuentran bacterias, virus, hongos y protozoarios patógenos, es decir,

microorganismos que pueden causar enfermedades a partir del consumo o contacto con esta agua.

La presencia de un amplio espectro de microorganismos patógenos es más probable en aguas residuales, debido a que muchos agentes microbianos que ocasionan enfermedades en humanos son liberados a través de excretas de personas infectadas que normalmente van a las aguas residuales.

El análisis microbiológico en las aguas residuales es importante durante la implementación de sistemas de tratamiento de aguas, así como en la evaluación de la eficacia de los mismos. La determinación de microorganismos a la entrada de los sistemas de tratamiento de agua residual permitirá evaluar la efectividad del tratamiento en su reducción o ayudará a evaluar la posibilidad de utilizar estos microorganismos en procesos de biorremediación de las aguas. Asimismo, el análisis de la calidad microbiológica del agua luego de ser sometida a tratamientos es de importancia para medir la eficacia de los tratamientos de descontaminación empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Una de las variables más importantes de determinar en las aguas residuales son los parámetros microbiológicos, de acuerdo con la Resolución 0631 (2015); para los vertimientos puntuales de aguas residuales, tanto domésticas como no domésticas, se deben reportar los “valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100 mL) de los Coliformes Termotolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARND), mediante las cuales se gestionan excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO5” (p.4).

Es decir, debe existir una relación entre los reportes de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Para realizar los análisis de laboratorio correspondientes, puede consultar los siguientes documentos, encontrados dentro del material descargado, carpeta anexos:

- Determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos.
- Procedimiento para la determinación de alcalinidad.
- Procedimiento para la determinación de cloruros en agua.
- Determinación de dureza total.
- Sulfatos en agua por el método nefelométrico.
- Determinación de la demanda química de oxígeno método espectrofotométrico.
- Demanda bioquímica de oxígeno 5 días.
- Instructivo para el ensayo de test de jarras.
- Práctica de laboratorio determinación de coliformes y e.coli en aguas residuales mediante tubos de fermentación (nmp).

Reutilización de las aguas residuales

Actualmente, la reutilización de las aguas residuales en la agricultura, acuicultura y recarga de aguas subterráneas se ha convertido en una estrategia para abordar el problema de la escasez de las aguas dulces, debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y al cambio climático. Asimismo, las aguas residuales, en algunos casos, pueden constituir el único recurso hídrico de las comunidades que subsisten por medio de la agricultura. Aunque la utilización de aguas residuales en la agricultura puede

aportar beneficios, a su vez, representa un riesgo para la salud humana. Por ello, es necesario realizar controles estrictos a nivel microbiológico para disminuir los riesgos de salud pública que pueda traer este tipo de prácticas. Es así como el cumplimiento de ciertos límites y parámetros microbiológicos es fundamental para considerar la reutilización del agua tratada.

Teniendo en cuenta que la diversidad microbiana en las aguas residuales es alta, puede ser difícil determinar la presencia de todos estos microorganismos; es por ello por lo que normalmente se establecen unos indicadores microbiológicos específicos para su determinación. Dentro de esos indicadores, los más utilizados son los coliformes totales y los coliformes fecales, dentro de los que se encuentra *E. coli*, pero, de acuerdo con expertos, este indicador no sería suficiente para determinar la calidad de las aguas residuales tratadas, debido a que, por ejemplo, la determinación de *E. coli* solo refleja la calidad bacteriana del agua, dejando de lado otros patógenos como virus y protozoos.

A continuación, se muestran los microorganismos que pueden ser utilizados como indicadores de calidad en las aguas residuales y para reutilización, mostrándose lo que indica cada microorganismo y hacia dónde se enfocan las investigaciones para asegurar una detección rápida:

Tabla 4. Microorganismos indicadores de calidad en aguas residuales.

Tipo/Organismo	Normalmente empleado como	Investigándose	Observaciones
Coliformes totales.	Indicador Bacteriano.	-	No se suele utilizar.

Tipo/Organismo	Normalmente empleado como	Investigándose	Observaciones
Coliformes fecales /E. Coli.	Indicador Fecal.	Método rápido.	Método que más se usa, a pesar de los problemas y discusiones.
Bacteriófagos.	Indicador fecal.	Indicador más apropiado.	Somáticos, Especies F, y Bacterioides fragilis HSP40 y fagos RYC2056.
Recuento de Bacterias.	Indicador de aeróbicos, bacterias heterotróficas.	Cantidad de ADN/ARN.	No se recupera más del 10 %.
Huevos de nematode.	Indicador de nematodos y helmintos.	Métodos de concentración mejores (viabilidad).	No se recupera más del 70 %.
Giardia Lamblia.	Detección directa de quistes.	Métodos de concentración y detección mejores (viabilidad).	En aguas residuales se puede encontrar un falso positivo un gran número de veces.
Cryptosporidium Parvum	Detección directa o quistes.	Métodos de concentración y detección mejores (viabilidad).	En aguas residuales se puede encontrar un falso positivo un gran número de veces.

Nota. Tomada de Osorio y Torres (2010).

Para controlar la calidad del agua residual, los estándares y la legislación normalmente especifican límites sobre parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, DBO, DQO, sólidos suspendidos, entre otros; pero para el caso de indicadores microbiológicos, estos estándares no especifican límites, debido a la presencia asegurada de una concentración alta de microorganismos en este tipo de aguas.

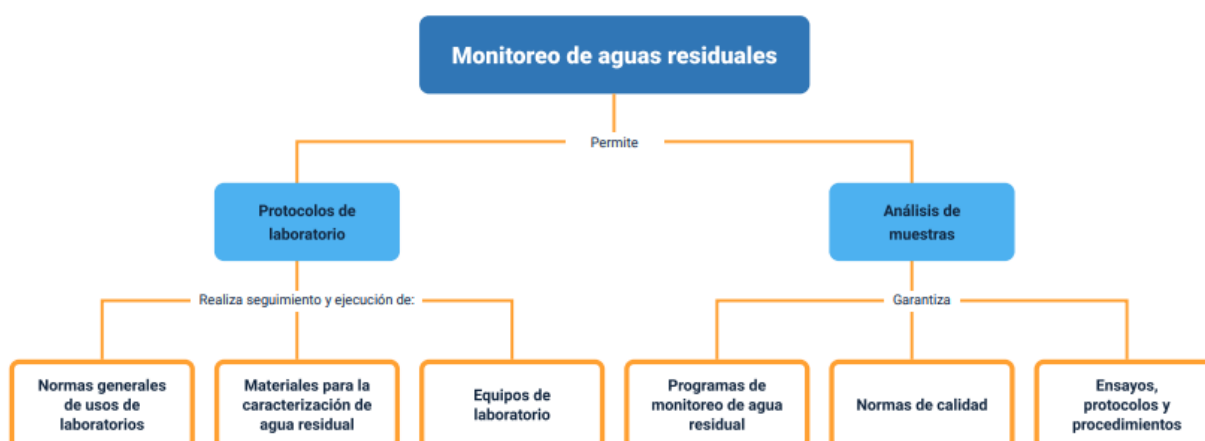
Para el caso de Colombia, la norma de vertimientos, Resolución 0631 de 2015, que regula el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país, no estipula límites para parámetros microbiológicos. Sin embargo, esta norma solicita que se analice y reporte la concentración de coliformes totales termotolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales, en las cuales se gestionan excretas de humanos o animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga de DBO5 del agua residual antes del tratamiento sea de 125,00 Kg/día. El reporte de la concentración coliformes termotolerantes se debe hacer en términos de número más probable de Coliformes en 100 ml de agua (NMP/100 ml).

El Decreto 1076 de 2015 (Decreto 3930 de 2010) promueve el reuso de las aguas residuales a través de los Planes de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos (PRTLGV) y lo incluye en la gradualidad para el cumplimiento de la norma de vertimientos. Sin embargo, en este decreto no se especifican claramente los parámetros microbiológicos requeridos para el reuso de las aguas residuales.

Aunque la legislación colombiana no menciona las características microbiológicas ni los límites permisibles para estos parámetros en aguas residuales para el reuso, algunos textos técnicos y lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sí han estimado dichos límites.

Síntesis

Por último, el siguiente mapa conceptual destaca la relevancia fundamental de seguir protocolos de laboratorio adecuados y realizar un análisis preciso de las muestras de agua en el tratamiento de aguas residuales. El manejo adecuado de los protocolos garantiza resultados confiables y reproducibles, mientras que el análisis de muestras proporciona información valiosa sobre las propiedades y componentes del agua. Sabiendo esto y para una breve revisión de los temas vistos, puede revisar el siguiente esquema:



Material complementario

Tema	Referencia	Tipo de material	Enlace del recurso
Análisis de muestras	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2007). Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, Incubación y Electrometría.	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2007). Sulfatos en agua por el método nefelométrico.	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Protocolos de laboratorio	Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS - 2000. Sección 2 Título E Tratamiento de aguas residuales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.	Documento	https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf
Protocolos de laboratorio	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2018). Manual para el uso del termorreactor	Manual	Material descargado, carpeta anexos

	ECO 25. Centro de Gestión Industrial [CGI].		
Protocolos de laboratorio	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2017). Manual para uso del equipo cabina de extracción control superior CS-EO1200. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Manual	Material descargado, carpeta anexos
Protocolos de laboratorio	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2017). Manual para uso del equipo MRC balanza de precisión BWLC 1-A2-C2. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Manual	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Práctica de laboratorio Determinación de potenciometría. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Práctica de laboratorio Determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos.	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos

	Centro de Gestión Industrial [CGI].		
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Práctica de laboratorio Procedimiento para la determinación de alcalinidad. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Procedimiento para la determinación de cloruros en agua. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Instructivo para la determinación de dureza total. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Procedimiento para la determinación de la alcalinidad. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos

	(2014). Determinación de la demanda química de oxígeno Método espectrofotométrico, reflujo cerrado. Centro de Gestión Industrial [CGI].		
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2014). Instructivo para el ensayo de test de jarras. Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos
Análisis de muestras	Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2020). Práctica de laboratorio. Determinación de coliformes y e.coli en aguas residuales mediante tubos de fermentación (nmp). Centro de Gestión Industrial [CGI].	Práctica de laboratorio	Material descargado, carpeta anexos

Glosario

Análisis: examen del agua, agua residual o lodos efectuado por un laboratorio (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Bacteria: grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos, carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Biodegradación: degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Coliformes: bacterias gramnegativas, de forma alargada, capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37 °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5 °C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda de oxígeno: cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos, en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando

como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Oxígeno disuelto: concentración de oxígeno medida en un líquido por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/l (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Potencial de Hidrógeno (pH): logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Vertimiento puntual directo al recurso hídrico: es aquel vertimiento realizado en un punto fijo y directamente al recurso hídrico. (Decreto 1076 de 2015 Título 9, Capítulo 7.)

Vertimiento puntual indirecto al recurso hídrico: es aquel vertimiento que se realiza desde un punto fijo a través de un canal natural o artificial o de cualquier medio de conducción o transporte a un cuerpo de agua superficial. (Decreto 1076 de 2015 Título 9, Capítulo 7).

Referencias bibliográficas

Hach. (2017). Manual del usuario Medidor portátil HQd.

<https://es.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593608939>

Hach. (2017). Manual del usuario 2100Q y 2100Qis.

<https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7648381377>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. 2007.

Sulfatos en agua por el método nefelométrico.

https://drive.google.com/file/d/1DXe2ENHp_oM0DiJr97OuukQ9N2FL11dX/view?usp=sharing

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. 2007.

Demanda bioquímica de oxígeno 5 días. https://drive.google.com/file/d/1IG9iyTerV-OZFm6BiSb2eiknzt_eTlzt/view?usp=sharing

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS - 2000. Sección 2 Título E Tratamiento de aguas residuales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (2002). Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales.

<http://hdl.handle.net/20.500.12324/18912>

Resolución 0631 de 2015. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los

vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Marzo 17 de 2015. D.O. No. 49.486. <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/Resolucion-631-2015.pdf>

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2014. Práctica de laboratorio determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos. Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2014. Práctica de laboratorio procedimiento para la determinación de alcalinidad. Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2014. Procedimiento para la determinación de cloruros en agua. Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2014. Instructivo para la determinación de dureza total. Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2014. Determinación de la demanda química de oxígeno método espectrofotométrico, reflujo cerrado. Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2014. Instructivo para el ensayo de test de jarras. Centro de Gestión Industrial [CGI].

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. 2020. Práctica de laboratorio determinación de coliformes y e.coli en aguas residuales mediante tubos de fermentación (NMP). Centro de Gestión Industrial [CGI].

Créditos

Nombre	Cargo	Regional y Centro de Formación
Claudia Patricia Aristizábal Gutiérrez	Responsable del equipo	Dirección General
Liliana Victoria Morales Gualdrón	Responsable de línea de producción	Centro de Gestión De Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Gloria Lida Álzate Suarez	Adecuador Instruccional	Centro de gestión de mercados, Logística y Tecnologías de la información - Regional Distrito Capital
Alix Cecilia Chinchilla Rueda	Asesor Metodológico	Centro de gestión de mercados, Logística y Tecnologías de la información - Regional Distrito Capital
Xiomara Becerra Aldana	Instructora Ambiental	Regional Distrito Capital - Centro de gestión industrial
Jesús Ricardo Arias Munevar	Instructor Ambiental	Regional Distrito Capital - Centro de gestión industrial
Silvia Milena Sequeda Cárdenas	Diseñador Instruccional	Regional Distrito Capital - Centro de diseño y metrología
Sergio Arturo Medina Castillo	Diseñador Instruccional	Regional Distrito Capital - Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica
Adriana Lozano Zapata	Correctora de Estilo	Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica - Regional Distrito Capital
Ana Catalina Córdoba Sus	Revisora Metodológica y Pedagógica	Regional Distrito Capital - Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica
Rafael Neftalí Lizcano Reyes	Asesor pedagógico	Regional Santander - Centro Industrial del Diseño y la Manufactura

Nombre	Cargo	Regional y Centro de Formación
Darío González	Corrector de Estilo	Centro de Diseño y Metrología - Regional Distrito Capital
Yuly Andrea Rey Quiñones	Diseñador de Contenidos Digitales	Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Manuel Felipe Echavarría Orozco	Desarrollo Fullstack	Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Jhon Edinson Castañeda Oviedo	Desarrollo Fullstack	Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Lady Adriana Ariza Luque	Animación y producción audiovisual	Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Laura Gisselle Murcia Pardo	Animación y producción audiovisual	Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Ernesto Navarro Jaimes	Animación y producción audiovisual	Centro de Gestión de Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Carolina Coca Salazar	Evaluación de contenidos inclusivos y accesibles	Centro de Gestión De Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Lina Marcela Pérez Manchego	Validación de recursos educativos digitales	Centro de Gestión De Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital
Leyson Fabian Castaño Pérez	Validación de recursos educativos digitales	Centro de Gestión De Mercados, Logística y Tecnologías de la Información - Regional Distrito Capital