




# MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA

## Manual Técnico: MT-DMA-001

Versión: 01


### SUBDIRECCIÓN DE EVALUACIÓN DEL AMBIENTE ATMOSFÉRICO - DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA Y EVALUACIÓN AMBIENTAL ATMOSFÉRICA

<b>Elaborado por:</b>  Jhojan Pool Rojas Quincho Subdirector Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico  Sháneri Sheyla Sánchez Calderón Analista Ambiental Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico  José Hitoshi Inoue Velarde Asistente Ambiental Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico	<b>Firma:</b>
<b>Revisado por:</b>  Sonia del Carmen Huamán Lozano Directora Unidad de Modernización y Gestión de la Calidad  Laiter Luis García Tueros Director Oficina de Asesoría Jurídica	<b>Firma:</b>
<b>Aprobado por:</b>  Gabriela Teófila Rosas Benancio Directora Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica	<b>Firma:</b>

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	2 de 42

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVO .....	4
3. ALCANCE .....	4
4. BASE LEGAL .....	4
5. DEFINICIONES Y SIGLAS .....	4
6. DESARROLLO.....	6
7. TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS .....	32
8. ANEXOS .....	32

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	3 de 42

## 1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) identifica la Deposición Atmosférica como un problema ambiental debido a preocupaciones sobre la acidificación<sup>1</sup> y eutrofización<sup>2</sup> de los ecosistemas naturales, la bioacumulación de tóxicos y metales, los impactos en el ciclo biogeoquímico y la biodiversidad, la salud humana y el cambio climático global.

La deposición atmosférica se produce cuando los gases y partículas (liberados de fuentes naturales y de fuentes antrópicas) que se encuentran en la atmósfera son eliminados y se depositan en la superficie de la tierra mediante dos vías: deposición húmeda y deposición seca (WMO, 2004). La deposición húmeda es la incorporación de estos contaminantes a cualquier forma de precipitación (lluvia, nieve, aguanieve, neblina, granizo, llovizna, entre otros) que cae sobre la superficie.


En el Perú, se ha analizado el pH de la deposición húmeda (Asado, 2015), cuyos valores de acidez obtenidos causan efectos negativos en los cultivos, infraestructuras, la salud de las personas, entre otros (Vivanco, 2018),

En la actualidad, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) cuenta con el Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha (OVA Marcapomacocha) ubicada en la región Junín, provincia de Yauli y distrito de Marcapomacocha, donde se ha implementado el monitoreo de la deposición húmeda siguiendo los lineamientos establecidos por la OMM.

Por lo anteriormente mencionado, el SENAMHI a través de la Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico (SEA) ha elaborado el presente manual, según los lineamientos estipulados por la OMM, para que sirva como instrumento para realizar el monitoreo de la deposición húmeda a nivel nacional.

<sup>1</sup> Es el proceso de disminución de pH.

<sup>2</sup> Es el deterioro de la calidad del agua por altos niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, y la consecuente disminución de oxígeno disuelto, proliferación de algas, fitoplancton, etc., condiciones que hacen poco factible la vida acuática.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	4 de 42

## 2. OBJETIVO

El presente manual tiene por objeto establecer los criterios para la identificación y operación de los sitios del monitoreo de la deposición húmeda que se realice a nivel nacional.

## 3. ALCANCE

Este manual aplica para los órganos de línea y órganos desconcentrados del SENAMHI que realicen el monitoreo de la deposición húmeda a nivel nacional bajo las directrices que establece el Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (Programa VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

## 4. BASE LEGAL

- 4.1 Ley N° 24031, Ley del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, y su modificatoria la Ley N° 27188.
- 4.2 Decreto Supremo N° 005- 85-AE, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 24031.
- 4.3 Decreto Supremo N° 003-2016-MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

## 5. DEFINICIONES Y SIGLAS

### 5.1 Balanza electrónica

Instrumento empleado en diferentes ámbitos para medir la masa de un cuerpo, requiere de un suministro de energía eléctrica para su funcionamiento.

### 5.2 Blancos de campo

Muestra que permitirá revelar si existe alguna contaminación en el monitoreo por efecto del ambiente o los equipos que prevalecen en el sitio de monitoreo. Puede ser preparada utilizando agua desionizada o una matriz química (reactivo) (WMO, 2004).

### 5.3 Cadena de custodia


Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación y transporte, es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Sirve como evidencia de la trazabilidad del monitoreo.

### 5.4 Conductividad eléctrica

Es un parámetro que está relacionado a la presencia de iones disueltos en el agua, se expresa en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{s/cm}$ ) y siemens por centímetro ( $\text{s/cm}$ ) (EPA, 2022; Ahmadianfar et al., 2022).

### 5.5 Deposición atmosférica

Proceso por el cual sustancias químicas, tales como partículas y gases contaminantes, son transferidas de la atmósfera a la superficie de la tierra. Esta disposición (o transferencia) tiene dos vías, las cuales pueden ser seca o húmeda (WMO, 2022; Maryland, 2022).

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	5 de 42

## 5.6 Deposición húmeda

Es un proceso de eliminación de gases y/o partículas de la atmósfera mediante fases líquidas (es decir, gotas de agua) y sólidas (es decir, cristales de hielo). También se le denomina deposición húmeda a la masa de material depositado desde la atmósfera a la superficie subyacente mediante la precipitación (sobre la unidad de área por unidad de tiempo) (WMO, 2004).

## 5.7 Deposición seca

La deposición seca es la caída libre a la Tierra directamente de gases traza y partículas atmosféricas. Se da por procesos como la difusión turbulenta atmosférica, la adsorción, la absorción, la impactación, la sedimentación gravitacional y la condensación del vapor de agua en una superficie, que da lugar a la formación de rocío o escarcha. También se refiere a la masa de material absorbida por la superficie subyacente (sobre la unidad de área durante la unidad de tiempo). (WMO,2022; WMO,2004).

## 5.8 Muestra

Porción de un volumen de cualquier sustancia colectadas en cuerpos receptores, con el fin de determinar sus características físicas, químicas, o biológicas.

## 5.9 Muestreador

Instrumento o aparato que sirve para recolectar muestras.

## 5.10 Muestreador de deposición húmeda

Instrumento que sirve para la recolección de muestras de deposición húmeda en un periodo de tiempo determinado, el cual posee un sensor que activa un mecanismo para solo captar la deposición húmeda.

## 5.11 Conductímetro

Equipo que sirve para medir conductividad eléctrica.

## 5.12 Operador/a

Personal capacitado para realizar el monitoreo de deposición húmeda.

## 5.13 pH


Indicador de la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinadas sustancias.

## 5.14 pHmetro

Equipo que sirve para medir el pH.

## 5.15 Pluviómetro

Es un instrumento destinado a medir la cantidad de precipitación. Es un cilindro cuya boca receptora conformada por un anillo de bronce con borde biselado tiene un área de captación y su fondo tiene la forma de un embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro. El agua recolectada va a través del embudo a una vasija de boca estrecha denominada depósito en el cual se almacena el agua para su posterior medición, a su vez este depósito se encuentra alojado en un colector de precipitación. Para la medición del agua recolectada en el pluviómetro se utiliza una probeta de vidrio o de plástico graduado, adaptada al pluviómetro, que da la lectura directamente en unidades de longitud (mm).

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	6 de 42

### 5.16 Programa VAG de la OMM

Programa que se centra en la comprensión global, coordinada y única de la composición atmosférica.

### 5.17 Punto de muestreo

Lugar donde se ubica el muestreador y se realiza la toma de muestra. Debe estar correctamente identificado.

### 5.18 Sitio de monitoreo

Lugar donde se realiza el monitoreo de deposición húmeda, el cual incluye una distribución de las áreas y equipamientos necesarios. Dentro de este también, se encuentran los puntos de muestreo.

### 5.19 Tarar

Consiste en colocar el recipiente en la balanza y presionar el botón de tara en la balanza para que esta no tenga en cuenta el peso de dicho recipiente cuando se realice un pesaje posterior (como por ejemplo cuando el recipiente está lleno con la muestra de precipitación).

### 5.20 Verificación

Proceso de comparación de valores obtenidos por un instrumento de medición, con la medida correspondiente a un patrón de referencia o estándar.

## 6. DESARROLLO

### 6.1 DEL SITIO DE MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA


El sitio de monitoreo es un lugar donde se lleva a cabo el monitoreo de la deposición húmeda, la cual, para ser realizada correctamente, es imprescindible que siga los lineamientos establecidos por la OMM.

Asimismo, el sitio de monitoreo debe contar con áreas y equipos mínimos que permitan llevar a cabo las mediciones y el análisis de las muestras. En el caso de las áreas mínimas que requiere este sitio de monitoreo, se encuentra el área de muestreo donde se realizará el muestreo de la deposición húmeda y la medición de la cantidad de precipitación (con un pluviómetro), un área donde se encuentre la estación meteorológica o equipos que midan otras variables meteorológicas; así como también, un área en el que se puedan colocar algunos equipos para las mediciones de parámetros físicoquímicos de la muestra. Por otro lado, en el caso de los equipos mínimos, se requiere contar con un muestreador de deposición húmeda, un pluviómetro, una balanza electrónica, un conductímetro, un pHmetro y una unidad de refrigeración, los cuales deben de cumplir con las especificaciones indicadas en el presente documento, las mismas que fueron adaptadas de los lineamientos de emitidos por la OMM.

### 6.2 DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS EN EL SITIO DE MONITOREO

El sitio de monitoreo es el emplazamiento en donde se realizarán las actividades de monitoreo. Este requiere de tres (3) áreas mínimas que se describen a continuación:

**6.2.1 ÁREA DE MUESTREO.-** En la cual se ubicarán los puntos de muestreo de deposición húmeda y pluviómetro.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	7 de 42

**6.2.2 ÁREA DE ANÁLISIS.-** En la cual se ubicarán los equipos y se realizará el análisis de la muestra recolectada. Esta debe de contar con lo siguiente:

- Fuente de energía eléctrica, la cual puede ser suministrada mediante corriente alterna (CA) de una empresa de servicios eléctricos o corriente continua (CC) de una batería o panel solar.
- Lavadero
- Mesa
- Control de temperatura (preferentemente)
- Data logger (opcional, dependiendo del tipo de muestreador)
- Computadora (opcional)


**6.2.3 ÁREA DE ALMACENAMIENTO.-** En la cual se almacenan los materiales y las muestras de deposición húmeda en caso posteriormente se requieran análisis más específicos en laboratorio.

### **6.3 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DEL SITIO DE MONITOREO Y PUNTO DE MUESTREO**

#### **6.3.1 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DEL SITIO DE MONITOREO**

Para un correcto muestreo de la deposición húmeda, la ubicación del sitio de monitoreo tiene un papel fundamental, influyendo en la calidad de datos. En ese sentido, para identificar los sitios más adecuados para llevar a cabo el monitoreo y que garanticen la representatividad de las mediciones, se deberán considerar los siguientes criterios:

- a) Accesibilidad: Las características del sitio deben permitir un rápido y seguro acceso para tomar la muestra, ya sea tanto en verano como en invierno, evitando el riesgo del/la operador/a que realiza el monitoreo.
- b) Representatividad: Se deberá localizar en áreas despejadas, evitando así cualquier perturbación en la muestra. Para ello, se deberá considerar lo siguiente:
  - Cualquier objeto mayor a 1 metro de altura que sea capaz de desviar el viento no debe ubicarse a menos de 5 metros del muestreador.
  - Lo ideal es escoger un sitio expuesto de terreno llano o moderadamente ondulado.
  - Dado que la vegetación es un sumidero de muchos contaminantes atmosféricos, es importante evitar situaciones en las que la interceptación de las gotas de precipitación por parte de la vegetación (por ejemplo, un grupo de árboles) ocasione una disminución de las cantidades de precipitación o de las concentraciones de las muestras cuando el viento sople desde una dirección determinada.
  - Los sitios de monitoreo no deben ubicarse alrededor de fuentes naturales que posean un gran potencial de emisiones que puedan ser interferentes, como por ejemplo volcanes, áreas geotermales y áreas con excesivo polvo arrastrado por el viento.
  - Se debe evitar la contaminación por spray, ubicando el muestreador lo suficientemente alejado de la costa (tierra adentro).

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	8 de 42

- No se recomienda los sitios costeros con variaciones pronunciadas del viento diurno debido a los efectos de la brisa marina.
- Los sitios de monitoreo deben ubicarse lo más lejos posible de grandes operaciones industriales, como centrales eléctricas, plantas químicas e instalaciones de fabricación, considerando como mínimo una distancia de 50 km del mismo. En caso estas fuentes se encuentren en dirección desde donde sopla el viento (tomando como referencia el muestreador), la distancia debe ser como mínimo 100 km.
- Los sitios de monitoreo deben ubicarse considerando la cantidad de la población de las áreas urbanas y suburbanas que pudieran encontrarse cercanas. En caso la población del área sea menor o igual a 25 mil personas, debe estar alejado al menos en 50 km. Por otro lado, si es igual o supera las 100 mil personas, debe estar a 100 km como mínimo y se duplica la distancia si esta área se encuentra en la dirección de donde sopla el viento.

c) Seguridad: El lugar debe contar con un bajo riesgo de vandalismo o de invasión de especies que puedan afectar la integridad de los equipos, materiales e infraestructura utilizada para el monitoreo de la deposición húmeda, o en su defecto tomar los resguardos necesarios para evitar robos y/o daños a la integridad de los mismos.


Una vez identificado el sitio de monitoreo, se debe determinar su ubicación exacta en coordenadas UTM mediante el Sistema de Posicionamiento Global y, de preferencia, estos sitios deberán ser presentados en mapas.

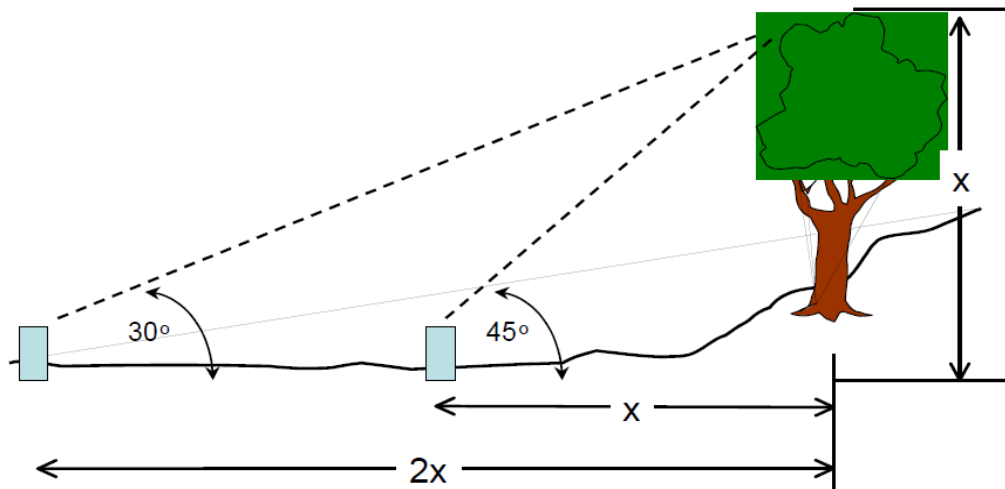
### 6.3.2 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Una vez identificado el sitio de monitoreo, se deben seguir ciertos criterios dentro de este, para la ubicación del punto de muestreo, el cual debe adaptarse lo más posible a lo descrito a continuación:

- Instalar el muestreador y el medidor sobre un terreno no perturbado. Se prefieren las áreas niveladas con vegetación natural al ras del suelo y pendientes de hasta  $\pm 15\%$ .
- Deben evitarse los cambios repentinos de pendiente dentro de los 30 metros alrededor del muestreador.
- La cobertura vegetal del suelo debe rodear al muestreador a una distancia de aproximadamente 30 metros.
- Mantener la altura de la vegetación entre 0.5 m y no más de la mitad de la altura del muestreador (medido desde el suelo hasta el orificio del colector).
- Las estructuras no deben proyectarse sobre el muestreador en un ángulo superior a  $45^\circ$  desde la horizontal ( $30^\circ$  se considera óptimo, pero  $45^\circ$  es el ángulo más alto aceptable). Las torres de anemómetro y los postes se consideran estructuras, así como los árboles u otros obstáculos, deben cumplir con este requisito (ver Figura 1).




	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	9 de 42



**Figura 1.** Ubicación del muestreador respecto a objetos cercanos

- En el caso de presentar un ángulo de  $30^\circ$  respecto al objeto, las viviendas residenciales deben estar ubicadas como mínimo a una distancia igual al doble de la altura del muestreador y cuando estén en la dirección predominante contra el viento, no debe estar a menos de 30 metros del muestreador.
- Cualquier objeto mayor a 1 metro de altura que sea capaz de desviar el viento no debe ubicarse a menos de 5 metros del muestreador, debido a que puede generar turbulencia. En caso de ocurrir turbulencia, no debe cerrarse la base del muestreador.
- Instalar el pluviómetro a una distancia de 5 a 30 metros del muestreador. En general, la boca del pluviómetro debe ubicarse a una altura no mayor que el orificio del muestreador y, para algunos pluviómetros, la ubicación debe ser lo más cerca posible de la superficie del suelo (pero lo suficientemente alta para evitar salpicaduras desde el suelo).
- Instalar cercas, si es necesario, para reducir el vandalismo o la invasión de animales. Se recomienda una cerca de malla metálica galvanizada.
- Se recomienda, pero no se exige, que el instrumento de medición de precipitación se ubique en una estación meteorológica estándar, la misma tiene que cumplir satisfactoriamente con los requisitos ubicación e instalación recomendados por la OMM.

 <b>Senamhi</b> <small>SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ</small>	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	10 de 42

#### 6.4 PERÍODO DE MUESTREO

El período de muestreo es el tiempo que transcurre desde la instalación hasta la extracción del colector. La extensión de este periodo depende de los objetivos del monitoreo, las consideraciones de calidad de la muestra y los costos operativos.

**Tabla 1. Periodos de muestreo**

Periodo	Hora de inicio	Recomendación	Comentarios
24 horas	0900 hora local	Altamente recomendado por la OMM	Requiere visitar el punto de muestreo de manera diaria.
Multidiario (menor o igual a 7 días)	0900 hora local	Recomendado por la OMM	Menos costosa que el periodo diario porque se visita el punto de muestreo con menos frecuencia, pero se obtienen menos muestras.
Mayor a 7 días (cada 2 semanas o mensual)	0900 hora local	No recomendado por la OMM	Mayor probabilidad de que las muestras se alteren. Una muestra faltante o no válida debido a un mal funcionamiento del muestreador o a la contaminación de la muestra puede comprometer o invalidar los promedios estacionales o anuales.
Duración de evento o tormenta	Variable	No recomendado por la OMM	Requiere un/a operador/a de sitio a tiempo completo y un monitoreo constante de la precipitación. Mano de obra intensiva y costosa. Proporciona datos de investigación valiosos, pero puede no ser práctico para el seguimiento a largo plazo.

Ya sea que las muestras se recolecten diariamente o semanalmente, es importante evitar retirar las muestras durante la precipitación. Esto se hace para reducir la alta probabilidad de contaminación por manipular una muestra durante la lluvia, por lo que es mejor esperar el término del evento. Si la precipitación no se ha detenido después de algunas horas, se debe recolectar la muestra y anotar en su registro de datos de campo.

## 6.5 PARÁMETROS DE MEDICIÓN

En la siguiente tabla se mencionan parámetros que permiten caracterizar la muestra, así como el método recomendado para su análisis:


**Tabla 2. Requerimiento de los parámetros de medición**

Parámetro	Requerimiento	Método recomendado
<b>pH</b>	Obligatorio	Electrodo de vidrio
<b>Conductividad eléctrica</b>	Obligatorio	Celda de conductividad
<b>Cl<sup>-</sup>, NO<sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Obligatorio	Cromatografía de iones
<b>Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup></b>	Obligatorio	Cromatografía de iones, espectrometría de plasma acoplado inductivamente (ICP), Espectrometría de absorción atómica, Espectrometría de emisión atómica
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Obligatorio	Cromatografía de iones, Colorimetría automatizada
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup></b>	Opcional	Cromatografía de iones
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Opcional	Cromatografía de iones, Colorimetría automatizada
<b>Alcalinidad</b>	Opcional	Valoración
<b>Ácidos orgánicos</b>	Opcional	Cromatografía de exclusión iónica, Cromatografía de iones

Fuente: (OMM, 2004)

La consideración de los parámetros opcionales depende de los objetivos del monitoreo o del estudio particular que se requiera, así como de alguna característica específica del área de estudio o del sitio de monitoreo. Por ejemplo, en áreas donde las concentraciones de ácidos orgánicos son altos, se recomienda el análisis de acetato y formiato.

La determinación química de metales pesados tales como el aluminio y el mercurio, pueden ser analizados como parámetros opcionales.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	12 de 42

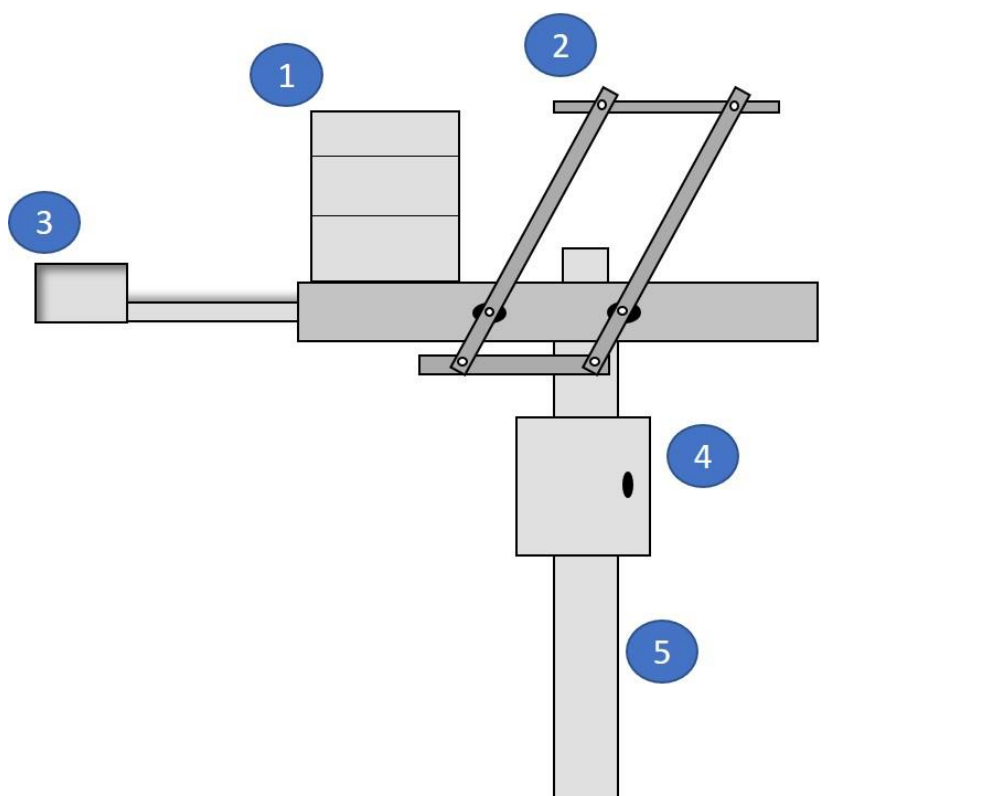
## 6.6 EQUIPOS MÍNIMOS NECESARIOS PARA EL MONITOREO DE DEPOSICIÓN HÚMEDA

### 6.6.1 MUESTREADOR


#### 6.6.1.1 COMPONENTES

Un muestreador de deposición húmeda cuenta con los siguientes componentes (ver Figura 2):

- 1) Un colector de muestra de precipitación (con tapa)
- 2) Una tapa externa que se abre y cierra automáticamente sobre el orificio del colector
- 3) Un sensor de precipitación
- 4) Un mecanismo de accionamiento motorizado con controles electrónicos asociados que permita la apertura y cierre automático de la tapa
- 5) Una estructura de soporte para albergar los componentes



**Figura 2.** Componentes de un muestreador de deposición húmeda


	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	13 de 42

### 6.6.1.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

Las características operativas mínimas son las siguientes:


- a) El muestreador debe ser automático para recolectar solamente muestras de deposición húmeda.
- b) La sensibilidad del muestreador para abrirse durante la precipitación y cerrarse en ausencia de esta, lo establece el fabricante o se ajusta a las condiciones locales.
- c) El muestreador se debe tapar automáticamente y proteger la muestra de la contaminación durante los períodos secos.
- d) La altura de la abertura, a través de la cual ingresa la precipitación al muestreador (es decir, el orificio del colector), debe ser de 1 a 1.5 m sobre el suelo.
- e) El colector debe tener un volumen suficiente para contener toda la precipitación recolectada durante el período de muestreo.
- f) En regiones extremadamente frías, donde es más probable la ocurrencia de nieve o granizo, se debe usar un recipiente cilíndrico de polietileno abierto de 20 a 50 cm de diámetro. La altura de este contenedor debe ser al menos el doble del diámetro del mismo para reducir la posibilidad que la muestra salga del contenedor.
- g) Se recomienda que el muestreador también pueda activarse manualmente para pruebas, limpieza y mantenimiento de rutina. De preferencia los componentes del muestreador deben ser de fácil separación, facilitando la reparación de alguno de ellos, de ser necesario, con un requerimiento mínimo de herramientas y experiencia.
- h) La muestra de precipitación debe entrar en contacto solo con el colector. Todas las superficies en contacto con esta deben ser químicamente inertes para que los parámetros que se vayan a analizar no sufran alteraciones. El polietileno, el polipropileno y fluoropolímeros (o un revestimiento de este) son materiales recomendados, mientras que los recipientes de vidrio o metal deben evitarse.
- i) El sensor de precipitación debe activar el accionamiento motorizado que descubre el orificio del colector. Cuando termina la precipitación, la tapa sella el orificio del colector automáticamente.
- j) Para minimizar la exposición de la muestra a la deposición seca y, evitar que el mecanismo automático de apertura y cierre de la tapa sea constante en caso de precipitaciones ligeras, algunos muestreadores retrasan el cierre durante uno o dos minutos después de que se detecta la última precipitación.
- k) La estructura de soporte que alberga los componentes debe ser fijada en el suelo con el fin de evitar su caída por efecto de los fuertes vientos, la precipitación y otros factores externos.

La siguiente tabla muestra las características que debe tener un muestreador automático de deposición húmeda para presentar un buen desempeño:

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	14 de 42

**Tabla 3. Características del muestreador automático de deposición húmeda**

Sensibilidad	Se abre dentro de los 5 segundos luego del inicio de la precipitación de cualquier tipo o intensidad. Cierra dentro de los 120 segundos del cese de la precipitación. No se abre en ausencia de precipitaciones.
Precisión: volumen de muestra en relación con la cantidad de precipitación registrado en el pluviómetro estándar	+0% a -20% para profundidades equivalentes en líquido de 0.05 a 0.25 cm de precipitación y +0% a -10% para profundidades Equivalentes en líquido > 0.25 cm de precipitación, excepto nieve
Rango de temperatura de funcionamiento	- 45°C a +50°C
Límite operativo respecto a la velocidad de viento	El muestreador se abre y se cierra correctamente, soportando velocidades de viento constante de 15 ms <sup>-1</sup> y 25 ms <sup>-1</sup> de ráfagas de viento.
Fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad	Intervalo de mantenimiento periódico ≥ 90 días tiempo medio entre fallos > 500 días tiempo medio de reparación o mantenimiento ≤ 60 minutos
Requerimiento eléctrico	Alimentado línea de corriente alterna (ac) (con operación opcional mediante baterías de 12V de corriente continua (dc) durante interrupciones de la línea de corriente) o alimentado por batería de 12V de corriente continua con recarga de panel solar.
Altura	El sensor y el orificio del colector se encuentran entre 1.0 y 1.5 m por encima de la superficie terrestre y es ajustable para mantener una altura de 1.0 m por encima de la nieve acumulada.
Colector	Todas las superficies del colector en contacto con la precipitación son químicamente inertes para los parámetros medidos; la capacidad del colector debe ser adecuada para contener toda la precipitación durante el período de muestreo.
Orificio del colector	Una tapa debe sellar el orificio contra la evaporación o la intrusión de partículas y gases durante el tiempo que haya ausencia de precipitaciones.
Contaminación por salpicaduras	Las salpicaduras de las superficies de los componentes del muestreador no deben entrar en el orificio del colector.

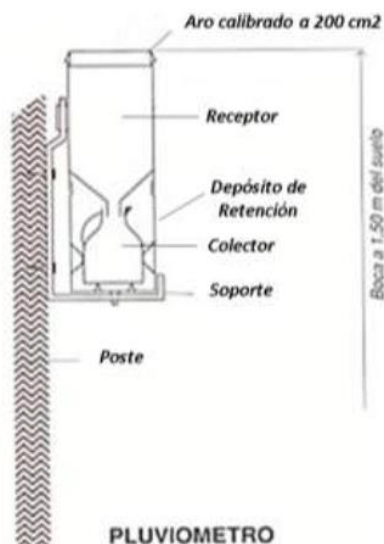
	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	15 de 42

## 6.6.2 PLUVIÓMETRO

### 6.6.2.1 COMPONENTES

El pluviómetro consta de las siguientes partes (ver Figura 3):


- 1) Receptor: Es un cilindro que tiene un área de captación cuya boca receptora está conformada por un anillo de bronce con borde biselado, su fondo tiene la forma de un embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro.
- 2) Depósito de retención: Sirve para almacenar el agua de lluvia cuando el colector de lluvia se ha rebalsado.
- 3) Colector del pluviómetro: Se coloca en el depósito de retención sobre tres bridas, es la parte encargada de coleccionar la precipitación de manera directa.
- 4) Soporte: Sostiene el pluviómetro en su conjunto.



**Figura 3.** Partes del pluviómetro

### 6.6.2.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

Los pluviómetros estándar están diseñados para ser el medio más preciso y representativo de medir la cantidad de precipitación. Por lo tanto, cada sitio debe operar un pluviómetro en paralelo con su muestreador de deposición húmeda. Los volúmenes del muestreador de deposición húmeda se utilizan para calcular los flujos de deposición húmeda solo cuando el pluviómetro falla o está temporalmente fuera de servicio. Sabiendo esto, las características mínimas que debe tener el pluviómetro utilizado son las siguientes:

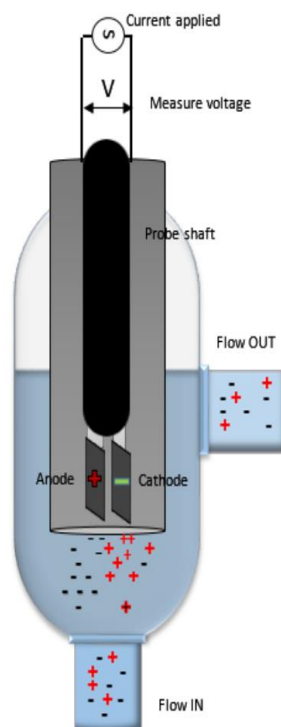
	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	16 de 42

- El receptor debe estar diseñado de modo que se impida que la lluvia salpique hacia adentro o hacia afuera, de manera que la pared vertical sea bastante profunda y la pendiente del embudo suficientemente inclinado.
- El colector de precipitación debe tener una boca bastante estrecha, lo suficientemente protegida de la radiación solar, a fin de reducir al mínimo las pérdidas del agua por evaporación.
- De preferencia, el pluviómetro debe ser manual.
- La capacidad máxima de la probeta debe ser de 10 mm para pluviómetros que tienen un área de captación de 200 cm<sup>2</sup> y de 25 mm para pluviómetros que tienen un área de captación de 100 cm<sup>2</sup>.
- Deben cumplir con los lineamientos de ubicación e instalación recomendados por la OMM.

### 6.6.3 CONDUCTÍMETRO


#### 6.6.3.1 COMPONENTES

- 1) Medidor de conductividad
- 2) Celda de conductividad o electrodo
- 3) Recipiente de flujo continuo (opcional)
- 4) Pilas (en caso el funcionamiento del medidor lo requiera)
- 5) Sensor de temperatura (deseable, en caso no se disponga usar un termómetro externo al momento de las mediciones de conductividad)



**Figura 4.** Celda de 2 polos con recipiente de flujo continuo



	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	17 de 42

### 6.6.3.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

Se recomienda seguir las siguientes especificaciones técnicas:

- La conductividad debe poder expresarse en unidades de microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), corregida a 25°C
- Rango de operación: 0.1 a 1000  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (de preferencia 0.01 a 1000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ )
- Precisión: 0.5% del rango
- Exactitud: 1% del rango
- Con sensor de temperatura (0 a 40°C / 0.1°C)
- Calibración mínima para dos puntos cercanos a los valores de las muestras
- El conductímetro debe ser de 2 polos platinados
- Utilizar una celda de conductividad que se dedique únicamente a las mediciones de muestras de precipitación
- Debe estar calibrado

## 6.6.4 pHMETRO

### 6.6.4.1 COMPONENTES


- 1) Electrodo combinado de pH
- 2) Medidor de pH

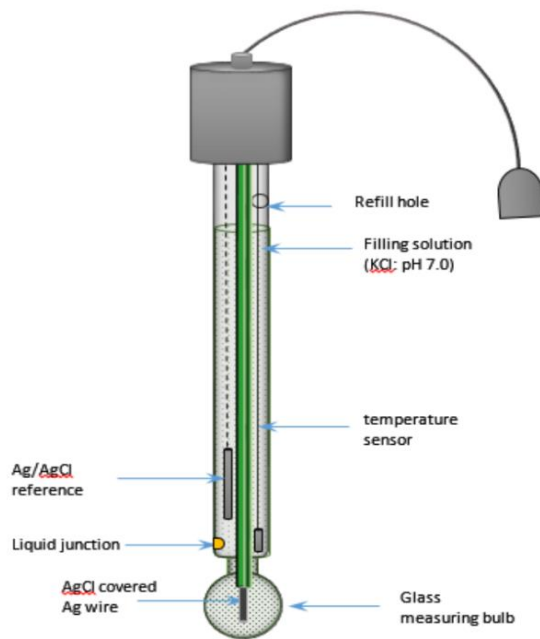
El electrodo combinado de pH es la parte más esencial para la medición de pH y está compuesto por los siguientes elementos:

- Electrodo indicador con un potencial eléctrico directamente proporcional al pH
- Electrodo de referencia con un potencial eléctrico constante e independiente del pH
- Solución iónica de relleno que proporciona un puente electrolítico entre los electrodos de indicación y de referencia.

La mayoría de las mediciones de pH se realizan con un electrodo combinado, que consiste en un electrodo de vidrio en combinación con un elemento de referencia de plata/cloruro de plata, una unión líquida, típicamente cloruro de potasio (KCl), que proporciona el puente electrolítico entre el vidrio indicador y los electrodos de referencia.

El vidrio sensible al pH especialmente formulado, proporciona una partición entre la muestra de precipitación y la solución de referencia interna. La diferencia de potencial eléctrico entre estos dos líquidos produce una señal de milivoltios, que el medidor de pH adjunto convierte a unidades de pH.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	18 de 42




**Figura 5.** Electrodo combinado de Ph

#### 6.6.4.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

Se recomienda seguir las siguientes especificaciones técnicas:

- Con electrodo de vidrio para la medición y un electrodo de referencia de calomelano, plata/cloruro de plata.
- Precisión de medición:  $\pm 0.01$  pH
- Con un solo electrodo que contenga medición y funciones de referencia (requiere menor cantidad de muestra)
- Capacidad para medir soluciones de baja fuerza iónica como muestras de precipitación
- Tiempo de respuesta menor a 1 minuto
- Calibración mínima para dos puntos
- Que posea un sensor de temperatura para realizar correcciones de temperatura en las mediciones de pH
- Considere uno que permita exportar los datos registrados a una hoja de cálculo u otra aplicación de captura de datos (opcional)

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	19 de 42

### 6.6.5 UNIDAD DE REFRIGERACIÓN

Sirve para conservar los materiales y las muestras que serán posteriormente analizadas en un laboratorio externo. La refrigeración es la técnica de conservación de muestras recomendada. El equipo debe alcanzar temperaturas menores a 4 °C para evitar la degradación química de la muestra. Las muestras deben refrigerarse inmediatamente luego del proceso de recolección para ser trasladadas al área de análisis (recomendable); asimismo, deben de refrigerarse en el área de almacenamiento para su análisis posterior (obligatorio) y, de corresponder, durante su traslado a un laboratorio de análisis externo (obligatorio). En este último caso, dependiendo del laboratorio, se deben seguir condiciones específicas o requerimientos del laboratorio de destino.

### 6.6.6 BALANZA ELECTRÓNICA

La balanza electrónica debe de tener una precisión mínima de 1 gr, será empleada para el pesaje de las muestras de precipitación. El equipo debe poseer el certificado de calibración de un laboratorio acreditado a fin de garantizar su precisión y exactitud. Además, debido a que se utilizará para la determinación de la masa de la muestra de deposición húmeda, es necesario que la balanza incluya un botón que permita tarar para hacer un buen pesaje de la muestra.

## 6.7 PROCESO DE MONITOREO

El objetivo del muestreo de campo es recolectar muestras representativas para el análisis químico, manipulándolas de tal manera que se preserve su integridad química. En principio, esto se logra de mejor manera asignando a una sola persona la responsabilidad de la recolección de muestras.


En este capítulo se describe el procedimiento general para el muestreo de la deposición húmeda.

### 6.7.1 Materiales requeridos

Las muestras de deposición húmeda se caracterizan por bajas concentraciones iónicas y son muy susceptibles a la contaminación; por tal motivo, para el muestreo se debe considerar los siguientes materiales:

#### **EQUIPOS:**

- Muestreador automático de deposición húmeda
- Pluviómetro estándar de precipitación
- Unidad de refrigeración
- Balanza electrónica de capacidad de 15 kg y sensibilidad de 1 g, la cual se utilizará para el pesado de la muestra que permitirá la obtención del volumen de esta (mediante la conversión de peso a volumen), considerando una densidad equivalente a 1,0 g L<sup>-1</sup>.
- Conductímetro
- pHmetro

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	20 de 42

- Estación meteorológica cercana o instrumentos de medición de variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento) que cumplan las especificaciones de los fabricantes, así como las comprobaciones periódicas de calibración y que estén instaladas según los criterios establecidos por el SENAMHI.

**INSUMOS:**

- Agua desionizada (<0.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ )
- Agua de batería (opcional), utilizada para la limpieza de materiales previo a la utilización del agua desionizada debido a ser de más fácil acceso y costo.

**INDUMENTARIA:**


- Guardapolvo
- Guardapolvo impermeable
- Guantes de plástico
- Guantes de nitrilo (libre de polvo)
- Toca (gorro)
- Mascarilla
- Botas quirúrgicas
- Lentes de seguridad
- Otros que contribuyan a la seguridad del/la operador/a y eviten la contaminación de la muestra

**REACTIVOS:**

- Soluciones buffer de pH 4.01 y 7.01
- Soluciones estándar de conductividad de 1413  $\mu\text{S/cm}$
- Soluciones de almacenamiento
- Solución limpiadora
- Solución de hidróxido de sodio NaOH al 90%

**OTROS:**

- Vasos de precipitado de plástico
- Bolsas de plástico
- Pañuelos de papel (tissue)
- Frascos de plástico de polietileno, polietileno de alta densidad o polipropileno con tapa
- Papel toalla
- Pissetas de plástico
- Esponja

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	21 de 42

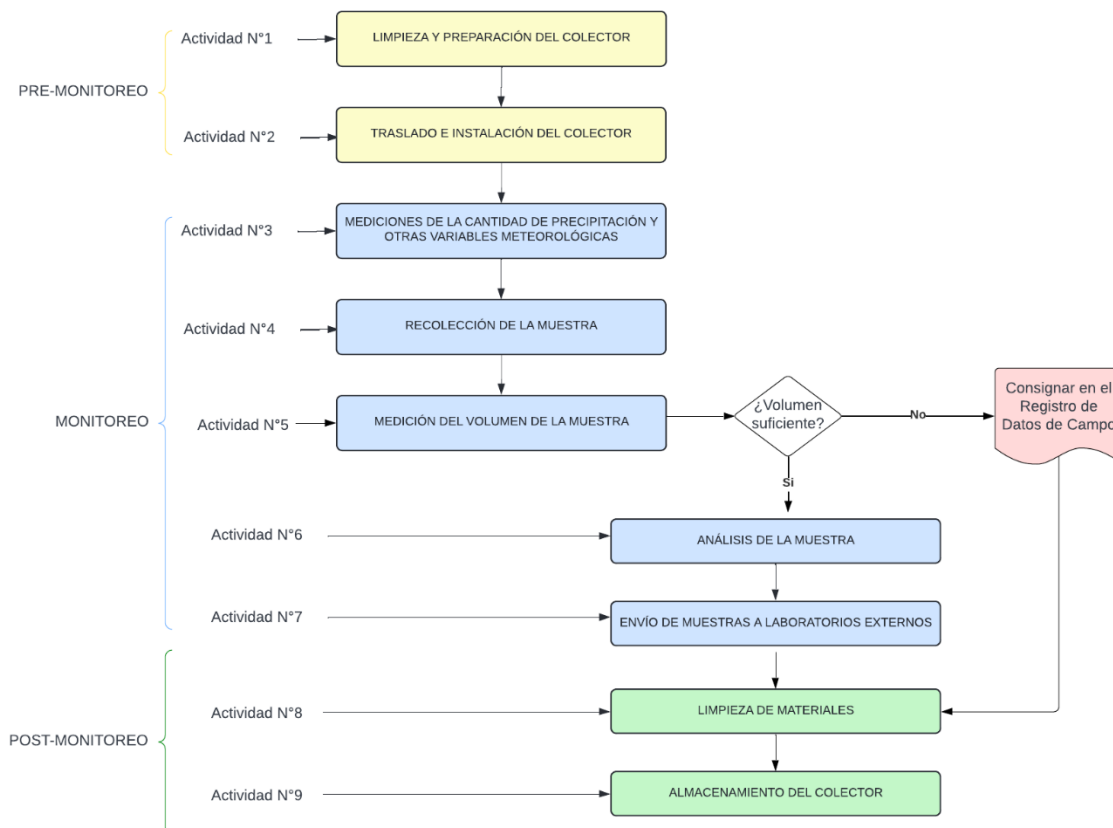
- Registro de datos de campo
- Pilas (dependiendo del requerimiento energético de los equipos)
- Cepillo limpia botella (de plástico)
- Recipientes de plástico, polietileno o polietileno de alta densidad
- Mesa
- Cooler (de ser necesario el traslado de muestras)

#### **6.7.2 CONSIDERACIONES PREVIAS AL PROCESO DE MONITOREO**

- El/la operador/a debe colocarse la indumentaria enlistada previamente en el numeral 6.7.1, la misma que debe de utilizarse en todo el proceso de monitoreo.
- El/la operador/a debe manipular cuidadosamente los materiales a fin de evitar alguna alteración en los resultados de la muestra, por lo que debe evitar tocar las paredes internas de los colectores.
- Determinar el volumen mínimo de muestra, la cual debe de estar en función a los requerimientos de los equipos utilizados para el análisis de los parámetros requeridos para el monitoreo.
- Lavar el material de laboratorio después de su uso y comprobar que esta se realizó de manera adecuada (ver la actividad N°1 del numeral 6.7.3.1).
- La instalación y puesta en marcha, tanto del muestreador automático como del pluviómetro, debe ser realizada siguiendo los lineamientos de su respectivo manual de operación e instalación del fabricante y, siguiendo los criterios de ubicación antes mencionados en el numeral 6.3.2, para ambos equipos.
- En caso de tener diferentes equipos para la medición de pH y conductividad eléctrica, se debe empezar a medir el parámetro de conductividad eléctrica, seguido del parámetro de pH, con el fin de evitar cualquier error en la medición debido a la contaminación salina del electrodo de pH.

#### **6.7.3 ETAPAS DEL MONITOREO**

Para describir las actividades del monitoreo de deposición húmeda, estas se han agrupado en las siguientes tres (3): pre-monitoreo, monitoreo y post-monitoreo. Cada etapa contempla una serie de actividades que permiten el monitoreo de la deposición húmeda (Ver Figura 6).




**Figura 6.** Actividades de las etapas del monitoreo

### 6.7.3.1 PRE-MONITOREO

En esta etapa se desarrollan las siguientes actividades:

#### ACTIVIDAD N° 1: LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DEL COLECTOR

- Ingresar al área de almacenamiento con la indumentaria apropiada (guardapolvo, guantes de nitrilo, toca, mascarilla, botas quirúrgicas y lentes de seguridad).
- Se recomienda que la limpieza se realice en una zona única dentro del área de análisis
- Limpiar con una esponja y agua desionizada ( $CE < 0.5 \mu S \text{ cm}^{-1}$ ) o, en su defecto, con agua de batería, todas las superficies con las que la muestra pueda estar en contacto hasta que la conductividad del agua del último enjuague sea menor o igual a  $0,5 \mu S \cdot \text{cm}^{-1}$ .
- Eliminar residuos visibles de las superficies que puedan estar en contacto con la muestra con una esponja limpia y empapada en agua desionizada.
- Evitar utilizar ácido o detergente para la limpieza. Es recomendable que la limpieza se realice dejando los recipientes remojando en agua desionizada durante 24 a 48 horas. De utilizar ácidos o detergentes, se debe tener especial cuidado en enjuagar los residuos.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	23 de 42

- El/la operador/a debe verificar el lavado haciendo un último enjuague con agua desionizada en el material que se esté lavando, y luego recolectar una muestra de esta en un vaso de precipitado para medir su conductividad eléctrica; si esta es mayor a 0.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el/la operador/a deberá continuar con el enjuague hasta que la conductividad sea la indicada (0.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
- Después de limpiarlos, los materiales que no se usen inmediatamente deben secarse sacudiendo el exceso de agua y, mientras aún estén húmedos, sellarlos o cubrirlos con plástico y almacenarlos en el área de almacenamiento (ver actividad N°9 del numeral 6.7.3.3 Almacenamiento del colector). Se debe evitar el secado al aire ya que muchos contaminantes son solubles en agua y se adhieren a las superficies secas.


### **ACTIVIDAD N° 2: TRASLADO E INSTALACIÓN DEL COLECTOR**

- La estructura del muestreador debe previamente haberse dejado de tal forma que permita la instalación del colector.
- Utilizando la indumentaria adecuada (guantes de plásticos desechables, toca, mascarilla y lentes de seguridad, botas quirúrgicas y guardapolvo impermeable), se procede a pesar el colector con la tapa incluida haciendo tres (3) repeticiones y registrando el promedio como “peso promedio del colector sin muestra (Psm)” en el formato “Registro de datos de campo” (del Anexo N° 8.1) ya que dicho valor será utilizado más adelante (ver actividad N° 5. Medición de volumen de la muestra).
- Posterior a esto, se debe de llevar el colector (sellado con su tapa) al punto de muestreo. Para ello, se debe ir desde el lado de donde viene el viento (es decir, de espalda al viento) y luego colocar el colector en el lugar adecuado en la estructura del muestreador (según el diseño del muestreador elegido).
- El/la operador/a en todo momento debe evitar tocar la superficie interna del colector y la superficie interna de su tapa.
- Se debe retirar la tapa del colector cuando este se encuentre ubicado en el lugar adecuado dentro de la estructura del muestreador, buscando minimizar el tiempo de exposición posible a la deposición seca.
- Una vez instalado el colector, se enciende el muestreador para su funcionamiento.
- El muestreador, con el colector instalado, se deja con el mecanismo encendido en el punto de muestreo durante el periodo de muestreo elegido.

#### **6.7.3.2 MONITOREO**

### **ACTIVIDAD N° 3: MEDICIONES DE LA CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN Y OTRAS VARIABLES METEOROLÓGICAS**

- Las mediciones del pluviómetro deben tomarse cercanas (en tiempo) a la recolección de la muestra de deposición húmeda, independientemente si se alcanza o no un volumen de muestra de deposición húmeda suficiente para el análisis posterior.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	24 de 42


- Las mediciones de precipitación se utilizan para calcular la deposición húmeda anual y los flujos de deposición húmeda.
- El/la operador/a se dirigirá hacia el pluviómetro para realizar la medición de la cantidad de precipitación, la cual consiste en retirar el receptor, extraer el colector, verter el contenido de precipitación a la probeta y anotar el valor obtenido en el “Registro de datos de campo” (ver Anexo 8.1). Por último, desechar la muestra, colocar el colector y el tanque protector en su lugar respectivo.
- Posterior a ello, el/la operador procederá a realizar la medición de las demás variables meteorológicas, dependiendo de los instrumentos con los que cuente y anotarlos en el “Registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1).

**OBSERVACIÓN:** Las variables meteorológicas deben ser registradas a la hora y día de recolección de muestra y simultáneamente con las mediciones de precipitación. Los equipos destinados al monitoreo de las variables meteorológicas deben ser utilizados de acuerdo a lo establecido en sus respectivos manuales de operación.

#### **ACTIVIDAD N° 4: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**

- Utilizando la indumentaria adecuada (guantes de plásticos desechables, gorro o toca, mascarilla y lentes de seguridad, botas quirúrgicas y guardapolvo impermeable), se procede a llevar el colector de repuesto (sellado con su tapa) al punto de muestreo para colocarlo en reemplazo del colector que se había dejado previamente.
- Para acercarse al punto de muestreo, deberá hacerlo desde el lado de donde viene el viento (es decir, de espalda al viento) para evitar la contaminación del colector.
- El/la operador/a debe evitar tocar la superficie interna del colector y la superficie interna de su tapa.
- Una vez en el punto de muestreo, inspeccionar el colector con la muestra en busca de signos visibles de contaminación antes de retirarlo.
- Activar el sensor de precipitación del muestreador, de tal manera que se abra la tapa del mismo y proceda a apagar el equipo. Asimismo, debe tener la tapa del colector a la mano para que, una vez se levante la tapa externa del muestreador, se coloque inmediatamente la tapa del colector protegiendo la muestra, minimizando la contaminación o mezcla con la deposición seca.
- Retirar el colector y proceder a realizar una limpieza rápida del muestreador con agua desionizada y un paño, con la finalidad de retirar polvo que puede haberse acumulado durante el tiempo de monitoreo.
- Una vez extraído el colector con la muestra, se procede a cambiar con el colector de repuesto, asegurarlo y retirar la tapa de este para luego encender el equipo y esperar unos segundos a que la tapa externa se cierre automáticamente.



	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	25 de 42

- Ya sea que las muestras se recolecten diariamente o semanalmente, es importante evitar retirar las muestras durante la precipitación. Esto se hace para reducir la alta probabilidad de contaminación, por tal motivo se recomienda esperar el cese del evento de precipitación. Si la precipitación no se ha detenido después de algunas horas, se debe recolectar la muestra y anotar lo sucedido en su registro de datos de campo.
- De preferencia, se debe recolectar y trasladar la muestra hacia el área de análisis en el mismo colector. Evitar usar recipientes adicionales que requerirán un trasvase de la muestra.

#### **ACTIVIDAD N° 5: MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA**

Luego de haber recolectado la muestra, es preciso llevarla hacia el área de análisis, donde se determinará el volumen de muestra y se almacenará. Se recomienda que, tanto el pesado del colector como la determinación del volumen de la muestra, se realice en la misma área y sobre una superficie plana y estable. Los pasos recomendados se describen a continuación:

- El/la operador/a deberá trasladar cuidadosamente el colector con la muestra hasta llegar al área donde se realizará la determinación del volumen de la muestra; cabe resaltar que el/la operador/a continúa con la indumentaria del proceso anterior (guantes de plásticos desechables, gorro o toca, mascarilla y lentes de seguridad, botas quirúrgicas y guardapolvo impermeable).
- Siguiendo las indicaciones del manual de operación de la balanza electrónica elegida, se debe pesar el colector con la muestra con tres (3) repeticiones (se debe tarar la balanza electrónica antes de cada pesaje).
- Los resultados obtenidos deberán ser anotados en el formato “Registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1). Estos pesos serán denominados “pesos con muestra”, obteniendo un solo valor al promediarlos.
- El peso final de la muestra será obtenido por diferencia entre el peso promedio del colector con muestra (Pcm) y el peso promedio del colector sin muestra (Psm), como se presenta en la siguiente fórmula:


$$\text{Peso final} = P_{cm} - P_{sm}$$

Donde:

Pcm: peso promedio del colector con muestra

Psm: peso promedio del colector sin muestra

- Para obtener el volumen de la muestra, se convertirá el peso final de la muestra (g) en volumen (ml) teniendo en cuenta la densidad equivalente del agua (d ~) que es igual a 1 g/ml: 1 g = 1 ml. Por ejemplo, si se determina el peso de la muestra de 15 g, entonces el volumen sería de 15 ml, anotar ambos valores en el formato “Registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1).

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	26 de 42

- Comparar el volumen obtenido con el volumen mínimo requerido de muestra para el análisis de conductividad, pH u otro análisis químico que se haya elegido, de manera que, si el volumen no es suficiente, se debe anotar el valor obtenido en el formato “Registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1), caso contrario se prosigue con los análisis.
- La muestra en caso de ser insuficiente, se desecha y se procede a limpiar las superficies del colector (ver actividad N° 8 del numeral 6.7.3.3) y su almacenamiento (ver actividad N° 9 del numeral 6.7.3.3).
- Posterior a ello, el/la operador/a debe separar un poco de la muestra (la cantidad necesaria que cubra los electrodos dependiendo de los equipos que se utilizarán) para realizar el análisis de la muestra (principalmente conductividad y pH, que son los parámetros más sensibles de variación) y, de tener cantidad suficiente, se debe de almacenar la muestra restante para los análisis de los demás parámetros de medición en el laboratorio, esto dependiendo de los objetivos del monitoreo o del estudio particular que se requiera.

#### **Almacenamiento de muestra de deposición atmosférica:**

Para el almacenamiento de la muestra restante, el/la operador/a deberá verter un poco de ésta a un frasco de plástico de polietileno de alta densidad o polietileno (usualmente proporcionado por los laboratorios), agitando en forma circular procurando que la muestra se impregne en todas las paredes internas del frasco, como un enjuague previo de este, luego deberá desechar el agua. Seguidamente, deberá verter el resto de la muestra al frasco, rotularlo (colocar código del punto de monitoreo, fecha, hora, responsable de monitoreo y observaciones de campo) y colocarlo en la unidad de refrigeración a una temperatura por debajo de 4°C para almacenarlo hasta el análisis posterior en laboratorio; asimismo, se deben considerar los requerimientos adicionales de preservación de muestras que tengan los laboratorios externos en el cual se analizarán las muestras posteriormente y tener especial cuidado en mantener la cadena de custodia adecuada.


### **ACTIVIDAD N° 6: ANÁLISIS DE LA MUESTRA**

#### **i. MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD**

La conductividad varía con la temperatura de la solución y es proporcional a la concentración y las especies de iones libres presentes en la solución. La conductividad se mide y expresa en unidades de microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), corregida a 25°C. El rango de conductividad de las muestras de precipitación suele ser de 5 a 1000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

Considerar las recomendaciones descritas en el numeral 6.6.3 para la elección del equipo; además, se debe seguir las instrucciones del fabricante para la operación, el mantenimiento y el almacenamiento del equipo, los cuales suelen estar indicados en su manual de operación. Los pasos para la de medición de la conductividad se describe de manera general a continuación:

- a) Utilizando la indumentaria adecuada (guantes de plásticos desechables, gorro o toca, mascarilla y lentes de seguridad, botas

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	27 de 42


quirúrgicas y guardapolvo) el/la operador/a debe verificar los valores de conductividad del equipo teniendo en cuenta lo descrito en el manual de operación del equipo.

- b) Posterior a ello, debe colocar la muestra en un recipiente de plástico o polietileno limpio con suficiente volumen para cubrir los elementos sensores de la celda, agitar unos segundos la muestra, esperar a que se estabilice hasta obtener un valor constante.
- c) Dado que la conductividad depende de la temperatura, se debe realizar la corrección de las mediciones a 25°C antes de obtener el promedio que se anotará en el registro de campo. Dichas correcciones pueden gestionarse de las siguientes maneras:
  - c.1) Medir la conductividad de muestras de precipitación y blancos de campo a 25°C utilizando baño María (se debe tener cuidado para evitar la contaminación de la muestra).
  - c.2) Medir a temperatura ambiente (dentro de un rango de temperatura de 18 °C a 30 °C) sin baño María y luego corrija el valor medido a 25 °C usando los coeficientes dados en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Coeficientes para la corrección de temperatura**

Temperature (°C)	Correction coefficient	Temperature (°C)	Correction coefficient
18	0.865	25	1.000
19	0.884	26	1.020
20	0.904	27	1.041
21	0.923	28	1.061
22	0.940	29	1.080
23	0.961	30	1.100
24	0.980		

- c.3) Medir la conductividad siguiendo la metodología en el manual de operación del equipo. En caso el equipo utilice automáticamente la corrección por temperatura a 25°C por medio de un sensor de temperatura interno.
- d) Se recomienda hacer hasta tres (3) repeticiones de la medición de conductividad de la muestra, sacando el promedio de estas y registrando dicho valor en el formato “Registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1).
- e) Entre cada medición de la muestra, enjuagar bien la celda con agua desionizada antes de realizar una nueva medición y posteriormente, medir el valor de la conductividad (a una resolución de 0.1  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ).

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	28 de 42

**OBSERVACIÓN:** En caso de pequeños volúmenes de muestra, dependiendo de la precipitación de la zona, la alícuota<sup>3</sup> que se utiliza para la medición de la conductividad se puede utilizar para la determinación del pH, debiendo medir primero la conductividad antes que el pH para evitar cualquier posible error debido a la contaminación salina del electrodo de pH.

## ii. MEDICIÓN DE pH

El pH de la precipitación varía entre aproximadamente 3.0 y 7.5 unidades de pH (la concentración de iones de hidrógeno normalmente; son posibles valores más bajos o más altos. El pH está relacionado con el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno mediante la ecuación:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Donde:

[H<sup>+</sup>] es la actividad o concentración de iones de hidrógeno libres.

El pH de una muestra de precipitación se determina potenciométricamente, usando un medidor de pH estándar con un electrodo de vidrio (H<sup>+</sup>) en combinación con un electrodo de referencia.


El efecto de la temperatura en las mediciones de pH puede controlarse utilizando instrumentos que tengan compensación de temperatura. Se recomienda un ajuste de temperatura de 25 °C para la medición del pH.

Se debe considerar que, en esta medición, los equipos deben cumplir con las recomendaciones descritas en la sección 6.6.4.

Los pasos para la medición de pH de la muestra, de manera general, son los siguientes:

- a) Utilizando la indumentaria adecuada (guantes de plásticos desechables, gorro o toca, mascarilla y lentes de seguridad, botas quirúrgicas y guardapolvo), el/la operador/a debe verificar los valores de pH del equipo de acuerdo con el procedimiento descrito en su respectivo manual de operación. Mantener preferentemente la temperatura de la muestra a 25°C o compensar la diferencia entre la temperatura ambiente y 25°C.
- b) Luego el/la operador/a debe colocar la muestra en un recipiente de plástico o polietileno limpio con suficiente líquido para cubrir los elementos sensores del electrodo.
- c) Enjuagar el electrodo con agua desionizada, sumergirlo en el recipiente de la muestra y agitar la muestra suavemente durante unos segundos (no agitar con varilla o agitador magnético).
- d) Esperar que el electrodo se equilibre y mida el pH de la muestra hasta obtener un valor constante. Esto puede ser difícil para soluciones de baja fuerza iónica con pH en el rango de 6 a 7. Registrar el valor de

<sup>3</sup> Parte del volumen total de la muestra cuyas propiedades físicas y químicas son proporcionales a la muestra total.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	29 de 42


pH (hasta 0.01 unidades) en el formato “Registro de datos de campo” (ver Anexo N°8.1).

- e) Se recomienda hacer hasta tres (3) repeticiones de la medición de pH de la muestra sacando el promedio de estas y registrando dicho valor en el “registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1). Recordar siempre enjuagar el electrodo con agua desionizada después de cada medición de pH.
- f) Se debe seguir las instrucciones del fabricante para la operación, el mantenimiento y el almacenamiento del equipo, los cuales suelen estar indicados en su manual de operación.

**OBSERVACIÓN:** Pueden existir pasos adicionales o requerimientos extras, esto dependerá del equipo que se esté utilizando para la medición de pH. Por ello, se recomienda tener en cuenta el manual de operación del equipo. **Los electrodos utilizados para las muestras de deposición húmeda no deben utilizarse para otros tipos de muestras.**

#### **ACTIVIDAD N° 7: ENVÍO DE MUESTRAS A LABORATORIOS EXTERNOS**

- Se recomienda que los tiempos de almacenamiento sean cortos y, enviar las muestras rápidamente al laboratorio analítico y que se analicen las muestras con prontitud son también prácticas recomendadas.
- Debido a que la mayoría de los muestreadores no están equipados para refrigerar muestras, es ideal refrigerar las muestras inmediatamente después de extraerlas del punto de muestreo.
- Dependiendo del periodo de muestreo, es necesario considerar lo siguiente:
  - Para la recolección diaria de muestras, la refrigeración inmediatamente después de la recolección y durante el almacenamiento y envío de muestras reduce las pérdidas de amonio.
  - Para la recolección de muestras semanales, se acumulan muestras durante una semana completa y se debe refrigerar durante el envío y el almacenamiento hasta el análisis. La refrigeración antes mencionada debe lograrse a una temperatura por debajo de 4°C.
- Considerar las condiciones específicas para el almacenamiento y traslado de las muestras, que requieran los laboratorios externos.
- Además, se recomienda que las muestras se transporten al laboratorio en el mismo colector. Sin embargo, esto no siempre es práctico debido al tamaño, la forma o alguna otra característica. Una alternativa es transferir la muestra a otro recipiente, el cual debe hacerse siempre en el área de análisis, nunca en el ambiente abierto. Solo transferir la muestra vertiéndola directamente de un recipiente a otro para evitar otra superficie de contacto. Los recipientes usados como destino de dicha transferencia deben ser de polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno o los proporcionados por el laboratorio externo. El uso de pipetas, jeringas, embudos, entre otros, es inaceptable.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	30 de 42


- Respecto a las botellas proporcionadas por el laboratorio externo, estas a menudo son demasiado pequeñas para el volumen de toda la muestra, particularmente para volúmenes muy grandes, por lo que solo se envía una parte de la muestra para su análisis. Se debe garantizar que las muestras estén refrigeradas durante el envío; para ello, estas deben ser colocadas dentro de un cooler con refrigeración mediante gel refrigerante u otro medio, que mantenga la temperatura por debajo de 4°C.
- Para envíos refrigerados con gel refrigerante, estos deben colocarse encima y debajo de los contenedores de muestra. Debe de comprobarse que las temperaturas de la muestra no superen los 4°C; una forma de hacerlo es incluir con el envío un termómetro que registre la temperatura. Otra práctica común es incluir un recipiente de agua (no una muestra) que se mide cuando el envío llega al laboratorio. El personal del laboratorio debería registrar la temperatura cuando reciba la muestra y tomar medidas correctivas cuando se excedan los límites de temperatura, por ejemplo, agregar aislamiento o más "paquetes fríos" para envíos futuros.
- Aunque se recomienda la entrega rápida de muestras al laboratorio, el costo y la logística pueden resultar en tiempos de envío más prolongados. Una alternativa es enviar muestras al laboratorio analítico semanalmente. Antes de enviar las muestras al laboratorio, inspeccionar cada contenedor para asegurarse de que esté debidamente sellado, etiquetado, rotulado y empacado.
- A fin de evitar pérdidas de muestras o fallas durante el envío al laboratorio, es importante considerar procedimientos y documentos que ayuden a la administración de las muestras, como por ejemplo tener disponible una cadena de custodia.

### 6.7.3.3 POST MONITOREO

#### ACTIVIDAD N° 8: LIMPIEZA DE MATERIALES

- El/la operador/a deberá vestir la indumentaria adecuada (toca, guardapolvo impermeable, mascarilla, botas quirúrgicas, lentes de seguridad y guantes de polietileno) para el proceso de lavado.
- Se recomienda que la limpieza se realice en una zona única dentro del área de análisis. Esto debido a que una fuente de agua estable (tanto desionizada y de batería, de ser el caso) es necesaria para la limpieza, por lo que tenerlas a disposición en un solo sitio puede ser más eficiente.
- Se procede según lo descrito en la actividad N° 1 del numeral 6.7.3.1, ya que el principio es el mismo.

**OBSERVACIÓN:** Para verificar la eficiencia de los procedimientos de limpieza y manipulación de muestras, es recomendable utilizar blancos de campo. Para ello, se deberá esperar un período donde no haya precipitación y, escoger al azar los materiales limpios almacenados (colector y su tapa).


	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	31 de 42

- Instalar el colector según lo detallado en la actividad N° 2 del numeral 6.7.3.1. y, de forma inmediata, agregar agua desionizada a todo el colector simulando la precipitación.
- Luego, se deberá realizar la recolección del colector (ver actividad N° 4 del numeral 6.7.3.2), la medición del volumen (ver actividad N° 5 del numeral 6.7.3.2) y el análisis de la muestra (conductividad eléctrica y pH) (ver actividad N° 6 del numeral 6.7.3.2) y otros análisis de corresponder, como si se tratara una muestra real colectada.
- El volumen de agua desionizada utilizada para esta verificación debe aproximarse al volumen mínimo requerido de muestra de deposición húmeda, identificado con anticipación según los análisis que se realizarán, el volumen restante (si lo hubiera) debe almacenarse en un frasco de polietileno en la unidad de refrigeración a una temperatura por debajo de 4°C (rotular el frasco con los datos del monitoreo: fecha, hora, punto de muestreo y responsable, indicando que se trata de un blanco de campo).
- Para el monitoreo diario, se recomienda recolectar al azar de 2 a 4 blancos por mes y para el monitoreo semanal, de 1 a 2 blancos por mes.

#### **ACTIVIDAD N° 9: ALMACENAMIENTO DEL COLECTOR**

- Después de la limpieza, el colector utilizado en el monitoreo y su tapa deberán secarse sacudiendo el exceso de agua y, mientras aún esté húmedo, deberá ser colocado en una bolsa plástica y almacenados en la unidad de refrigeración dentro del área de almacenamiento, a una temperatura por debajo de 4°C. Se debe de procurar que los materiales estén volteados (colector con la base hacia arriba y la tapa hacia abajo) de manera que el agua restante pueda terminar de caer.
- Se recomienda almacenar por separado la tapa del colector (protegido con la bolsa de plástico) y el colector (también protegido con la bolsa de plástico).
- Se recomienda tener como mínimo dos colectores, uno para el inicio del proceso de muestreo, y otro de reemplazo el cual será utilizado al momento de recolección de la muestra.



	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	32 de 42


## 7. TABLA HISTÓRICA DE CAMBIOS

Versión	Detalle de cambios
01	Versión inicial


## 8. ANEXOS

- 8.1 Anexo N° 1: Formato “Registro de datos de campo” y ejemplo
- 8.2 Anexo N° 2: Ejemplo de procedimiento de medición de la conductividad eléctrica en el OVA Marcapomacocha
- 8.3 Anexo N° 3: Ejemplo del procedimiento de medición de pH en el OVA Marcapomacocha



	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	33 de 42

**ANEXO N° 1  
FORMATO “REGISTRO DE DATOS DE CAMPO” Y EJEMPLO**

 <b>REGISTRO DE DATOS DE CAMPO</b>							
ESTACIÓN : Estación de Vigilancia de la Atmosfera Global Marcapomacocha							
DEPARTAMENTO: Junin				Latitud: 11°24'18.00"S			
PROVINCIA: Yauli				Longitud: 76°19'31.10"W			
DISTRITO : Marcapomacocha				Altitud: 4479 m.s.n.m.			
P.MUESTREO:		<input type="text"/>		FECHA: ____/____/____		HORA: ____:____ Hrs.	
DESCRIPCIÓN: La estación VAG se encuentra a 1.5 km de la población de Marcapomacocha, al noreste de la laguna de Marcapomacocha.							
Parámetros de campo							
Resultados del Multiparámetro 1 HANNA				Resultados del pHmetro 1 OHAUS		Peso del recipiente sin muestra (g)	
pH (Unid. pH)		C.E. (µS/cm)		pH (Unid. pH)		P1	Peso del recipiente con muestra (g)
						P2	P2
						P3	P3
						Psm Promedio	Pcm promedio
Calibración de pH- Multiparámetro 1 (HANNA)			Verificación de pH- Multiparámetro 1	Calibración de Conductividad- Multiparámetro 1	Verificación de conductividad- Multiparámetro 1	Peso final (Psm promedio - Pcm promedio) (g)	
Punto 1		Punto 2				Volumen de la muestra (g)	
Calibración de pH- pHmetro 1 (OHAUS)			Verificación de pH-	Cantidad de la muestra (mm)	Observaciones:		
Punto 1		Punto 2					
RESPONSABLE: _____				FECHA: _____		FRMA: _____	

**ANEXO N°2**  
**EJEMPLO DE PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL**  
**OVA MARCAPOMACOCHA**

El equipo está por defecto asignado a este tipo de verificación. En el modo de verificación automática, el COND 6+ seleccionará automáticamente uno de (4) valores estándar de verificación dependiendo del rango y la normalización temperatura que se está utilizando (ver tabla 7).

**Tabla 7. Rangos y valores estándar para el proceso de verificación automática del conductímetro OAKTON**

Normalization Temperature	Calibration Standards (Range)
25 °C	1. <b>84 μS/cm</b> (for 0 – 200 μS/cm) 2. <b>1413 μS/cm</b> (for 0 – 2000 μS/cm) 3. <b>12.88 mS/cm</b> (for 0.00 – 20.00 mS/cm) 4. <b>111.8 mS/cm</b> (for 0.0 – 200.0 mS/cm)
20 °C	1. <b>76 μS/cm</b> (for 0 – 200 μS/cm) 2. <b>1278 μS/cm</b> (for 0 – 2000 μS/cm) 3. <b>11.67 mS/cm</b> (for 0.00 – 20.00 mS/cm) 4. <b>102.1 mS/cm</b> (for 0.0 – 200.0 mS/cm)

La verificación automática es útil cuando todos sus estándares de verificación pertenecen a uno de los grupos mencionados en la tabla. Por ejemplo, si su estándar de 1413 μS/cm se lee como 1400 μS/cm durante la verificación, presionar "ENTER" para aceptar. Automáticamente, el equipo asigna el rango calibrado con el valor estándar exacto (1413 μS/cm).

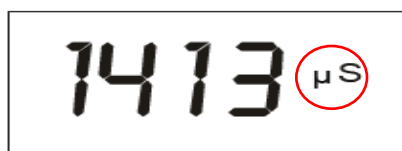
**NOTAS:**

**La verificación automática solo se puede usar para las soluciones patrones que se mencionan en la Tabla 7. Si su solución patrón no aparece en la Tabla 7, debe proceder a realizar la verificación manual.**

**Solo se puede verificar un punto por rango. Además, el rango 0-20 μS/cm no se puede verificar en modo automático.**

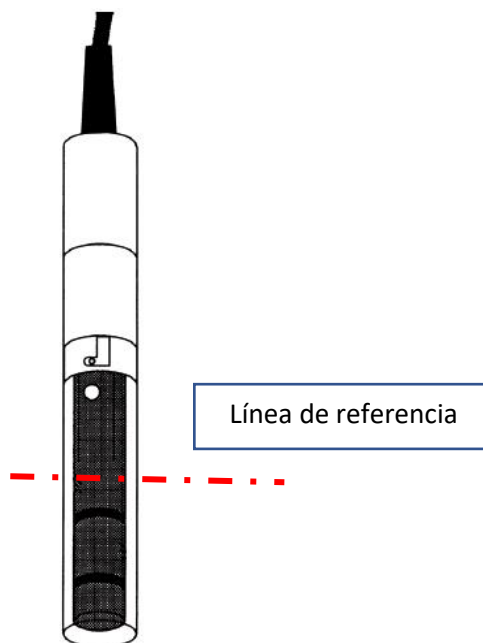
**PROCESO DE VERIFICACIÓN:**

1. Encender el equipo y conecte el electrodo, en caso no esté conectado.
2. Tener lista las soluciones patrones para la calibración bajo lo indicado de la tabla 7.
3. En caso en la pantalla no esté la medición de conductividad, presione el botón "MODE" tantas veces sea necesario hasta que en la pantalla aparezca la medición de conductividad:



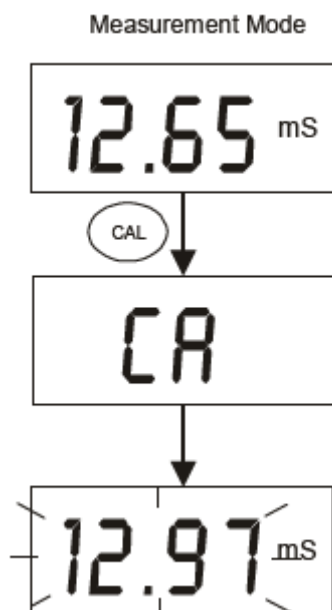
**Figura 7.** Ejemplo de mensaje para seleccionar la opción de medición de conductividad

4. Limpiar el electrodo con agua destilada o ionizada. Posteriormente, se debe secar con pequeños toques usando pañuelo de papel y luego enjuagarlo con un poco de solución patrón.
5. Sumergir el electrodo a la solución patrón hasta que cubra la línea de referencia del protector del electrodo (ver figura 8) y girarlo en círculos por unos 3 segundos para homogeneizar. Luego, mantener el electrodo sumergido y esperar a que la medida registrada en la pantalla del equipo se estabilice.




**Figura 8.** Ejemplo de mensajes para cambiar al modo calibración (verificación) en el conductímetro

6. Presionar una vez el botón “CAL”, para cambiar al modo calibración (verificación). En la pantalla saldrán las letras “CA” para luego mostrar el valor de medición en la pantalla, pero parpadeando.

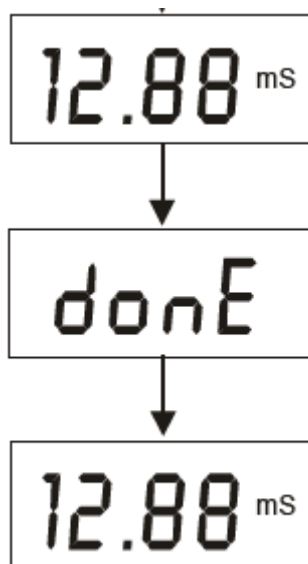


**Figura 9.** Ejemplo de mensajes para cambiar al modo calibración en el conductímetro

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	36 de 42

**NOTA:** Para salir del modo calibración/verificación sin hacer cambios, presione otra vez el botón “cal” para retornar al modo medición.

7. Cuando la medición se estabilice de nuevo, presionar el botón “ENTER” para que acepte el valor. Esperar unos segundos, si todo es correcto en la pantalla aparecerá “done” y se retornará al menú de medición normal.



**Figura 10.** Ejemplo de mensajes cuando se acepta el valor en el conductímetro


8. Si esto sucede, el equipo ya está verificado para el rango perteneciente a la solución patrón.
9. Repetir los pasos (4 al 7) para cada rango y solución patrón que vaya a verificar.

**NOTAS:**

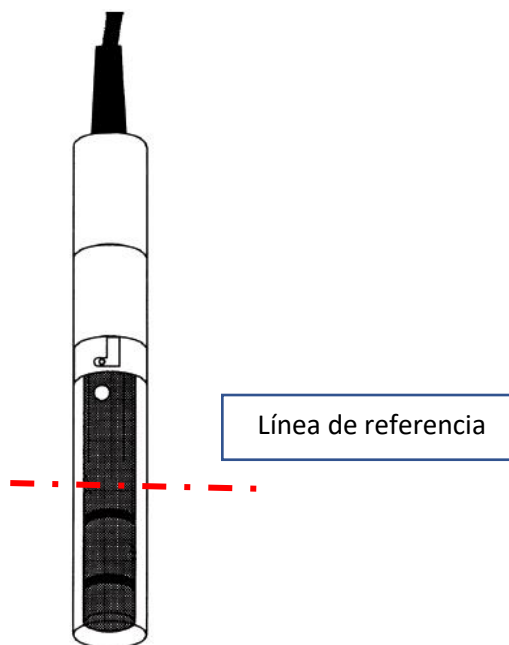
- Se pueden producir errores en la verificación. Si la medición tiene una desviación de  $\pm 40\%$  del valor del patrón, en la pantalla aparecerá “err1” (en lugar de “done”) y regresará al menú de medición normal. En caso suceda esto, repita el proceso una vez más y si el problema persiste, haga la verificación de tipo manual.
- Si la temperatura de medición es menor a  $0^{\circ}\text{C}$  o más de  $50^{\circ}\text{C}$ , aparecerá en la pantalla “err2” y regresará al menú de medición. Si esto sucede, verificar si la temperatura está en el rango aceptable de medición ( $0\text{-}50^{\circ}\text{C}$ ).

**MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD DE LA MUESTRA**

1. Encender el equipo
2. Verificar que el protector de sonda se encuentre sobre el electrodo.
3. Realizar el proceso de verificación de las mediciones del equipo, previamente descritos.
4. Enjuagar el electrodo con agua destilada o ionizada para remover impurezas. Secar con cuidado usando pañuelos de papel. Luego enjuagar el electrodo con un pequeño volumen de la muestra.


	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	37 de 42

- Sumergir el electrodo del conductímetro en la muestra, hasta que cubra la línea de llenado en el protector del electrodo (por encima de las dos bandas de metal del electrodo). Evitar golpear el protector del electrodo con alguna superficie mientras realiza la medición.




**Figura 11.** Línea de referencia para sumergir el conductímetro

- Mover en círculos el electrodo, durante 3 segundos para homogeneizar la muestra. Luego, esperar que la medición en la pantalla del conductímetro se estabilice.
- Una vez estabilizada, presionar el botón "HOLD" para fijar el valor obtenido de conductividad y anotarlo en el formato "Registro de datos de campo" (ver Anexo N° 8.1).
- Una vez anotado, presionar otra vez el botón "HOLD" para volver a la medición normal.
- Enjuagar el electrodo con agua desionizada y secar el agua con pequeños toques con un pañuelo de papel.
- Repetir los pasos 4-9 hasta obtener tres mediciones de conductividad y registrarlas en el formato "Registro de datos de campo".
- Obtener el promedio de las mediciones registradas (3) y registrarlo en el formato "Registro de datos de campo" (ver Anexo N° 8.1). Este promedio será el valor representativo de la conductividad considerado para la muestra.
- Desechar la muestra.
- Enjuagar el electrodo con agua desionizada y secar el agua con pequeños toques con un pañuelo de papel.
- Apagar el equipo presionando el botón "ON/OFF" y luego almacenar el equipo donde corresponda.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	38 de 42

**NOTAS:**

- En todas las mediciones que realice, el electrodo debe tener su protector de sonda (probe guard). La ausencia del protector durante la medición tendrá como consecuencia que los resultados no sean los confiables.
- Se recomienda que se limpie el protector del electrodo con alcohol isopropílico luego de cada medición de conductividad de la muestra.
- El equipo automáticamente asignará un rango a la muestra. Si se quisiera cambiar ese rango se puede hacer manualmente usando los botones con flechas del equipo durante el momento de la medición.
- El equipo posee un sensor de temperatura y un proceso de auto corrección de temperatura a 25°C.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	39 de 42

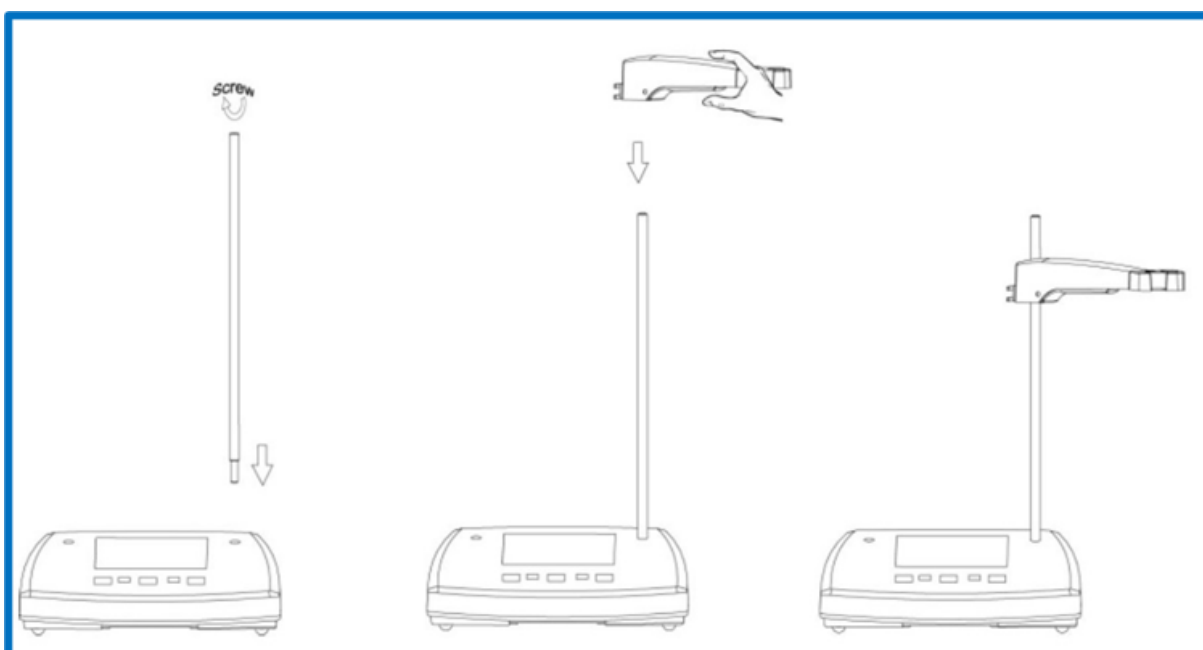
### ANEXO N°3

#### EJEMPLO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE PH EN EL OVA MARCAPOMACOCHA

##### 1) Revisión e instalación del equipo OHAUS

- **Instalación del brazo integrado**


- Retirar la cubierta de goma del orificio del brazo del pHmetro, insertar el tubo de metal en el orificio y atornillarlo para fijarlo.
- Instalar desde arriba el brazo integrado sobre el tubo de metal y ajustarlo a una altura moderada. Para desplazar el brazo hacia arriba o abajo, el/la operador/a deberá presionar el botón que se encuentra en este.



**Figura 12.** Instalación de brazo integrado

- **Instalación de los electrodos**

- Conectar los electrodos de pH y temperatura al pHmetro.
- La manipulación de los electrodos de pH y temperatura de este equipo debe ser empleando el brazo integrado que sirve como soporte de estos.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	40 de 42



**Figura N° 13.** Conexión de los electrodos de pH y temperatura

Mientras el equipo se encuentre apagado, el/la operador/a revisará el estado del electrodo de pH, para lo cual deberá retirar la botella de almacenamiento y enjuagar el electrodo con agua desionizada, así también enjuagar el electrodo de temperatura; sin embargo, en caso de observar presencia de depósitos de sales (partículas de color blanco), se limpiará con abundante agua desionizada y se removerá el exceso de agua con un pañuelo de papel.


**NOTA: Ajuste de temperatura**

**Si el equipo no detecta el electrodo de temperatura, no se utiliza o se encuentre descompuesto, el equipo cambiará automáticamente al modo de compensación de temperatura manual (MTC) y MTC aparece en la pantalla.**

**MTC se puede ajustar de la siguiente manera:**

- **Presionar el botón “Temp” por 3 segundos y aparecerá solo el valor de temperatura MTC en la parte inferior de la pantalla, por defecto aparecerá el valor de temperatura MTC de 25°C.**
- **A continuación, se deberá utilizar el botón “Temp” o botón “pH/mV” para aumentar o disminuir el valor de la temperatura de la muestra respectivamente, para lo cual se deberá utilizar como referencia la temperatura ambiental que registra el termómetro de bulbo seco de la estación EVA Marcapomacocha.**
- **Presionar el botón “Read/Enter” (Leer) para aceptar el ajuste de temperatura presionar el botón “Exit” (Salir) para rechazarlo.**
- **Para retornar a los valores de pH (7) y temperatura (25°C) por defecto (modo ATC), apagar el pHmetro presionando el botón “Exit” por 3 segundos, posteriormente mantener pulsados a la vez durante 3 segundos los botones “Read”, “Cal” y “Exit”, la pantalla mostrará y parpadeará, lo que indicará que esta “reiniciando”, luego pulsar el botón “Read” para establecer los valores de fabrica (MTC, pendiente, compensación, etc.), se mostrará “YES”, y de inmediato aparecerá en la pantalla estos valores.**
- **Las mediciones de pH realizadas en el modo MTC son menos precisas, por lo que se recomienda usar el electrodo de temperatura.**



	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	41 de 42

## 2) Verificación del equipo


- Antes de la medición, se deberá realizar la verificación del pHmetro N° 1 con el uso de las soluciones buffers de pH 4.01 y pH 7.01.
- Se deberá tener sobre la mesa los recipientes con las soluciones de calibración (Tampón o buffer) de pH 4.01 y pH 7.01, procurando tener un nivel suficiente para cubrir el electrodo, aproximadamente de 60 ml cada uno.
- Encender el equipo con el botón "Exit", presionar el botón del brazo integrado para desplazar los electrodos de pH y temperatura hasta sumergirlos en la solución buffer de pH 4.01.
- Pulsar el botón "Cal" (Calibración/verificación), se mostrará "Cal 1" en la parte superior derecha de la pantalla y parpadeará. En la parte superior de la pantalla aparecerá el icono de medición, el cual parpadeará durante la calibración/verificación.
- Esperar hasta que la lectura sea estable (por lo general esto puede tardar de 2 min a más), luego pulsar el botón "Read/Enter" (leer) para finalizar la lectura y la calibración/verificación de un punto, si el ícono sigue parpadearando, es indicador de que la lectura aun no es estable, por lo que se deberá esperar unos minutos más y volver a presionar "Read/Enter".
- Junto con la temperatura, se mostrará en la pantalla el valor de pH calibrado/verificado de la solución buffer, el cual deberá ser consignado en el formato "Registro de datos de campo" (ver Anexo N° 8.1), el pHmetro reconoce el buffer automáticamente
- Se deberá enjuagar el electrodo de pH y temperatura con agua desionizada y secar el agua con pequeños toques usando un pañuelo de papel.
- Para realizar la calibración/verificación en el segundo punto, se deberá pulsar el botón del brazo integrado para desplazar los electrodos de pH y temperatura hasta sumergirlos en la solución buffer de pH 7.01, después pulsar el botón "Cal" (Calibración/verificación), se mostrará "Cal 2" en la parte superior derecha de la pantalla y parpadeará durante la calibración/verificación.
- Esperar hasta que la lectura sea estable (por lo general esto puede tardar de 2 min a más), luego pulsar el botón "Read/Enter" (leer) para finalizar la lectura y la calibración/verificación del segundo punto, si el ícono sigue parpadearando, es indicador de que la lectura aun no es estable, por lo que se deberá esperar unos minutos más y volver a presionar "Read/Enter", el valor calibrado/verificado de pH deberá ser consignado en el "registro de datos de campo".

**NOTA:** Verificar el estado del electrodo del pHmetro N°1 (OHAUS), el ícono se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla LCD.

Estado del electrodo		
😊	Pendiente: más del 95% y compensación: $\pm$ (0-15) mV → el estado del electrodo es buena	😐
😐	Pendiente: más del 90-95% y compensación: $\pm$ (15-35) mV → el estado del electrodo es aceptable	☹️
☹️	Pendiente: menos del 90% y compensación: $\pm$ (35-60) mV → el estado del electrodo no es buena	

Si el estado del electrodo es bueno (😊) o aceptable (😐), el/la operador/a debe proceder continuar con la actividad N° 6 del numeral 6.7.3.2. Por el contrario, si el estado del electrodo no es bueno (☹️), el electrodo necesita de una limpieza exhaustiva con agua destilada y realizar una nueva calibración.

Si el estado se mantiene después de la calibración, el /la operador/a deberá informar a la SEA para las acciones correspondientes.

	<b>MANUAL TÉCNICO</b>	<b>Código</b>	MT-DMA-001
	<b>MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Página</b>	42 de 42

- Al finalizar la calibración/verificación, presionar “Read/Enter” durante 3 segundos para cambiar a modo de medición y el/la operador deberá enjuagar los electrodos con abundante agua desionizada y colocar la tapa protectora al electrodo de pH.

### 3) Medición de pH con el pHmetro

- Se enjuagará los electrodos con agua desionizada y secar el agua con pequeños toques usando un pañuelo de papel, presionar el botón del brazo integrado para desplazar los electrodos de pH y temperatura hasta sumergirlos en la muestra, agitar el vaso precipitado durante aproximadamente 5 segundos y esperar durante otros 30 segundos.
- Presionar el botón “Read/Enter” (leer) durante 3 segundos, aparecerá en la pantalla el icono de medición en la parte superior, el cual parpadeará durante la medición, y se mostrará en la pantalla el valor de pH y temperatura. Esperar hasta que la lectura sea estable (aprox. 10 min), después de unos minutos pulsar el botón “Read/Enter” para finalizar la lectura, Si el ícono sigue parpadeando, se deberá esperar unos minutos más hasta que la lectura sea estable, volver a presionar “Read/Enter”.
- Cabe precisar, que se realizarán 3 mediciones de la muestra, el valor de pH será anotado en el formato “Registro de datos de campo” (ver Anexo N° 8.1).
- Al terminar la última medición, la muestra deberá ser desechada.
- Se deberá enjuagar los electrodos con agua desionizada y secar el agua con pequeños toques con un pañuelo de papel, para luego colocar la botella de almacenamiento al electrodo de pH. Si existiera poca solución de almacenamiento, se deberá agregar unas gotas de solución al interior de la botella. Se apagará el medidor presionando el botón “Exit” por 3 segundos y se procederá a desenchufar el medidor, el equipo se dejará instalado sobre la mesa del laboratorio.