

GUIA DE CAMPO PARA EL MONITOREO COMUNITARIO DE LA CALIDAD DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO Y AGUA (LASA)

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL (CIGA)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM Campus Morelia)**



CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
U N A M



**F U N D A C I O N
GONZALO RIO ARRONTE, I.A.P.**

Elaboró: Rosaura Páez Bistrain e Hilda Rivas Solórzano

Fecha: Diciembre 2011

Citar como:

Páez B. R. & H. Rivas S. Guía de campo para el monitoreo comunitario de calidad de agua. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM, Campus Morelia. México. Diciembre de 2011.

Esta guía fue elaborada con el apoyo financiero del proyecto Fondos Mixtos CONACYT – Estado de Michoacán 115454 “Monitoreo comunitario del agua en cuencas rurales del Bajo Balsas” y la Fundación Gonzalo Río Arronte.

CONTENIDOS

Introducción.....	3
Muestreo de agua	7
Generalidades.....	8
<i>Selección de sitios de muestreo.....</i>	<i>8</i>
<i>Contenedores para el muestreo</i>	<i>9</i>
Colecta de muestras en arroyos.....	9
Colecta de muestras en pozos o depósitos.....	11
Conservación de muestras	12
Monitoreo físico-químico	13
Generalidades.....	14
Temperatura.....	15
pH	16
Dureza total.....	18
Alcalinidad total.....	20
Turbidez.....	21
Monitoreo bacteriológico	23
Generalidades.....	24
Preparación para el muestreo.....	24
Colecta e incubación de muestra	24
Revisión de placas	25
Interpretación de datos.....	25
Tratamiento de cajas e incubadoras	27
Referencias	27
Anexos.....	28
Hoja de campo.....	29
Valores de referencia	30

INTRODUCCIÓN

Es difícil establecer generalizaciones acerca del agua. Aunque se puede afirmar que el agua es uno de los recursos más abundantes de la Tierra, se sabe que la proporción disponible con seguridad para el consumo humano no llega al 1 por ciento del total. El volumen de agua en nuestro planeta se estima en unos 1.460 millones de kilómetros cúbicos. Si pudiéramos poner toda el agua del planeta en una botella de un litro, tendríamos lo siguiente:

- 970 mL de la botella serían agua de mar.
- 30 mL (el contenido de un frasco de pintura de uñas) sería agua dulce e incluiría: vapor de agua, lagos, ríos, hielos polares y agua subterránea.
- Únicamente 2 gotas de agua dulce se encontrarían en lagos y ríos.

Pese a la escasez de agua, su utilización errónea es un fenómeno generalizado. Las pequeñas comunidades y las grandes urbes, los agricultores y las industrias, los países en desarrollo y las economías industrializadas, todos estamos manejando mal los recursos hídricos. La calidad del agua de superficie se está deteriorando en las principales cuencas a causa de los residuos urbanos e industriales. Las aguas subterráneas se contaminan desde la superficie. Los acuíferos sobreexplotados están perdiendo su capacidad de contener agua, y las tierras se están hundiendo. Las ciudades no son capaces de atender debidamente las necesidades de agua potable y saneamiento. El anegamiento y la salinización están reduciendo la productividad de las tierras regadas. Y con la merma de los caudales están disminuyendo asimismo la generación de energía hidroeléctrica, la asimilación de la contaminación y el hábitat de la flora y fauna silvestres.

LA CUENCA HIDROGRÁFICA Y EL CICLO DEL AGUA

Una cuenca es el área de terreno en la cual la lluvia, el rocío o la nieve drenan hacia un cuerpo de agua común, ya sea un río, lago o el mar. Una cuenca incluye ecosistemas terrestres (selvas, bosques, matorrales, pastizales, entre otros) y ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.), y sus límites se establecen por el parteaguas desde donde escurre el agua que se precipita en el territorio delimitado por éste, hasta un punto de salida. En una cuenca la fuerza de la gravedad hace que el agua se mueva de acuerdo con la pendiente del terreno, estableciéndose un flujo en una sola dirección, por lo que los efectos positivos o negativos derivados de los usos que se de al agua en la parte alta de la cuenca siempre tendrá efectos en los usos y los usuarios en la parte baja de la cuenca. Una cuenca puedes ser tan grande como de varios cientos de kilómetros cuadrados (como la cuenca del río Balsas) o tan pequeña como de algunas hectáreas; sin embargo, las pequeñas cuencas forman parte de las grandes cuencas.

El ciclo hidrológico o ciclo del agua representa los procesos y las vías en los que se involucra la circulación del agua desde la tierra y los cuerpos de agua hacia la atmósfera y de vuelta otra vez. El ciclo es complejo y dinámico pero puede ser simplificado si se reconocen los componentes de entrada, salida y almacenamiento (Figura 1). Cuando llueve o cae nieve, parte del agua se infiltra en el suelo, parte fluye sobre la superficie (escorrentía) y parte regresa a la atmósfera como vapor de agua (evaporación y transpiración). La cantidad de agua en la atmósfera, el suelo, agua subterránea, agua superficial, esta cambiando constantemente debido a la naturaleza dinámica del ciclo hidrológico.

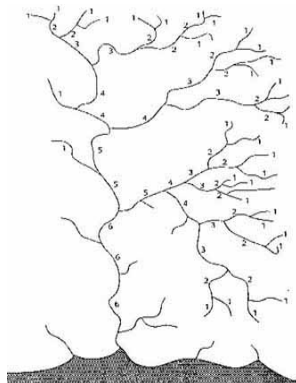
La precipitación y el flujo de agua dentro, a través y hacia afuera de la cuenca pueden ser afectados por el uso y manejo del suelo. En una cuenca las actividades humanas en todas las escalas temporales afectan tanto a la calidad como a la cantidad de agua; ya que la alteración del medio biofísico y la vegetación asociada no sólo cambia el equilibrio hídrico sino que normalmente altera los procesos que controlan la calidad del agua. Así, los efectos de las actividades humanas a pequeña escala son relevantes para una cuenca de drenaje completa.



Figura 1. El ciclo hidrológico

ORDEN DE LOS CURSOS DE AGUA

La red de ríos en una cuenca se conoce como el Sistema Ribereño; en el cual los ríos están categorizados en órdenes. Los canales pequeños –por donde fluye agua la mayor parte del año- se llaman ríos de primer orden o manantiales.



Los ríos que reciben las aguas de dos o más ríos de primer orden se denominan ríos de segundo orden.

Cuando dos ríos de segundo orden se combinan, el resultado es un río de tercer orden.

El orden de los ríos se incrementa hasta que todas las aguas están unidas en un río muy grande que desemboca en el mar.

CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua superficial o subterránea en cualquier punto de una cuenca refleja el efecto combinado de muchos procesos físicos, químicos y biológicos que afectan al agua mientras se mueve en el ciclo hidrológico sobre, debajo y a través de la tierra. Así, la calidad del agua puede estar determinada por el intemperismo (destrucción) de las rocas que aportan minerales al agua, por los procesos atmosféricos de evapotranspiración y la deposición de polvo y sales por el viento; por el lixiviado natural de materia orgánica y nutrientes del suelo (fosforo y nitrógeno) y por procesos biológicos dentro de los ambientes acuáticos que pueden alterar la composición física y química del agua. Los organismos vivos, especialmente los microorganismos como fitoplancton y bacterias, afectan la calidad de agua a través de mecanismos como la respiración y la fotosíntesis. Como resultado, el agua en un ambiente natural contiene muchas sustancias disueltas y material particulado no disuelto; los cuales, en el caso de los ecosistemas acuáticos son indispensables para la buena salud y diversidad de los organismos que habitan en ellos.

El agua de buena calidad es un atributo que se define en función del uso que se le asigna (ya sea como agua potable, de recreación, para uso agrícola o industrial, por ejemplo), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (UNDP et al., 2000). Por ejemplo un agua que no cumpliera con los altos estándares de calidad para uso como agua potable, podría ser aceptable como agua de riego agrícola o en procesos industriales, cuyos requerimientos de calidad son menores. Por otra parte, la calidad del agua es usualmente determinada por análisis de muestras que deben ser colectadas en intervalos regulares de tiempo (monitoreo) y de preferencia a largo plazo.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Contaminación puntual

Son las descargas en puntos definidos, como las descargas de desagües, industrias, etc. Los desagües domésticos presentan una gran cantidad de contaminantes que pueden provocar daños al ambiente, por ese motivo deben ser tratados antes de su disposición final.

Contaminación no puntual

La contaminación no puntual está asociada a las aguas de lluvia, deshielo, percolación, etc. A medida que la lluvia cae, acarrea contaminantes naturales o producidos por el hombre.

Tales contaminantes pueden ser:

- Exceso de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, provenientes de usos agrícolas o domésticos;
- Aceites, grasas y contaminantes tóxicos transportados por el arrastre de agua de lluvia en zonas urbanas;
- Sedimentos provenientes de construcciones, zonas agrícolas o erosión;
- Drenaje ácido de minas abandonadas;
- Materia orgánica y microorganismos provenientes de zonas de ganadería;
- Arrastre de basura;
- Contaminantes en la atmósfera (material en partículas y otros compuestos).

Cuadro 1. Fuentes de contaminación y variables que alteran comúnmente en el agua.

Fuentes	Variables afectadas
Campos de cultivo	Turbidez, fósforo, nitratos, temperatura, sólidos totales
Silvicultura, tierras de pastoreo	Turbidez, temperatura, sólidos totales, bacterias fecales, fósforo, nitratos, temperatura
Descarga industrial	Temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales, productos tóxicos, pH
Minería	pH, alcalinidad, sólidos disueltos totales, metales solubles
Descargas de drenaje	Coliformes fecales y totales, nitratos, fósforo reactivo, oxígeno disuelto/ demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, temperatura
Plantas de tratamiento de aguas residuales	Oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, conductividad eléctrica, fósforo, nitratos, coliformes fecales, temperatura, sólidos totales, pH
Construcción	Turbidez, temperatura, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales y productos tóxicos
Escorrentía urbana	Turbidez, fósforo, nitratos, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.



MUESTREO DE AGUA



GENERALIDADES

El objetivo fundamental de todo muestreo en campo es coleccionar muestras representativas. Es conveniente escoger una hora adecuada de tal modo que el muestreo siempre sea realizado a la misma hora, para que sea comparable.

Es conveniente seleccionar al mismo tiempo, sitios que tengan poca influencia de contaminación a fin de que puedan ser usados como sitios de referencia de lo que pueda considerarse como la calidad del agua de la cuenca en su mejor condición. De este modo luego se pueden comparar los diversos sitios y determinar niveles y tasas de degradación o recuperación de las fuentes de agua.

Muestreo, selección y extracción de una parte representativa de un medio del que se desea información.

Muestra, cada una de las unidades que se extraen de un medio.

Selección del sitio de muestreo

Para decidir donde y cuando coleccionar las muestras de agua, es recomendable que el sitio cumpla con los siguientes puntos:

1. Seguro y accesible. El sitio a elegir debe ser accesible y al que se pueda llegar en todo momento, ya sea desde un muelle, lancha o la playa. El poder llegar rápido al sitio de muestreo tiene ventajas. Escoja un lugar que no sea peligroso. En la cercanía a puentes es por lo general fácil hacer muestreo. En estos casos tome las muestras río arriba del puente.
2. De acceso permitido. Si el sitio en donde desea monitorear no es de su propiedad lo mejor es obtener un permiso con anticipación. En muchos casos las quebradas son de propiedad privada; sin embargo, en algunos casos incluso en lugares públicos hay que obtener la debida autorización.
3. Estratégico. Todo sitio de muestreo debe responder a los objetivos del monitoreo. Es conveniente tener sitios espaciados en la cuenca para obtener información de la calidad del agua. En los ríos es recomendable tomar muestras tanto arriba como debajo de lugares donde se sospecha que existe contaminación. En los lagos se suele hacer análisis tanto en aguas abiertas en medio del lago, como cerca de la desembocadura de sus tributarios.

Es recomendable localizar sitios específicos llevando a cabo muestreos de exploración. Esto consiste en realizar muchos sitios al comienzo, con la eliminación de sitios no necesarios luego de analizar los resultados de los primeros muestreos. El objetivo de esto es ubicar los sitios óptimos que nos den la mejor información para satisfacer los objetivos planteados con el menor gasto posible.

Es importante ubicar en un mapa o esquema los puntos de muestreo.

Contenedores para el muestreo (frascos)

Los frascos nuevos o de rehusó deben ser lavados y enjuagados antes de realizar la toma de muestras y después de cada muestreo, siguiendo el siguiente método:

1. Lavar cada frasco de plástico o vidrio, con un escobillón y detergente libre de fosfato.
2. Enjuague tres veces con agua corriente fría.
3. Enjuague tres veces con el agua destilada.

Para recoger muestras de agua para análisis bacteriológico, use botellas de boca ancha y tapa de rosca **estériles**.

Para esterilizar el contenedor, hiérvalo junto con la tapadera por varios minutos y evite tocar el interior del contenedor o la tapadera con sus manos.

Colecta de muestras en arroyos

En general, la toma de muestra se hace desde el centro en la corriente principal. Se debe procurar no tomar muestra en agua estancada (a menos que así se haya determinado). La salida de una curva (meandro) a menudo es un buen lugar para tomar una muestra, ya que la corriente principal tiende a hacerse más lenta en este punto. En tramos poco profundos, cuidadosamente vadear hasta el centro de la corriente para recoger la muestra.

Se requerirá una lancha en el caso de muestrear sitios profundos.

Para recoger muestras de agua use botellas de boca ancha y tapa de rosca de aproximadamente 1 litro.

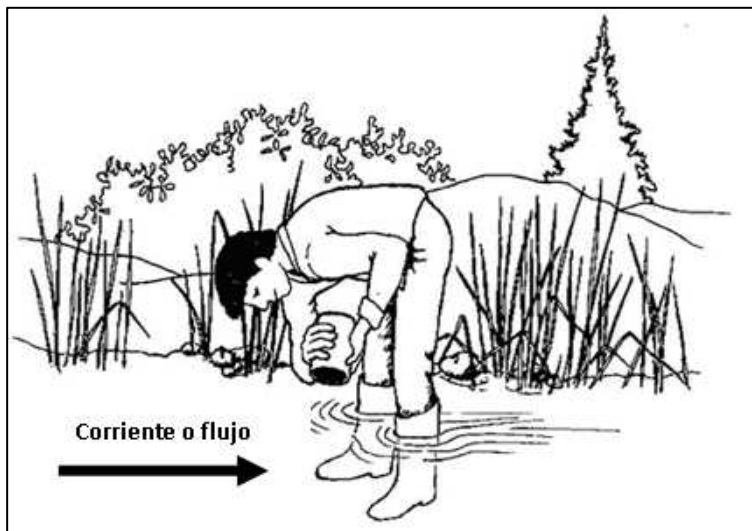


Figura 2. Posición para tomar una muestra de agua en una corriente de agua (canal, arroyo, río). El monitor debe colocarse de cara a la corriente (EPA, 1997).

Procedimiento:

1. Etiquete la botella con el nombre o número de sitio, fecha y hora.
2. Quitar la tapa de la botella justo antes de tomar la muestra. Evite tocar el interior de la botella o la tapa; si accidentalmente toca el interior de la botella, utilice otra.
3. Tratar de perturbar lo menos posible los sedimentos del fondo y pararse de cara a la corriente para recoger la muestra de agua delante de usted (Figura 2).
4. Enjuagar tres veces la botella con agua del sitio en donde se tomara la muestra.
5. Colectar una muestra de agua 20 a 30 cm debajo de la superficie o a la mitad entre la superficie y el fondo, si es un cuerpo de agua somero (poca profundidad).
6. Voltee la botella bajo el agua hacia la corriente, manteniéndolo alejado de usted; deje que el agua fluya dentro del frasco durante 30 segundos. Con movimiento lento, empuje la botella hacia la superficie (Figura 3).
7. No se debe llenar la botella completamente (con excepción de muestras para oxígeno disuelto), dejar un espacio de aire de 2 centímetros más o menos y tapar la botella con cuidado, recordando no tocar el interior.
8. No olvidar llenar los datos de la muestra en las hojas de registro de campo. Esto es importante ya que quien realiza el análisis en el laboratorio sabe que muestras son de que sitio.
9. Las muestras que serán analizadas en el laboratorio, se deberán preservar, si es necesario y colocar en una hielera para ser transportadas.

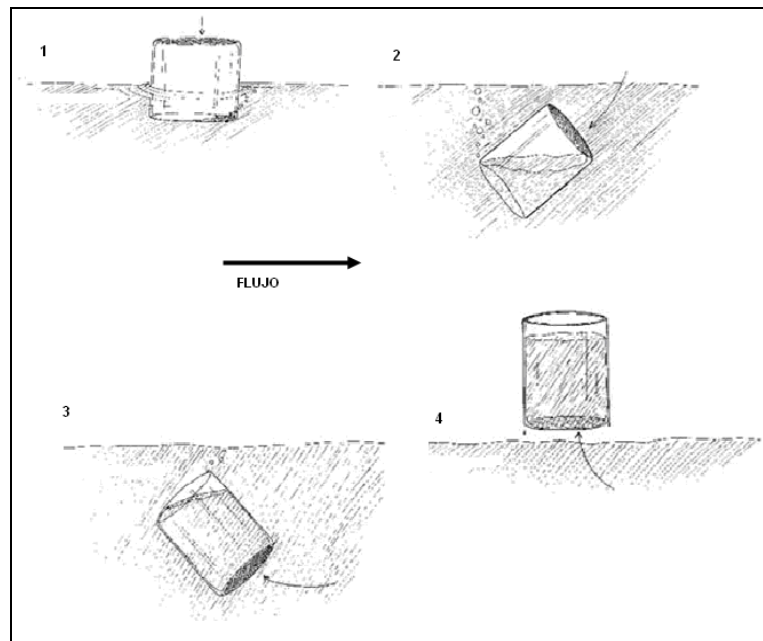


Figura 3. Colecta de muestra.

Colecta de muestras en pozos de agua

El agua subterránea es un recurso muy extendido, pero oculto y de difícil acceso, en contraste con el agua superficial; los cambios en su cantidad y calidad frecuentemente son procesos muy lentos que ocurren debajo de la tierra en grandes extensiones. El monitoreo de la respuesta de un acuífero y de sus tendencias de calidad son básicos para lograr una gestión eficaz del agua subterránea.

Cada pozo en el que se realizara un muestreo, debe ser identificado y debidamente ubicado.

En el pozo se debe determinar el diámetro de la boca, profundidad total y a nivel del agua. La medición regular de la profundidad permite evaluar el estado constructivo del pozo. Esta medición debe hacerse posterior a la toma de muestra para evitar la resuspensión de partículas.

Previo al muestreo de un pozo debe conocerse el tiempo transcurrido desde su desarrollo y última desinfección (si es que la ha habido), ya que el monitoreo deberá realizarse de ser posible un mes después de estas actividades o como mínimo una semana después.

Purga del pozo

Extraer varias veces el volumen de agua almacenado, o retirar al menos tres veces el volumen para la obtención de una muestra representativa.

1. Enjuagar tres veces el recipiente con agua del pozo.
2. Llenar los envases para el muestreo manteniendo el flujo de agua lento y continuo, dejando que escurra sobre la pared del recipiente. El recipiente y la descarga deben estar muy próximos pero sin tocarse

En pozo profundo

1. Si el pozo no cuenta con grifo para toma de muestra, abrir la válvula de una tubería de desfogue, dejar correr el agua por un mínimo de 3 min. Y proceder a tomar la muestra.

En pozo somero o fuente similar

1. Cuando no es posible tomar la muestra con la extensión del brazo, atar al frasco un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio.
2. Mantener el cuello del frasco hacia abajo y proceder a tomar la muestra, bajando el frasco dentro del pozo, y desenrollando el cordel lentamente, evitar que el frasco toque las paredes del pozo al terminar tapar el frasco.

En bomba de mano o grifo del sistema de distribución

El agua de la llave debe provenir directamente del sistema de distribución. No tomar la muestra en llaves que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior del grifo y contaminar la muestra. Remover mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra.

1. Deje correr el agua aproximadamente 3 min. O hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.
2. Cerca del orificio de salida, destapar el frasco, enjuagar tres veces, tomar la muestra y tapar el frasco.

En un estanque o tanque de almacenamiento.

Lavarse manos y antebrazos con agua y jabón, enjuague el frasco tres veces, sumérjalo en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, (evite tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento); si existe corriente en el cuerpo de agua, tomar la muestra con la boca del frasco en contracorriente, tapar el frasco.

Conservación de muestras

1. Conservar las muestras en hieleras para su traslado al laboratorio.
2. Para análisis de metales pesados, agregar 2 mL de ácido nítrico concentrado a 1L de agua.
3. Para análisis de nitratos y nitrógeno amoniacal, agregar 2 mL de ácido sulfúrico a 1L de agua.

Las muestras se deben colocar en frío (hielo) y alejadas de la luz solar, lo mas pronto posible (15 minutos máximo).



MONITOREO FÍSICO- QUÍMICO

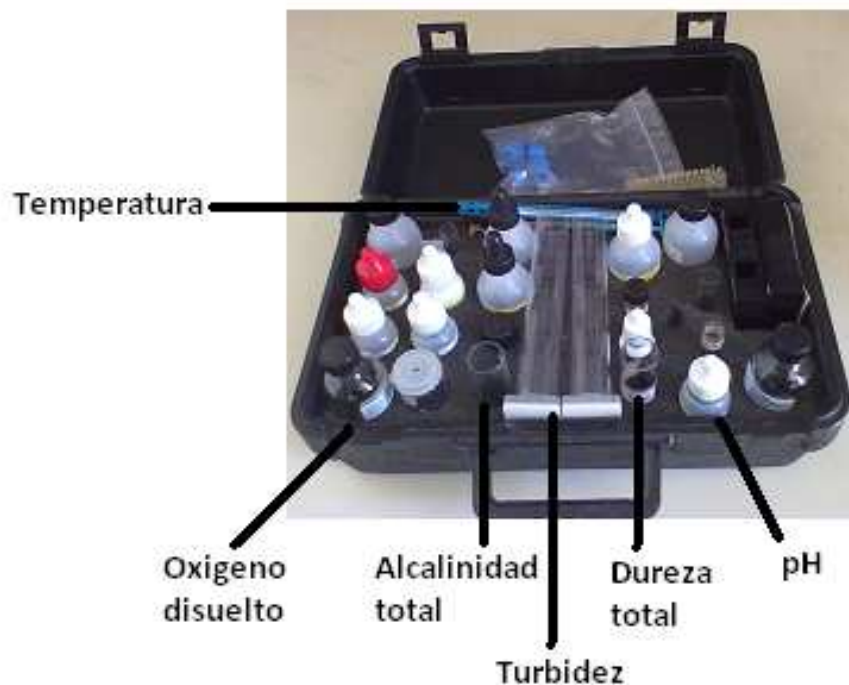


GENERALIDADES

Uno de los objetivos del monitoreo es determinar las tendencias en el tiempo, de algunas características físicas y químicas de los cuerpos de agua. Para lo cual se requiere de un monitoreo cuidadoso y constante durante largos periodos de tiempo para lograr una interpretación más precisa de las condiciones actuales en un cuerpo de agua, así como también de las tendencias y sus causas.

Este monitoreo de tendencias esta diseñado para identificar cambios en ecosistemas acuáticos a través del tiempo. En un sistema acuático existen fluctuaciones naturales diarias de sus parámetros por lo que únicamente se pueden identificar influencias externas si tomemos muestras durante largos periodos de tiempo en el **mismo lugar** y de la **misma forma**.

El monitoreo físico-químico se realiza usando un laboratorio portátil fabricado por la compañía LaMotte y mide los parámetros que se indican en la figura XXXX.



Para obtener **datos válidos** (confiables) de calidad de agua, se recomienda:

- Usar las técnicas apropiadas para cada análisis
- Mantener los reactivos químicos frescos en el laboratorio portátil
- Reponer equipo defectuoso o quebrado en el laboratorio portátil
- Llenar por completo, adecuadamente y con letra legible la hoja en donde se registren los datos.

Temperatura

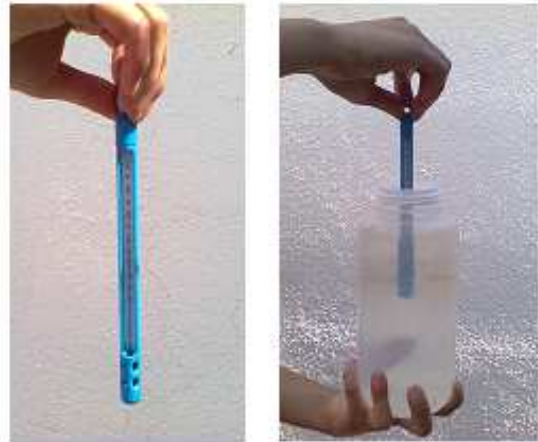
La influencia de la temperatura en el comportamiento de otros parámetros y procesos acuáticos, hacen que sea imprescindible su medición en las evaluaciones de calidad del agua. Es influido por diversos factores como la latitud, la longitud, la época del año, la hora del día, la circulación del aire, la vegetación de las riberas, las condiciones meteorológicas, la disminución del caudal y las descargas de aguas industriales y municipales con altas temperaturas, entre otros. Sus variaciones ocurren estacionalmente y a lo largo del día y noche, afectando procesos físicos, químicos y biológicos, y por tanto la concentración de muchas variables. En el caso de arroyos, el agua cálida posee menos oxígeno disuelto que aquella con temperaturas frías, por lo tanto hay menos oxígeno disponible para la respiración de los organismos acuáticos. Asimismo, las altas temperaturas incrementan la tasa de muchos procesos bioquímicos como el metabolismo y la respiración de los seres vivos, permitiendo la rápida descomposición de la materia orgánica y el crecimiento de las poblaciones de microorganismos en tiempos muy cortos, acarreado a su vez más turbidez en el agua.

Procedimiento:

Siempre registre primero la temperatura del aire y después la temperatura del agua

Temperatura del aire

1. Asegúrese de que el termómetro este seco y colóquelo en un lugar a la sombra. Espere que la lectura se estabilice (2-3 minutos).
2. Registre la temperatura en grados centígrados.



Temperatura del agua

1. Sumerja el termómetro en el agua y espere que la lectura se estabilice (2-3 minutos).
2. Lea la temperatura cuando el termómetro está dentro del agua. Registre la temperatura en grados centígrados.

Figura 4. Medición de temperatura

Sujete el termómetro con una cuerda a un objeto estable para evitar su pérdida en corrientes fuertes, aguas turbias y/o profundas.

No toque con sus dedos el extremo sensitivo del termómetro antes de leerlo.

Asegúrese de que el termómetro no tenga burbujas de aire antes de usarlo. En ocasiones las burbujas de aire se pueden eliminar colocando el termómetro unos minutos en un congelador o en agua caliente con sal.

pH

pH es un término utilizado para indicar la alcalinidad o acidez de una sustancia clasificado en una escala de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro. Valores menores de 7 son ácidos y aquellos mayores de 7 son básicos. La figura 3 presenta el pH de algunos líquidos comunes. El pH es importante para la evaluación de la calidad del agua, ya que influye en diversos procesos biológicos y químicos dentro de los cuerpos de agua y durante el aprovechamiento y tratamiento del líquido. Además condiciona la presencia de ciertos organismos acuáticos, por su sensibilidad a los valores extremos de pH. En la mayoría de las aguas naturales el pH va de 6.0 a 8.5, aunque valores más bajos pueden aparecer en aguas con altos contenidos de materia orgánica disuelta, mientras que valores más altos ocurren en aguas subterráneas con altos niveles de salinidad y en lagos salados.

En cuerpos de agua poco contaminados, existe un balance natural ácido-base, controlado principalmente por el dióxido de carbono y los iones carbonato y bicarbonato. Éste balance se ve afectado por vertidos industriales, la escorrentía de suelos ácidos (jales mineros), contaminación con altas cargas de desechos animales o por lluvia ácida.

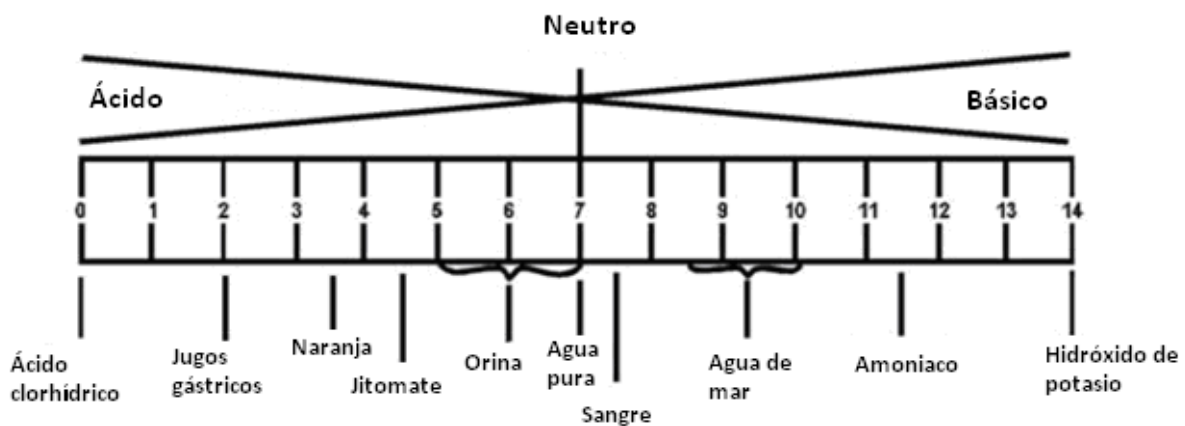
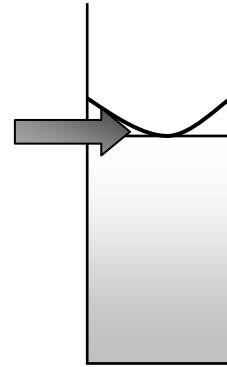


Figura 5. pH de algunos líquidos comunes.

Medición de pH

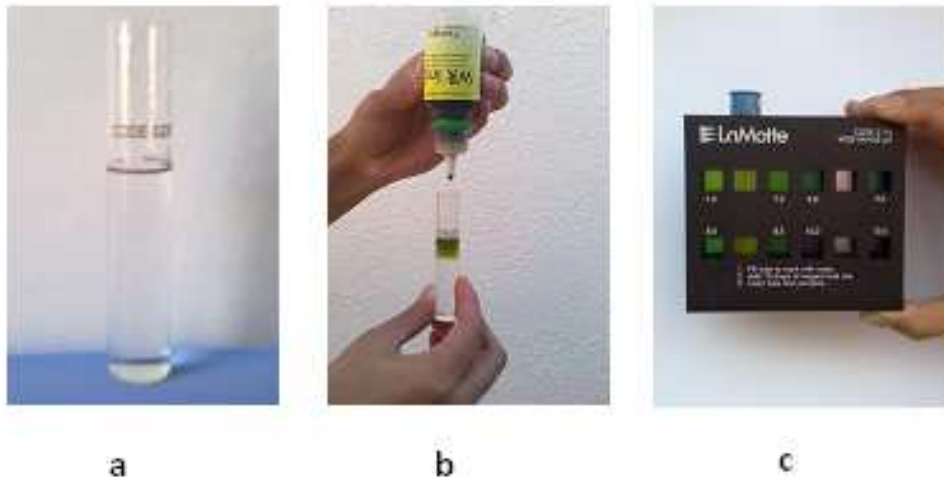
1. Enjuague tres veces el tubo para analizar pH, con agua de la muestra.
2. Llene el tubo hasta la línea con agua del sitio de muestreo.

Los líquidos contenidos en tubos de vidrio forman una superficie cóncava llamada menisco. La parte inferior del menisco debe tocar la línea que marca el volumen en el tubo para asegurar que la medición de la muestra es correcta.



3. Agregue al tubo 10 gotas del indicador de pH.
Sostenga verticalmente el frasco con el fin de obtener gotas de reactivo de igual tamaño.
4. Tape el tubo e inviértalo varias veces para mezclar el contenido.
5. Coloque el tubo dentro del comparador de color y compare el color obtenido en la muestra con los colores estándar contenidos dentro del soporte plástico. Registre el pH del valor más cercano en fracciones de 0.5 de unidad.

Figura 6 . Determinación de pH en agua



Dureza total

La dureza en el agua es principalmente una medida de la cantidad del calcio y magnesio disuelto en ella. La roca caliza (CaCO_3) es la fuente natural de dureza. Tanto el calcio como el magnesio son elementos importantes para las plantas y animales.

Aguas con valores altos de dureza pueden causar problemas por la acumulación de capas de calcio en tuberías y utensilios de cocina, así como también por la disminución de la acción limpiadora de los jabones y detergentes.

Cuadro 3. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza

Tipo de agua	Dureza (mg/L de CaCO_3)
Suave	0-20
Moderadamente Suave	20-60
Moderadamente Dura	61-120
Dura	121-180
Muy Dura	>180

Procedimiento

1. Enjuague tres veces el tubo para analizar dureza, con agua de la muestra.
2. Llene el tubo hasta la marca de 10 partes por millón (ppm), con el agua a ser analizada.
3. Agregue cinco gotas del reactivo #5 para dureza y agite el tubo para mezclar el agua con el reactivo.
4. Agregue una tableta del reactivo #6, tape el tubo y agite los contenidos hasta que la tableta se disuelva. La muestra deberá tomar un color rosado.

Si la muestra se pone de color azul, significa que no hay dureza suficiente para medir. El análisis termina aquí y se registra el valor de 0 mg/L.

5. **Sostenga verticalmente la botella con el reactivo #7 para dureza** y agregue una gota a la muestra.

Es importante la posición vertical de la botella, ya que esto asegura gotas completas y del mismo tamaño cada vez que se usa el gotero.

6. **Agite** el tubo con la muestra después de agregar la gota, para mezclar bien el contenido.
7. Continúe agregando gotas y cuente el número que utilice hasta que observe un cambio de color, pasando de rojo o rosado a azul (vire).
8. Multiplique por 10 el número de gotas usadas a fin de calcular el valor de la dureza total en miligramos por litro (mg/L).

Dureza total (mg/L de carbonato de calcio) = Numero de gotas agregadas X 10

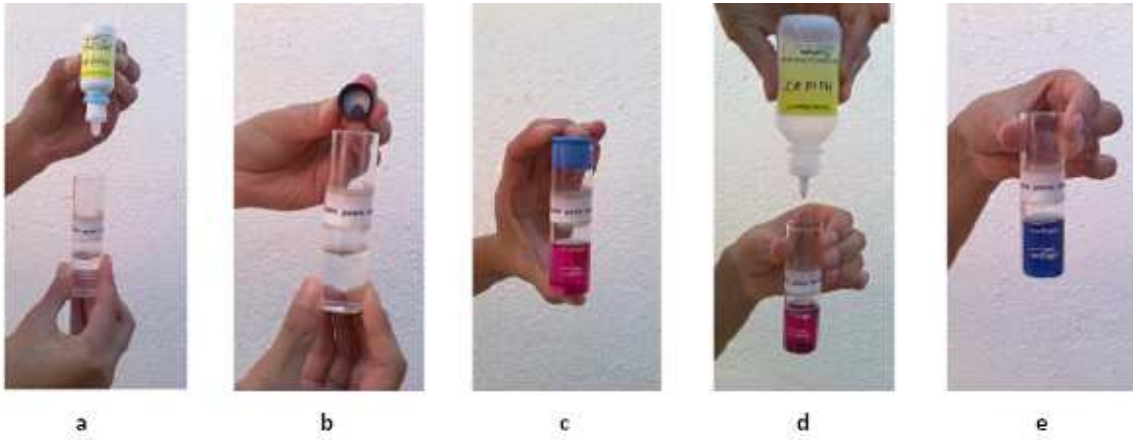


Figura 7 . Pasos sucesivos para la determinación de dureza total en muestras de agua

Alcalinidad total

La alcalinidad es una medida de la capacidad amortiguadora de agua. Una alcalinidad alta en un cuerpo de agua proporciona una “barrera de amortiguamiento” en caso de cambios súbitos en el pH, ayudando a hacer el ambiente mas estable para la vida acuática.

La alcalinidad de las agua naturales procede principalmente de carbonatos y bicarbonatos que se filtran del suelo y las rocas. Además del CO₂ atmosférico que entra al agua.

Procedimiento

1. Enjuague tres veces el tubo para analizar alcalinidad con agua de la muestra.
2. Llene el tubo con agua de la muestra, hasta la línea de 10 mL.
3. Agregue al tubo una tableta para alcalinidad BCG-MR, tape el tubo y agítelo hasta que la tableta se haya disuelto. La muestra deberá adoptar un color azul o verde-azul.

Si la muestra adopta un color rosado, significa que no hay alcalinidad suficiente para medir. El análisis termina aquí y se registra un valor de 0 mg/L.

4. Llene el gotero con **reactivo B** para alcalinidad. **Sostenga el gotero verticalmente** y agregue una gota a la vez, a la muestra dentro del tubo. Asegúrese de que el gotero no contenga aire.
5. Agite el tubo con la muestra después de agregar cada gota para mezclar bien el contenido, cuente el número de gotas utilizadas hasta que el color de la muestra haya cambiado a rosado. Agregue una gota más para asegurar que no hay más cambio en el color. No cuente la última gota para el calculo.
6. Realice el siguiente calculo para obtener el valor de la alcalinidad total en miligramos por litro:

$$\text{Numero de gotas} \times 5 = \text{Alcalinidad total en mg/L}$$

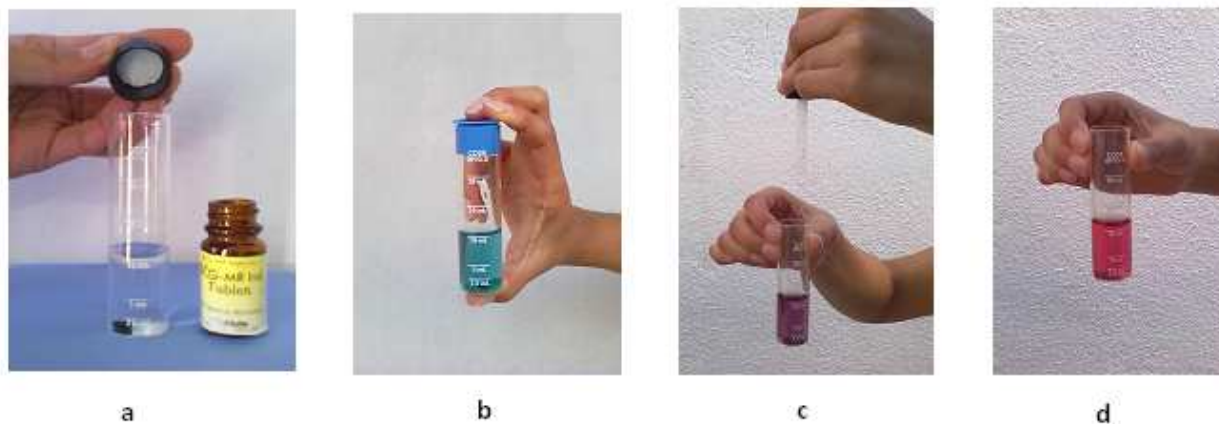


Figura 8. Determinación de alcalinidad total en agua

Turbidez

Turbidez es una medida de la claridad del agua, de cuánto material suspendido hay en el agua, que disminuye el paso de la luz a través del agua. Materiales suspendidos incluyen partículas del suelo (arcilla, limo y arena), algas, plancton, microbios y otras sustancias. Estos materiales están normalmente en el intervalo de tamaño del 0.004 mm (arcilla) a 1,0 mm (arena). La turbidez puede afectar el color del agua.

Procedimiento

Marque uno de los tubos con la palabra **“Muestra”** y el otro con la palabra **“Limpia”** o **“Destilada”** para evitar confusión.

1. Enjuague tres veces el tubo para analizar turbidez con agua de la muestra.
2. Llene el tubo, con el agua a ser analizada, hasta la marca de 50 mL.

Si el punto negro en el fondo de el tubo no se ve a través de la columna de agua, use la mitad de la muestra (hasta la línea de 25 mL).

3. Llene el segundo tubo con una cantidad igual de agua destilada (o agua de garrafón).
4. Coloque los tubos uno junto al otro y **compare la claridad con que se ven los círculos negros en el fondo de cada columna.**
5. Agite el reactivo para turbidez y agregue 0.5 mL a la columna con el agua destilada.
6. Mezcle los contenidos de cada una de los tubos con el agitador.
7. Observe cuidadosamente a través de las columnas y compare la nitidez de los círculos negros. Si la turbidez del agua “limpia” es mayor, registre el valor de 2 JTU
8. Si la turbidez del agua de la “muestra es mayor, agregue incrementos de 0.5 mL al agua “limpia” mezclando el agua de cada tubo después de agregar cada incremento, hasta que la turbidez sea igual en ambos tubos.

Agite vigorosamente el reactivo para turbidez antes de cada adición de 0.5 mL.

9. Cuente el número de incrementos de reactivo que agregó al agua “limpia” y encuentre el valor en Unidades de Turbidez de Jakson (JTU) en la tabla de RESULTADOS DE TURBIDEZ.

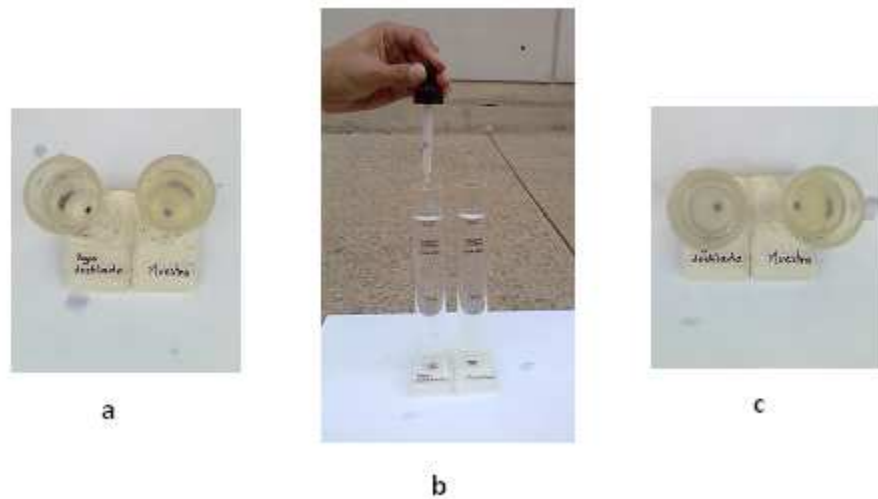


Figura 9 . Medición de turbidez en agua

RESULTADOS DE TURBIDEZ

Asegúrese de que está leyendo en la columna de JTU que corresponde a la cantidad de agua que usó en las muestras (50 mL o 25 mL).

Numero de incrementos	Cantidad usada en mL	Muestra de 50 mL	Muestra de 25 mL
0	0	2 JTU	2 JTU
1	0.5	5 JTU	10 JTU
2	1	10 JTU	20 JTU
3	1.5	15 JTU	30 JTU
4	2	20 JTU	40 JTU
5	2.5	25 JTU	50 JTU
6	3	30 JTU	60 JTU
7	3.5	35 JTU	70 JTU
8	4	40 JTU	80 JTU
9	4.5	45 JTU	90 JTU
10	5	50 JTU	100 JTU
15	7.5	75 JTU	150 JTU
20	10	100 JTU	200 JTU



MONITOREO BACTERIOLÓGICO



GENERALIDADES

El monitoreo bacteriológico al igual que el monitoreo físico-químico, está diseñado para detectar cambios en la calidad del agua con el paso del tiempo; sin embargo, en los sistemas acuáticos existen cambios de manera natural a lo largo del día, por lo que las variaciones debidas a factores externos se pueden identificar únicamente si se toman muestras por largos periodos de tiempo en un mismo lugar y de la misma forma.

La contaminación por bacterias en niveles potencialmente dañinos a la salud humana es cada vez más común en sitios de recreación en lagos o ríos, en pozos y manantiales.

Las coliformes totales son un grupo de bacterias que están muy extendidas en la naturaleza. Todos los miembros del grupo de coliformes totales pueden ocurrir en las heces humanas, pero algunos también pueden estar presentes en el estiércol animal, el suelo y madera sumergida y en otros lugares fuera del cuerpo humano. Para el agua potable, las coliformes totales son todavía la prueba estándar porque su presencia indica contaminación de un suministro de agua por una fuente externa.

E. coli es una especie de bacterias coliformes fecales que es específica a la materia fecal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente. La EPA recomienda la *E. coli* como los mejores indicadores de riesgo para la salud de contacto con el agua en las aguas recreativas.

Preparación para el muestreo

1. Descongele el número requerido de frascos con el medio de cultivo Coliscan Easygel retirándolos del congelador una noche antes de realizar el muestreo; llevándolos a la parte baja del refrigerador.
2. Prepare las cajas de petri. Antes de Salir al campo, asegure las tapas de las cajas de cultivo con dos pedazos de cinta adhesiva colocados en extremos opuestos de la placa(a las tres y alas nueve). Esto asegura que estén tapadas durante su transporte y ayuda a que la tapa tenga una especie de bisagra para el momento de abrirlas. Mantenga las cajas perfectamente cerradas hasta el momento de agregar la muestra, esto con el fin de evitar la contaminación.
3. Prepare la incubadora para iniciar el cultivo de bacterias. La temperatura en la incubadora debe mantenerse entre 29°C y 37°C. Estas temperaturas simulan las temperaturas del cuerpo humano u otro animal y son óptimas para el crecimiento de *E. coli*.

La incubadora debe probarse con anticipación para asegurar que mantiene la temperatura óptima requerida para el crecimiento de las bacterias durante el periodo de incubación.

Colecta e incubación de muestras

1. Muestras tomadas en los ríos deben colectarse desde la orilla de frente a la corriente si usted esta en el agua. En el caso de pozos y depósitos en donde no es posible la toma directa de la muestra, se obtiene una muestra en un frasco y de ahí se toma muestra para el análisis.
2. Desenvuelva la pipeta por el lado del bulbo y evite el contacto de la punta de la pipeta con cualquier otra cosa excepto el agua de la muestra.

Nunca use una pipeta que esté desempacada porque seguramente ya no es estéril y puede contaminar la muestra.

3. Oprima el bulbo de la pipeta antes de colocar la punta de la misma dentro del agua, luego sumerja la pipeta unos cinco a ocho centímetros dentro de la muestra del agua a ser analizada. Evite el contacto directo de sus manos con el agua y asegúrese de no colectar sedimentos del fondo del cuerpo de agua. Libere la presión del bulbo a fin de succionar la muestra de agua (generalmente un mililitro).

Se recomienda usar 1 mL lo cual es por lo general suficiente.

Después de la incubación y cuando los resultados han sido determinados, si los números de colonias son muy bajos, se puede considerar hacer otro análisis usando hasta 5 mL de agua en cada réplica. Si las colonias de bacterias son muy numerosas, haciendo el conteo muy difícil, se puede considerar que el agua está muy contaminada y el volumen de las muestras se puede reducir a ½ mililitro e incluso hasta ¼ de mililitro.

4. Destape el frasco con el medio de cultivo cuidando de no tocar el interior y sostenga la tapa en la mano. Exprima el bulbo cuando el extremo de la pipeta esté dentro del frasco con el medio de cultivo. Tape la botella y agite suavemente para mezclar la muestra de agua con el medio.
5. Despegue uno de los pedazos de cinta adhesiva y abra lentamente la caja de Petri apenas lo suficiente para agregar todo el contenido de la botella. Hágalo con el suficiente cuidado para no salpicar los lados de la placa con el medio.
6. Encuentre un lugar adecuado donde se puedan colocar las placas de cultivo en una superficie nivelada y a la sombra, que permita que el medio de cultivo se endurezca (gelatinice) sin perturbaciones. **Mantenga las placas siempre alejadas de la luz directa del sol.**
7. Tape la caja y asegure la tapa con cinta adhesiva transparente. Mueva la caja suavemente y de manera circular a fin de distribuir el medio de manera uniforme en todo el fondo de la caja. Procure no salpicar el medio de cultivo hacia los lados de la placa.
8. Deje que el medio de cultivo se solidifique en la placa durante 30 a 45 minutos.
9. Una vez que el medio se ha endurecido, invierta la placa para que el cultivo se incube “de cabeza” o “patas arriba” y colóquelas dentro de la incubadora. Manteniendo las cajas de este modo ayuda a evitar que las gotas de agua generadas por la condensación caigan sobre el cultivo.
10. Incube las placas entre 29°C y 37°C durante 30 a 48 horas antes de hacer el conteo de las colonias de bacterias.
11. Tome nota de la hora y anote el número total de horas que las muestras fueron cultivadas.

Revisión de placas

1. Las colonias de bacterias empezarán a aparecer después de 24 horas de incubación y los conteos de las colonias son óptimos si se hacen después de 30 horas de iniciada la incubación. Pasadas 48 horas de incubación los conteos ya no son confiables.

Las placas deben leerse en la posición en la que son incubadas, es decir, con el medio de cultivo hacia arriba. Un foco blanco y luz normal son suficientes para hacer el conteo de las colonias de bacterias. Asegúrese de examinar los lados de la placa y el área cubierta con la cinta adhesiva. Procure no derramar fuera de la caja el líquido que se condensa normalmente dentro de ellas durante la incubación.

2. Cuento todas las colonias presentes en la placa que tienen una coloración de rosado a rojo oscuro. Estas son colonias de bacterias coliformes totales (Figura 10).
3. Cuento todas las colonias presentes en la placa que tienen una coloración de azul a violeta. Estas son colonias de *E. coli* y varían en color desde un verde-azul o turquesa hasta un violeta oscuro (Figura 10). Anote cada resultado en la Hoja de Datos.

Cuento únicamente las colonias que son claramente visibles a simple vista. No haga uso de lupas u otros lentes para el conteo de las colonias, ni cuente las colonias extremadamente pequeñas.

Algunas colonias de color verde-azul o turquesa brillante pueden estar relacionadas a la familia Enterobacteriaceae, pero probablemente no son coliformes. Este grupo puede sin embargo contener miembros de los géneros *Salmonella* y *Shigella* los cuales son dañinos a la salud.

Si el conteo de bacterias excede de 50 colonias por mililitro, utilice una cuadrícula para contar las colonias en los cuadrantes de la placa. Si el número de colonias excede de 200 por mL de muestra, repórtelos como 250.

La siguiente formula es usada para calcular la concentración de bacterias en 100 mL:

$$C_T = T/V*100 \quad \text{y} \quad C_E = E/V*100$$

Donde:

C_E = # colonias de *E. coli* por 100 mL

E = # *E. coli* en la placa

C_T = # colonias de coliformes totales por 100 mL

T = # coliformes totales en la placa

V = volumen de muestra usados en el cultivo (mL)

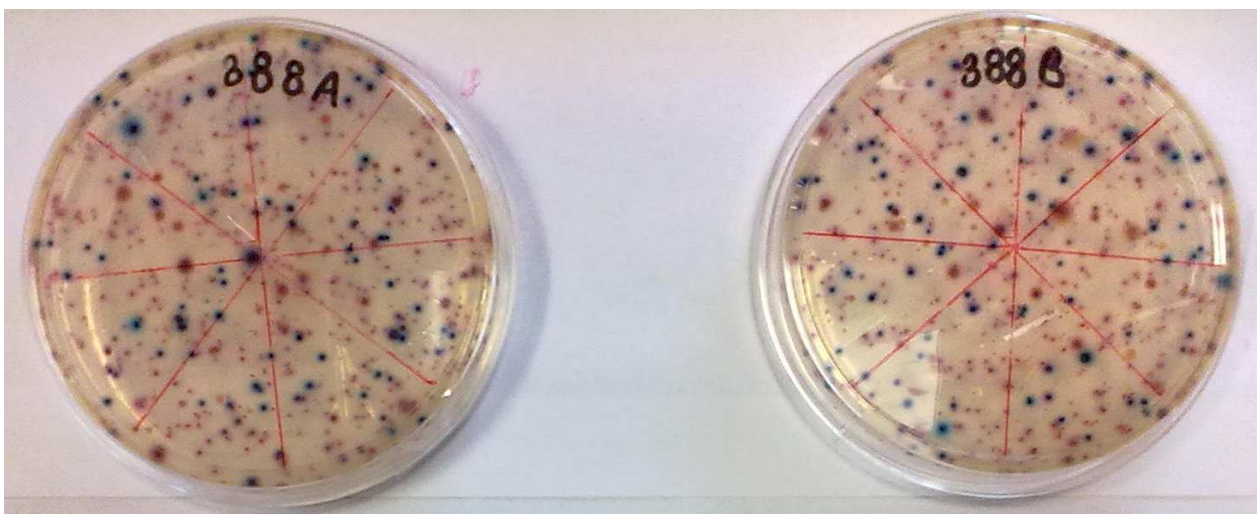


Figura 10. Placas con crecimiento de *Escherichia coli* (*E. coli*) (puntos azules) y otras coliformes (puntos rosas).

Interpretación de datos

A continuación se dan algunos lineamientos básicos para la interpretación de datos bacteriológicos:

- Si una muestra presenta cantidades grandes *E. coli* y de coliformes totales, existe la probabilidad de que muchas o todas ellas sean de origen fecal.
- Si una muestra presenta cantidades grandes de coliformes totales y pocas o ninguna *E. coli*, existe la probabilidad de que muchas o todas ellas sean de vida libre y No de origen fecal. Muestras de este tipo han sido colectadas en pozos donde hay bastante contacto del agua con el suelo pero no una fuente obvia de contaminación fecal.
- Si una muestra presenta cantidades grandes de *E. coli* y del grupo coliformes totales, el agua esta contaminada con materia fecal.
- Si una muestra presenta cantidades grandes de *E. coli* y pocas o ninguna del grupo coliformes totales, el agua esta altamente contaminada con materia fecal.

Tratamiento de cajas usadas y mantenimiento de la incubadora.

1. Evite contaminar sus manos, mesas, etc...
 - a. No toque directamente las colonias de bacterias.
 - b. Las cajas deben estar tapadas y fuera del alcance de niños y mascotas.
 - c. Tenga a la mano un desinfectante (cloro o alcohol) para limpiar mesas y otras áreas que hayan estado en contacto con las cajas de Petri, especialmente si se ha derramado algún líquido.
 - d. Siempre lávese las manos con jabón o use gel desinfectante después de haber tocado las cajas de cultivo.
2. Una forma fácil y efectiva de descontaminar el contenido de las placas de Petri es agregando una cucharadita de cloro a cada placa. Tape la placa de nuevo y muévela para que el cloro se distribuya en todo el fondo. Luego deje que el cloro penetre en el medio de cultivo por 15 minutos a fin de matar a todos los microbios que puedan haber en la misma.
3. Coloque las placas descontaminadas dentro de una bolsa plástica y entréguelas al personal del laboratorio para ser desechadas debidamente o llévelas a un lugar de reciclaje de plástico.
4. Limpie periódicamente el interior de la incubadora con una solución de cloro diluido y deje secar al sol antes de usar nuevamente.
5. La pipeta y el frasco vacío que contenía el medio no deben ser reutilizados. Desinféctelos usando cloro y trate de hacerlos llegar a un centro de reciclaje.

RESUMEN DE VALORES DE REFERENCIA EN SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO

Variable	Unidad de medida	Valor de referencia	Interpretación
Temperatura del aire	°C	45	Temperaturas por arriba de 45°C pueden causar fatiga en las personas
Temperatura del agua	°C	32	Temperaturas por arriba de 32°C pueden ser letales para muchos organismos acuáticos
pH	Sin unidades	6.5 – 8.5	Valores de pH menores a 5 pueden ser indicativos de escurrimientos de suelos ácidos (Ej. minas) o contaminación con desechos animales, industriales o agrícolas.
Dureza total	mg/L	500	Valores por arriba de 200 mg/L causan depósitos de cal en tuberías y utensilios de cocina al calentarla. También disminuye la acción de jabones.
Alcalinidad total	mg/L	400	Dado que es una medida de la resistencia del agua a cambios bruscos de pH, valores menores de 75 mg/L indicarían agua muy vulnerable al impacto por escurrimientos ácidos
Turbidez	JTU	10	La presencia de partículas suspendidas en el agua (arena, arcilla, algas, microorganismos, materia orgánica) puede o no llevar adheridos metales pesados y otros compuestos tóxicos.
Coliformes totales	UFC por 100 mL	Ausencia	La presencia de este tipo de bacterias indica que el agua tiene contacto con suelo o lodo en los pozos, pero no una fuente obvia de contaminación fecal.
<i>E. coli</i>	UFC por 100 mL	Ausencia	La presencia indica contaminación por excrementos humanos o animales.

NOTA: Valores de Referencias tomados de MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (junio 2000).

El valor de referencia de la temperatura del agua y turbidez se tomaron del Manual: Monitoreo Físico-Químico del Agua. www.globalwaterwatch.org

*** Valor tomado de: www.hach-lange.es

** Valor tomado de www.infoagro.com

* Estos datos son de concentraciones totales

Coliformes totales, se obtuvieron del conteo en la placa del número de puntos de color rosa a rojo intenso y se multiplicaron por 100

E. coli antes Coliformes fecales, se obtuvieron del conteo en la placa de puntos de color verde azul hasta violeta oscuro y se multiplicaron por 100

mg/L = miligramos por litro

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

REFERENCIAS

- EPA 1996. Guía de planes y proyectos de aseguramiento de la calidad para monitores voluntarios. 59pág.
- EPA 1997. Manual de métodos para el monitoreo de corrientes para monitores voluntarios. 227 pág
- FAO. 1993. El estado mundial de la agricultura y la alimentación.
<http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm>
- Global Water Wach. 2005. Guía para ejecutar proyectos de monitoreo de agua con participación comunitaria. Centro Internacional de Acuicultura y Ambientes Acuáticos. Universidad de Auburn, Alabama, EEUU