

GESTIÓN AMBIENTAL. CALIDAD DEL AGUA.
MUESTREO. DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO

E: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. WATER QUALITY. SAMPLING. GUIDANCE ON
THE DESIGN OF SAMPLING PROGRAMMES

CORRESPONDENCIA: esta norma es idéntica a la ISO 5667/1

DESCRIPTORES: gestión ambiental, agua, muestreo, control
estadístico.

I.C.S.: 13.060.01

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Santafé de Bogotá, D.C. - Tel. 3150377 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

**GESTIÓN AMBIENTAL. CALIDAD DEL AGUA.
MUESTREO. DIRECTRICES PARA EL DISEÑO
DE PROGRAMAS DE MUESTREO****0. INTRODUCCIÓN**

Esta es la primera de un grupo de normas previstas para ser usadas en conjunto. Las normas NTC-ISO 5667/2 y NTC-ISO 5667/3 tratan respectivamente con técnicas de muestreo y con la preservación y el manejo de muestras. La terminología general utilizada está de acuerdo con la establecida en la norma ISO/TC 147, Calidad del agua, y más particularmente, con la terminología sobre muestreo dada en la NTC 3650-2 (ISO 6107/2).

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los principios generales que se deben aplicar en el diseño de programas de muestreo para los propósitos del control de calidad, la caracterización de la calidad, y la identificación de las fuentes de contaminación del agua, incluyendo los sedimentos y los lodos. En normas posteriores se darán instrucciones detalladas para situaciones de muestreo específicas.

2. NORMAS QUE DEBEN CONSULTARSE

Las siguientes normas contienen disposiciones que, mediante la referencia dentro de este texto, constituyen la integridad del mismo. En el momento de su publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización; los participantes, mediante acuerdos basados en esta norma, deben investigar la posibilidad de aplicar la última versión de las normas mencionadas a continuación.

NTC-ISO 5667/2: 1995 Gestión Ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 2. Guía general para las técnicas de muestreo.

NTC-ISO 5667/3: 1995, Gestión Ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 3. Guía general para la conservación y manejo de muestras.

NTC 3650-1: 1998, Gestión Ambiental. Calidad de agua. Vocabulario. Parte 1 (ISO 6107/1).

NTC 3650-2: 1999, Gestión Ambiental. Calidad de agua. Vocabulario. Parte 2 (ISO 6107/2).

ISO 2662 Statistical Interpretation of Test Results. Estimation of the Mean. Confidence Interval.

ISO 3534 Statistics. Vocabulary and Symbols.

SECCIÓN UNO: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS**3. INTRODUCCIÓN**

El propósito de esta sección es destacar los factores más importantes que se deben considerar al diseñar un programa de muestreo en relación con el agua, los sedimentos y los lodos. En secciones posteriores se da información más detallada. Las muestras se recogen y se examinan primordialmente para determinar los parámetros relacionados de índole física, química, biológica y radiológica.

Siempre que se deba caracterizar un volumen de agua, sedimentos o lodos, suele ser imposible examinar todo el sistema y entonces es necesario tomar muestras. Las muestras recolectadas deben ser representativas del sistema por caracterizar, y se deben tomar todas las precauciones para garantizar que, en cuanto sea posible, las muestras no sufran ningún cambio en el intervalo entre el muestreo y el análisis. El muestreo de sistemas de fase múltiple, tales como agua que contenga sólidos en suspensión o líquidos orgánicos que no se mezclan, puede presentar problemas especiales.

Antes de diseñar cualquier programa de muestreo es muy importante establecer los objetivos, puesto que son los factores principales al determinar la posición de los sitios de muestreo, la frecuencia, la duración, los procedimientos del muestreo, el tratamiento posterior de las muestras, y los requisitos analíticos. También se debe dedicar alguna consideración al grado de detalle y a la precisión que sean adecuados, y a la manera como se han de expresar y presentar los resultados, por ejemplo concentraciones de lodos, valores máximos y mínimos, promedios aritméticos, valores medianos, etc. Adicionalmente, se debe compilar una lista de parámetros de interés y se deben consultar los procedimientos analíticos pertinentes, pues éstos generalmente darán orientación acerca de las precauciones que se han de observar durante el muestreo y el manejo posterior. (En las partes 2 y 3 respectivamente de esta norma se da orientación general sobre los últimos aspectos).

Es necesario efectuar una visita previa para verificar los puntos de muestreo, recopilar información preliminar e información secundaria, definir los procedimientos y efectuar el muestreo preliminar y un programa de análisis antes de que se definan los objetivos finales. Es importante tener en cuenta todos los datos pertinentes procedentes de los programas anteriores en localizaciones iguales o semejantes y cualquier otra información sobre las condiciones locales. También puede ser valiosa la experiencia personal anterior. El tiempo y el dinero asignados al diseño de un programa adecuado de muestreo generalmente se justifican si se tiene seguridad de que la información requerida se pueda obtener en forma eficiente y económica.

Se pueden distinguir tres objetivos principales como sigue (en el numeral 15 se pueden ver los detalles):

- a) Monitoreo del control de calidad usados por la administración local correspondiente, para decidir cuándo se requieren correcciones del proceso a corto plazo.
- b) Monitoreo de la caracterización de la calidad usado para indicar la calidad como parte de un proyecto de investigación, para propósitos de control a largo plazo, o para indicar tendencias a largo plazo.
- c) Identificación de las fuentes de contaminación.

El propósito del programa puede cambiar de la caracterización de la calidad al control de calidad, y viceversa. Por ejemplo, un programa a plazo más largo para la caracterización del nitrato se puede convertir en un programa de control de calidad a corto plazo, que requiera mayor frecuencia del muestreo a medida que la concentración del nitrato se aproxime a un valor crítico.

4. REQUISITOS

Sin pretender enumerar todas las razones específicas para las que se requiere muestreo y programas de análisis, esas razones se pueden agrupar como sigue:

4.1 REQUISITOS GENERALES

Establecer el orden de los niveles de concentración o las cargas de los parámetros específicos en posiciones seleccionadas (por ejemplo en la superficie de un cuerpo de agua o dentro de ésta) o, con sedimentos, para obtener una indicación visual de su naturaleza.

4.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS

Establecer en detalle los niveles de concentración o las distribuciones de las cargas de parámetros físicos o químicos y de especies biológicas de interés en todo cuerpo de agua o en parte de la misma. Generalmente, esto se asociará a un estudio de los cambios en relación con el tiempo, las tasas de flujo, las condiciones de operación de las plantas, las condiciones del clima, etc.

Estas razones para el muestreo se pueden subdividir adicionalmente en objetivos más específicos, tales como los siguientes:

- a) Determinar la conveniencia del agua para un uso propuesto y, si es necesario, evaluar cualquier requisito de tratamiento o de control; por ejemplo, examinar el agua de pozos en cuanto a enfriamiento, alimentación de calderas o propósitos de control, o, si se trata de una fuente natural, como posible fuente de agua potable.
- b) Estudiar el efecto de las descargas de aguas residuales, incluyendo los escapes accidentales, sobre el cuerpo receptor de agua. Aparte de contribuir a la carga de contaminación, tales descargas pueden producir otras reacciones tales como precipitación química o generación de gases.
- c) Evaluar el funcionamiento y el control de las partes de agua, las plantas de tratamiento de aguas residuales y los efluentes industriales; por ejemplo, evaluar las variaciones y los cambios a largo plazo en la carga que entra en trabajos de tratamiento; determinar la eficiencia de cada etapa en un proceso de tratamiento; suministrar evidencia de la calidad de agua tratada; controlar la concentración de sustancias tratadas, incluyendo aquellas que pueden constituir un peligro para la salud o que pueden impedir un proceso bacteriológico; controlar sustancias que puedan deteriorar las instalaciones de la planta o el equipo.
- d) Estudiar los efectos de los flujos de agua dulce y de agua salina en condiciones de estuario, con el propósito de suministrar información sobre patrones de mezcla y estratificación asociada, con variaciones en las mareas y en los flujos de agua dulce.
- e) Identificar y cuantificar los productos perdidos en procesos industriales. Esta información se requiere cuando se han de evaluar los balances de productos en la planta y cuando se han de medir las descargas de efluentes.
- f) Establecer la calidad del agua de caldera, el condensado de vapor y cualquier otra agua recuperada. Esto permite evaluar la conveniencia del agua para un propósito previsto.
- g) Controlar la operación de sistemas industriales de agua de enfriamiento. Esto permite optimizar el uso de agua y, al mismo tiempo, minimizar los problemas relacionados con corrosión e incrustación.
- h) Estudiar los efectos de los contaminantes atmosféricos en la calidad del agua de lluvia. Esto suministra información útil sobre la calidad del aire y también indica si hay posibilidad de que surjan problemas; por ejemplo, en contactos eléctricos expuestos.
- j) Evaluar el efecto de las entradas procedentes de la tierra, sobre la calidad del agua. Puede haber contribuciones de materiales que existen en forma natural, o puede haber contaminación generada por fertilizantes, plaguicidas y productos químicos utilizados en la agricultura, o ambas cosas.
- k) Evaluar el efecto de la acumulación y la liberación de sustancias por los depósitos del fondo, en la biota acuática existente en la masa acuática o en los mismos sedimentos.

- m) Estudiar cómo se afectan los cursos naturales de agua por causa de la separación, la regulación de los ríos y la transferencia de un río a otro. Por ejemplo, en la regulación de los ríos puede haber proporciones variables de aguas de calidad diferente, y entonces la calidad de la mezcla resultante puede fluctuar.
- n) Evaluar los cambios en la calidad del agua que ocurren en los sistemas de distribución. Estos cambios pueden ocurrir por diversas razones: por ejemplo contaminación, introducción de agua procedente de una nueva fuente, crecimientos biológicos, depósitos de escala o disolución de metales.
- p) Determinar y monitorear la dinámica hidrológica de los sistemas naturales y artificiales.
- q) Estudiar la ecología acuática.
- r) Identificación y/o actualización de las líneas base en los estudios ambientales. Entendiendo como línea base, las condiciones existentes en la zona antes de la ejecución de un proyecto.

En algunas ocasiones, las condiciones pueden ser suficientemente estables para obtener la información requerida a partir de un programa sencillo de muestreo, pero en la mayoría de las localizaciones las características de la calidad están sujetas a variaciones continuas e, idealmente, la evaluación también debería ser continua. Sin embargo, a menudo esto es muy costoso y en muchas situaciones es imposible de lograr. Al considerar programas de muestreo, se deben tener en cuenta las consideraciones especiales que se incluyen en el numeral 5.

5. CONSIDERACIONES ESPECIALES EN RELACIÓN CON LA VARIABILIDAD

5.1 Los programas de muestreo pueden ser complejos en situaciones en las cuales ocurren variaciones amplias y rápidas en las concentraciones de los factores determinantes que interesan. Estas variaciones pueden ser ocasionadas por factores tales como los cambios extremos en la temperatura, los patrones de flujo o las condiciones de operación de la planta. Se debe evitar el muestreo en las fronteras de los sistemas o cerca de éstas, salvo que las condiciones sean de interés especial.

5.2 Inclusive cuando los cambios en la concentración son lentos y no muy marcados, la evaluación de un área grande de desagüe, tal como una cuenca de río, es un ejercicio complejo.

5.3 Se debe tener cuidado de eliminar o minimizar cualquier cambio en la concentración de los factores determinantes que interesan, y que pueda ser originado por el mismo proceso de muestreo, y asegurarse de que se eviten o se minimicen los cambios durante el período entre el muestreo y el análisis.

5.4 Las muestras compuestas dan la mejor indicación de la composición promedio a lo largo de un período de tiempo, siempre que el factor determinante sea estable durante el período entre el muestreo y el examen, pero esas muestras son de poco valor en la determinación de las condiciones pico transitorias.

SECCIÓN DOS: IDENTIFICACIÓN DE SITUACIONES DE MUESTREO

6. INTRODUCCIÓN

En esta sección se tratan las diversas situaciones que se pueden encontrar en la práctica del muestreo y el grado en que estas situaciones inciden en la selección de un sitio de muestreo. Se llama la atención hacia las precauciones de seguridad necesarias en diversas situaciones que, en vista de su importancia y de su carácter general, se plantean en el numeral 7.

7. PRECAUCIONES GENERALES DE SEGURIDAD

7.1 La amplia diversidad de condiciones que se encuentran al efectuar el muestreo de aguas y de sedimentos, puede someter al personal a una variedad de riesgos para la seguridad y la salud. Aparte del peligro de lesiones físicas, se deben tomar precauciones para evitar la inhalación de gases tóxicos y la ingestión de materiales tóxicos por la nariz y a través de la piel.

El personal responsable de diseñar programas de muestreo y de efectuar operaciones de muestreo debe asegurarse de que se tengan en cuenta los requisitos de las regulaciones de seguridad pertinentes y de que el personal de muestreo esté informado de las precauciones necesarias que se deben tener en dichas operaciones.

Nota. Es posible que se necesite considerar el seguro contra accidentes.

A continuación se presentan situaciones más específicas.

7.2 Para garantizar la seguridad del personal y del equipo, se deben considerar las condiciones climáticas. Al tomar muestras en grandes masas de agua se deben usar chaquetas salvavidas y cuerdas salvavidas.

7.3 La estabilidad es una propiedad importante de cualquier bote utilizado para propósitos de muestreo. En todas las aguas se deben tomar precauciones en relación con los barcos comerciales y las embarcaciones de pesca; por ejemplo, se deben agitar banderas de señales correctas, para indicar la naturaleza del trabajo que se está haciendo.

7.4 Si es posible, se debe evitar el muestreo en sitios inseguros, tales como bancos de tierra inestables. Si esto no se puede evitar, la operación no la debe efectuar una sola persona sino un equipo de varias personas y utilizando precauciones adecuadas. Cuando sea apropiado, se debe recurrir al muestreo desde puentes.

7.5 El acceso razonable en todos los climas es importante y es esencial para el muestreo de rutina frecuente. En algunas situaciones, se deben considerar peligros naturales adicionales tales como follaje, animales y reptiles venenosos.

7.6 Si se instalan instrumentos u otros elementos de equipo en un banco ribereño, se deben evitar las situaciones susceptibles de inundación o vandalismo, tomando las precauciones adecuadas.

7.7 Durante el muestreo de agua surgen muchas otras situaciones, en las cuales se deben tomar precauciones especiales para evitar accidentes. Por ejemplo, algunos afluentes industriales pueden ser corrosivos o pueden contener materiales tóxicos o inflamables. Tampoco se deben pasar por alto los peligros relacionados con los desechos: éstos pueden ser gaseosos, microbiológicos, virológicos o zoológicos, tales como los procedentes de amibas o helmintos.

7.8 Cuando el personal tenga que entrar en atmósferas peligrosas, debe disponer de equipo de protección contra gases, aparatos de respiración, aparatos de resucitación y demás equipo de seguridad adecuado a las circunstancias. Además, antes de que el personal entre en espacios cerrados, se debe medir la concentración de oxígeno y de cualquier vapor o gas tóxico que pueda estar presente.

7.9 En el muestreo de vapor y descargas calientes es necesario tener cuidado especial y se deben aplicar técnicas reconocidas.

7.10 El manejo de muestras radioactivas requiere cuidado especial y se deben aplicar las técnicas especiales que se requieran.

7.11 El uso de equipo de muestreo operado eléctricamente en el agua o cerca de ella puede presentar peligros especiales de electrocución. Se deben planificar los procedimientos de trabajo, el diseño del sitio y el mantenimiento del equipo, de tal forma que se minimicen los riesgos.

8. CONSIDERACIONES ESPECIALES EN EL MUESTREO

8.1 DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO

Dependiendo de los objetivos por alcanzar (véase el numeral 6), la red de muestreo puede tener cualquier forma desde un solo sitio hasta todo un desagüe de río. Una red básica de río puede comprender sitios de muestreo en el límite de la marea, tributarios principales en su confluencia, y descargas principales de afluentes de aguas residuales o industriales. Al diseñar redes de muestreo de calidad se acostumbra prever la medición del flujo en estaciones clave (véase la sección 4).

8.2 IDENTIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DEL MUESTREO

La identificación de la localización del muestreo permite tomar muestras comparativas en otros momentos. En la mayoría de las situaciones de ríos, las localizaciones del muestreo se pueden fijar fácilmente mediante la referencia a características del banco ribereño.

En playas descubiertas de estuarios y costas, las localizaciones de muestreo análogamente se pueden relacionar con un objeto estático fácilmente reconocible. Para el muestreo desde un bote en estas situaciones, se deben utilizar métodos instrumentales para la identificación de la localización. Las referencias de mapas u otras formas estándar de referencia pueden ser muy valiosas.

8.3 CARÁCTER DEL FLUJO

Idealmente, las muestras se deben tomar en líquidos turbulentos, bien mezclados; si se trata de flujos por conductos, siempre que sea posible, se debe inducir la turbulencia. Esto no se aplica a la recolección de muestras para la determinación de gases disueltos y materiales volátiles, cuya concentración se puede alterar debido a la turbulencia inducida.

8.4 CAMBIO EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO CON EL PASO DEL TIEMPO

El flujo puede cambiar de paso por conducto a corriente turbulenta y viceversa. Puede ocurrir "flujo inverso" desde otras partes del sistema, lo cual puede producir contaminación en el punto de muestreo.

8.5 CAMBIO DE LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO CON EL PASO DEL TIEMPO

En algún momento se pueden presentar porciones "despaciosas" discretas de material; por ejemplo, contaminantes disueltos, sólidos, materiales volátiles o capas superficiales aceitosas.

8.6 MUESTREO EN TUBOS

Los líquidos se deben bombear a través de tubos de tamaño adecuado (por ejemplo, al muestrear líquidos heterogéneos, de conducto nominal mínimo de 25 mm) a velocidades lineales suficientemente altas para mantener las características de flujo turbulento. Se deben evitar los recorridos de tubo horizontal.

8.7 NATURALEZA DEL LÍQUIDO

El líquido puede ser corrosivo o abrasivo. Se debe considerar la resistencia a estas condiciones. Se debe tener en cuenta que el método más barato no es necesariamente usar equipo costoso químicamente resistente para muestreo a corto plazo si el equipo se puede reemplazar fácilmente y si la contaminación de la muestra por los productos de la corrosión no fuera importante.

8.8 CAMBIOS DE TEMPERATURA QUE OCURREN EN LOS SISTEMAS DE MUESTREO

La variación de la temperatura a lo largo de períodos largos o cortos, puede ocasionar cambios en la naturaleza de la muestra que pueden afectar el equipo usado para el muestreo.

8.9 MUESTREO PARA LA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sólidos se pueden distribuir en cualquier parte a través de la profundidad de un líquido. Se debe efectuar un mezclado adecuado, si es posible, manteniendo las condiciones de turbulencia. Idealmente, la velocidad lineal debe ser suficiente para inducir la turbulencia, y las muestras se deben tomar en condiciones isocinéticas (véase la NTC 3650-2 (ISO 6107/2)). Si esto no es posible, se debe tomar una muestra a través de una sección transversal completa del flujo. Se debe recordar que la distribución del tamaño de los sólidos en suspensión puede cambiar durante el tiempo necesario para completar el muestreo.

8.10 MUESTREO PARA EL CONTENIDO DE COMPUESTOS VOLÁTILES

El material del cual se deban tomar muestras debe ser bombeado con mínima fuerza de succión. Toda la tubería se debe mantener llena y la muestra se debe extraer de un tubo presurizado después de dejar que el material fluya y se deseché un poco, para garantizar que la muestra recogida sea representativa.

8.11 MEZCLAS DE AGUAS DE DENSIDADES DIFERENTES

Estas aguas pueden ocasionar la formación de capas en un flujo que pase por un conducto, por ejemplo la producción de una capa de agua caliente sobre agua fría o de agua dulce sobre agua salada.

8.12 LÍQUIDOS PELIGROSOS

Es necesario considerar la posibilidad de que pueda haber líquidos o gases tóxicos, o ambos, y la posible explosión de vapores explosivos.

8.13 EFECTO DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Los cambios en las condiciones meteorológicas pueden inducir variaciones marcadas en la calidad del agua; tales cambios se deben registrar y se deben tener en cuenta al interpretar los resultados.

9. SITUACIONES INDIVIDUALES DE MUESTREO. AGUAS NATURALES

9.1 PRECIPITACIÓN

Cuando se recojan muestras de precipitación para análisis químicos, el sitio de muestreo se debe seleccionar de tal modo que se evite la contaminación por materias extrañas, por ejemplo, polvo, fertilizantes, plaguicidas, etc. El aparato de muestreo se debe colocar preferiblemente en una lona.

Si la muestra es congelada o consta de nieve o granizo, el embudo preferiblemente se debe mantener caliente, por ejemplo, mediante un elemento eléctrico de calefacción. En los casos en que esto no sea posible, todo el aparato se debe retirar y deshelar a baja temperatura.

9.2 ESTUARIOS, AGUAS COSTERAS, MARES Y OCÉANOS

9.2.1 Grado y profundidad

Las fronteras del área bajo investigación se deben definir claramente y se debe considerar la relación del área con las áreas de agua adyacentes. La selección de los sitios y de las posiciones de muestreo debe tener en cuenta el hecho de que las corrientes de las mareas y su modificación por el viento, la densidad, la aspereza del fondo, la proximidad de la línea costera y las embarcaciones pueden todos producir perturbación considerable dentro del agua, y variación en la calidad del agua en el sitio designado para el muestreo. Además, el efecto sobre el muestreo de cualquier descarga local se debe considerar cuidadosamente.

9.2.2 Uso de botes

Los botes, cuando se utilicen, deben tener capacidad de alcanzar todas las posiciones de muestreo dentro de los límites de tiempo de la investigación en condiciones climáticas adecuadas.

9.2.3 Estratificación

Los gradientes pronunciados de concentración pueden estar relacionados con la estratificación térmica y así como con las comunidades biológicas también pueden estar estratificados.

9.3 RÍOS Y TORRENTES

9.3.1 Mezcla

Si en el punto de muestreo hay existencia significativa de torrentes o de estratificación, se debe recoger una serie de muestras transversas y profundas para determinar la naturaleza y el grado de la existencia de torrentes y de estratificación.

9.3.2 Selección de sitios

Los sitios se deben seleccionar de tal modo que proporcionen muestras representativas, de preferencia en donde haya probabilidad de que ocurran cambios marcados en la calidad o en donde haya usos importantes del río, en zonas de mezcla y en la parte de control que no esté afectada por una descarga; por ejemplo, confluencias, descargas importantes o absorciones. En general, se deben evitar los vertederos o las pequeñas descargas cuyo efecto sea solamente muy local.

En lo posible, los sitios se deben seleccionar en donde se disponga de datos relacionados con el flujo. Para la instalación de equipo de control del agua, frecuentemente se utilizan casetas de calibración del río.

Si el propósito del muestreo es controlar los efectos de una descarga, se debe efectuar muestreo río arriba y río abajo, pero se debe considerar con cuidado la mezcla del agua de descarga y de recibo y sus efectos sobre las muestras río abajo. El muestreo se debe extender por una distancia apropiada río abajo para evaluar los efectos sobre el río.

9.4 CANALES

En general, se aplican las consideraciones para los ríos y los torrentes, pero los siguientes factores exigen atención especial.

9.4.1 Flujo

La dirección del flujo puede ser cambiante. La tasa de flujo puede variar considerablemente y puede depender más de la magnitud del uso en navegación (es decir, el número de operaciones de puertos) que de las condiciones climáticas prevalentes.

9.4.2 Estratificación y torrentes

Estos tenderán a ser más pronunciados que en los ríos en las condiciones de quietud que se encuentran en los canales. El paso de botes puede tener un efecto muy marcado a corto plazo sobre la calidad del agua en un canal, especialmente en la concentración de sólidos en suspensión.

9.5 DEPÓSITOS Y LAGOS DE ALMACENAMIENTO

El muestreo se debe efectuar en todos los puntos de desagüe disponibles y en todas las profundidades de desagüe, además de las entradas. El cuerpo de agua puede ser térmicamente estratificado y entre las diferentes profundidades se pueden desarrollar diferencias de calidad muy significativas. Las investigaciones ecológicas pueden requerir un programa de muestreo más detallado; es posible que se requieran datos de flujo y datos meteorológicos.

En masas grandes de agua, generalmente es necesario efectuar el muestreo desde un bote.

9.6 AGUAS SUBTERRÁNEAS

9.6.1 Extracción de agua subterránea absorbida

Se requieren muestras para evaluar la conveniencia de determinada agua subterránea extraída para un uso en particular. Las muestras se pueden tomar en el punto de extracción, aunque estas muestras pueden no ser representativas de la calidad general del agua en el respectivo depósito acuífero.

9.6.2 Agua en un depósito acuífero

Cuando se efectúa muestreo para evaluar la calidad del agua contenida en un depósito acuífero, el pozo debe bombearse antes de efectuar el muestreo para así asegurarse de que se extrae agua nueva del depósito. Inclusive en estas circunstancias, es posible que el agua del depósito sea estratificada y que entonces se requiera muestreo adicional para evaluar el grado de estratificación. Siempre se debe registrar la profundidad por debajo del nivel del suelo a la cual se toma la muestra.

Los pozos cercanos a materiales susceptibles de corrosión, siempre deben bombearse completamente antes del muestreo, para así tener seguridad de que se eliminan del sistema todos los productos de corrosión acumulados.

En los casos en que se requieran muestras representativas de profundidades predeterminadas en el depósito acuífero, se deben utilizar tubos de muestreo para cada profundidad del agujero perforado, o agujeros separados para cada profundidad.

9.7 SEDIMENTOS EN RÍOS, ESTUARIOS Y EN EL MAR, EN LAGOS Y EN RESERVORIOS

Se deben establecer patrones de muestreo para tener en cuenta las variaciones de composición en las direcciones vertical y horizontal. Es posible que se necesite obtener información en la profundidad de un depósito del fondo o en su composición a diferentes profundidades.

Muchos factores importantes en el muestreo de aguas, tales como el uso de botes, también se aplican al muestreo de depósitos del fondo. Los sustratos generalmente son heterogéneos y se debe tener cuidado especial para garantizar que se tome un número suficiente de muestras, con el fin de suministrar una evaluación representativa del parámetro o de los parámetros que se estén considerando.

9.8 AGUA POTABLE

9.8.1 Agua que se bombea para el suministro

El punto de muestreo se debe seleccionar de tal modo que se puedan controlar los agentes desinfectantes residuales antes de que ocurra cualquier pérdida pero después de que se terminen todas las reacciones; por ejemplo, el control del cloro residual después de que se termina la reacción del dióxido de azufre con exceso de cloro. También se requiere el muestreo para el examen bacteriológico de rutina, y se deben observar las precauciones adecuadas, incluyendo cualquier regulación nacional de seguridad.

El punto de muestreo usual es un grifo conectado directamente al bombeo principal. El grifo del bombeo no debe tener accesorios y debe ser adecuado para la esterilización mediante llama. El material del tubo de muestra se debe seleccionar cuidadosamente en relación con los requisitos del ensayo; por ejemplo, el tubo de cobre puede conducir a un incremento en la concentración de cobre en el agua y a una disminución en el conteo bacteriano. Para asegurarse de que la muestra es extraída directamente del grifo al recipiente, el recipiente de la muestra se debe colocar inmediatamente debajo del grifo pero sin conectarlo ni ponerlo en contacto directo con éste último.

9.8.2 Depósitos de servicio

Las muestras se deben tomar de un grifo ajustado a la tubería principal, tan cerca como sea posible del depósito. Muchos depósitos de servicio se diseñan de tal modo que se llenen y se vacíen a través de la misma tubería, y por lo tanto se necesita cuidado para garantizar que el depósito se esté vaciando al momento de tomar la muestra.

9.8.3 Agua en el sistema de distribución

Los grifos en las instalaciones de los consumidores constituyen los medios más satisfactorios para tomar muestras de agua del sistema de distribución general. Los dispositivos contra salpicaduras o similares se deben retirar antes de efectuar el muestreo; los grifos mezcladores no se recomiendan para efectuar el muestreo. Las muestras de extensiones del sistema de distribución principal generalmente se obtienen de hidrantes y aluviones (escorrentías superficiales). Una vez más, se requieren precauciones especiales en el muestreo para examen bacteriológico.

9.8.4 Lodos derivados del tratamiento del agua potable

Algunas plantas de tratamiento producen lodos de ablandamiento de caliza o lodos biológicos. La mayoría de los lodos producidos en el tratamiento del agua potable, sin embargo, son de hidróxido de aluminio o de hidróxido de hierro. Es posible que se necesite tomar las muestras dentro de tanques de coagulación o sedimentación a diferentes profundidades y también en tanques espesativos. A menudo es importante examinar las muestras de lodo con un mínimo de retraso y agitación, puesto que las características pueden cambiar significativamente en el término de minutos.

9.9 BALNEARIOS

En los balnearios naturales, el muestreo se debe efectuar como se hace para los depósitos de almacenamiento y los lagos (véase el numeral 9.5). En piscinas con sistemas de recirculación, las muestras se deben tomar en la entrada, la salida y en la masa del agua.

10. SITUACIONES DE MUESTREO EN LA INDUSTRIA

10.1 AGUA DE SUMINISTRO

El agua potable, el agua de ríos y el agua de pozos artesianos son generalmente de composición homogénea en cualquier momento dado, aunque pueden variar en su calidad con el paso del tiempo. El agua suele entrar en la fábrica a través de un sistema convencional de tuberías, y no surgen situaciones de muestreo especiales.

Si se dispone de suministros industriales no potables en forma separada, se necesita cuidado especial para garantizar que los diversos sistemas de distribución estén claramente identificados y que no haya incertidumbre en los puntos de muestreo. Para verificar que determinada agua es adecuada para propósitos de bebida, se debe disponer de instalaciones para el muestreo.

Si se requiere información sobre la calidad de la mezcla final de una mezcla de aguas, es necesario asegurarse de que antes del muestreo se haya efectuado una mezcla adecuada.

10.2 AGUAS DE SISTEMAS DE CALDERAS

10.2.1 Agua de una planta de tratamiento

En la etapa de diseño de la planta de tratamiento, se debe considerar cuidadosamente la localización de los puntos de muestreo, y generalmente es necesario incluir instalaciones para retirar las muestras en diversas etapas de tratamiento así como en la entrada y salida de los filtros. Cuando existan sólidos en suspensión, los conductos de la muestra se deben enjuagar completamente antes de tomar la muestra.

Se necesitan técnicas de muestreo especiales para evitar pérdidas al tomar muestras para la determinación de gases disueltos, por ejemplo oxígeno o dióxido de carbono. Si para la eliminación de dióxido de carbono se incluye una torre de desgasado, en el manejo posterior de la muestra se debe evitar la pérdida o la recogida de dióxido de carbono. Normalmente el tubo de muestra se debe introducir bien en la masa de agua para evitar las condiciones anómalas de la superficie.

10.2.2 Agua de alimentación de caldera y agua de caldera

El agua procedente de muchos puntos de muestreo en el circuito vapor/condensado/agua sólo contendrá concentraciones traza de las impurezas que interesan; por lo tanto, se debe tener cuidado especial para evitar la contaminación de las muestras en el intervalo entre el muestreo y el análisis.

Generalmente, los sistemas de muestreo deben ser contruidos de acero inoxidable y con suficiente integridad estructural para resistir las presiones de operación que puedan ser necesarias.

El agua alimentada a una caldera es a menudo una mezcla de agua tratada de alimentación de la caldera y condensado retornado; el punto de muestreo se debe localizar después de que haya habido mezcla adecuada. Si se tienen que tomar muestras del agua de alimentación de la caldera a temperatura y presión altas, a través de largos conductos de muestreo, por motivos de seguridad, es altamente deseable enfriar la muestra en el conducto de muestreo tan cerca como sea posible del punto de muestreo. Adicionalmente, ese enfriamiento evita errores debido a la pérdida de vapor de descarga y minimiza el riesgo de pérdida de oxígeno resultante por reacción en las paredes del conducto de muestreo o con dichas paredes.

Cuando se utilizan procesos físicos y químicos de desaireado, generalmente se requieren dos puntos de muestreo; uno para verificar la eficiencia del desaireado físico antes de agregar productos químicos, y otro para verificar la eficiencia total del desaireado.

Los puntos de muestreo se deben localizar sobre la caldera para así garantizar el muestreo representativo del agua de dicha caldera. Para algunos análisis, por ejemplo, para metales traza que pueden estar parcial o totalmente en forma de partículas, se deben usar sondas isocinéticas de muestreo.

10.2.3 Vapor y condensado del vapor

En la industria, es importante controlar la calidad del vapor y generalmente es necesario tomar muestras de los conductos de retorno del condensado de vapor, y del vapor bajo presión supercalentado o húmedo. Para el muestreo del vapor se deben usar sondas de muestreo isocinéticas en conjunto con un condensador enfriador adecuado hecho de acero inoxidable, y se debe tener cuidado especial para evitar la contaminación en el intervalo entre el muestreo y el análisis.

10.2.4 Agua de sistemas de enfriamiento

Hay tres tipos principales de sistema de enfriamiento:

- a) Evaporación abierta.
- b) Un solo paso (de libre paso).
- c) Circuito cerrado.

Generalmente, en sistemas de evaporación abiertos se toman muestras del agua de entrada (acoplada) y del agua circulante. Generalmente se suministra un punto de muestreo en el conducto de entrada; pero en el sistema de enfriamiento mismo, para obtener la información requerida puede ser necesario tomar muestras en varios puntos, por ejemplo en la entrada a la bomba de circulación, inmediatamente antes de la torre de enfriamiento si se ha utilizado un tratamiento biocida y posiblemente en el estanque de la torre de enfriamiento, si se está utilizando agua con un alto contenido de sólidos en suspensión. En lo posible, se deben usar sistemas de muestreo isocinéticos.

En los sistemas "de un solo paso" y de circuito cerrado generalmente se suministran puntos de muestreo, por ejemplo en la entrada y en la salida para un sistema "de un solo paso" y en un punto bajo en un sistema cerrado.

11. EFLUENTES COMERCIALES

11.1 SITIOS

El muestreo de efluentes industriales se debe considerar en relación con la naturaleza y la localización de cada efluente individual.

En general, los puntos de descarga de los efluentes industriales pueden ser descargas de tubos o conductos abiertos en localizaciones remotas en donde el acceso físico es difícil y no hay servicios disponibles. Alternativamente, los puntos de descarga pueden ser fácilmente accesibles dentro

de las instalaciones de la fábrica. A veces puede ser necesario tomar muestras desde bocas de entrada profundas y, en tales casos, se requiere equipo diseñado especialmente. Con muestreo de cajas compactas de inspección (manhole), por razones de seguridad es preferible que dicha caja de inspección se diseñe de tal modo que se pueda efectuar el muestreo sin entrar.

También se debe considerar la posibilidad de que la muestra contenga aguas residuales domésticas procedentes de la fábrica; en este caso, el sitio se debe seleccionar de tal modo que se excluyan tales desechos, si es necesario.

Si la descarga del efluente es a un lago o tanque de depósito, entonces la situación de muestreo viene a ser similar a la correspondiente a lagos.

11.2 NATURALEZA DEL EFLUENTE

En algunas situaciones industriales (por ejemplo descargas de plantas individuales antes de la dilución adicional), las concentraciones de ciertos constituyentes pueden presentar dificultades especiales que exijan una consideración en particular. Son ejemplos la presencia de aceite o grasa, elevada presencia de sólidos en suspensión, afluentes altamente ácidos y líquidos o gases inflamables.

Cuando los efluentes de una diversidad de procesos se descargan en una cañería principal, para obtener una muestra satisfactoria se requiere un mezclado adecuado.

11.3 AGUA INDUSTRIAL Y LODOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

En el tratamiento industrial de aguas se puede producir una amplia variedad de lodos químicos, por ejemplo los lodos pueden contener metales tóxicos o materiales radiactivos, y es posible que también se necesite tomar muestras de los lodos biológicos procedentes de las plantas de tratamiento de afluentes (véase el numeral 12.1.2). Al tomar muestras de esos lodos, se deben aplicar precauciones de seguridad adecuadas, incluyendo las regulaciones de seguridad nacional.

12. AGUAS RESIDUALES Y EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES

Se deben tomar muestras cuando en una planta de tratamiento entran aguas residuales y también después de diversas etapas de tratamiento, incluyendo las muestras del efluente tratado.

12.1 SELECCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

12.1.1 Efluentes líquidos

En cada etapa del proceso se debe seleccionar cuidadosamente el sitio del muestreo, particularmente en el caso de aguas residuales crudas, cuya composición puede presentar una variación considerable con el paso del tiempo. Es posible que las aguas residuales estén contenidas en alcantarillas de gran sección transversal y su composición puede variar con la profundidad y a través del diámetro de la alcantarilla. También puede haber un mezclado incompleto de aguas residuales procedentes de diferentes fuentes, y a tasas de flujo bajas el material en suspensión se puede sedimentar. Antes de seleccionar un sitio de muestreo, se debe efectuar un programa preliminar de muestreo para establecer estas variaciones y la localización del punto de muestreo de rutina se debe establecer a partir de la información obtenida. En muchos casos será necesario tomar dos o tres muestras de rutina en puntos diferentes y mezclar éstos para dar una muestra compuesta.

Del material flotante, tal como aceite o grasa, no se pueden tomar muestras representativas en forma rutinaria; en este caso, las muestras generalmente se deben tomar debajo de la superficie.

Las muestras de aguas residuales crudas a menudo se toman después de la selección preliminar y los procesos de pulverización para así evitar la inclusión accidental de partículas grandes en la muestra. Sin embargo, en los casos en que se usen muestreadores automáticos, éstos se puede situar más arriba de los procesos preliminares, siempre que en la entrada del muestreador se agregue un tamiz o un pequeño macerador con el fin de evitar los bloqueos.

Al seleccionar un sitio de muestreo para aguas residuales crudas en la planta de tratamiento, se debe considerar la inclusión de fluidos recirculados dentro de la planta. De preferencia, es posible que se necesiten dos muestras: una que incluya todos los fluidos que representen la carga total de la planta, y una que excluya los fluidos recirculados para dar una medida de la carga procedente de fuentes externas. Si no es factible la recolección de cualquiera de estas muestras, quizás sea posible calcular la composición de las aguas residuales mediante muestreo por separado y análisis de los fluidos.

12.1.2 Lodos de tratamiento de aguas residuales domiciliarias

En ciertos tanques puede ser necesario tomar muestras de los lodos, por ejemplo en tanques de sedimentación o en tanques de asimilación, en lagos, o en lechos de secado.

Si se han de tomar muestras de lodos primarios y asimilados, se puede experimentar considerable dificultad por la falta de homogeneidad y también por la presencia de partículas grandes.

Si el muestreo va a ser de una tubería, el conducto del muestreo debe tener al menos 50 mm de diámetro para así garantizar que la ocurrencia de bloqueos sea mínima, y las muestras se deben tomar a intervalos de tiempo frecuentes. Cuando el muestreo sea de tanques, lagos, o capas de secado, es posible que se necesite un gran número de muestras procedentes de diferentes profundidades y posiciones. Es posible que el acceso a los puntos de muestreo sea difícil y que se necesiten estructuras especiales.

En todas estas situaciones es deseable un enfoque estadístico para determinar la frecuencia del muestreo. En el numeral 16 se incluye un ejemplo de tal enfoque.

13. AGUAS RESIDUALES DE TORMENTAS Y VERTIENTE SUPERFICIAL

La descarga de tales aguas generalmente ocurre cuando los flujos en los cursos de agua que se reciben son altos, y la dilución disponible es grande. Sin embargo, por diversas razones, los sobreflujos residuales de tormentas pueden operar en otros momentos, y la vertiente de superficie se puede contaminar hasta tal grado que los subreflujos puedan representar una amenaza seria para la calidad de una corriente de agua, inclusive bajo condiciones de flujo alto.

El muestreo de tales descargas presenta problemas especiales por su naturaleza intermitente y porque la calidad puede cambiar marcadamente a lo largo del período de la descarga. La calidad es peor en la primera llegada de la descarga como resultado de la lavada inicial de los vertederos y de las áreas impermeables. Los dispositivos automáticos de muestreo que recogen muestras a intervalos regulares y que comienzan a un flujo prescrito, ofrecen muchas ventajas. Este equipo se debe instalar en un estado permanente de alistamiento. En muchos casos será deseable el muestreo proporcional al flujo. La naturaleza, generalmente muy heterogénea de las aguas residuales de tormenta no maceradas o no asentadas ocasiona dificultades para obtener una muestra representativa y contribuye al bloqueo del equipo. Esta heterogeneidad se debe tener en cuenta al seleccionar las técnicas de muestreo y el equipo.

A lo largo del período de investigación se deben recoger datos pertinentes de la precipitación y de la temperatura del aire.

SECCIÓN TRES: TIEMPO Y FRECUENCIA DEL MUESTREO

14. INTRODUCCIÓN

La información generalmente se requiere a lo largo de un período de tiempo durante el cual la calidad del agua puede variar; así pues, las muestras se deben tomar en momentos que representen adecuadamente la calidad y las variaciones con esfuerzo mínimo. Este enfoque contrasta con la selección de la frecuencia de muestreo basada en consideraciones subjetivas o en la cantidad de esfuerzo disponible para el muestreo y el análisis. Estos dos últimos métodos pueden conducir a un muestreo totalmente inadecuado o a un muestreo innecesariamente frecuente.

15. TIPOS DE PROGRAMA DE MUESTREO

Existen tres tipos principales de programa. Estos se pueden describir como control de calidad, caracterización de la calidad, e identificación de las fuentes de contaminación (véase el numeral 3). Las mediciones hechas para propósitos de control de calidad se pueden usar para la caracterización de la calidad y viceversa.

15.1 PROGRAMAS DE CONTROL DE CALIDAD

Estos programas generalmente involucran el control de la concentración de uno o más factores determinantes dentro de límites definidos. Los resultados se requieren con el fin de decidir si se necesita acción inmediata. Por lo tanto, la frecuencia del muestreo se debe elegir de tal modo que haya más de una probabilidad aceptable de desviaciones importantes fuera de los límites de control, que ocurran entre mediciones sucesivas. Hay dos factores principales que fijan esta frecuencia:

- a) La magnitud y la duración de las desviaciones con respecto a las condiciones deseadas.
- b) Las probabilidades de que ocurran desviaciones respecto de las condiciones deseadas.

Aunque a menudo solo serán posibles definiciones aproximadas de estos factores, las estimaciones razonables permitirán deducir un valor de trabajo para la frecuencia de muestreo.

15.2 PROGRAMAS DE CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD

Estos programas se proponen estimar uno o más parámetros estadísticos que caractericen la concentración o su variabilidad, o ambos, durante un período definido. Por ejemplo, la media aritmética o la mediana indican la tendencia central de los resultados, y la desviación estándar indica la variabilidad. Los resultados se pueden requerir como parte de una investigación de búsqueda, o para la caracterización de factores determinantes que en la actualidad no sea necesario controlar, o para propósitos de control a largo plazo.

15.3 PROGRAMAS PARA LA INVESTIGACIÓN DE CAUSAS DE CONTAMINACIÓN

Con estos programas se debe determinar cómo se caracterizan las descargas de contaminación cuyo origen sea desconocido. Tales programas generalmente se basan en que se conozca(n) la(s) naturaleza(s) de los contaminantes y la coincidencia del muestreo, y la periodicidad con la cual aparezca la contaminación.

Estos criterios exigen que el muestreo, en contraste con el efectuado para el control de calidad y para la caracterización de la calidad, se debe efectuar con una frecuencia bastante alta en relación con la frecuencia con la cual aparece la contaminación.

El establecimiento de la frecuencia puede ser muy útil.

16. CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS

16.1 ESTABLECIMIENTO DE PROGRAMAS DE MUESTREO

Los tiempos y las frecuencias del muestreo en cualquier programa, sólo se pueden decidir adecuadamente después de trabajo preliminar detallado, en el cual se necesita una alta frecuencia de muestreo para suministrar la información en cuanto a qué técnicas estadísticas se pueden aplicar. Si la calidad está sujeta a variaciones, bien sea aleatorias o sistemáticas, los valores obtenidos para los parámetros estadísticos, tales como la media aritmética, la desviación estándar, a lo más, son únicamente estimaciones de los parámetros verdaderos y generalmente difieren de éstos últimos.

En el caso de variaciones puramente aleatorias, las diferencias entre estas estimaciones y los valores verdaderos se pueden calcular en forma estadística; esas diferencias disminuyen a medida que el número de muestras aumenta. Una vez que se ha decidido la frecuencia del muestreo, los datos obtenidos se deben revisar con regularidad de tal modo que se puedan hacer los cambios según se requiera.

En los numerales 16.2 a 16.5 se presenta un ejemplo del enfoque anterior, utilizando un método estadístico aplicado a un parámetro estadístico, la media aritmética; se supone que se aplica la distribución normal. La terminología utilizada está de acuerdo con la norma ISO 3534 a la cual se debe hacer referencia para las definiciones de los términos utilizados.

Para un tratamiento completo del cálculo de la media aritmética en términos del intervalo de confianza, se debe hacer referencia a la norma ISO 2602.

16.2 INTERVALO DE CONFIANZA

En la práctica, el intervalo de confianza L de la media aritmética de n resultados, define el intervalo en el cual se encuentra la media aritmética verdadera a un nivel de confianza dado.

16.3 NIVEL DE CONFIANZA

El nivel de confianza es la probabilidad de que la media aritmética verdadera esté incluida dentro del intervalo de confianza L calculado. Un intervalo de confianza para el valor de la media aritmética \bar{X} de una concentración, calculado sobre la base de una muestra con n resultados, y a un nivel de confianza del 95 %, significa que hay 95 posibilidades entre 100 de que el intervalo contenga la media aritmética verdadera \bar{X} . Para el caso en que se tome efectivamente una gran serie de muestras, la frecuencia de los casos en los cuales el intervalo incluirá \bar{X} estará cerca del 95 %.

16.4 DETERMINACIÓN DEL INTERVALO DE CONFIANZA Y DEL NÚMERO DE MUESTRAS

Para cierto número de resultados n , tomados al azar, las estimaciones de la media aritmética verdadera \bar{X} y la desviación estándar, σ , son la media aritmética, \bar{X} , y s respectivamente de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}$$

Donde x_i representa los valores individuales.

Cuando n es grande (véase el numeral 16.1), s difiere poco del valor verdadero σ , y el intervalo de confianza de \bar{X} , calculado a partir de algún número de resultados n , es $\bar{X} \pm K/n$, donde K tiene el valor dado en la siguiente tabla, dependiendo del nivel de confianza adoptado.

Nivel de confianza	99	98	95	90	80	68	50
K	2,58	2,33	1,96	1,64	1,28	1,00	0,67

Para estimar la media aritmética \bar{X} para un intervalo de confianza dado L en el nivel de confianza seleccionado, el número de muestras necesarias es $(2K\sigma/L)^2$. Esto es estrictamente cierto únicamente cuando se conoce σ . Cuando únicamente se dispone de una s estimada, se requerirán más muestras, aunque esto afectará muy poco al valor de K, si s se basa en un número relativamente grande de muestras.

16.5 VARIACIONES ALEATORIAS Y SISTEMÁTICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Las variaciones aleatorias comúnmente tienen una distribución normal o una distribución lognormal. Las variaciones sistemáticas pueden ser tendencias o variaciones cíclicas, y se pueden presentar combinaciones de las dos. La naturaleza de la variabilidad puede ser diferente para factores determinantes diferentes de la misma agua.

Si las variaciones aleatorias son dominantes, los tiempos de muestreo generalmente no son importantes estadísticamente, aunque sí pueden ser importantes para propósitos de control de calidad. Si ocurren variaciones cíclicas, los tiempos de muestreo son importantes, bien sea para cubrir todo el ciclo o para detectar concentraciones de interés máximas o mínimas. Los tiempos de muestreo deben ser espaciados en forma aproximadamente igual a lo largo de los períodos de tendencia. En cada una de las situaciones anteriores, el número de muestras debe ser regido en gran parte por las consideraciones estadísticas indicadas antes.

Si las variaciones cíclicas son inexistentes o pequeñas en comparación con las fluctuaciones aleatorias, el número de las muestras por tomar sólo tiene que ser lo bastante grande para cumplir la incertidumbre aceptable de la media aritmética de un factor determinante, a un nivel de confianza dado.

Por ejemplo, si se aplica la distribución normal, de acuerdo con lo anterior, el intervalo de confianza L de la media aritmética de n resultados, a un nivel de confianza seleccionado, está dado por la fórmula:

$$L = \frac{2K\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde σ es la desviación estándar de la distribución.

Si el intervalo de confianza requerido fuera el 10 % de la media aritmética, el nivel de confianza requerido del 95 %, y la desviación estándar el 20 % de la media aritmética, entonces:

$$10 = \frac{2 \times 1,96 \times 20}{\sqrt{n}}$$

y por consiguiente

$$\sqrt{n} = 7,84$$

y

$$n \approx 61$$

Esto indica una frecuencia de muestreo de 2 muestras por día, si el período de interés fuera 1 mes, o de entre 1 y 2 muestras por semana, si el período de interés fuera 1 año.

17. VARIABILIDAD ANORMAL

Es posible que se necesite incrementar la frecuencia del muestreo mientras persistan condiciones anormales, por ejemplo durante la puesta en marcha de una planta por procesos, durante las condiciones de inundación en un río, o en tiempos de florecimiento de algas. Al calcular las tendencias a largo plazo, los resultados obtenidos a partir de estas muestras sólo se usarán si se prevé una frecuencia incrementada.

18. DURACIÓN DE LA OCASIÓN DEL MUESTREO Y MUESTRAS COMPUESTAS

Si sólo interesa la calidad promedio durante un período, y siempre que el factor determinante sea estable, puede ser útil que la duración de la recolección de las muestras sea larga y, preferiblemente, igual al período que interesa. Este principio es similar al de la elaboración de muestras compuestas. Ambos enfoques reducen el trabajo analítico a expensas del conocimiento de las variaciones en la calidad.

SECCIÓN CUATRO: MEDICIONES DEL FLUJO Y SITUACIONES QUE JUSTIFICAN LAS MEDICIONES DEL FLUJO PARA PROPÓSITOS DE CALIDAD DEL AGUA**19. INTRODUCCIÓN****19.1 GENERALIDADES**

El control de las aguas residuales y el tratamiento de los efluentes y la administración de la calidad de las aguas naturales, utilizando técnicas de modelado matemático, ha incrementado la importancia de los datos de flujo. Por ejemplo, sin mediciones de los flujos no se pueden evaluar las cargas de contaminación. En esta sección se indican los principios de flujos que se deben considerar al establecer un programa de muestreo. Sin embargo, puesto que el científico en examen de aguas generalmente no efectúa la medición del flujo, no se incluyen los detalles prácticos. Para éstos, se debe hacer referencia a las normas adecuadas elaboradas por el comité técnico TC 30 de ISO "Medición de flujo de fluidos en conductos cerrados", y por el comité técnico TC 113 de ISO "Medición de flujo de fluidos en canales abiertos".

Hay tres aspectos del flujo que es necesario medir, a saber,

- a) Dirección del flujo.
- b) Velocidad del flujo.
- c) Tasa de flujo.

19.2 DIRECCIÓN DE FLUJO

En la mayoría de los cursos de agua tierra adentro, el flujo es unidireccional y autoevidente, pero en canales navegables y en canales de drenaje esto no siempre es así y la dirección del flujo puede variar con el paso del tiempo. El conocer la dirección del flujo del agua subterránea en un depósito acuífero es de importancia primordial al evaluar las consecuencias de la contaminación acuífera y al seleccionar los sitios para las perforaciones de muestreo.

En procesos de tratamiento, el patrón de movimiento de aguas en los tanques afecta al mezclado de los contenidos y al estancamiento de la materia en suspensión, y se debe tener en cuenta para garantizar que se recojan muestras representativas.

En estuarios y en agua costera, a menudo es necesario medir la dirección del movimiento de agua como una parte esencial del programa de muestreo. Tanto la dirección como la velocidad pueden ser altamente variables, y dependen de las corrientes de las mareas modificadas por las condiciones meteorológicas y otros factores y condiciones.

19.3 VELOCIDAD DEL FLUJO

La velocidad de la corriente es importante:

- a) Para calcular la tasa de descarga (véase el numeral 9.1).
- b) Para calcular la velocidad promedio o el tiempo de recorrido, que para los propósitos de la calidad del agua es el tiempo requerido para que determinada masa de agua se mueva a través de una distancia dada.
- c) Para evaluar el efecto de la turbulencia y el mezclado de una masa de agua producidos por la velocidad.

19.4 CAUDAL DE DESCARGA

EL caudal de descarga es el volumen de líquido que pasa por un punto dado por unidad de tiempo. La información sobre la media aritmética y los caudales extremos de descarga es esencial para el diseño y la operación del afluente, agua residual, y plantas de tratamiento de aguas, y para fijar límites de calidad racionales en cuanto a la salvaguarda de los cursos de agua naturales.

20. JUSTIFICACIÓN EN CUANTO A LAS MEDICIONES DEL FLUJO EN EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA**20.1 CARGAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

Los datos de flujo son necesarios para evaluar la carga de contaminación impuesta sobre una planta de tratamiento. Es posible que esto haga necesario efectuar mediciones, en los puntos de descarga, a un sistema de aguas residuales, así como también en los trabajos mismos. Si el agua residual que se va a tratar varía en cantidad o en calidad con el paso del tiempo, para obtener una estimación confiable de la carga se necesita un registro de la descarga de flujo continuo. A menudo se elaboran muestras compuestas mediante la mezcla de muestras en relación con el flujo registrado al momento del muestreo. El costo del tratamiento de afluentes industriales descargados a los alcantarillados públicos es directamente proporcional tanto a la calidad como al volumen de los afluentes descargados.

20.2 EFECTOS DE DILUCIÓN

La descarga de sustancias peligrosas a los alcantarillados públicos debe ser controlada en tal forma que el personal, los alcantarillados y los procesos de tratamiento no se vean afectados adversamente, aunque al mismo tiempo se utilice plenamente la dilución afrontada. Análogamente,

al considerar los efectos probables de una descarga sobre un curso de agua natural, y los límites de calidad que es necesario imponerle, es necesario calcular el factor de dilución. En estas circunstancias, y cuando la dilución que ocasionen en el sistema otras aguas residuales sea mínima, los datos de descarga son muy valiosos.

20.3 CÁLCULOS DE FLUJO DE MASA

Los cálculos de flujo de masa se utilizan ampliamente para fijar los límites de aprobación para efectuar descargas y para evaluar los efectos sobre la calidad ocasionados por absorciones y aumentos del río. Tales cálculos son fundamentales para realizar modelos de la calidad en sistemas completos de ríos y estuarios, y frecuentemente se basan en datos típicos o promedios de la descarga de flujo. Las técnicas de modelado dinámico requieren datos del flujo continuo y cálculo de los valores de la frecuencia del flujo.

20.4 TRANSPORTE DE CONTAMINANTES Y TASAS DE RECUPERACIÓN

Si la concentración de un contaminante en una descarga varía con el tiempo, únicamente si se conoce la tasa de transporte del contaminante desde el punto de descarga, se podrá obtener una estimación confiable de la dispersión o degradación del contaminante. Por consiguiente, en un programa de muestreo para un río o estuario se debe procurar tomar muestras de la misma masa de agua a medida que avanza a lo largo del curso de agua.

Cuando un derramamiento accidental de un contaminante entra en un curso de agua, para evaluar los efectos de esa contaminación es de mucho valor conocer el tiempo requerido para que el contaminante llegue a los extractores corriente abajo.

20.5 FACTORES DETERMINANTES RELACIONADOS CON EL FLUJO

Se ha encontrado que, en determinadas circunstancias, las concentraciones de los factores determinantes de la calidad de cierta agua, tales como la dureza o el cloro temporales, están relacionadas con la tasa de flujo, generalmente a lo largo de un intervalo limitado. Si se dispone de registros adecuados, ligando las tasas de flujo con las concentraciones, se puede hacer una estimación de la calidad del agua en relación con estos factores determinantes a partir de sólo las mediciones de la tasa de flujo. Se deben hacer verificaciones a intervalos para establecer si las relaciones permanecen válidas.

20.6 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para evaluar en forma confiable los riesgos de contaminación para las fuentes de agua subterránea, y las tasas esperadas de recuperación a partir de ellas, se requiere conocer la dirección y la velocidad del movimiento del agua subterránea. Esta información se puede usar entonces para evitar la dificultad del costo de tomar muestras de aguas subterráneas para la evaluación de la contaminación.

21. MÉTODOS DISPONIBLES PARA LA MEDICIÓN DEL FLUJO

21.1 Las mediciones pueden ser discretas, tales como las que se hacen utilizando flotadores en un estuario o un medidor de lectura directa de la corriente en un río, o pueden ser continuas, tales como las que se hacen mediante la mayoría de los medidores del flujo de descarga.

21.2 La dirección y la velocidad se pueden medir utilizando:

- a) Dragas.
- b) Flotadores y barcos con redes rastreas.
- c) Trazas químicas (incluyendo tinturas).
- d) Trazadores microbiológicos.
- e) Trazadores radiactivos.

21.3 La velocidad también se puede medir utilizando:

- a) Medidores de la corriente, tipos de lectura directa y registro.
- b) Técnicas ultrasónicas.
- c) Técnicas electromagnéticas.
- d) Técnicas neumáticas.

21.4 La descarga se puede determinar utilizando:

- a) Mediciones de la velocidad, tales como las mencionadas en el numeral 21.3 efectuadas en un canal cuya área de sección transversal sea conocida.

- b) Medios mecánicos directos, tales como un balde basculador o un medidor estándar de agua.
- c) Medición del nivel de agua por encima de una restricción en el flujo, tal como una presa para canal de agua. El nivel se puede medir:
 - 1) Visualmente, por medio de un cuadro de calibración.
 - 2) Automáticamente, por medio de un flotador, cambios en la resistencia eléctrica, diferencial de presión, en forma fotográfica o acústica.
- d) Los siguientes medios en un tubo cerrado:
 - 1) Diferencias de presión a través de una tobera de venturi.
 - 2) Diferencias de presión a través de una placa de orificio.
 - 3) Tasa de bombeo, multiplicada por la duración del bombeo.
 - 4) Técnicas electromagnéticas, ultrasónicas y de otra índole.
- e) Calibrador de dilución, para medir en un sitio las descargas en los cursos de agua naturales.

DOCUMENTO DE REFERENCIA

Esta norma es idéntica a la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Water Quality. Sampling. Part 1: Guidance on the Design of Sampling Programmes. Geneva, 1980, 16 pp. (ISO 5667/1, 1980).

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

El **ICONTEC** es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La norma NTC-ISO 5667-1 fue ratificada por el Consejo Directivo el 95-05-10.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico 000016 Gestión ambiental. Agua.

ACEGRASAS
ACERÍAS PAZ DEL RÍO
ALPINA S.A.
AMBIENCOL INGENIEROS
BASF QUÍMICA COLOMBIANA
CARVAJAL
CERVUNIÓN
COLINAGRO

INCOLBESTOS
INEXTRA
INGEOMINAS
INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO - ICP
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA - ISA
PROPAL

El **ICONTEC** cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN