

Índice

		Página
	Preámbulo	III
0	Introducción	1
1	Alcance	1
2	Referencias	1
	Sección I: Definición de objetivos	2
3	Introducción	2
4	Requisitos	3
5	Consideraciones especiales en relación a la variabilidad	5
	Sección II: Identificación de situaciones de muestreo	5
6	Introducción	5
7	Precauciones generales de seguridad	5
8	Consideraciones especiales en el muestreo	7
9	Situaciones de muestreo individual, aguas naturales	9
10	Situaciones de muestreo en la industria	13
11	Efluentes industriales o RILES	15
12	Aguas servidas y efluentes de aguas servidas	16
13	Aguas pluviales servidas y escorrentías superficiales	17
	Sección III: Período y frecuencia de muestreo	18
14	Introducción	18
15	Tipos de programas de muestreo	18

Indice

		Página
16	Consideraciones estadísticas	19
17	Variabilidad anormal	21
18	Duración del muestreo y muestras compuestas	22
	Sección IV: Mediciones de flujo y situaciones que justifican las mediciones de flujo para propósitos de calidad del agua	22
19	Introducción	22
20	Justificación para las mediciones de flujo en el control de calidad del agua	23
21	Métodos disponibles para la medición de flujo	25

Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

La norma NCh411/1 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio participaron los organismos y las personas naturales siguientes:

A y A TECNOLAB S.A.
Centro de Estudios, Medición y Certificación de
Calidad, CESMEC Ltda.
Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, CIMM
CODELCO Chile
DIRECTEMAR
EAPLOC S.A.
EC-LAB
Empresa de Obras Sanitarias de Valparaíso S.A., ESVAL
Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias, EMOS S.A.

Empresa Nacional de Minería, ENAMI
Fundación Chile
Instituto Nacional de Normalización, INN
Ministerio de Agricultura, DEPROREN
Ministerio de Obras Públicas, DGA
Sociedad General de Control, S.G.S. Chile Ltda.

Pedro Bocic W.

Sandra Muñoz
Ruby Utrera C.
Alberto Tello
Julio Neuling H.
Elizabeth Echeverría
Manuel Ruiz M.
Myriam Rodríguez M.
Marcela del Villar
Mireya Alvarado S.
Héctor Carranza R.
Roberto Corvalán G.
Ramona Villalón D.
Sergio Rojas P.
Rosa Sandoval R.
Víctor Arenas

NCh411/1

Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS
Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias
y Forestales
Universidad Técnica Metropolitana

González S. Ada
Merino B. Raúl

Christian Maurer

Adriana Carrasco R.
Manuel Jeria
Eduardo Tobar M.
Ada González S.
Raúl Merino B.

Esta norma se estudió para establecer los principios generales aplicables al diseño de programas de muestreo de aguas.

Esta norma es equivalente a la norma ISO 5667/1 - 1980 *"Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes"*.

Esta norma ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 28 de Septiembre de 1995.

Esta norma ha sido declarada Norma Chilena Oficial de la República por Decreto N°501, de fecha 11 de Julio de 1996, del Ministerio de Obras Públicas, publicado en el Diario Oficial N°35.532, del 02 de Agosto de 1996.

Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo

0 Introducción

Esta norma es la primera de un grupo de tres normas elaboradas para ser usadas en forma conjunta. Las normas NCh411/2 y NCh411/3 tratan, respectivamente, con las técnicas de muestreo y con la preservación y manejo de las muestras. La terminología utilizada está de acuerdo con lo establecido en la NCh410.

1 Alcance

Esta norma establece los principios generales que deben aplicarse en el diseño de programas de muestreo con el propósito de controlar la calidad, caracterizar la calidad e identificar las fuentes de contaminación del agua, incluyendo los depósitos bentónicos y los lodos. En normas subsecuentes se darán instrucciones detalladas para situaciones específicas de muestreo.

NOTA - Los depósitos bentónicos también se han denominado como depósitos de fondo.

2 Referencias

NCh410	Calidad del agua - Vocabulario.
NCh411/2	Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.
NCh411/3	Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

ISO 2602	Interpretación estadística de resultados de ensayos - Estimación de la media - Intervalo de confianza.
ISO 3534	Estadística - Vocabulario y símbolos.

Sección I: Definición de objetivos

3 Introducción

El propósito de esta sección es enfatizar los factores más importantes que deben considerarse al diseñar un programa de muestreo relacionado con el agua, los depósitos bentónicos y los lodos. En las secciones subsiguientes se da información más detallada. Las muestras se extraen y examinan normalmente para determinar parámetros físicos, químicos, biológicos y radiológicos asociados.

Para caracterizar una masa de agua, un depósito bentónico o lodos, generalmente es imposible examinar el total y por lo tanto es necesario extraer muestras. Las muestras tomadas deberían ser tan representativas como sea posible, del total que se debe caracterizar y tomar todas las precauciones para asegurar que las muestras no experimenten cambios en el intervalo comprendido entre el muestreo y el análisis. El muestreo de sistemas multifásicos, tales como agua conteniendo sólidos en suspensión o líquidos orgánicos no miscibles, puede presentar problemas especiales.

Antes de diseñar cualquier programa de muestreo es muy importante establecer los objetivos del programa ya que éstos son el factor más importante para determinar la posición de las zonas de muestreo, la frecuencia del muestreo, la duración del muestreo, los procedimientos para extraer las muestras, el tratamiento subsecuente de las muestras y los requisitos analíticos. También se debe dar alguna consideración al grado de detalle y precisión que será adecuado, así como a la forma de expresión y presentación de los resultados, por ejemplo concentraciones o cargas, valores máximos y mínimos, medias aritméticas, valores de la mediana, etc. Adicionalmente, se debería recopilar una lista de los parámetros de interés y consultar los procedimientos analíticos ya que éstos generalmente dan guías sobre las precauciones que se deben observar durante el muestreo y el manejo subsecuente (guías generales sobre estos últimos aspectos se dan, respectivamente en las partes 2 y 3 de esta norma).

A menudo puede ser necesario llevar a cabo un programa preliminar de muestreo y análisis antes de poder definir los objetivos finales. Es importante tomar en cuenta todos los datos pertinentes de programas previos para las mismas ubicaciones o similares así como otras informaciones sobre condiciones locales. La experiencia previa del personal también puede ser de mucho valor. El tiempo y los recursos económicos asignados para el diseño de un programa apropiado de muestreo generalmente son bien justificados asegurándose que la información requerida se ha obtenido en forma eficiente y a un costo razonable.

Se pueden distinguir tres objetivos principales, (para detalles, ver capítulo 15):

- a) Mediciones de control de calidad utilizadas por la administración local para decidir cuando se requieren correcciones del proceso a corto plazo.
- b) Mediciones de caracterización de la calidad utilizadas para indicar calidad, tal vez como parte de un proyecto de investigación, para propósitos de control a largo plazo, o para indicar tendencias a largo plazo.
- c) Identificación de fuentes de contaminación.

El propósito del programa puede cambiar desde la caracterización de la calidad al control de la calidad y viceversa. Por ejemplo, un programa a largo plazo para la caracterización de nitratos puede llegar a ser un programa de control de calidad de corto plazo requiriendo el incremento de la frecuencia de muestreo conforme la concentración de nitratos se aproxime a un valor crítico.

4 Requisitos

Sin intentar identificar todas las razones específicas para requerir programas de muestreo y análisis, ellas se pueden agrupar en la forma siguiente.

4.1 Requisitos generales

Establecer el orden de los niveles de concentración o carga de parámetros específicos en estaciones y posiciones seleccionadas (por ejemplo, en la superficie de un cuerpo de agua o en el interior de éste) o bien, con depósitos bentónicos, para obtener una información básica de su naturaleza.

4.2 Requisitos específicos

Establecer en detalle las distribuciones de los niveles de concentración o carga de parámetros físicos o químicos y de especies biológicas de interés en todo o parte de un cuerpo de agua. Esto estará normalmente unido a un estudio de cambios con el tiempo, velocidades de flujo, condiciones de operación de la planta, condiciones climáticas, etc.

Estas razones para el muestreo pueden a su vez, ser subdivididas en objetivos más específicos como los que se indican a continuación.

- a) Determinar si el agua es apta para un uso específico y, si es necesario, evaluar cualquier tratamiento o los requisitos de control, por ejemplo establecer si una fuente natural puede servir para proveer agua de bebida.
- b) Estudiar el efecto de las descargas de aguas residuales, incluyendo derrames accidentales, sobre un cuerpo receptor. Adicionalmente a su contribución a la contaminación, estas descargas pueden producir reacciones tales como precipitación química o generación de gases.

- c) Evaluar el desempeño y control de las plantas potabilizadoras de agua, aguas servidas y residuos industriales líquidos; por ejemplo: para evaluar las variaciones y cambios a largo plazo en las cargas que entran a las unidades de tratamiento; para determinar la eficiencia de cada etapa en un proceso de tratamiento; para proveer información de la calidad del agua tratada; para controlar la concentración de sustancias tratadas, incluyendo aquellas que pueden constituir un riesgo para la salud o que pueden inhibir un proceso biológico; para controlar sustancias que pueden dañar los materiales de una planta o de un equipo.
- d) Estudiar los efectos de los flujos de agua dulce y salina, bajo las condiciones de un estuario, con el objeto de obtener información sobre patrones de mezclado y estratificación asociada con variaciones de las mareas y flujos de agua dulce.
- e) Identificar y cuantificar las pérdidas de productos en procesos industriales. Esta información es requerida cuando se deben evaluar los balances de masa a través de la planta y cuando se deben medir los efluentes de descarga.
- f) Establecer la calidad del agua para calderas, los condensados de vapor y otras aguas recuperadas. Esto permite evaluar si el agua es apta para un propósito determinado.
- g) Controlar los sistemas industriales enfriados por agua. Esto permite optimizar el uso del agua y, al mismo tiempo, minimizar los problemas asociados con la formación de incrustaciones y con la corrosión.
- h) Estudiar los efectos de los contaminantes atmosféricos, sobre la calidad del agua de lluvia. Esto provee información útil sobre la calidad del aire y también indica si es probable que surjan problemas, por ejemplo, sobre los contactos eléctricos expuestos.
- i) Evaluar los efectos de las sustancias provenientes del suelo, sobre la calidad del agua. Esto puede deberse a materiales presentes en forma natural o contaminaciones por fertilizantes, plaguicidas y productos químicos usados en la agricultura, o ambos.
- j) Evaluar los efectos de la acumulación y liberación de sustancias de los depósitos bentónicos, sobre la biota acuática en la masa de agua o en el depósito bentónico.
- k) Estudiar los efectos de la captación, regulación del caudal y transferencia de un río a otro, sobre los cursos de agua naturales. Por ejemplo, al variar las proporciones de aguas de diferente calidad puede hacer fluctuar la calidad de la mezcla resultante.
- l) Evaluar los cambios de la calidad del agua que se producen en los sistemas de distribución. Estos cambios pueden ocurrir por varias razones, por ejemplo: contaminación, introducción de agua de una nueva fuente, crecimiento biológico, formación de incrustaciones o disolución de un metal.
- m) Evaluar la intrusión salina en acuíferos costeros.

En algunas ocasiones, las condiciones pueden ser lo suficientemente estables para que la información requerida sea obtenida mediante un programa de muestreo simple, pero en la mayoría de las situaciones las características de calidad están sujetas a variaciones

continuas e, idealmente, la evaluación también debería ser continua. Sin embargo, generalmente esto es costoso y en la mayoría de los casos es impracticable. Al considerar los programas de muestreo se deberían tener en cuenta las consideraciones especiales indicadas en el capítulo 5.

5 Consideraciones especiales en relación a la variabilidad

5.1 Los programas de muestreo pueden ser complejos en situaciones donde ocurren variaciones amplias y rápidas en las concentraciones de los determinandos de interés. Estas variaciones pueden deberse a factores tales como cambios extremos en la temperatura, en los patrones de flujo o en las condiciones de operación de una planta.

Deberían evitarse los muestreos en o cerca de los límites de los sistemas, excepto en los casos que tales condiciones sean de interés especial.

5.2 Aun cuando los cambios en la concentración sean lentos y no muy marcados, la evaluación de áreas grandes de captación, tales como la cuenca de un río, constituye un ejercicio complejo.

5.3 Se debería tener especial cuidado para eliminar o minimizar cualquier cambio en la concentración de los determinandos de interés, que pueda ser producido por el proceso mismo de muestreo y para asegurar que los cambios durante el intervalo entre el muestreo y el análisis, sean evitados o minimizados.

5.4 Las muestras compuestas dan una mejor indicación de la composición promedio en un período de tiempo, toda vez que el determinando sea estable en el intervalo desde el muestreo hasta el análisis, pero tienen poca utilidad para determinar condiciones máximas transitorias.

Sección II: Identificación de situaciones de muestreo

6 Introducción

Esta sección trata las diferentes situaciones que pueden encontrarse en la práctica del muestreo y la magnitud con que estas situaciones pueden afectar la selección de una zona de muestreo. Se indican las precauciones necesarias de seguridad, las cuales por su importancia y carácter general, se establecen en el capítulo 7.

7 Precauciones generales de seguridad

7.1 El rango extremadamente amplio de condiciones encontradas al muestrear aguas y depósitos bentónicos pueden exponer al personal a diferentes riesgos de seguridad y salud. Separadamente de los daños físicos, se deben tomar precauciones para evitar la inhalación de gases tóxicos y la ingestión de materiales tóxicos a través de la boca o absorción a través de la piel.

El personal responsable del diseño de programas de muestreo y de la ejecución de las operaciones del muestreo, debe asegurarse que los requisitos de los reglamentos pertinentes de seguridad sean tomados en cuenta y que el personal de muestreo esté informado de las precauciones que deben tomarse durante las operaciones del muestreo.

NOTA - Puede ser necesario considerar seguros contra accidentes.

Situaciones más específicas son analizadas a continuación.

7.2 Las condiciones climáticas deberían ser consideradas con el objeto de asegurar la seguridad del personal y del equipo. Cuando el muestreo se realice en grandes masas de agua deberían llevarse chalecos y cuerdas salvavidas. Antes de muestrear aguas cubiertas de hielo, debería estudiarse cuidadosamente la ubicación y la magnitud del hielo débil. Si se emplean aparatos autónomos para respiración bajo el agua u otro equipo de buceo, se debería verificar su buen funcionamiento antes de cada uso.

7.3 La estabilidad es una propiedad importante en cualquier embarcación utilizada para propósitos de muestreo. En todas las aguas, se deberían tomar precauciones en relación a barcos comerciales y navíos pesqueros, por ejemplo, emplear las banderas correctas de señalización para indicar la naturaleza del trabajo que se va a ejecutar.

7.4 Se debería evitar en lo posible, muestrear en zonas de riesgo tales como bancos inseguros. Si esto es inevitable, la operación debería ser realizada por un equipo, empleando precauciones apropiadas, más que por un solo operador. Cuando sea posible y conveniente, deberían tomarse muestras desde los puentes.

7.5 Es importante contar con accesos razonables para todas las épocas del año y esto es esencial en las zonas de muestreo rutinario frecuente. En algunos lugares, adicionalmente se deberían considerar riesgos naturales tales como vegetación venenosa, reptiles u otros animales peligrosos.

7.6 En los casos que se requiera instalar instrumentos u otras partes del equipo en los bancos de un río, se deberían evitar los lugares susceptibles de inundación o vandalismo o bien se deberían tomar las precauciones apropiadas.

7.7 Muchas otras situaciones surgen durante el muestreo de agua, en las cuales deben tomarse precauciones especiales para evitar accidentes.

Por ejemplo, algunos efluentes industriales pueden ser corrosivos o pueden contener materiales tóxicos o inflamables. Los peligros asociados con las aguas servidas no deberían ser descuidados; éstos pueden ser gaseosos, químicos, microbiológicos, virológicos o zoológicos, tales como amebas, helmintos o roedores.

7.8 Cuando el personal tenga que muestrear en atmósferas peligrosas, debería tener disponibles, equipo adecuado de protección contra gases, aparatos de respiración, aparatos resucitadores, así como otros equipos de seguridad. Adicionalmente, antes que el personal entre a espacios cerrados, se debería medir la concentración de oxígeno y de cualquier vapor o gas tóxico que pudiera estar presente y si es posible ventilar el espacio.

7.9 Durante el muestreo de vapor o de descargas calientes, es necesario tener cuidados especiales y deberían aplicarse las técnicas que se requiera.

7.10 El manejo de muestras radiactivas requiere un cuidado especial y deberían aplicarse las técnicas que se requiera.

7.11 El uso de equipo de muestreo operado con electricidad dentro o cerca del agua, puede presentar graves riesgos. Los procedimientos de trabajo, el diseño de las zonas y la mantención del equipo debería planificarse de manera que se minimicen estos riesgos.

8 Consideraciones especiales en el muestreo

8.1 Diseño de programas de muestreo

Dependiendo de los objetivos planteados (ver capítulo 3), la red de muestreo puede abarcar desde un sitio individual hasta la totalidad de la cuenca de un río. Una red básica de muestreo de un río puede incluir zonas de muestreo en el límite mareal, los afluentes mayores en su confluencia y las descargas mayores de aguas servidas o efluentes industriales.

Al diseñar programas y/o establecer redes de muestreo es conveniente tomar disposiciones para la medición del caudal en las estaciones pertinentes (ver capítulo 4).

8.2 Identificación de los puntos de muestreo

La identificación de los puntos de muestreo permite tomar muestras comparativas en otros momentos. En el caso de la mayoría de los ríos, las localizaciones de los puntos de muestreo pueden ser fácilmente establecidas por referencia a particularidades del río.

En los márgenes descubiertos de estuarios o de la costa, las localizaciones de los puntos de muestreo pueden relacionarse en forma similar con objetos estáticos fácilmente reconocibles. Para tomar muestras desde una embarcación en estas situaciones se debería emplear métodos instrumentales para identificar la localización. Los mapas, cartas geográficas u otras formas normalizadas de referencia pueden ser útiles.

8.3 Carácter del flujo

Idealmente, las muestras deberían tomarse en líquidos turbulentos, bien mezclados y, cada vez que sea posible se debería inducir turbulencia en flujos laminares o viscosos. Esto no se aplica a la extracción de muestras para la determinación de gases disueltos y materias volátiles, cuya concentración puede ser alterada por la turbulencia inducida.

8.4 Cambios característicos en el flujo a través del tiempo

Los flujos pueden cambiar de laminares o viscosos a turbulentos y viceversa. "*Flujos invertidos*" desde otras partes del sistema pueden producirse y como consecuencia pueden alterar las características del punto de muestreo.

8.5 Cambios en la composición del líquido a través del tiempo

En cualquier momento pueden formarse acumulaciones discretas de material, por ejemplo contaminantes disueltos, sólidos, materiales volátiles o películas oleosas.

8.6 Muestreo desde tuberías

Los líquidos deberían ser conducidos a través de tuberías de un tamaño adecuado (por ejemplo, cuando se muestrean líquidos heterogéneos, 25 mm mínimo de diámetro interno nominal) a velocidades lineales lo suficientemente altas para mantener las características de turbulencia del flujo. Se deberían evitar las tuberías con recorrido horizontal.

8.7 Naturaleza del líquido

Para muestrear líquidos corrosivos o abrasivos, si la contaminación de las muestras con productos de la corrosión o abrasión del equipo de muestreo no es importante, se puede prescindir de equipo costoso resistente a la acción de productos químicos, pero sólo en el caso de muestreos con períodos breves de contacto.

8.8 Cambios de temperatura en el sistema de muestreo

Variaciones en la temperatura por períodos largos o cortos, pueden causar cambio en la naturaleza de la muestra y pueden afectar el equipo utilizado en el muestreo.

8.9 Muestreo para la determinación de sólidos en suspensión

Los sólidos pueden distribuirse en cualquier punto a través de la profundidad de un líquido. Debería llevarse a cabo una mezcla adecuada, si es posible, para mantener las condiciones de turbulencia. Idealmente, la velocidad lineal debería ser suficiente para inducir turbulencia y las muestras deberían extraerse en condiciones isocinéticas. (ver NCh410) Si esto no es posible, se debería tomar una serie de muestras a través de la sección transversal completa del flujo. Se debería tener presente que la distribución por tamaño de los sólidos en suspensión puede cambiar durante el tiempo requerido para el muestreo.

8.10 Muestreo para determinar el contenido de compuestos volátiles

En lo posible se debe evitar el bombeo o agitación de muestras en la determinación de compuestos volátiles; si esto no es posible, el material que está siendo muestreado debería ser bombeado con una mínima altura de succión. Toda la tubería debería mantenerse llena y la muestra purgarse desde una tubería presurizada, después de eliminar algo del material, con el objeto que la muestra extraída sea representativa.

8.11 Mezclas de líquidos de diferentes densidades

Esto puede causar la formación de capas en flujos laminares, por ejemplo, la formación de una capa de agua tibia sobre agua fría o de agua dulce sobre agua salina.

8.12 Líquidos peligrosos

Es necesario considerar la posibilidad de la presencia de líquidos o gases tóxicos o inflamables, o ambos, y la posible formación de vapores explosivos.

8.13 Efectos de las condiciones meteorológicas

Los cambios en las condiciones meteorológicas pueden inducir variaciones marcadas en la calidad del agua; tales cambios deberían ser registrados y tomados en cuenta al interpretar los resultados.

9 Situaciones de muestreo individual, aguas naturales

9.1 Precipitación

Al muestrear agua de lluvia para análisis químico, se debería seleccionar la zona de muestreo de manera que se evite la contaminación con materias extrañas, por ejemplo polvo, fertilizantes, plaguicidas, etc. El aparato de muestreo se debería colocar preferentemente en el pasto.

Si la muestra está congelada o consiste de nieve o granizo, el embudo debería mantenerse tibio mediante, por ejemplo, un elemento de calentamiento eléctrico. Cuando esto no sea posible, se debería remover todo el aparato y descongelar a temperaturas bajas.

9.2 Estuarios, aguas litorales, mares y océanos

9.2.1 Extensión y profundidad

Los límites de las áreas bajo investigación deberían ser claramente definidos, tomando en consideración adicionalmente, la relación de éstas con las áreas adyacentes de agua. En la selección de las zonas de muestreo y posiciones se debería tomar en cuenta el hecho que las corrientes mareales y su modificación por el viento, densidad, irregularidad del fondo, proximidad a la línea costera y al embarque, pueden producir disturbios y variación de localidad del agua en la zona de muestreo designada. Adicionalmente, se debería considerar cuidadosamente el efecto sobre el muestreo de cualquiera de las descargas locales.

9.2.2 Uso de embarcaciones

Las embarcaciones, cuando sean usadas, deberían ser capaces de alcanzar todas las posiciones de muestreo dentro de los límites de tiempo de la inspección, bajo condiciones climáticas apropiadas.

9.2.3 Cubiertas de hielo

En aguas cubiertas de hielo, se desarrolla una estratificación termal inversa, limitada, con una capa delgada (aproximadamente 5 mm) de agua fría entre 0°C y 3°C en el extremo superior de la masa principal de agua a 4°C. Las gradientes abruptas de concentración

termal pueden estar asociadas con esta estratificación termal y las comunidades biológicas también pueden estar estratificadas.

9.3 Ríos y corrientes

9.3.1 Representatividad

Si existen corrientes o estratificaciones significativas en el punto de muestreo, se debería extraer una serie de muestras transversales y de profundidad para determinar la naturaleza y extensión de cualquier corriente o estratificación.

9.3.2 Selección de las zonas

Las zonas deberían ser seleccionadas de manera que se obtengan muestras representativas, preferiblemente donde sea probable que ocurran cambios marcados de la calidad o donde los usos del río sean importantes, por ejemplo, confluencias, descargas principales o captaciones. Vertederos o pequeñas descargas que sólo produzcan efectos muy locales en general, deberían ser evitados.

Se deberían elegir preferentemente zonas para las cuales haya datos disponibles respecto a los flujos. Frecuentemente se emplean en los ríos, estaciones de calibración para la instalación del equipo de monitoreo del agua.

Si el objeto del muestreo es monitorear los efectos de una descarga, se deberían extraer muestras en zonas aguas arriba y aguas abajo pero dando especial consideración a la mezcla de la descarga y del cuerpo receptor, y sus efectos sobre las muestras aguas abajo. El muestreo debería abarcar una distancia apropiada aguas abajo para evaluar los efectos sobre el río.

9.4 Canales

En general, se aplican las consideraciones indicadas para ríos y corrientes, pero se requiere especial atención a los siguientes factores.

9.4.1 Flujo

La dirección del flujo puede ser cambiante. La velocidad del flujo puede variar en forma considerable y ser más dependiente de la cantidad de uso navegacional (es decir, el número de operaciones de la esclusa) que de las condiciones climáticas prevalecientes.

9.4.2 Estratificación y formación de corrientes

En las condiciones de trabajo encontradas en los canales, la estratificación y formación de corrientes tenderán a ser más pronunciadas que en los ríos. El paso de embarcaciones puede tener un efecto a corto plazo, muy marcado, sobre la calidad del agua en el canal, especialmente sobre la concentración de los sólidos en suspensión.

9.5 Embalses y lagos

Adicionalmente a los afluentes, el muestreo debería efectuarse en todos los puntos de decantación disponibles y profundidades de decantación. El cuerpo de agua puede estar térmicamente estratificado y desarrollar diferencias muy significativas de calidad a las diferentes profundidades. Las investigaciones ecológicas pueden requerir un programa de muestreo más detallado; se pueden requerir datos de flujo y datos meteorológicos.

En las grandes masas de agua, normalmente se requiere muestrear desde una embarcación.

9.6 Aguas subterráneas

9.6.1 Captación de aguas subterráneas

Para determinar si un agua subterránea captada es apta para un uso específico se requieren muestras de la misma. Dichas muestras pueden tomarse en el punto de captación, aunque estas muestras pueden no ser representativas de la calidad general del agua en el acuífero.

9.6.2 Agua en un acuífero

Para evaluar la calidad del agua en un acuífero, el pozo o perforación debería ser bombeado, siempre que sea posible, antes de la extracción de la muestra para asegurar que se está extrayendo agua nueva del acuífero. Aun en estas circunstancias, el agua en el pozo o perforación puede estar estratificada pudiendo requerirse un muestreo adicional para evaluar el grado de estratificación. Siempre debería registrarse la profundidad bajo el nivel del suelo a la cual se tomaron las muestras.

Los pozos o perforaciones revestidos con materiales susceptibles de corrosión, siempre deberían ser bombeados en forma completa antes de extraer las muestras, con el objeto de eliminar del sistema todos los productos de la corrosión acumulados en éste.

Cuando se requieren muestras representativas a profundidades predeterminadas del acuífero, se deberían emplear tubos de muestreo para cada profundidad en la perforación o bien perforaciones separadas para cada profundidad.

9.7 Depósitos bentónicos en ríos, estuarios y el mar, lagos y embalses

Se deberían establecer patrones de muestreo para tomar en cuenta las variaciones de composición tanto en dirección vertical como horizontal. Puede ser necesario obtener información sobre la profundidad del depósito bentónico o sobre su composición a diferentes profundidades.

Muchos de los factores importantes para el muestreo de agua, tales como el uso de embarcaciones, son también aplicables al muestreo de los depósitos bentónicos.

Los substratos generalmente son heterogéneos y se debería tomar especial cuidado para asegurar que se extraiga un número suficiente de muestras, que permita una evaluación representativa del o los parámetros bajo consideración.

9.8 Agua potable

9.8.1 Agua bombeada hacia la red de distribución

Los puntos de muestreo se deberían seleccionar de manera que se pueda monitorear el desinfectante residual, antes que puedan ocurrir pérdidas pero después que se hayan completado todas las reacciones. También se requiere extraer muestras para los xámenes bacteriológicos rutinarios, observando las precauciones apropiadas, lo cual incluye cualquier reglamento nacional de seguridad.

El punto usual de muestreo es una llave conectada directamente a la tubería matriz de bombeo, la cual debería encontrarse en un sitio sanitariamente aceptable. La llave de muestreo debería estar libre de elementos que pudieran contaminar la muestra y estar orientada hacia abajo. El material de la tubería de muestreo debería seleccionarse cuidadosamente en relación a los requisitos de los ensayos, por ejemplo, la tubería de cobre puede llevar a un incremento en la concentración de cobre en el agua y a una disminución del recuento bacteriano. Con el objeto de asegurar que la muestra es introducida directamente desde la llave al recipiente de muestreo, éste debería ser colocado inmediatamente bajo la llave pero no conectado a ella ni en contacto directo con ella.

9.8.2 Estanques de almacenamiento

Las muestras deberían tomarse desde una llave unida a la tubería de salida principal. Muchos estanques de almacenamiento son diseñados de manera que puedan llenarse y vaciarse a través de la misma tubería matriz y por lo tanto debe cerciorarse que el estanque esté vaciándose al momento de tomar la muestra. En los casos en que no se tenga acceso a una llave, la muestra del agua almacenada debería obtenerse desde el interior del estanque mediante procedimientos que aseguren su representatividad.

9.8.3 Agua de la red de distribución

- a) Las llaves de las instalaciones del consumidor proveen el medio más satisfactorio para la extracción de muestras de la red general de distribución. Los dispositivos antisalpicaduras, mangueras u otros elementos deberían ser removidos antes del muestreo; las llaves de combinación no son recomendadas para el muestreo.
- b) Las muestras desde las extensiones de la tubería matriz de la red de distribución generalmente son obtenidas desde los grifos o salidas de limpieza.
- c) En el caso del muestreo para examen bacteriológico, también se requieren precauciones especiales como las indicadas en 9.8.1.

9.8.4 Lodos derivados del tratamiento de agua para bebida

La mayoría de los lodos obtenidos en el tratamiento de agua para bebida son producto de la acción de sales de aluminio y hierro; sin embargo, algunas plantas de tratamiento producen lodos biológicos o lodos derivados del acondicionamiento con cal. Se puede

requerir su muestreo en los tanques de coagulación o sedimentación a diferentes profundidades y también en los tanques de espesamiento.

A menudo es importante examinar muestras de lodo con un mínimo de demora y agitación, ya que las características pueden cambiar en minutos en forma significativa.

9.9 Lugares para recreación

En los lugares para recreación con contacto directo, formados naturalmente, el muestreo debería realizarse en forma similar a los embalses y lagos (ver 9.5). En las piscinas con sistemas de recirculación, las muestras se deberían tomar al ingreso, a la salida y en el cuerpo de agua.

10 Situaciones de muestreo en la industria

10.1 Agua de alimentación

Se incluyen, el agua para bebida, el agua de río y el agua subterránea, las cuales generalmente son homogéneas en composición en un momento dado, aunque ellas pueden variar en calidad con el tiempo. El agua normalmente entra a la fábrica a través de un sistema convencional de tuberías por lo que no se producen situaciones especiales de muestreo.

En los casos que exista un suministro separado de agua no potable industrial, es necesario un cuidado especial para asegurar que los distintos sistemas de distribución estén claramente identificados y que no haya posibilidad de equivocación en los puntos de muestreo. Para verificar que un agua es apropiada para propósitos de bebida, deberían existir instalaciones para el muestreo.

Cuando se requiera información sobre la calidad de la mezcla final de una combinación de aguas, es necesario asegurar que se ha producido un mezclado adecuado antes de extraer la muestra.

10.2 Aguas para el sistema de calderas

10.2.1 Agua de una planta de tratamiento

En la etapa de diseño de una planta de tratamiento se debería considerar cuidadosamente la posición de los puntos de muestreo y generalmente es necesario incluir instalaciones para extraer muestras en varias etapas del tratamiento, así como en las entradas y salidas de los filtros.

Cuando se presenten sólidos en suspensión, las tuberías de muestreo deberían purgarse completamente antes de extraer la muestra.

Para evitar pérdidas cuando se tomen muestras para la determinación de gases disueltos, por ejemplo, oxígeno o anhídrido carbónico se requieren técnicas especiales de muestreo. Si se incluye una torre desgasificadora para la remoción del anhídrido carbónico, el manejo

subsecuente de las muestras debería evitar la modificación en la concentración de anhídrido carbónico. El tubo de muestreo normalmente debería introducirse completamente en el cuerpo de agua para así evitar condiciones propias de la superficie.

10.2.2 Agua de alimentación de calderas y agua de calderas

El agua de muchos puntos de muestreo en el circuito vapor-agua, contendrá solo concentraciones trazas de las impurezas de interés; por lo tanto, se debería tomar especial cuidado para evitar la contaminación de las muestras en el intervalo entre el muestreo y el análisis. Los sistemas de muestreo normalmente deberían ser de acero inoxidable y con la suficiente integridad estructural para soportar las presiones de operación a que pueden estar sujetos.

El agua que alimenta a una caldera a menudo es una mezcla de agua de alimentación tratada y condensado de retorno, y por lo tanto el punto de muestreo debería ubicarse después que se haya producido un mezclado apropiado. Si se va a muestrear agua de alimentación de una caldera a alta temperatura y presión, a través de extensos conductos de muestreo, es recomendable, por razones de seguridad, enfriar la muestra en el conducto de muestreo tan cerca como sea posible del punto de muestreo. Adicionalmente, el enfriamiento evita errores debido a la pérdida repentina de vapor y minimiza el riesgo de alteración del contenido de oxígeno resultante de la reacción en, o con, las paredes del conducto de muestreo.

Cuando se usan los procesos de desaeración física y química, normalmente se requieren dos puntos de muestreo; uno para verificar la eficiencia de la desaeración física antes de agregar los productos químicos y un segundo punto para verificar la eficiencia total de la desaeración.

Los puntos de muestreo en la caldera deberían ubicarse de manera tal que se asegure un muestreo representativo del agua de caldera. Para algunos análisis, tales como la determinación de metales trazas, los cuales pueden estar parcial o totalmente en forma particulada, se deberían usar sondas para muestreo isocinético.

10.2.3 Vapor y condensado de vapor

En la industria, es importante controlar la calidad del vapor y normalmente es necesario muestrear la línea de retorno del condensado y el vapor húmedo o sobrecalentado bajo presión. Para muestrear el vapor deberían usarse sondas para muestreo isocinético conjuntamente con un condensador de acero inoxidable, teniendo especial cuidado para evitar la contaminación en el intervalo entre el muestreo y el análisis.

10.2.4 Agua de los sistemas de enfriamiento

Existen tres tipos principales de sistemas de enfriamiento:

- a) evaporativo abierto;
- b) de paso único;
- c) de circuito cerrado.

Normalmente, en el sistema evaporativo abierto, se muestrean el agua de entrada (agua de reemplazo) y el agua circulante. Un punto de muestreo se ubica normalmente en la línea de entrada pero en el caso del sistema mismo de enfriamiento, con el objeto de obtener la información requerida, puede ser necesario muestrear en varios puntos, tales como, a la entrada de la bomba de circulación, inmediatamente antes de la torre de enfriamiento si se ha usado un tratamiento biocida y, posiblemente, en el tanque de la torre de enfriamiento si se está usando agua con un alto contenido de sólidos de suspensión. Idealmente, se deberían usar sistemas de muestreo isocinético.

En los sistemas de paso único y de circuito cerrado normalmente existen puntos de muestreo, por ejemplo, a la entrada y a la salida en el sistema de paso único y en un punto bajo en el caso del sistema cerrado.

11 Efluentes industriales o RILES

11.1 Puntos de muestreo

El muestreo de efluentes industriales debería tomar en cuenta la naturaleza y localización de cada efluente individual.

También se debería considerar la posibilidad que la muestra pueda contener aguas servidas domésticas provenientes de la fábrica; si es necesario, el punto de muestreo debería ser elegido de manera que se excluyan tales desechos.

En general, los puntos de descarga de los efluentes industriales pueden ser tuberías de descarga o ductos abiertos apartados, donde el acceso físico es difícil y no se dispone de instalaciones de muestreo. Alternativamente, los puntos de descarga pueden ser de fácil acceso dentro de las instalaciones de la industria. En ocasiones puede ser necesario muestrear en cámaras profundas y requerir equipo especialmente diseñado para tal efecto. Por razones de seguridad, es preferible diseñar las cámaras en forma tal que se pueda realizar el muestreo sin entrar a la misma.

Si los efluentes se descargan en una laguna o tanque de retención, entonces el muestreo constituye una situación similar a la de los lagos (ver 9.5).

11.2 Naturaleza del efluente

En algunas situaciones industriales (por ejemplo descargas de plantas individuales antes de la dilución ulterior) se pueden presentar ciertas dificultades especiales debido a las concentraciones de algunos constituyentes; en estos casos se requerirán consideraciones individuales. Ejemplos son la presencia de aceite o grasa, abundancia de sólidos en suspensión, efluentes altamente ácidos y gases o líquidos inflamables.

Cuando los efluentes de una variedad de procesos descargan en un conducto matriz común, se debe realizar una mezcla adecuada con el objeto de obtener una muestra representativa.

11.3 Aguas industriales y lodos del tratamiento de efluentes

En el tratamiento de aguas industriales puede producirse una amplia gama de lodos químicos, por ejemplo lodos que contienen metales tóxicos o materiales radiactivos y lodos biológicos de plantas de tratamiento de efluentes, de los cuales puede requerirse un muestreo (ver 12.1.2). Al realizar el muestreo de tales lodos, se deberían aplicar precauciones de seguridad adecuadas incluyendo los reglamentos nacionales pertinentes.

12 Aguas servidas y efluentes de aguas servidas

El muestreo de aguas servidas puede ser requerido al momento que las aguas entran a la planta de tratamiento, así como después de cualesquiera de las etapas del tratamiento, incluyendo muestras del efluente tratado.

12.1 Selección de los puntos de muestreo

12.1.1 Efluentes líquidos

La elección de los puntos de muestreo en cada etapa del proceso debería efectuarse de manera cuidadosa, particularmente en el caso de aguas servidas crudas, cuya composición puede variar considerablemente con el tiempo. Las aguas servidas pueden estar en alcantarillas de una gran sección transversal y su composición puede variar con la profundidad y a través del diámetro de la alcantarilla. También puede ocurrir un mezclado incompleto de aguas servidas provenientes de diferentes fuentes y puede sedimentar el material suspendido cuando la velocidad del flujo sea lenta. Antes de seleccionar un punto determinado, se debería realizar un programa preliminar de muestreo que permita establecer estas variaciones y proporcionar los datos para determinar la localización de los puntos del muestreo rutinario. En algunos casos, será necesario tomar dos o tres muestras rutinarias en diferentes puntos y mezclarlas para obtener una muestra compuesta.

El material flotante, tal como aceite o grasa, no puede ser muestreado representativamente sobre una base rutinaria, y las muestras generalmente deberían tomarse por debajo de la superficie.

Las muestras de aguas servidas se toman frecuentemente después de los procesos de tamizado preliminar y trituración, de este modo se evita la inclusión casual de grandes partículas en la muestra. Sin embargo, cuando se usen muestreadores automáticos, éstos pueden situarse aguas arriba de los procesos preliminares toda vez que un tamiz o un pequeño macerador sea instalado en la entrada del muestreador para prevenir los bloqueos.

Al seleccionar un punto de muestreo para aguas servidas crudas en la planta de tratamiento, se debería considerar la inclusión de licores recirculados dentro de la planta. Idealmente, puede ser necesario tomar dos muestras, una que incluya todos los licores que representen la carga total de la planta y una que excluya el licor recirculante para dar una medida de la carga de fuentes externas. Si la obtención de alguna de estas muestras

no es practicable, puede ser posible calcular la composición de las aguas servidas a través de la caracterización de los licores por separado y medición de los caudales respectivos.

12.1.2 Lodos del tratamiento de aguas servidas

Puede ser necesario muestrear los lodos en ciertos estanques, tales como los estanques de sedimentación o los estanques de digestión, lagunas o lechos de secado.

Si se van a muestrear los lodos primarios y los lodos digeridos, pueden producirse dificultades considerables debido a la falta de homogeneidad y también a la presencia de partículas grandes.

En el caso de extracción de muestras desde una tubería, el conducto de muestreo debería tener un diámetro de por lo menos 50 mm con el objeto de minimizar los bloqueos y las muestras deberían tomarse a intervalos frecuentes. Cuando se tomen muestras en estanques, lagunas o lechos de secado, puede ser necesario extraer un gran número de muestras en varias posiciones y a distintas profundidades. El acceso a los puntos de muestreo puede ser difícil, en cuyo caso pueden requerirse estructuras especiales.

En todas estas situaciones es recomendable un estudio estadístico para determinar la frecuencia de muestreo. En el capítulo 16 se incluye un ejemplo de estudio estadístico.

13 Aguas pluviales servidas y escorrentías superficiales

Normalmente la descarga de estas aguas ocurre cuando los flujos de los cuerpos receptores son altos y la posibilidad de dilución es correspondientemente mayor. Sin embargo, por varias razones, los rebales de las aguas pluviales servidas pueden operar a diferentes horarios por lo que las escorrentías superficiales pueden contaminarse de tal manera que los rebales puedan representar una amenaza seria para la calidad de un curso de agua, aun bajo condiciones de flujos altos.

El muestreo de estas descargas presenta problemas especiales debido a su naturaleza intermitente y a que la calidad puede cambiar en forma marcada durante el período de descarga. La calidad es peor en el primer flujo de la descarga debido a la limpieza inicial de las alcantarillas y las áreas impermeables. Los dispositivos de muestreo automático que extraen muestras a intervalos regulares y que comienzan a operar a un flujo determinado ofrecen muchas ventajas. Este equipo debería instalarse en un estado de funcionamiento permanente. En muchos casos será deseable el muestreo de flujo proporcional. Debido a la naturaleza normalmente muy heterogénea de las aguas pluviales servidas no maceradas o no sedimentadas, se incrementa la dificultad para obtener muestras representativas y la posibilidad de bloqueo de los equipos. Esta heterogeneidad debería ser tomada en cuenta cuando se seleccionen las técnicas y el equipo de muestreo.

Durante todo el período de investigación se deberían registrar los datos pertinentes de precipitación y temperatura del aire.

Sección III: Período y frecuencia de muestreo

14 Introducción

Normalmente se requiere información sobre un período durante el cual la calidad del agua puede variar; así, las muestras deberían extraerse en los períodos que representarán adecuadamente la calidad y sus variaciones, con la máxima eficiencia. Este enfoque contrasta con la elección de la frecuencia de muestreo basada ya sea en consideraciones subjetivas o en la cantidad de recursos disponibles para el muestreo y los análisis. Ambas situaciones pueden conducir a un muestreo totalmente inadecuado o bien, a un muestreo muy frecuente en forma innecesaria.

15 Tipos de programas de muestreo

Existen tres tipos principales de programas. Estos pueden describirse como control de calidad, caracterización de la calidad e identificación de las fuentes de contaminación (ver capítulo 3). Las mediciones realizadas para el control de calidad pueden emplearse en la caracterización de la calidad y viceversa.

15.1 Programas para el control de calidad

Estos programas generalmente implican el control de la concentración de uno o más determinandos dentro de límites definidos. Los resultados son requeridos con el objeto de decidir si es necesaria una acción inmediata. Por lo tanto, la frecuencia de muestreo debería seleccionarse de manera que se tenga una alta probabilidad de detectar las desviaciones con respecto a los límites de control, que ocurran entre mediciones sucesivas. Existen dos factores primarios que determinan esta frecuencia:

- a) la magnitud y duración de las desviaciones con respecto a las condiciones deseadas;
- b) la probabilidad de ocurrencia de desviaciones con respecto a las condiciones deseadas.

A menudo, sólo se obtendrán definiciones aproximadas de estos factores; sin embargo, estimaciones razonables permitirán obtener valores de trabajo para deducir las frecuencias de muestreo.

15.2 Programas para la caracterización de la calidad

Estos programas ayudan a estimar uno o más parámetros estadísticos que caracterizan la concentración o su variabilidad durante un período definido, o ambos. Por ejemplo, el promedio o la mediana indican la tendencia central de los resultados y la desviación estándar indica la variabilidad. Se pueden requerir los resultados como parte de un proyecto de investigación o para caracterizar los determinandos que corrientemente no necesitan ser controlados o bien, con propósitos de control a largo plazo.

15.3 Programas para la investigación de las causas de contaminación

Estos programas deberían diseñarse para determinar la caracterización de las descargas contaminantes de origen desconocido.

Generalmente se basan en el conocimiento de la naturaleza o naturalezas de los contaminantes y la coincidencia de la periodicidad de aparición de la contaminación y del muestreo.

Este criterio requiere que el muestreo, en contraste con los programas para calidad, se realice con una frecuencia regularmente superior en relación a la frecuencia de aparición de la contaminación.

El establecimiento de la frecuencia puede ser muy útil.

16 Consideraciones estadísticas

16.1 Establecimiento de los programas de muestreo

Los períodos y las frecuencias de muestreo en cualquier programa sólo pueden decidirse en forma apropiada, después de un trabajo preliminar detallado en el cual se requiere una alta frecuencia de muestreo para proveer información que permita la aplicación de técnicas estadísticas. Si la calidad está sujeta a variaciones, ya sean aleatorias o sistemáticas, los valores obtenidos para parámetros estadísticos, tales como el promedio, la desviación estándar, el valor máximo, son sólo valores estimativos de los verdaderos parámetros y generalmente difieren de ellos.

En el caso de variaciones exclusivamente aleatorias, las diferencias entre los estimadores y los valores verdaderos, pueden ser calculadas estadísticamente; las diferencias disminuyen en la medida que el número de muestras se incrementa.

Una vez que se ha establecido la frecuencia de muestreo, se deberían revisar los datos en forma regular de manera que se realicen los cambios necesarios cuando se requiera. Los numerales 16.2 a 16.5 indican un ejemplo del enfoque anterior, usando un método estadístico aplicado a un parámetro estadístico, el promedio, y se asume que se aplica la distribución normal. La terminología usada concuerda con la norma ISO 3534, la cual debería ser consultada para la definición de los términos usados.

Para el cálculo detallado del promedio en términos de intervalo de confianza, se debería consultar la norma ISO 2602.

16.2 Intervalo de confianza

En la práctica, el intervalo de confianza L del promedio de n resultados, define el rango en el cual cae el promedio verdadero a un nivel de confianza dado.

16.3 Nivel de confianza

El nivel de confianza es la probabilidad de que el promedio verdadero estará incluido dentro del intervalo de confianza calculado L . Un intervalo de confianza para el valor del promedio $\bar{x}$, de una concentración, calculada en base a una muestra con n resultados y a un nivel de confianza de 95%, significa que hay 95 oportunidades sobre 100, que el intervalo contendrá el promedio verdadero $\bar{X}$. En los casos en que se ha tomado una serie importante de muestras, la frecuencia de casos en los que el intervalo incluirá el $\bar{X}$ estaría cercana al 95%.

16.4 Determinación del intervalo de confianza y número de muestras

Para un número n de resultados, tomados al azar, los estimadores del promedio verdadero $\bar{X}$ y de la desviación estándar, σ , son el promedio, $\bar{x}$, y s respectivamente, de acuerdo con la siguiente fórmula

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{o bien,} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

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

en que:

x_i representa los valores individuales.

Cuando n es grande (ver 16.1), s difiere poco del valor verdadero, σ , y el intervalo de confianza de $\bar{x}$, calculado a partir de cierto número n de resultados, es $\bar{x} \pm Ks/\sqrt{n}$ donde K tiene el valor dado en la tabla a continuación, 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 el promedio $\bar{X}$ para un intervalo de confianza dado L , al nivel de confianza seleccionado, el número de muestras necesario es $(2 K \sigma/L)^2$. Esto es estrictamente verdad solo cuando σ es conocido. Cuando sólo se dispone de un valor estimado de s , se requerirá un mayor número de muestras, aunque esto hará una pequeña diferencia para el valor de K , si s está basada 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, o bien, puede ocurrir una combinación de ambas. La naturaleza de la variabilidad puede ser distinta para los diferentes determinandos en una misma agua.

Si las variaciones aleatorias son dominantes, los períodos de muestreo en general no son estadísticamente importantes, aunque sí pueden serlo para propósitos de control de la calidad. Cuando ocurren variaciones cíclicas, los períodos de muestreo son importantes ya sea para cubrir el ciclo completo o para detectar concentraciones máximas o mínimas de interés. Los períodos de muestreo deberían espaciarse en forma aproximadamente uniforme en los períodos de tendencia. En cada una de las situaciones anteriores, el número de muestras debería ser determinado en gran parte por las consideraciones estadísticas indicadas anteriormente.

Si las variaciones cíclicas están ausentes o son pequeñas comparadas con las fluctuaciones aleatorias, se requerirá un número de muestras sólo lo suficientemente grande para cumplir la incerteza aceptable del promedio de un determinando a un nivel de confianza dado.

Por ejemplo, si es aplicable la distribución normal, de acuerdo a lo anterior, el intervalo de confianza L del promedio de n resultados, a un nivel de confianza seleccionado, está dado por la fórmula:

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

en que:

σ es la desviación estándar de la distribución.

17 Variabilidad anormal

Puede ser necesario incrementar la frecuencia de muestreo mientras persistan las condiciones anormales, por ejemplo durante la puesta en marcha de un proceso en una planta, durante la crecida de un río o en los momentos de desarrollo importante de algas.

Al calcular las tendencias a largo plazo, los resultados obtenidos de estas muestras deberían usarse sólo si se ha tomado en cuenta el incremento en la frecuencia.

18 Duración del muestreo y muestras compuestas

Si sólo interesa la calidad promedio durante un período dado y el determinando es estable, puede ser útil que la duración del muestreo sea extensa y preferiblemente la misma que el período de interés. Este principio es similar al de la preparación de muestras compuestas. Ambas situaciones reducen el trabajo analítico a expensas del conocimiento de las variaciones de la calidad.

Sección IV: Mediciones de flujo y situaciones que justifican las mediciones de flujo para propósitos de calidad del agua

19 Introducción

19.1 Generalidades

El control de las aguas servidas y el tratamiento de efluentes, y el manejo de la calidad de las aguas naturales usando técnicas de modelo matemático, ha incrementado la importancia de los datos de flujo. Por ejemplo, las cargas de contaminación no pueden ser evaluadas sin mediciones de los flujos. Esta sección indica los principios relativos al flujo que deberían considerarse al establecer un programa de muestreo. Sin embargo, como la medición del flujo normalmente no es realizada por el analista del agua, no se incluyen los detalles prácticos.

Existen tres aspectos del flujo que requieren ser medidos; éstos son:

- a) dirección del flujo;
- b) velocidad del flujo;
- c) caudal.

19.2 Dirección del flujo

En la mayoría de los cursos de agua situados tierra adentro, el flujo es evidente por sí mismo, pero en los canales de navegación y en los canales de drenaje esto no es siempre así y la dirección del flujo puede variar con el tiempo. El conocimiento de la dirección del flujo del agua subterránea en un acuífero es de primordial importancia al evaluar las consecuencias de la contaminación del acuífero y al seleccionar los puntos de perforación para el muestreo.

En los procesos de tratamiento, el patrón de movimiento del agua en los estanques afecta la mezcla de los contenidos y la sedimentación de la materia en suspensión, y debería tomarse en consideración para asegurar la representatividad de las muestras que se extraen.

En estuarios y aguas litorales frecuentemente es necesario medir la dirección del movimiento del agua como una parte esencial del programa de muestreo. Tanto la dirección como la velocidad pueden ser altamente variables, siendo dependientes de las corrientes mareales modificadas por las condiciones meteorológicas y otros factores y condiciones.

19.3 Velocidad del flujo

La velocidad de la corriente tiene importancia:

- a) al calcular el caudal;
- b) al calcular la velocidad media o el tiempo de recorrido, el cual, para propósitos de calidad del agua, es el tiempo que requiere un cuerpo de agua determinado para moverse a través de una distancia dada;
- c) al evaluar el efecto de la turbulencia y la mezcla producida por la velocidad, en un cuerpo de agua.

19.4 Caudal

El caudal es el volumen de líquido que pasa por una sección transversal dada por unidad de tiempo. Información sobre el caudal promedio y los caudales extremos, es esencial para el diseño y operación de plantas de tratamiento de agua, aguas servidas y efluentes, y para establecer límites razonables de calidad con el objeto de resguardar los cursos de agua naturales.

20 Justificación para las mediciones de flujo en el control de calidad del agua

20.1 Cargas de las plantas de tratamiento

Los datos de flujo son necesarios para evaluar la carga contaminante que recibe una planta de tratamiento. Esto puede requerir mediciones en los puntos de descarga al sistema de alcantarillado así como en el punto de origen. Si las aguas residuales que van a ser tratadas varían con el tiempo en cantidad o calidad, es necesario llevar un registro continuo del caudal para obtener un valor estimado confiable de la carga. Frecuentemente, las muestras compuestas se forman mezclando muestras relacionadas con el flujo registrado al momento del muestreo. El costo del tratamiento de los residuos industriales líquidos descargados en alcantarillas públicas es proporcional tanto a la calidad como al volumen del efluente descargado.

20.2 Efectos de la dilución

Aun cuando exista la posibilidad de dilución por las aguas servidas domésticas, la descarga de sustancias peligrosas en las alcantarillas públicas debería regularse de tal manera que se eviten los efectos adversos sobre las personas, las alcantarillas y los

procesos de tratamiento. Similarmente, al considerar los efectos probables de una descarga en un cuerpo de agua natural y los límites de calidad que es necesario especificarle, se debería calcular el factor de dilución. En estas circunstancias y cuando la dilución en el sistema por otras aguas es mínima, los datos de descarga son de la mayor utilidad.

20.3 Cálculos de los volúmenes de flujo

Los cálculos de los volúmenes de flujo son ampliamente usados para establecer los límites aprobados de las descargas y para evaluar los efectos que tienen sobre la calidad, las captaciones y crecidas de un río. Tales cálculos son fundamentales para modelar la calidad en la totalidad de un río y sistemas de estuario, y frecuentemente se basan en los datos de la descarga típica o el flujo promedio de la descarga. Las técnicas de modelo dinámico requieren datos continuos del flujo y cómputos de la frecuencia de los valores de flujo.

20.4 Transporte de contaminantes y tasas de recuperación

Si la concentración de un contaminante en una descarga varía con el tiempo, sólo se podrá obtener un valor estimado confiable de la dispersión o degradación del contaminante, si se conoce la velocidad de transporte del contaminante desde el punto de descarga. Por lo tanto, el programa de muestreo para un río o estuario debería tratar de muestrear el mismo cuerpo de agua según éste se mueva a lo largo del curso de agua.

Cuando un contaminante entra a un río por un derrame accidental, es de gran valor el conocimiento del tiempo requerido para que el contaminante llegue a los puntos de captación aguas abajo, para evaluar los efectos de tal contaminación.

20.5 Determinandos relacionados con el flujo

Las concentraciones de ciertos determinandos de la calidad del agua, tales como dureza o cloruro, en ciertas circunstancias, se ha encontrado que están relacionados con la velocidad de flujo, generalmente sobre un rango limitado. Si se dispone de registros apropiados, que relacionen los flujos con las concentraciones, se puede hacer una estimación de la calidad del agua en relación a estos determinandos, con sólo medir los flujos. Se deberían hacer verificaciones a intervalos determinados con el objeto de comprobar si las interrelaciones continúan siendo válidas.

20.6 Aguas subterráneas

Para una evaluación confiable de los riesgos de contaminación de las fuentes de aguas subterráneas y de las velocidades de recuperación esperadas de las mismas, se requiere el conocimiento de la dirección y velocidad del movimiento de estas aguas. Esta información disminuye el costo del muestreo para la evaluación de la contaminación de las aguas subterráneas.

21 Métodos disponibles para la medición de flujo

21.1 Las mediciones pueden ser discretas, tales como aquellas realizadas empleando dispositivos flotadores en un estuario o un fluviómetro de lectura directa en un río, o pueden ser continuas, tales como aquellas realizadas por la mayoría de los medidores de caudal.

21.2 La dirección y velocidad pueden medirse empleando:

- a) flotadores;
- b) boyas y derivas;
- c) trazadores químicos (incluyendo colorantes);
- d) trazadores microbiológicos;
- e) trazadores radiactivos.

21.3 La velocidad también puede medirse empleando:

- a) molinetes, del tipo lectura directa o del tipo registrador;
- b) técnicas ultrasónicas;
- c) técnicas electromagnéticas;
- d) técnicas neumáticas.

21.4 El caudal puede determinarse empleando:

- a) mediciones de velocidad, como las indicadas en 21.3, efectuadas en un canal con área conocida de la sección transversal;
- b) medios mecánicos directos tales como baldes volcadores, medidores de agua estandarizados u otros;
- c) medición del nivel del agua sobre una constricción en el flujo, tal como un vertedero para un canal aforado. El nivel puede medirse;
 - 1) visualmente, por medio de una regleta graduada;
 - 2) automáticamente, por medio de una boya, cambios en la resistencia eléctrica, presión diferenciada, fotográficamente o acústicamente;

- d) los medios siguientes en una tubería cerrada:
 - 1) diferencias de presión a través de un Venturi;
 - 2) diferencias de presión a través de una placa orificio;
 - 3) velocidad de bombeo, multiplicada por la duración del bombeo;
 - 4) técnica electromagnética, ultrasónica u otras;
- e) el factor de dilución, efectuando mediciones puntuales de determinandos de las descargas en los cursos de agua naturales.

NORMA CHILENA OFICIAL

***NCh* 411/1.Of96**

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo

Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the desing of sampling programmes

Primera edición : 1996

Reimpresión : 1999

Descriptores: *calidad del agua, agua, muestreo, programas, fuentes de contaminación*

CIN 13.060.40

COPYRIGHT © 1996 : INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION - INN

* Prohibida reproducción y venta *

Dirección : Matías Cousiño N° 64, 6° Piso, Santiago, Chile

Casilla : 995 Santiago 1 - Chile

Teléfonos : + (56 2) 441 0330 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0425

Telefax : + (56 2) 441 0427 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0429

Internet : inn@entelchile.net

Miembro de : ISO (International Organization for Standardization) • COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)