

VOLUMEN 2

CONTENIDO

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED DE ALERTAS

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED 2 O RED DE ENTRADAS

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED 1 O RED DE SALIDAS

TOMA Y PRESERVACION DE MUESTRAS
ANEXO: PROTOCOLOS DEL IDEAM

MODELO LLUVIA CAUDAL A ALPICAR EN EL PROYECTO

ANEXOS : REGISTRO MODELO LLUVIA CAUDAL

ANEXO 1 : REGISTRO HIDROCLIMATOLOGICO

ANEXO 1.1. : PRECIPITACION

ANEXO 1.2. : CAUDAL

ANEXO 1.3. : EVAPORACION TOTAL

ANEXO 2 : CURVAS DOBLES MASAS

ANEXO 2.1. : PRECIPITACION

ANEXO 2.2. : CAUDAL

**ANEXO 3 : CALIBRACION Y VALIDACION DE
MODELOS LLUVIA ESCORRENTIA**

ANEXO 4 : PLANOS

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED DE ALERTAS

TABLA DE CONTENIDO

11. DISEÑO RED DE ALERTAS. 2

PRESENTACION 2

11.1 PARAMETROS A MONITOREAR EN LA RED DE ALERTAS 5

11.2 SELECCIÓN DE SITIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED DE ALERTAS. 6

 11.2.1 RÍO AGUACATAL. 8

 11.2.2 RÍO CALI. 8

 11.2.3 RÍO CAÑAVERALEJO. 8

 11.2.4 RÍO MELÉNDEZ. 8

 11.2.5 RÍO LILÍ. 9

11.3 EQUIPOS A IMPLEMENTAR EN LA RED 9

 11.3.1 PLUVIOGRAFO. 9

 11.3.2 DATALOGGER 10

 11.3.3 BATERIA DE ELECTROLITO. 13

 11.3.4 PANEL SOLAR. 14

 11.3.5 SENSOR DE NIVEL. 15

11.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRIA A TRAVÉS DEL SISTEMA SATELITAL GOES. 17

11.5 FRECUENCIA DE MONITOREO. 19

11.6 DISEÑO DE OBRA CIVIL 19

 CASETA MODELO DE LA CVC 21

11.7 INVERSION ESTIMADA PARA LA RED DE ALERTAS. 23

DISEÑO RED DE ALERTAS.

PRESENTACION

La Red de Alertas, formara parte del sistema integrado de monitoreo del recurso hídrico para la ciudad de Santiago de Cali y estará conformada por estaciones automáticas fijas, las cuales estarán ubicadas en la parte alta de la cuenca y cuya función principal será la determinación y transmisión de parámetros climatológicos (precipitación) e hidrológicos (nivel de los ríos), en tiempo real.

Se espera, que con la implementación de la Red de Alertas, sea posible; llevar un registro periódico de precipitación y nivel, para cada cuenca hidrográfica, que permita aplicar, y estar constantemente retroalimentando modelos lluvia - caudal, que ayuden a determinar periodos de riesgo (crecientes - sequías), para que en el mediano plazo, con el análisis de los resultados de la aplicación de los modelos, sea posible implementar un sistema de alertas, que posibilite tomar medidas de precaución, cuando fuere necesario y a tiempo.

La Red de Alertas, está diseñada para adquirir en forma automática información sobre nivel de ríos y precipitación desde cada estación, para enviar la información cuando se requiera hacia la estación central a través del sistema satelital GOES, para determinar el caudal en cada sitio usando tablas de calibración almacenadas en la memoria del sistema central, para proporcionar la información recolectada en cada sitio y para mantener un archivo histórico de información de cada sitio.

El sistema, en el mediano plazo, debe estar en capacidad de funcionar como una red de alarma de crecientes autoinformante. Para cada una de las estaciones, deberá poderse simular diferentes escenarios futuros de lluvia y añadirse opciones para el control y prevención de desastres como: seguimiento de comportamiento de ríos a través de mapas de control, implementación de alarmas remotas.

Por ahora, la Red de Alertas, cumplirá una primera función, muy importante, comenzar a registrar datos continuos de precipitación y nivel, sin los cuales sería imposible pensar en lograr modelaciones del comportamiento de los ríos, ante una determinada, presencia o ausencia, de lluvias, y más aún prevenir desastres naturales.

Los datos registrados serán utilizados para la aplicación del modelo lluvia caudal, que en la fase de arranque y operación de la red, únicamente será desarrollado para el Río Cali. La precipitación será la variable independiente a tener en cuenta dentro del modelo lluvia - caudal, que se implemente para estimar los caudales esperados a lo largo de la cuenca ¹

Conforme con la validación que se obtenga del modelo lluvia caudal, realizada a partir de la colección de registros de precipitación, en futuros proyectos se deberá implementar un modelo similar para los demás ríos de la ciudad.

¹ Como se plantea en el documento "Modelo lluvia escorrentía", inicialmente el modelo valido para el río Cali.

En cuanto a los aspectos técnicos, tenidos en cuenta para la definición de la red de Alertas están :

- ☛ El sitio de monitoreo que se seleccionara, debería ser tan representativo de la cuenca, que permitiera coleccionar registros de precipitación, los cuales al ser aplicados al modelo lluvia caudal, fueran predictivos de los posibles eventos a presentarse en el tiempo y a lo largo de la cuenca.
- ☛ En el punto que se definiera la ubicación de la estación de monitoreo, debería tener acceso a señal satelital, dado a que la distancia y la no disponibilidad de líneas de teléfono al sector, serian muy relevantes en la definición del sistema de comunicación a utilizar.

Si bien durante el desarrollo de este proyecto se brinda la información básica sobre la forma como debería operarse este sistema, luego de la adjudicación del contrato de suministro de equipos, instalación, montaje y operación de la red hídrica, es necesario delinear en forma más precisa su operación (tiempo de toma de datos, máximos, mínimos, promedios, etc.), y la forma de desarrollar el programa inicial de los dataloggers, de las estaciones remotas.

Este sistema brinda la posibilidad de ser ampliado con mayor cantidad de sensores para cualquiera de las estaciones existentes, afrontando solo el costo del sensor a instalarse, dado que el datalogger posee una capacidad superior y fácilmente expandible.

De igual modo, este sistema brinda la posibilidad de agregar una cantidad ilimitada de estaciones, sin importar su ubicación, dado que el vínculo no posee ningún condicionamiento de ubicación para su sencilla instalación, ni estudios de propagación previos para determinar su mejor asentamiento. Así mismo, el hardware y software previsto para las estaciones maestras, no posee tampoco limitaciones para la incorporación de nuevas estaciones, otros tipos de comunicaciones, etc.

Por lo tanto, posibilita la incorporación futura de nuevas estaciones remotas, en forma independiente de su ubicación en el terreno.

PARAMETROS A MONITOREAR EN LA RED DE ALERTAS

La función objetivo de la Red de Alertas, será: la percepción, registro y transmisión, de los parámetros; climatológico (precipitación) e hidrológico (nivel de los ríos), en tiempo real.

Los procesos hidrológicos varían en el espacio y en el tiempo, y tienen un carácter aleatorio o probabilístico. La precipitación, principal parámetro a monitorear en la Red de Alertas, es la fuerza motriz del ciclo hidrológico, y la naturaleza aleatoria de la precipitación hace que la predicción de los procesos hidrológicos resultantes (por ejemplo, flujo superficial, evaporación y caudal) para un tiempo futuro siempre esté sujeta a un grado de incertidumbre que es mayor en comparación con la predicción del comportamiento futuro de suelos o estructuras de edificios. Estas incertidumbres hacen que la medición de este parámetro sean observaciones hechas en el lugar de interés o cerca de éste, de tal manera que las conclusiones puedan sacarse directamente de observaciones *in situ*.

La dotación de equipos para esta red, que se definen más adelante, permitirán que en un futuro; se pueda proyectar la implementación de otros parámetros climatológicos e hidrológicos.

SELECCIÓN DE SITIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED DE ALERTAS.

A continuación se presenta mapa donde aparece la selección de los sitios de ubicación de las estaciones de Monitoreo, de la Red de Alertas; que se identifican en el mapa con el número 1. Posteriormente se expone, por río, propuesta de ubicación de la estación.



RÍO AGUACATAL.

- Estación Climatológica e hidrológica: Se plantea la Instalación a la altura de la Quebrada San Pablo, específicamente en el sitio donde la C.V.C. tiene instalada la estación Pluviométrica San Pablo a una altura de 1871 msnm.

RÍO CALI.

Estación Climatológica e hidrológica: Aun con las difíciles condiciones topográficas que presenta la parte alta de la cuenca del río Cali, se localizó un tramo que reúne las características de Topografía, acceso, seguridad, infraestructura etc. que se requieren. A la altura del corregimiento de Pichindé, a 400 m aguas abajo de la confluencia de los ríos Pichindé y Pichindecito, contiguo al puente la Sofia, en el sitio donde la C.V.C. tuvo instalada una estación Limnigráfica.

RÍO CAÑAVERALEJO.

- Estación Climatológica e Hidrológica: Se plantea la Instalación en el sitio donde la C.V.C. tiene instalada la estación Pluviométrica Las brisas a una altura de 1228 msnm (Ver Tabla 4.1 de Ubicación de estaciones de C.V.C.).

RÍO MELÉNDEZ.

Estación Climatológica e hidrológica: Se plantea la Instalación en el sitio de el Puente de la Base Militar de Polvorines, corregimiento de la Buitrera a una altura aproximada de 990 msnm. Correspondería al mismo sitio de ubicación de la estación de Red 2 o Red de Entradas para este río, que debido a las condiciones de inseguridad existentes, en el

momento, sería imposible la instalación y operación de la red de Alertas en una región más alta; como sería la ubicación ideal en predios del corregimiento de Villa Carmelo.

RÍO LILÍ.

- Estación Climatológica e hidrológica: Se plantea la Instalación en el sitio donde la C.V.C. tiene instalada la estación Pluviográfica La Ladrillera a una altura de 1180 msnm (Ver Tabla 4.1 de Ubicación de estaciones de C.V.C.).

EQUIPOS A IMPLEMENTAR EN LA RED

PLUVIOGRAFO.



Figura 11.2

Es un aparato que registra automáticamente la profundidad de lluvia en intervalos tan pequeños como un minuto de duración. Estos medidores consisten en receptáculos abiertos con lados verticales, en los cuales la profundidad de precipitación se mide usando un cilindro graduado o una vara de medición. Los medidores estándar se utilizan generalmente para la medición de precipitación diaria y están compuestos por un colector localizado encima de un embudo el cual lleva el agua a un tanque.

Cada una de las estaciones remotas; tendrá un pluviógrafo, el cual generará una entrada digital a un transmisor cada vez que 1mm de lluvia pasa a través del embudo.

Este sistema registrara de forma continua la precipitación presentada en el punto de monitoreo, con la cual se determinara la intensidad, duración y el total de las lluvias.

Especificaciones técnicas:

- Sensibilidad: Una basculación cada 0.25 mm de precipitación.
- Resolución: 0.25 mm
- Diámetro del Colector: 20 cm mínimo
- Precisión Mínima: 3% a una intensidad de 50 mm/hora
- Capacidad: Ilimitada
- Salida: 100 ms de conmutación cerrada
- Voltaje de Alimentación: 12 V DC

DATALOGGER

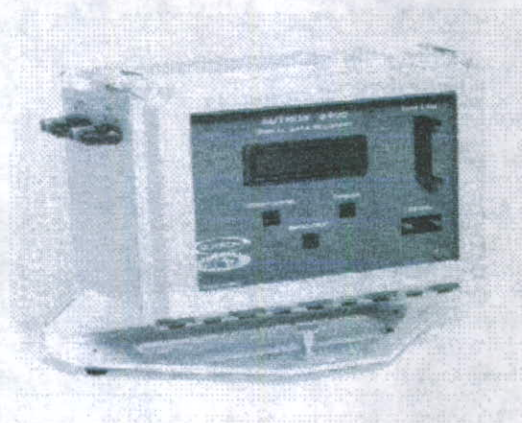


Figura 11.3

El datalogger es el sistema de almacenamiento de datos en el sitio de monitoreo, el cual le permite a la estación tener las características de

ser automática y continua, en cuanto a la recolección de los datos y la toma de los mismos. Este sistema de registro almacena los datos de tiempo real y los envía posteriormente a través de señal satelital, de acuerdo al protocolo de comunicación implementado.

El datalogger como sistema de registro de datos tendrá como funciones principales:

- ☛ Ejecutar el programa estipulado de medición de los sensores climáticos, cada periodo de tiempo que se le haya definido.
- ☛ Grabar en una de sus memorias los datos solicitados de acuerdo a una determinada programación y/o alarmas.
- ☛ Efectuar junto a la medición de los sensores climáticos, la medición del nivel de batería y de humedad interna con su respectivo sensor incorporado.
- ☛ Efectuar los cálculos necesarios para cumplir con su programación, archivando los mismos en la memoria que posee para tal fin y permitiendo su recolección y transmisión al Centro de Control para su análisis (impresión de reportes).

Las especificaciones técnicas para este equipo son las siguientes:

- El equipo de telemetría y monitoreo debe poder ser integrado con cualquier tipo de analizador específico o sensor que tenga como salida una señal eléctrica proporcional a la variable medida en mV o mA.

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

- El Módulo de medición y control debe estar protegido en cubierta de acero inoxidable, con microprocesador configurado para 32K ROM, 64k RAM.
- Sistema de operación tipo multi-tarea que permite simultáneamente la medición y comunicación de las diferentes variables.
- Capacidad de almacenamiento de 60.000 datos, con opción de expansión a 500.000 datos.
- Programable a través de 30 instrucciones de medición, 43 instrucciones de proceso y 15 programas de control.
- Modulo de cableado en acero inoxidable, con protección de transientes para todas las entradas y salidas. Los datos son recolectados selectivamente de acuerdo a tiempos o eventos definidos por el usuario.
- Entradas análogas: 6 canales diferenciales o hasta 12 canales sencillos, configurables.
- Puertos digitales de entrada o salida: 8 puertos seleccionables como entradas binarias o salidas de control.
- Gabinete: Para colocación del modulo de suministro de potencia y sistema de telecomunicaciones. Dimensiones 16"x18"x5.5", en fibra de vidrio NEMA estabilizado contra UV y para la reflexión de la luz solar, reduciendo el gradiente de temperatura dentro del gabinete.

BATERIA DE ELECTROLITO.

Unidad de poder principal y acumulador de energía, la cual proveniente del panel solar. Tiene como función el mantener operando los dispositivos de la red de monitoreo.

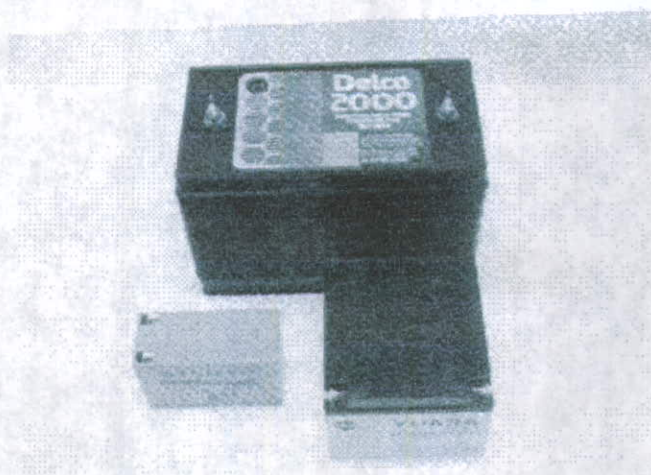


Figura 11.4

Las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta que van a ser equipos ubicados en zonas de cercanas de fácil acceso, se recomienda bacterias que correspondan a las siguientes características:

Voltaje:	12 VDC
Capacidad:	7 AH o 24 AH
Peso:	5.84 lbs o 19.1 lbs
Dimensiones:	151mm Largo x 65 mm Ancho x 97.5 mm Alto O 166mm Largo x 175 mm Ancho x 125 mm Alto

PANEL SOLAR.

El panel solar es ideal para los sitios remotos donde la toma de corriente continua AC no es disponible.

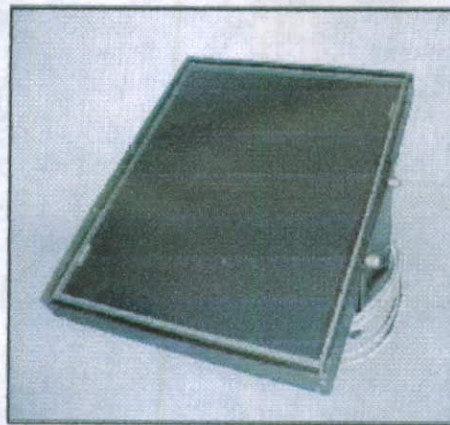


Figura 11.5

La función principal del panel solar, es la de mantener cargada la batería principal de suministro de poder, permitiendo la optima operación de las estaciones de monitoreo.

Especificaciones técnicas:

- Panel solar de 20 W, con soportes, cableado y conectores.
- Dimensiones del panel: 56.9 cm x 33 cm x 3.3 cm

SENSOR DE NIVEL.

Sensor de nivel -ultrasonico-



Figura 11.6

Dispositivo electrónico o mecánico, que tiene como función principal el registro continuo de los niveles del cuerpo de agua en la sección transversal definida para tal fin.

Para el caso de la Red de Alertas, el sistema de determinación de caudal, se realizará directamente sobre el río, a través de un sensor ultrasónico que se instalará a una altura de seguridad, sobre el máximo nivel del río.

El sensor de nivel ultrasónico, utiliza una serie de ondas de sonido transmitidas por el sensor de forma cónica. Las ondas de sonido se reflejan en la superficie del liquido y son recibidas por el sensor. El sensor mide el intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción de la señal, convirtiéndola en una medida de distancia basada en la velocidad del sonido.

Este sensor no es afectado por el tipo de liquido o por el color del mismo (turbiedad) y funciona perfectamente en ambientes severos.

Los datos de nivel de agua que son receptadas por el sensor, son registradas por medio de una interfase hacia el Datalogger principal de la estación.

Los sensores ultrasónicos pueden ser instalados al aire ambiente y montados sobre plumas o por debajo de las estructuras de los puentes.

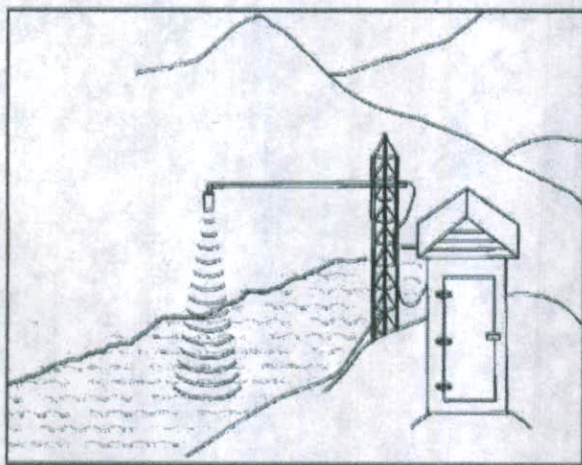


Figura 11.7

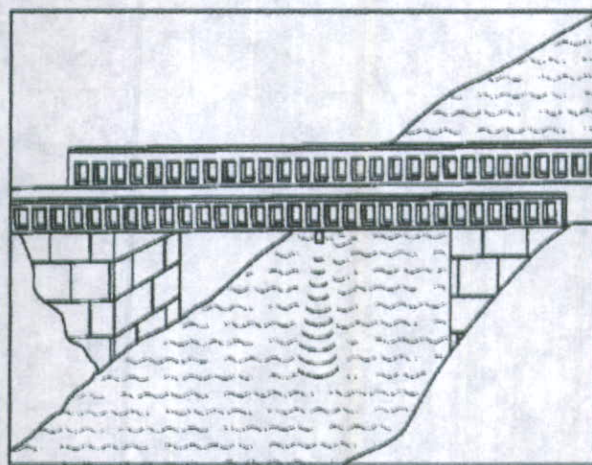


Figura 11.8

Especificaciones técnicas generales.

Tipo	:	ultrasónico
Rango	:	0.3 a 10.7 m.
Precisión	:	+/- 0.25 % del rango completo
Señal de salida	:	4 a 20 mA.
Resolución	:	2.5 mm
Suministro de voltaje:	:	12 – 30 voltios DC.
Longitud Estándar del cable:	:	1.8 metros de longitud.

Para este equipo, hay que tener en cuenta que a partir del levantamiento topográfico (altimetría y planimetría) de la sección transversal del río a la altura donde se ubicara la estación, se calculara

el caudal de agua que cruza esa sección. Esta tarea debe ser realizada por quien se le adjudique la instalación y arranque de los equipos.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRIA A TRAVÉS DEL SISTEMA SATELITAL GOES.

El sistema está previsto para establecer comunicaciones y transmisión de datos vía satelital, utilizando el Satélite GOES, aunque se debe diseñar, para que este en capacidad, en un futuro, de poder trabajar con otros sistemas de transmisión más eficientes. Por ello, se recomienda que el sistema de transmisión debe ser independiente del sistema de adquisición de datos.

Al ser el sistema de transmisión el Satélite GOES, los equipos deberán contar con la aprobación y homologación por parte de la NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE, DATA, AND INFORMATION SERVICE (NESDIS) que forma parte de la NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION de los Estados Unidos de América (NOAA). En caso tal que utilicen otro satélite los equipos deberán contar con la aprobación y homologación de quien los agencie.

Las estaciones remotas almacenarán los datos correspondientes de los sensores climatológicos e hidrológicos, junto a la medición del voltaje de la batería y humedad interna cuando se determine en forma periódica.

El concepto fundamental de la red hídrica proyectada, es que cada una de las estaciones fijas (remotas) es una unidad inteligente, la cual posee en su datalogger un programa que recibe la señal de los sensores, los procesa y los almacena. Con todas las opciones de comunicación: radio, módem dedicado, módem telefónico, módem celular y satélite. Para el proyecto en estudio, todas las comunicaciones serán vía satélite, por las

ventajas que representa, en la comunicación de estaciones remotas. (Ver documento sistema de comunicación).

Básicamente el proceso para la transmisión de la información se realiza en la secuencia que a continuación se expone:

1. *Percepción*, a través de un *Sensor* que será un instrumento que convierte el nivel o intensidad del fenómeno en una señal observable.
2. *Registro*, procedimiento que se utilizará para preservar la señal producida por los sensores. El registro será automático con sistemas de almacenamiento electrónicos.
3. *Transmisión*, que consistirá en la transferencia de los registros desde las estaciones hasta la central. La transmisión en *tiempo real* de la información, se hará a través de satélite. Cada determinado tiempo se recibirá la información, se espera que cuando la información se necesite, en el mediano plazo, el sitio de registro sea "encuestado" por el lugar central; el aparato de registro que tiene la información almacenada electrónicamente, la envíe hacia el sitio central en forma inmediata. La información de satélites es valiosa para la producción de pronósticos de inundaciones y para permitir acceso continuo a sitios de registro remotos que son difíciles de alcanzar por vía terrestre.
4. *Traducción*, que corresponde a la conversión de los registros desde su forma original dada por el instrumento de campo a registros computarizados para almacenamiento electrónico permanente.
5. *Edición*, en esta fase se verifican los registros traducidos al computador con el fin de corregir cualquier error obvio que pueda haber ocurrido durante cualquiera de los pasos previos. Algunos errores comunes incluyen desaciertos en la sincronización automática de las medidas registradas e información perdida en la transmisión y en la traducción, la cual puede ser recuperada analizando directamente el registro hecho en el campo.

1004

6. *Almacenamiento.* La información editada se almacena en un archivo de información computarizada. Los datos son sistemáticamente compilados en archivos indexados por la localización y secuenciados por el tiempo de la medición.

7. *Recuperación.* La información podrá ser recuperada por parte de los usuarios, ya sea en una forma leíble por un computador, como una cinta magnética o un disco flexible, o una lista en papel.

FRECUENCIA DE MONITOREO.

Basados en la utilidad de la información generada por esta red de alertas, y en las necesidades planteadas en el modelo lluvia caudal, se propone que los equipos registran datos en periodos de tiempo no superiores a cinco minutos para el caso de la información pluviométrica, para poder prever y programar acciones de prevención de desastres en el caso que se superen los niveles máximos determinados, en los equipos y según la calibración.

DISEÑO DE OBRA CIVIL

El diseño típico de la caseta para las diferentes estaciones de monitoreo estará construida en muros de ladrillo y losas de concreto armado¹, con sus correspondientes instalaciones hidráulicas y eléctricas, con encerramiento de malla para evitar actos vandálicos. Adicionalmente, tendrá acceso para el personal encargado de realizar actividades de calibración y mantenimiento preventivo o correctivo a los dispositivos electrónicos que conforme la estación.

¹ Caseta modelo, del tipo implementado por la CVC; en sus estaciones de Monitoreo.

En esta estructura se almacenaran todos los dispositivos encargados de que la estación opere adecuadamente. Entre estos dispositivos se tiene: Batería, Datalogger, regulador de carga con corte por baja tensión de batería, el sistema electrónico de interfase que hace posible la comunicación entre todas las partes de la estación, y estas a su vez con el Centro de Control.

En la misma estación y en los exteriores de la caseta sobre la plancha, se ubicara el pluviógrafo, panel solar, la antena de transmisión satelital GOES y la antena pararrayos. A la vez en la parte externa, también se ubicará el sensor de nivel ultrasónico.

La anterior información deberá ser corroborada en los diseños definitivos.

Hay que tener en cuenta, que en este estudio solo se presentan acercamientos a los diseños de las estaciones de monitoreo, *predimensionamientos*, donde el consultor presenta una estación típica, a partir de la cual el DAGMA, se basará para asignar la respectiva licitación para el diseño y construcción definitiva.

A quien se le asigne la licitación, deberá llevar a cabo los diseños definitivos, y si es posible proponer alternativas, de estructuras para la medición de los parámetros. Además, deberá tener en cuenta; para la ubicación de las estaciones y de los sensores de nivel, la realización de un levantamiento topográfico; altimetría y planimetría de los sitios donde se localizarán las estaciones de medición y aforo, con secciones cada 20 m y en una longitud aproximada de 200m, como mínimo. En la sección transversal del río a la altura donde se ubicara la estación, se deberá calcular el caudal de agua que cruza esa sección, con el fin de

poder realizar una simulación hidráulica del sistema, para conocer los niveles o alturas de láminas de agua en los cauces de los ríos, específicamente en el punto donde se localizará la estación de medición o monitoreo. Al igual, se tendrá que realizar un estudio de suelos en cada uno de los puntos donde se localizarán las estructuras de medición.

CASETA MODELO DE LA CVC

A continuación se hace una descripción de la caseta modelo de la CVC², que corresponde a una infraestructura que se adapta a la caseta tipo, a implementar en las diferentes estaciones del Sistema de Monitoreo del Recurso Hídrico de la ciudad Santiago de Cali.

- **Cimiento en Concreto Ciclópeo:** Se construirá un cimiento perimetral en concreto ciclópeo de 0.40 x 0.70 m. El tamaño mínimo de la piedra será de 4" y la resistencia del concreto simple no podrá ser inferior a 2500p.s.i.
- **Viga de Amarre:** Se construirá sobre el cimiento ciclópeo una viga de amarre perimetral que conectara la caseta con la estructura del pozo. La viga tendrá una sección útil de 0.20 x 0.30 m. Armada con refuerzo longitudinal de ½" de 60.000p.s.i. y estribos N°3 @ 0.20 m.
- **Base:** para la construcción de la cimentación de la caseta de análisis se preparará una base granular de e= 0.15 compactada, de área igual a la sección útil de la caseta, más espesor de muros, más 0.50m. a cada lado.
- **Muros:** los muros de la caseta se contruirán en concreto armado de 0.15m de espesor con refuerzo longitudinal de ½" de 60.000 p.s.i. y

² Información suministrada por la CVC - División de Monitoreo Ambiental (Pliegos de Licitación SIMA 1), y visita a la Estación de Calidad FLORALIA - Río Cali

refuerzo transversal N°3 de 37.000p.s.i @ 0.20, el concreto tendrá una resistencia mínima de 3000 p.s.i.

- Repello liso: Los muros se dejarán acabados con un repello liso de $e=0.02$, mortero 1=3 tanto en la parte interna como externa.
- Rejillas de ventilación y puerta metálica: para garantizar la circulación de aire en los muros laterales a la puerta de acceso, se dejarán dos rejillas para ventilación, de 0.50 x 0.70m. La rejilla serán de tipo doble persiana, construido tanto el marco como los difusores en platina, 1" x 1/8". Para acceso a la caseta se instalara una puerta metálica de 0.80 x 1.80 m construida en lamina plegada calibre 18, con marco para empotrar en muro. La puerta tendrá una cerradura tipo bodega y dos portacandados.
- Mesón para cubeta: para la instalación de lavamanos se construirá un mesón de concreto simple de 2500 p.s.i. de 0.60m x 1.20m x 1.10m. El cual será soportado por un marco metálico construido en ángulo de 2" que ira empotrado al muro.
- Instalaciones eléctricas, la caseta estará dotada en cada uno de sus muros de una salida y un toma de 110V y uno de los lados tendrá toma de 220V, habrá una salida para alumbrado interior y otra exterior.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias: para la dotación de agua, se hará una acometida de PVC de 1/2" con sus válvulas. El desagüe del lavamanos y piso irán en tubería sanitaria PVC de 2".
- Pintura: La caseta de análisis tendrá un acabado final en estuco, tanto en su parte externa como interna. Las rejillas de ventilación y la puerta irán acabadas con pintura p21, previo tratamiento con pintura anticorrosiva.
- Cerramiento: para un área de 4.0 x 4.0m. Se requiere encierro en malla eslabonada en alambre calibre 10, hueco de 2" de 1.50 m de altura, postes intermedios y esquineros en tubería de 1 1/2" por

2.0m de largo, con los respectivos gorros protectores en aluminio, los que deben ir anclados a la viga de amarre (0.25 x 0.25 x 0.25 m) en concreto de 3000 p.s.i. con acero longitudinal de 3/8" y flejes de 1/4" con la respectiva puerta en malla eslabonada en calibre 10, hueco de dos pulgadas y de dimensiones 1 x 1.5 m.

Las anteriores especificaciones pueden servir de guía para el diseño a implementar de la caseta, por parte del DAGMA, en las estaciones del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental del Recurso Hídrico. Se recomienda realizar una visita a alguna de las estaciones de la CVC.

INVERSION ESTIMADA PARA LA RED DE ALERTAS.

Conforme con la definición de la cantidad de estaciones que conformaran la *Red de Alertas*, para el monitoreo de parámetros climatológicos e hidrológicos que en este caso será la precipitación y nivel de los ríos, a continuación, se estima el valor de la inversión que deberá realizarse para la adquisición, instalación y montaje de las estaciones de la Red de Alertas.

Presupuesto de Inversión para la Red de Alertas
(En US\$ - Dolares: Valores de Diciembre del 2000)

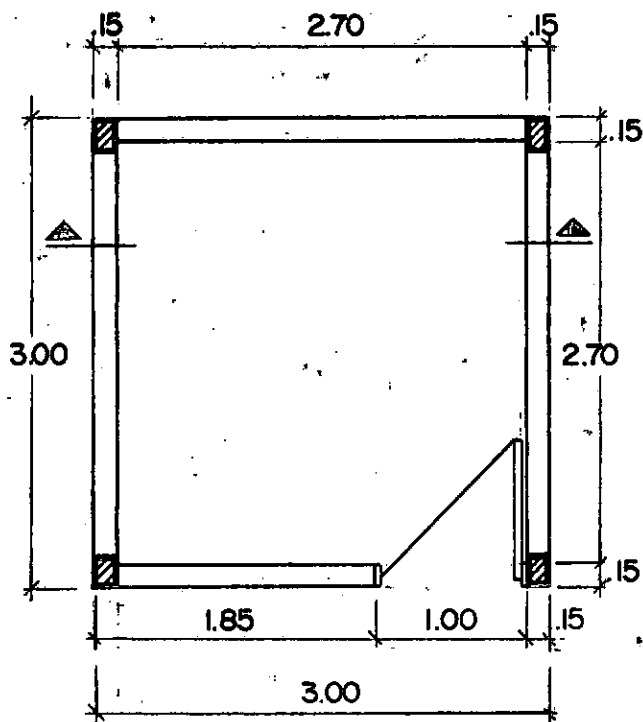
Detalle	Cantidad	Vr Unitario	Total
Datalogger	5	\$2.974	\$14.870
Gabinete	5	\$750	\$3.750
Sistema de Montaje	5	\$300	\$1.500
Bateria DC, 12V	5	\$175	\$875
Panel solar, 20W	5	\$795	\$3.975
Cableado de poder	5	\$100	\$500
Pluviógrafo con sistema y cableado	5	\$1.500	\$7.500
Unidad de transmisión GOES	5	\$3.755	\$18.775
Hardware convertir señal GOES- Telefonica*	1	\$50.000	\$50.000
Software para Windows*	1	\$1.105	\$1.105
Antena superior de transmisión	5	\$444	\$2.220
Antena GPS, con encerramiento y cableado	5	\$45	\$225
Caja de expansión SDI para los sensores -3p	1	\$376	\$376
Sensor de nivel ultrasonico	5	\$1.380	\$6.900
Unidad de Display de datos y cables	5	\$1.343	\$6.715
Construcción caseta y encerramiento	5	\$3.000	\$15.000
SUBTOTAL			\$134.286
Instalación de Equipos (20%)			\$26.857
Entrenamiento al Personal (5%)			\$6.714
Visita y Diseño de tareas especificas (5%)			\$6.714
SUBTOTAL			\$174.572
Imprevistos (10%)			\$17.457
Presupuesto Estimado Implementación RED DE ALERTAS			\$192.029

*De Estos Equipos, solo se comprarían Una Unidad de c/u; y servirán para el funcionamiento las tres redes.

Fuente: Cotización DURESPO S.A. - División Ingeniería y Equipos. Precios a Diciembre del 2000.

ANEXO
PREDIMENSIONAMIENTO
CASETA MODELO

PLANO ARQUITECTONICO PLANTA

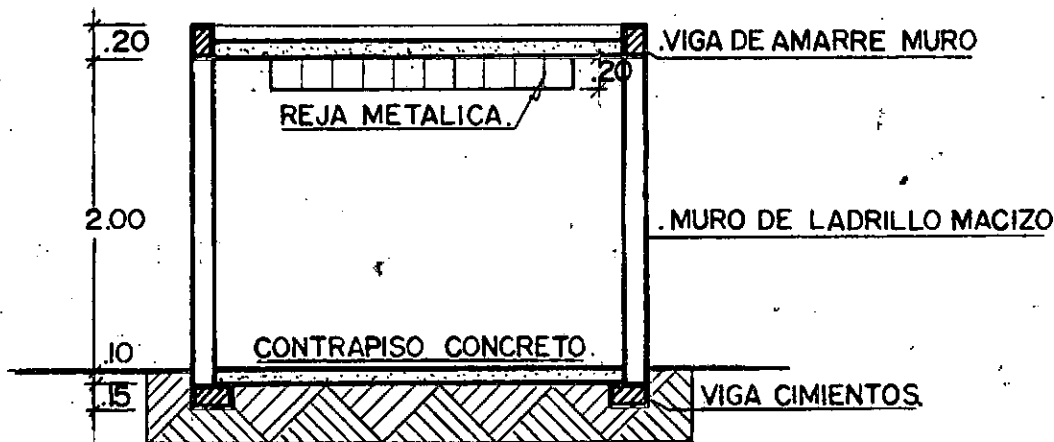


ESTACIONES DE
MONITOREO RED DE
ALERTAS, RED 1 Y
RED 2.

CASETA ESTANDAR. (PREDIMENSIONAMI.)

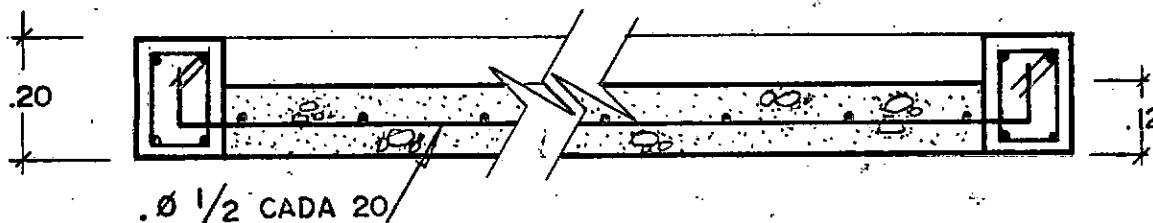
ESC: _____ 1.50

PLANO ARQUITECTONICO ALZADA.



DETALLE ESTRUCTURAL LOSA MACIZA

ESC: _____ 1.50



**DISEÑO DEL SISTEMA DE
MONITOREO RED 2
O
RED DE ENTRADAS**

1013

TABLA DE CONTENIDO

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED 2 o RED DE ENTRADAS	2
PRESENTACION	2
CARACTERIZACION DE LAS AGUAS DE LOS RIOS AL ENTRAR A LA CIUDAD	3
RIO CALI	5
RIO CAÑAVERALEJO	6
RIO MELENDEZ	7
RIO LILI	9
PARÁMETROS A MONITOREAR RED 2 o RED DE ENTRADAS	11
PARAMETROS EN FUNCION DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.	13
PARAMETROS EN FUNCION DE LAS NECESIDADES DEL DAGMA	16
PARÁMETROS EN FUNCION DE LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL.	17
SELECCIÓN FINAL DE PARÁMETROS PARA RED 2 o RED DE ENTRADAS	20
SELECCIÓN DE SITIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED 2 o RED DE ENTRADAS	21
RÍO AGUACATAL	23
RÍO CALI	23
RÍO CAÑAVERALEJO.	23
RÍO MELÉNDEZ.	23
RIO LILÍ.	24
EQUIPOS A IMPLEMENTAR EN LA RED 2 o RED DE ENTRADAS	27
DATALOGGER	27
BATERIA DE ELECTROLITO.	27
PANEL SOLAR.	27
SENSOR DE NIVEL.	27
SENSORES DE CALIDAD DE AGUA.	27
MUESTREADOR AUTOMATICO (REFRIGERADOS).	27
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRIA A TRAVÉS DEL SISTEMA SATELITAL GOES.	27
FRECUENCIA DE MONITOREO RED 2 o RED DE ENTRADAS	27
DISEÑO DE OBRA CIVIL RED 2 o RED DE ENTRADAS	27
CASETA MODELO DE LA CVC	27
ESTIMATIVO DE LA INVERSIÓN RED 2 o RED DE ENTRADAS	27

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED 2 o RED DE ENTRADAS.

PRESENTACION

La Red de Entradas, formara parte del sistema integrado de monitoreo del recurso hídrico para la ciudad de Santiago de Cali, estará conformada por estaciones automáticas fijas, las cuales estarán ubicadas a la entrada de los ríos a la ciudad. En esta red se tendrá en cuenta la determinación de parámetros de cantidad y calidad de las aguas a la entrada al municipio.

Con la implementación de esta Red, se busca establecer un sistema automático de calidad de las aguas que permita obtener en tiempo real la información sobre la calidad de este recurso, para poder establecer de manera clara el manejo de las cuencas, la limitación de los vertimientos contaminantes y su depuración en origen, ya sean industriales, agropecuarios o urbanos.

Los resultados obtenidos en esta red, dará las pautas para el desarrollo de programas de mejoramiento de usos del suelo en las cuencas y el manejo de las mismas; de los ríos Cali, Aguacatal, Cañaveralejo, Lili y Meléndez. Suministrará una fuente objetiva de información para responder preguntas que cuestionan la adecuada administración del recurso y adicionalmente suministrará las bases para mantener informada a la administración (DAGMA) a lo largo del proceso de la toma de decisiones, ya que un adecuado monitoreo de los recursos

1015

hídricos se necesita a muchas escalas: la Cuenca, la Región, el Departamento y el Estado.

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS DE LOS RIOS AL ENTRAR A LA CIUDAD

A continuación se hace una breve exposición de aspectos hidrobiológicos y fisicoquímicos de los ríos de la ciudad de Santiago de Cali, características que servirán para definir los parámetros de calidad a implementar y monitorear en cada río.

RIO AGUACATAL¹

Recibe descargas de asentamientos en la zona rural, así como de explotación de canteras y también presenta fenómeno de lluvias torrenciales con gran arrastre de sedimentos.

Su principal afluente la quebrada el Chocho, se constituye en uno de los principales aportantes de contaminación del río, elevando especialmente los contenidos de color, hierro, cobre sulfatos y turbiedades; esto debido principalmente a la alta actividad minera existente en esta cuenca y al vertimiento de aguas domiciliarias de los corregimientos de Montebello y Golondrinas.

En análisis hidrobiológico del río, se encontró material orgánico parcialmente oxidado, cantidades apreciables de aminoácidos, provenientes de la descomposición de proteínas, además de otros compuestos ricos en energía.

¹ HIDROINGENIERIA LTDA. Estudio Del Caudal Ecológico, Balance Hídrico, Indicadores Ambientales E Inventario Del Recurso Hídrico En Los Rios Cali, Aguacatal, Cañaveralejo Y Meléndez Del Municipio De Santiago De Cali. Noviembre del 2000

1016

Caracterización Físico-química Río Aguacatal

Municipio de Cali. Enero, 1996

Parametros	Bellavista	Colegio Nuestra Sra. de la Gracia
Turbidez(UTN)	2.2	5.4
Solidos totales (mg/l)	139	193
Demanda quimica de oxigeno(mg/l)	10	39
Demanda bioquimica de oxigeno(mg/l)	2.5	8
Nitratos(mg/l NO3)	40	40
Fosfatos(mg/l PO3)	0.01	0.74
Coliformes totales(NMP/1000ml)	750	240000
Coliformes fecales(NMP/1000ml)40	40	240000
Bacterias mesofilas(UFC/ml)	170	128000
pH(unidades)	7.30	7.45
Temperatura(C)	17.5	20.7
Oxigeno disuelto(mg/l)	8.2	6

Fuente: ASOAMBIENTE 1996.

Principales Insectos que Habitan las aguas del Río Aguacatal.

Nombres	Características
Thraulodes	Esta especie es considerada como indicador de buenas condiciones en la composición físico-química del agua. Puede utilizar diversos sustratos como habitat
Leptohyphes	Organismo indicador de contaminación fecal, variaciones en la temperatura del agua y variaciones en la turbidez. Son organismos de amplia distribución y con una capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales (especie generalista)
Camelobaetudius Moribaetis Baetodes	Estas especies se favorecen por el incremento de materia orgánica disuelta en el agua.
Rhagovelia Cryphocricoss	Comúnmente llamados "chinchas patinadores". Viven en los remansos de los ríos y soportan leves variaciones ambientales del agua.
Simulium	Hace parte del grupo descomponedor, especie oportunista que indica contaminación de origen animal
Leptonema	Su presencia indica el carácter fangoso del lecho del río y soporta niveles medios de carga orgánica
Mortoniella Atanatolica Atopsyche Xyphocentrom Anacroneuria	Especies indicadoras de excelentes niveles de oxígeno disuelto en el agua y poca carga orgánica. Estas especies construyen hábitculos de material mineral y los fijan a las rocas del río donde filtran el alimento disuelto en el agua.
Otras especies encontradas: Hetaerina, Hemerodromia, Limonia, Dugesia, Physa	

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986

RIO CALI²

Es una cuenca que se encuentra bastante presionada por factores tales como la erosión, las lluvias torrenciales, explotación de canteras, invasiones de forma incontrolada y los aportes del río Aguacatal, con buena cantidad de residuos orgánicos de la zona rural.

Análisis físico-químicos y microbiológicos río Cali
Municipio de cali. Enero de 1.996

Parámetro	Estación Bocatoma
Turbiedad (U.T.J.)	31.0
Solidos Totales(Mg/L)	89.0
Demanda Química De Oxígeno (Mg/L)	36.0
Demanda Bioquímica De Oxígeno (Mg/L)	3.12
Nitratos (Mg/NO3)	35.0
Fosfatos (Mg/PO4)	0.12
Coliformes Totales (NMP/100ml)	450
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	240
PH (Unidades)	6.60
Temperatura (°C)	16.1
Oxigeno Disuelto (Od) Mg/L	6.7

Fuente: ASOAMBIENTE, 1996.

Principales Insectos que habitan en las aguas del río Cali

Nombres	Características
Camelobaetidiu	Muy frecuentes en aguas con nivel orgánica diluido y variaciones en la turbidez y el pH
Baetodes	Presentan capacidad de adaptación a diferentes condiciones de calidad de agua
Anacroneuria	Especies sensibles a la fuerte contaminación, exigen niveles altos de oxigenación
Atanatólica	
Mortoniella	
Leptonema	Soporta carga orgánica de origen humano
Chironomus	Grupo muy tolerante a condiciones de fuerte contaminación. Presentes en zonas casi anaeróbicas.
Otras Especies Encontradas: Moribaetis, Thraulodes, Tricorythodes, Haplohyphes, Simulium, Athherix, Culex, Hemerodromia, Rhagovelia, Hetaerina, Tubifex	

Fuente: Asoambiente 1996

² Ibid.

RIO CAÑAVERALEJO³

Gran parte de la cuenca alta, ha sufrido el impacto de la actividad ganadera, actualmente presenta procesos de recuperación positivos, por repoblamiento natural de bosques, también se observa un fuerte predominio de especies vegetales autóctonas.

De acuerdo a estudio Hidrobiológico del río, se observo material orgánico parcialmente oxidado, cantidades apreciables de aminoácidos, provenientes de la descomposición de proteínas, además de otros compuestos ricos en energía.

ANALISIS FISICO-QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS RIO CAÑAVERALEJO

Municipio De Cali. Enero De 1996

Parámetros	Estación Las Brisas
TURBIEDAD (U.T.J.)	9.0
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	119.0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	24.0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	2.30
NITRATOS (mg/NO ₃)	35.0
FOSFATOS (mg/PO ₄)	0.21
COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	4.600
COLIFORMES FECALIS (NMP/100ml)	2.400
PH (unidades)	6.95
TEMPERATURA (°C)	19.3
OXIGENO DISUELTO (OD) mg/l	6.8

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986.

³ Ibid.

1019

Principales Insectos que Habitan en las aguas del río Cañaveralejo

Nombres	Características
Leptohypes Gomphus Leptonema	Son indicativos del carácter fangoso del lecho y de presencia de tritus orgánicos. Soportan variaciones continuas de la turbidez.
Chironomidae	Esta familia presenta una gran capacidad de adaptación a bajos niveles de caudal y altos contenidos de carga orgánica de origen domésticos.
Otras especies encontradas: Moribaetis, Beatodes, Rhagovelia, Limnocoris, Cryphocricos, Simullium, Dugesia, Physa, Tubifex.	

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986

RIO MELENDEZ⁴

Gran parte de la cuenca alta, la vegetación autóctona es predominante, sin embargo el número de especies encontrado es bajo. En cuanto a la zona de reserva forestal protectora del río Meléndez, se encuentra en buen estado, lo que demuestra la intervención humana en la reforestación de las riberas, incluso en la proyección de corredores ecológicos como el existente frente al Club Campestre.

En el corregimiento de la Buitrera existen explotaciones de carbón, las cuales causan inestabilidad manifiesta, lo que genera procesos erosivos, fenómenos de deslizamientos y derrumbes.

De acuerdo análisis Hidrobiológico del río, se encontró material orgánico parcialmente oxidado, existencia de cantidades apreciables de aminoácidos, provenientes de la descomposición de proteínas, además de otros compuestos ricos en energía.

⁴ Ibid

1020

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS RÍO MELÉNDEZ

Municipio De Cali, Enero De 1996

PARAMETROS	ESTACIÓN LA FONDA
TURBIEDAD (U.T.J.)	2.2
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	139.0
TURBIEDAD (U.T.J.)	2.2
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	139.0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	10.0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	2.5
NITRATOS (mg/NO3)	40.0
FOSFATOS (mg/PO4)	0.01
COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	750
COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)	40
PH (unidades)	6.7
TEMPERATURA (°C)	16.9
OXIGENO DISUELTO (OD) mg/l	6.1

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986.

Principales Insectos que Habitan en las aguas del río Meléndez.

Nombres	Características
Thraulodes	Especie sensible a la contaminación y a los cambios de turbidez del agua
Leptohyphes	Organismos adaptados a cambios en la temperatura y en turbidez del agua, también es indicadora de contaminación fecal.
Camelotidius	
Moribaetis	Característico de aguas lólicas con buenos niveles de oxígeno disuelto y variaciones en la turbidez.
Baetodes	
Rhagovelia	comúnmente llamados "chinches patinadores". Viven en los remansos de los ríos y soportan leve variaciones ambientales del agua.
Cryphocricos	
Simulium	Es un organismo descomponedor, característicos de aguas lentas con buenos niveles de oxígeno disuelto y variaciones en la turbidez.
Mortoniella	Característicos en aguas con buenos niveles de oxígeno disuelto en la turbidez
Atanatólica	
Atopsyche	
Xyphocentrom	
Leptonema	Su presencia indica el carácter fangoso del lecho del río y soporta niveles medios de carga orgánica.
Otras especies encontradas: Gomphus, Hetaerina, Hemerodromia, Limonia, Maruina, Dugesia, Physa.	

Fuente: Asoambiente, 1996.

RIO LILI⁵

A continuación se exponen los resultados del estudio realizado por ASOAMBIENTE, en el año 1996 para el caso del río Lili: Agosto 29/96, se realizó un tipo de muestreo superficial para aguas naturales de contacto primario y directo.

Se encontró que en la Estación localizada en la Compañía de Minas, se observan sobre las riberas del cauce, rellenos a base de ripio de carbón, con pendientes muy altas, lo cual pueden ocasionar en época de lluvias, el arrastre de estos materiales que contienen residuos producto del procesamiento del carbón. El alto porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, obedece fundamentalmente a la dinámica de este cuerpo de agua superficial, pero los valores de gas carbónico encontrados revelan el desarrollo de procesos permanentes de oxidación. Se nota alto grado de acidez de las aguas (pH 5.0 -5.3) y su origen se debe principalmente a la presencia de acidez mineral, aspecto que se puede verificar al relacionar los registros de acidez total y alcalinidad total encontrados. Además, existe la confluencia con una quebrada que proviene de algunas minas de carbón abandonadas, que revela la presencia de "capa rosa" sobre piedras y sustrato color café rojizo, lo que indica alta incidencia de acidez mineral en las aguas.

En cuanto a la dureza, para propósitos sanitarios estas aguas se pueden catalogar como semiduras, en donde solo el 31% esta dado por la presencia de carbonatos.

Los registros de turbiedad (18.1 NTU) son normales, indicando la presencia de sólidos en suspensión, debido a materia particulada proveniente de la zona de influencia directa.

⁵ ASOAMBIENTE. Caracterización Hidrológica y Evaluación de la Calidad de las Aguas de las Subcuencas del Municipio Santiago de Cali: Río Pance, Lili, Melendez, Cali, Cañaveralejo, Aguacatal y Cauca. Cali, 1996.

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

Los valores de conductividad (0.311 ms/cm) indican alguna actividad iónica por reacciones químicas del sustrato, dado que la concentración de sólidos disueltos totales (156 mg/L) es relativamente alta.

En cuanto a las concentraciones de nitrito (0.22 mg/L) y amonio (0.2 mg/L) encontrados, se puede inferir que existe un proceso natural de degradación de materia orgánica, aunque los nitritos, exceden los valores máximos para el desarrollo normal de la biota acuática.

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS RÍO LILI

Municipio De Cali, Enero De 1996

PARAMETROS	Cia de Minas
turbidez(UTN)	22
Sólidos totales(mg/l)	208
Demanda química de Oxígeno(mg/l)	42
Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/l)	8
Nitratos(mg/l NO ₃)	35
Fosfatos(mg/l PO ₄)	0.06
Coliformes totales(NMP/100ml)	<3
Coliformes fecales(NMP/100ml)	<3
Bacterias mesofilas(UCF/ml)	20
pH(unidades)	5.14
Temperatura(C)	19
Oxígeno disuelto(mg/l)	6.9

Fuente: ASOAMBIENTE 1996.

PRINCIPALES INSECTOS QUE HABITAN EN LAS AGUAS DEL RIO LILI

Nombres	Características
Leptonema	Presencia dominante, aunque en baja proporción en comparación con otros ríos. Aunque soportan variaciones en la calidad del agua. La acidez frena su desarrollo.
Rhagovelia	Conocidos como "Chinches patinadores", han logrado colonizar los ambientes alterados física y químicamente ya que viven por encima del agua.
OTRAS ESPECIES ENCONTRADAS: Este río es el que menos especies presenta, posiblemente debido a los continuos vertimientos de las minas de carbón que bajan el nivel de pH del agua a límites intolerables por los organismos acuáticos.	

Fuente: DAGMA. La Ciudad de los Siete Ríos: Santiago de Cali. Cali, Diciembre de 1997

PARÁMETROS A MONITOREAR RED 2 o RED DE ENTRADAS

Aprovechando la información disponible sobre parámetros históricos analizados, es importante resaltar el aporte de la CVC y su trabajo en la evaluación de la calidad del agua a partir de la toma de muestras en diferentes tramos de los ríos del Valle del Cauca, lo que da como resultado un registro de información de 40 sustancias presentes en el agua, que pueden servir de referencia para definir los más significativos en el caso de los ríos de Cali que son objeto de este estudio:

PARAMETROS

• Temperatura • Color • Turbiedad • Sólidos totales • Sólidos suspendidos • Sólidos disueltos • Demanda Bioquímica de Oxígeno • Demanda Química de Oxígeno • Oxígeno Disuelto • Dureza Total • Dureza Cálcica • Dureza Magnésica	• Calcio • Magnesio • Alcalinidad a la fenol • Alcalinidad total • Carbonatos • Bicarbonatos • Conductividad específica • Hierro • Manganeseo • Sodio • Potasio • Cobre • Cinc • Cloruros	• Sulfatos • Fosfatos • Fósforo total • Nitrógeno total • Nitrógeno amoniacal • Nitratos • Nitritos • Cadmio • Cromo • Níquel • Plomo • Coliformes Totales • Coliformes Fecales

Es importante anotar que los parámetros de la CVC presentan diferencias con los requeridos según el Decreto 1594 de 1984, ya que del total (40) solo nueve presentan límites máximos:

1. Cinc.
2. Cloruros.
3. Cobre.
4. Fosfatos.
5. Hierro.
6. Manganeseo.
7. Sulfatos.
8. Nitratos.
9. Nitritos.

Queda la propuesta de definir los parámetros a monitorear en cada río en función de los siguientes factores:

- a) La identificación de las actividades desarrolladas , aguas arriba de la estación.
- b) Los usos posibles dados del agua.
- c) Las necesidades manifestadas por el DAGMA de tener registros sobre parámetros específicos.
- d) La normatividad Internacional.

PARAMETROS EN FUNCION DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.

Si la selección de los parámetros se realiza en función de las actividades productivas que se desarrollan aguas arriba de la ciudad, para el caso de la red 2, es necesario caracterizar las actividades económicas de la ciudad.

En el estudio elaborado por el DAGMA en 1997 llamado "La ciudad de los siete Ríos", se hace una caracterización general de los principales

usos de los ríos de la ciudad, que permite identificar las presiones sobre el recurso hídrico.

ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y USOS DEL AGUA EN LAS PARTES ALTA, MEDIA Y BAJA DE LOS RÍOS DE CALI.

RIO	TRAMO	ACTIVIDAD. USO DEL AGUA
AGUACATAL	PARTE ALTA	ASENTAMIENTOS
CALI	PARTE ALTA	AGRICULTURA GANADERIA ASENTAMIENTOS
CAÑAVERALEJO	PARTE ALTA	AGRICULTURA GANADERIA PORCICULTURA RECEPTOR AGUAS RESIDUALES
CAUCA	PRIMER TRAMO	CONSUMO HUMANO AGRICULTURA PORCICULTURA RECEPTOR AGUAS RESIDUALES ASENTAMIENTOS
LILI	PARTE ALTA	MINERIA
MELENDEZ	PARTE ALTA	MINERIA AGRICULTURA
PANCE	PARTE ALTA	RECREACIÓN

FUENTE: DAGMA "La ciudad de los 7 ríos". Cali . Diciembre de 1997

Como se observa, las actividades predominantes en los ríos de Cali son la agricultura y la ganadería, las cuales generan una serie de desechos que alteran la calidad del agua, entre los cuales se encuentran:

- contaminación Proveniente de la agricultura:

Abonos y pesticidas con una serie de componentes altamente tóxicos para los humanos, entre los que se encuentran:

- Nitrato
- Cianuro
- Cinc
- Aldrin / dieldrin

- Bentazona
- Cianazina
- DDT
- 3- Cloropropano
- 1,2- Dibromoetano
- 1,3- Dicloropropano
- Hepoxido de heptacoloro
- Hexacolorobenceno
- Lindano
- Propanil

Muchos de estos elementos no presentan en el Decreto 1594 de 1984 valores máximos permitidos en el agua, lo que dificulta la selección de las sustancias que se ajusten a la normatividad en calidad del agua.

Adicionalmente se generan con la agricultura los *sólidos suspendidos* proveniente del lavado de suelo en los cultivos limpios.

- Contaminantes provenientes de la ganadería y agricultura:
 - Coliformes fecales.
 - Sólidos suspendidos.
 - Alteración del pH.

La minería, actividad que se desarrolla en los ríos Meléndez, Lili, Cañaveralejo y Aguacatal, genera contaminantes en grandes cantidades, algunos de ellos peligrosos para la salud humana como son:

- Mercurio Hierro
- Talio Cianuro

Adicionalmente se generan sólidos suspendidos, y la alteración del pH principalmente.

Teniendo en cuenta lo anterior, y evaluando únicamente la presencia de sustancias en función de las actividades principales en la parte alta de la cuenca, se propone para la RED 2 o RED DE ENTRADAS tener equipos para monitorear los siguientes parámetros:

Sólidos suspendidos

1. PH
2. Mercurio
3. Hierro
4. Coliformes Fecales
5. Coliformes Totales
6. Nitratos
7. Cianuro
8. Zinc

PARAMETROS EN FUNCION DE LAS NECESIDADES DEL DAGMA

La escogencia de parámetros en función de las necesidades del DAGMA, que como institución ambiental vela por la protección y conservación del recurso hídrico, buscando que las condiciones del agua en términos de calidad y cantidad sean las más apropiadas. En este caso la institución debe regirse a la normatividad ambiental, que evalúa las condiciones del agua en función de los nueve parámetros contemplados en el artículo 24 de Decreto 1594/84.

a) DBO5.

- b) DQO.
- c) Sólidos suspendidos.
- d) PH.
- e) Temperatura.
- f) Oxígeno disuelto.
- g) Caudal.
- h) Datos hidrobiológicos.
- i) Coliformes.

Adicionalmente debe tenerse en cuenta el listado de las sustancias de interés sanitario que puedan ser monitoreadas y muestreadas con equipos automáticos o portátiles, o en su defecto en laboratorio con pruebas validadas por el IDEAM¹.

PARÁMETROS EN FUNCION DE LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL.

Son tres las instituciones internacionales que presentan las sustancias permisibles en el agua, con su concentración máxima aceptable: El IFEN (Instituto Francés del Ambiente), La EPA (Enviroment Protection Agency), y la OMS (Organización Mundial de la Salud); siendo esta ultima la más exigente en relación a la calidad del agua que es utilizada para consumo humano.

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

Los parámetros de calidad de aguas de la OMS son los siguientes:

¹ Ver anexo protocolo del IDEAM.

1030

- Organolépticos: Sabor y olor, color, turbiedad.
- Constituyentes: Dureza, cloro residual, alcalinidad, hierro, manganeso, cobre
Inorgánicos sulfatos, cloruros, pH, aluminio, sodio, potasio, arsénico, flúor, metales pesados.
- Compuestos orgánicos.
- Compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas, cloro fenoles.
- Microbiológicos.

Dentro de los parámetros con significado sanitario de agua de consumo, se encuentra un extenso listado con sus valores guiados en miligramos por litro.

**PARÁMETROS CON SIGNIFICADO SANITARIO EN AGUA DE CONSUMO
CONSTITUYENTES INORGÁNICOS.**

PARAMETRO	VALOR GUIA OMS 1998 mg/l
ANTIMONIO	0,005
ARSÉNICO	0,01
BARIO	0,7
CADMIO	0,003
COBRE	2
CROMO	0.005
CIANUROS	0,07
FLUORUROS	1,5
PLOMO	0,01
MANGANESO	0,5
MERCURIO	0.001
MOLIBDENO	0,07
NIQUEL	0,02
NITRATOS	50
SELENIO	3
ZINC	0,01

Fuente. Organización Mundial de la Salud.

La OMS recomienda monitorear las sustancias que afectan directamente la salud de los humanos:

- Nitrato y Nitrito
- Plomo
- Arsénico
- Mercurio
- Otros constituyentes inorgánicos o metales pesados (Tabla 14.3)

Propone vigilar las concentraciones de los compuestos orgánicos, los hidrocarburos aromáticos, pesticidas, con la fijación de valores máximos de concentración.

Para los llamados "Desagües cloacales" se determinan unos máximos permitidos los cuales se presentan en la siguiente tabla.

NORMAS PARA DESAGÜES CLOCALES.

PARAMETRO	UNIDAD	DESAGÜES A COLECTORAS
pH	UpH	5.5-10
SSEE	mg/l	100
Sulfuros	mg/l	1
SS10(Compacto)	mg/l	0.5
DBO(Bruta)	mg/l	200
Ox. Consumida del KmnO4	mg/l	80
Cianuros totales(Res.799/99)	mg/l	1.0
Cianuros destructibles por Cloración	mg/l	0.1
Hidrocarburos	mg/l	50
Cromo Hexavalente	mg/l	0.2
Cromo trivalente (Res. 811/97)	mg/l	2

SRAO (detergentes)	mg/l	5
Cadmio	mg/l	0.1
Plomo	mg/l	0.5
Mercurio	mg/l	0.005
Arsénico	mg/l	0.5
Sustancias fenólicas	mg/l	0.5
Plaguicidas y herbicidas	-	-
Demanda de Cloro	mg/l	-

Fuente: Organización Mundial de la Salud

SELECCIÓN FINAL DE PARÁMETROS PARA RED 2 o RED DE ENTRADAS

Las metodologías seleccionadas para definir los parámetros a considerar como componentes de las estaciones de monitoreo que conformaran la red 2, llevan a definir como importantes aquellas sustancias que generan daños a la salud humana principalmente, en este caso son el MERCURIO, el PLOMO y los NITRATOS las que deben estar presentes principalmente.

En segundo lugar se deben considerar aquellos parámetros que están asociados con el uso del agua, como son:

- Hierro
- Talio

Como variables adicionales se deben incluir las consideradas en el artículo 24 del 1594 de 1984, que sujetas a una selección da como resultado el grupo de:

- Conductividad
- Turbidez
- PH

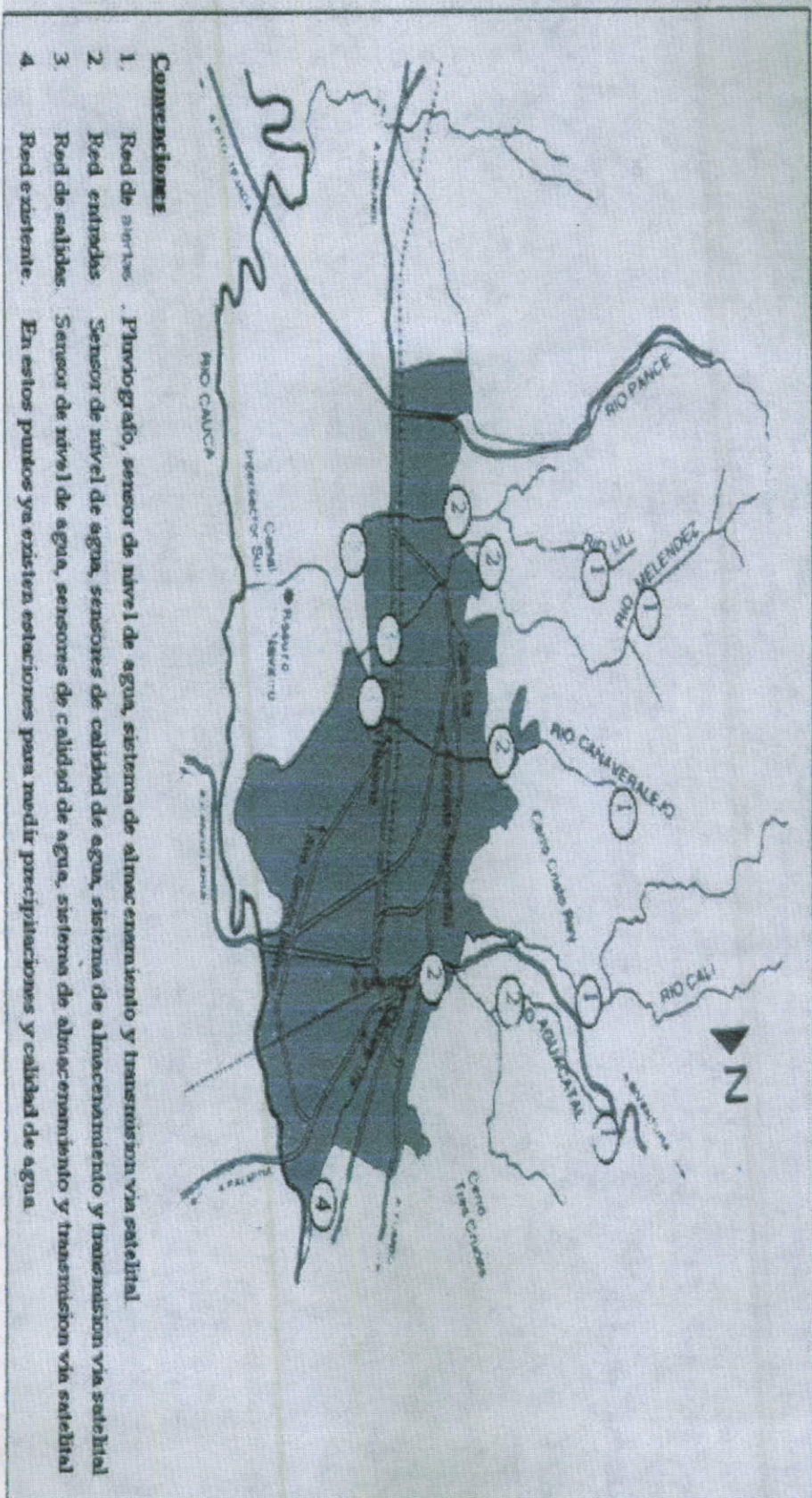
- Temperatura
- Oxigeno Disuelto

Estas variables deben ser monitoreadas para los 5 ríos donde se instalaran las estaciones por parte del DAGMA.

SELECCIÓN DE SITIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED 2 o RED DE ENTRADAS

A continuación se presenta mapa donde aparece la selección de los sitios de ubicación de las estaciones de Monitoreo, de la Red 2 o Red de Entradas; que se identifican en el mapa con el número 2. Posteriormente se expone, por río, propuesta de ubicación de la estación.

MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO



1035

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

1026

RÍO AGUACATAL

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el puente de El Club la Ribera.

RÍO CALI.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el sitio de bocatoma del acueducto San Antonio, específicamente en el sitio donde la C.V.C. tiene instalada la estación Pluviográfica y Limnimétrica Planta Río Cali (Ver Tabla de Ubicación de estaciones de C.V.C.).

RÍO CAÑAVERALEJO.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el sitio de el Puente de el crucero, en la entrada al corregimiento de la Sirena a una altura aproximada de 945 msnm, específicamente en el sitio donde la C.V.C. tiene instalada una estación Limnimétrica.

RÍO MELÉNDEZ.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el

sitio de el Puente de la Base Militar de Polvorines, corregimiento de la Buitrera a una altura aproximada de 990 msnm.

RIO LILÍ.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el sitio de el Puente de la Antigua mina de Carbón de cementos del Valle, a 200 m de la estación de policía del corregimiento de la Buitrera a una altura aproximada de 985 msnm

RESUMEN DE UBICACIÓN DE ESTACIONES
RED 2 o RED DE ENTRADAS

ITEM	RIOS			
	Aguacatal	Cali	Cañaveralajejo	Meléndez
Ubicación.	Puente Club La Ribera	Bocatoma Acueducto. San Antonio.	Puente el Crucero - entrada Sirena.	Puente Base Militar Polvorines
Altitud (msnm).			945	990
Tipo	Hidrológica y de Calidad	Hidrológica y de Calidad	Hidrológica y de Calidad	Hidrológica y de Calidad
				Puente Mina de Carbón Cementos del Valle
				985

EQUIPOS A IMPLEMENTAR EN LA RED 2 O RED DE ENTRADAS

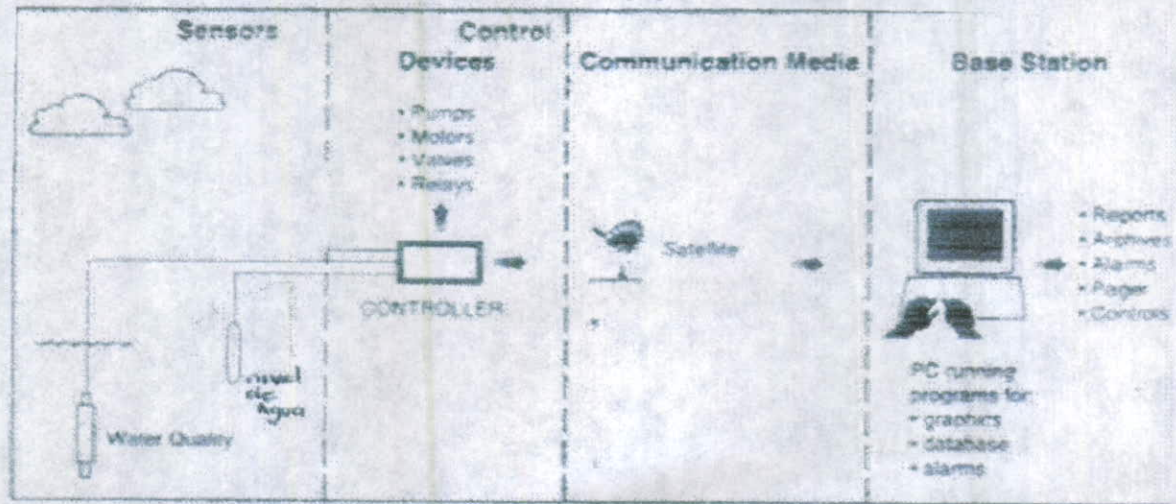
La Red 2 o Red de Entradas estará conformada por:

- Estaciones automáticas que permitirán obtener la información ambiental en tiempo real, la cual será procesada y enviada vía satélite a una Oficina de Control Central . Estas estaciones medirán nivel de agua (básicamente puestos de observación donde se encontraran instalados registradores continuos de nivel) y calidad de las aguas superficiales. En la Figura No. 12.1, se puede observar un acercamiento de lo que serían las estaciones de monitoreo continuo a implementar.

Los registros de la Estación serán almacenados en diferentes mecanismos de memoria de datos, para su posterior transmisión vía satélite, a la Oficina de Control Central, donde por medio de software especiales, se le permitirá al operador interactuar con el sistema y generar reportes sobre el comportamiento de los parámetros en el recurso hídrico evaluado, información que permitirá tomar medidas de prevención de riesgos y catástrofes que afecten directamente a la comunidad.

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

Esquema de funcionamiento de comunicación de equipos de la estación de monitoreo continuo⁶



El esquema típico de la estación de monitoreo automática, constara de los siguientes sistemas:

- ☞ Sistema de comunicación
- ☞ Sistema de transmisión
- ☞ Sistema de almacenamiento de datos
- ☞ Sistema de suministro de energía
- ☞ Sistema de montaje (plataforma)
- ☞ Sistema de medición de nivel de agua
- ☞ Sistema de medición de parámetros de calidad de agua
- ☞ Sistema de toma de muestras de agua.

⁶ Fuente: Catalogo HIDROLAB. Water Quality Instruments

A continuación se presentaran los diferentes dispositivos que hacen parte de los anteriores sistemas y que conforman los equipos a implementar en la Red.

DATALOGGER

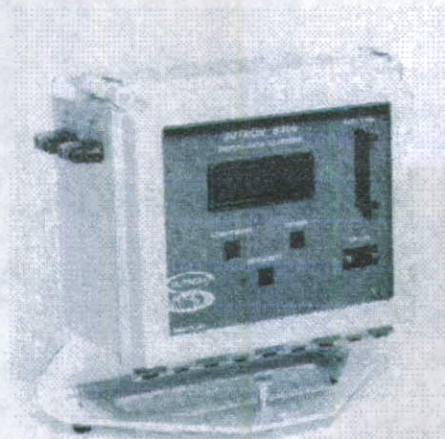


Figura 12.2

El Datalogger es el sistema de almacenamiento de datos en el sitio de monitoreo, el cual le permite a la estación tener las características de ser automática y continua, en cuanto a la recolección de los datos y la toma de los mismos. Este sistema de registro almacena los datos de tiempo real y los envía posteriormente a través de señal satelital, de acuerdo al protocolo de comunicación implementado.

El Datalogger como sistema de registro de datos tendrá como funciones principales:

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

- ☛ Ejecutar el programa estipulado de medición de los sensores de nivel de agua y de calidad del agua, cada periodo de tiempo que se le haya definido.
- ☛ Grabar en una de sus memorias los datos solicitados de acuerdo a una determinada programación y/o alarmas.
- ☛ Efectuar junto a la medición de los sensores, la medición del nivel de batería y de humedad interna con su respectivo sensor incorporado.
- ☛ Efectuar los cálculos necesarios para cumplir con su programación, archivando los mismos en la memoria que posee para tal fin y permitiendo su recolección y transmisión al Centro de Control para su análisis (impresión de reportes).

Las especificaciones para este equipo son las siguientes:

- El equipo de telemetría y monitoreo debe poder ser integrado con cualquier tipo de analizador específico o sensor que tenga como salida una señal eléctrica proporcional a la variable medida en mV o mA.
- El Módulo de medición y control debe estar protegido en cubierta de acero inoxidable, con microprocesador configurado para 32K ROM, 64k RAM.
- Sistema de operación tipo multi-tarea que permite simultáneamente la medición y comunicación de las diferentes variables.

1044

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

- Capacidad de almacenamiento de 60.000 datos, con opción de expansión a 500.000 datos.
- Programable a través de 30 instrucciones de medición, 43 instrucciones de proceso y 15 programas de control.
- Modulo de cableado en acero inoxidable, con protección de transientes para todas las entradas y salidas. Los datos son recolectados selectivamente de acuerdo a tiempos o eventos definidos por el usuario.
- Entradas análogas: 6 canales diferenciales o hasta 12 canales sencillos, configurables.
- Puertos digitales de entrada o salida: 8 puertos seleccionables como entradas binarias o salidas de control.
- Gabinete: Para colocación del modulo de suministro de potencia y sistema de telecomunicaciones. Dimensiones 16"x18"x5.5", en fibra de vidrio NEMA estabilizado contra UV y para la reflexión de la luz solar, reduciendo el gradiente de temperatura dentro del gabinete.

BATERIA DE ELECTROLITO.

Unidad de poder principal y acumulador de energía, la cual proveniente del panel solar. Tiene como función el mantener operando los dispositivos de la red de monitoreo.

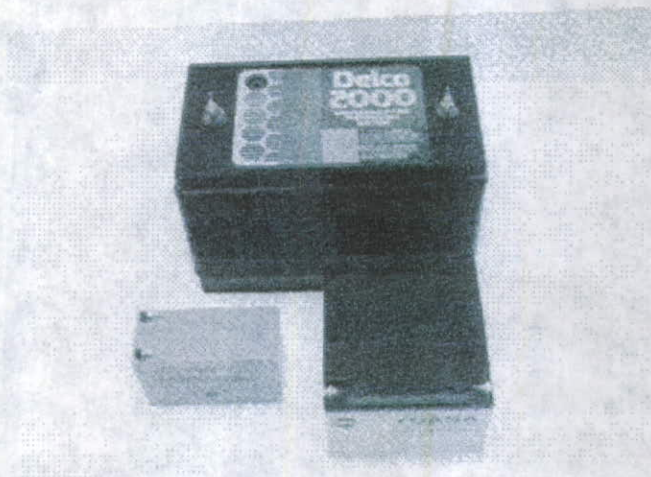


Figura 12.3

Las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta que van a ser equipos ubicados en zonas de cercanas de fácil acceso, se recomienda baterías que correspondan a las siguientes características:

Voltaje:	12 VDC
Capacidad:	7 AH o 24 AH
Peso:	5.84 lbs o 19.1 lbs
Dimensiones:	151mm Largo x 65 mm Ancho x 97.5 mm Alto O 166mm Largo x 175 mm Ancho x 125 mm Alto

PANEL SOLAR.



Figura 12.4

La función principal del panel solar, es la de mantener cargada la batería principal de suministro de poder, permitiendo la optima operación de las estaciones de monitoreo.

Especificaciones técnicas:

- Panel solar de 20 W, con soportes, cableado y conectores.
- Dimensiones del panel: 56.9 cm x 33 cm x 3.3 cm

SENSOR DE NIVEL.

Sensor de nivel -ultrasonico-



Figura 12.5

Dispositivo electrónico o mecánico, que tiene como función principal el registro continuo de los niveles del cuerpo de agua en la sección transversal definida para tal fin.

Para el caso de la Red 2 o Red de Entradas, el sistema de determinación de caudal, se realizará directamente sobre el río, a través de un sensor ultrasónico que se instalará a una altura de seguridad, sobre el máximo nivel del río.

El sensor de nivel ultrasonico, utiliza una serie de ondas de sonido transmitidas por el sensor de forma cónica. Las ondas de sonido se reflejan en la superficie del liquido y son recibidas por el sensor. El

sensor mide el intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción de la señal, convirtiéndola en una medida de distancia basada en la velocidad del sonido.

Este sensor no es afectado por el tipo de liquido o por el color del mismo (turbiedad) y funciona perfectamente en ambientes severos.

Los datos de nivel de agua que son receptadas por el sensor, son registradas por medio de una interfase hacia el Datalogger principal de la estación.

Los sensores ultrasónicos pueden ser instalados al aire ambiente y montados sobre plumas o por debajo de las estructuras de los puentes.

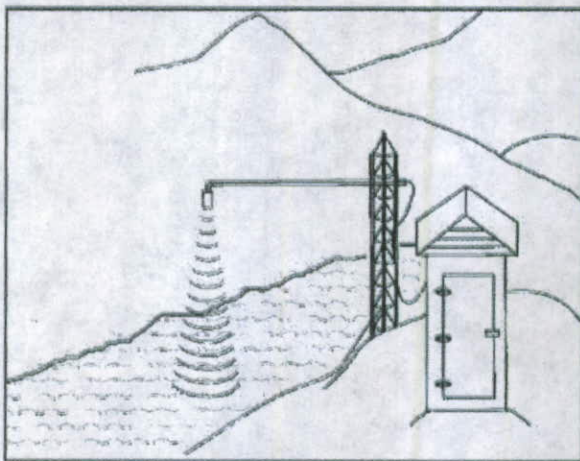


Figura 12.6

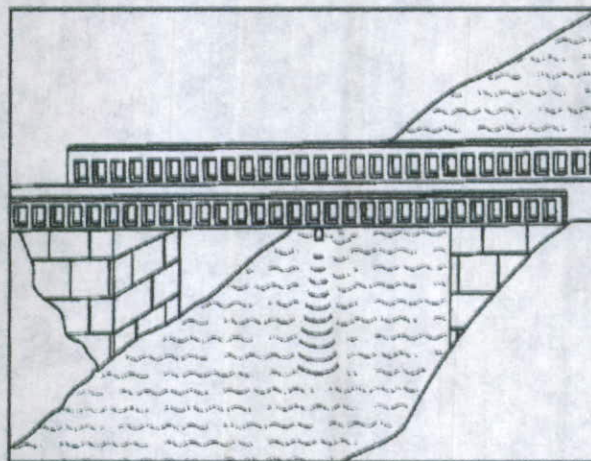


Figura 12.7

Especificaciones técnicas generales.

Tipo	:	ultrasónico
Rango	:	0.3 a 10.7 m.
Precisión	:	+/- 0.25 % del rango completo
Señal de salida	:	4 a 20 mA.
Resolución	:	2.5 mm

Suministro de voltaje: : 12 – 30 voltios DC.

Longitud Estándar del cable: : 1.8 metros de longitud.

Para este equipo, hay que tener en cuenta que a partir del levantamiento topográfico (altimetría y planimetría) de la sección transversal del río a la altura donde se ubicara la estación, se calculara el caudal de agua que cruza esa sección. Esta tarea debe ser realizada por quien se le adjudique la instalación y arranque de los equipos.

SENSORES DE CALIDAD DE AGUA.

Sonda Multiparamétrica

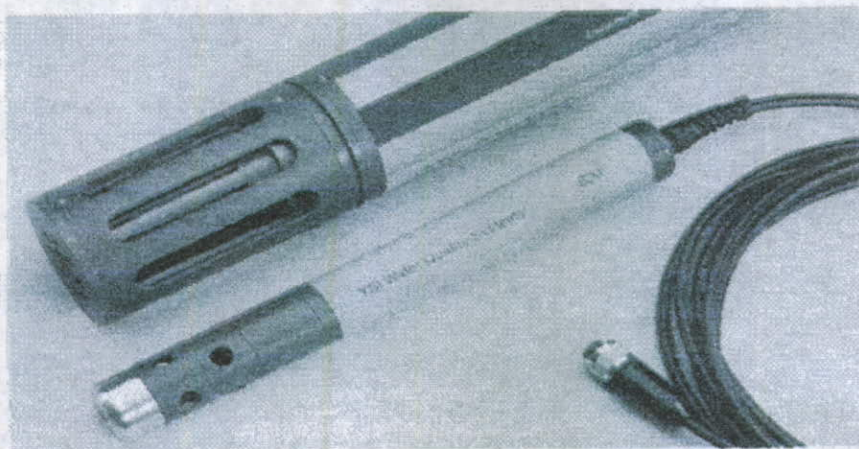


Figura 12.8

Sensores diseñados para monitorear continuamente parámetros de calidad de agua. Estos sensores necesitan menos de 2 pulgadas de agua libre para ejecutar la lectura.

Los sensores de calidad de agua pueden ser en dos presentaciones: sensores individuales para parámetros específicos o sondas multiparamétricas para lectura de diversos parámetros físico químicos.

Para el proyecto de implementación de las Red No.2, se determino la utilización de sondas multiparamétricas. Este tipo de sondas permiten registrar simultáneamente hasta 10 parámetros, lo que permite en un futuro, incluir otro tipo de sensores que sean relevantes en la evaluación de la contaminación de las aguas superficiales.

La estructura compacta de la sonda multiparamétrica que cubre los sensores, les da mayor seguridad contra daños por impacto y facilidad en las jornadas de calibración y mantenimiento.

La sonda multiparamétrica para medición de parámetros de calidad de agua In situ, incluirá los siguientes tipos de sensores:

Especificaciones técnicas:

- **pH**

Rango	:	0 a 14
Rango de temperatura	:	0°C a 70°C
Exactitud	:	± 0.1 unidad de pH
Longitud de cable	:	30 m

- **Temperatura**

Rango	:	0°C a 50 °C
Exactitud	:	± 0.1 °C
Longitud de cable	:	30 m

- **Conductividad**

Rango : 5 a 7500 microsiemens/cm
 Exactitud : ± 0.001 mS/cm
 Longitud de cable : 30 m

- **Turbiedad**

Rango : 0 a 400 NTU
 Exactitud : ± 0.01 NTU
 Longitud de cable : 30 m

- **Oxigeno Disuelto**

Rango : 0 a 50
 Tipo : Celda galvanica auto-polarizante con compensacion automativa por temperatura.
 Salida : mV
 Temperatura : $+ 4 / +40^{\circ}\text{C}$
 Repetibilidad : ± 0.2 mg/l

MUESTREADOR AUTOMATICO (REFRIGERADOS).

Los muestreadores automáticos con sistema de refrigeración, aseguran la colección de muestras de agua a intervalos de tiempo definidos en el programa de operación o se activa a partir de señales transmitidas por lectura de algún otro parámetro de lectura directa que este por fuera de los rangos definidos o permisibles.

La colección de muestras en un muestreador automático con sistema de refrigeración, permite el análisis de un mayor numero de parámetros químicos en el laboratorio.



Figura 12.9

Este dispositivo de toma de muestra, permite la colección de muestras compuestas o la colección de diversos tipos de muestras en recipientes independientes.

Un muestreador automático esta diseñado para monitorear de 12 a 24 muestras separadamente. Las muestras pueden ser colectadas de manera compuesta o en recipientes independientes. La frecuencia se define a intervalos de tiempo definidos o se puede activar la colección

1053

de muestras por el registro de otro parámetro de lectura directa que este excediendo algunos valores predefinidos.

Especificaciones técnicas generales:

- ☞ Dimensiones: Ancho 24" (61 cm), Profundidad 24" (61 cm), Alto 44 2 (112 cm), Peso 14 Lb (63 Kg).
- ☞ Bomba de muestreo: Velocidad peristáltica alta, rodillo dual, con tubo de la bomba de 3/8" (.95 cm) ID por 5/8" (1.59 cm)
- ☞ Cuerpo de la bomba: Resistente a fuertes impactos y a la corrosión, reforzado con fibra de vidrio.
- ☞ Elevación vertical: máxima de 27 ft (8.2 m)
- ☞ Rata de flujo de bombeo: 60 ml/s en una elevación de vertical de 3 ft (0.9 m) en un tubo de entrada de 3/8" ID.
- ☞ Volumen de muestra: programado en milímetros con incrementa de a 1 ml desde 10 a 9999 ml.
- ☞ Repetibilidad en el volumen de muestra: ± 10 ml
- ☞ Capacidad de la botellas de muestreo:
 - Compuestas
 - Botellas individuales
- ☞ Intervalos entre muestras: Seleccionable en incrementos individuales de 1 a 9999 pulsos de flujo o de 1 a 9999 minutos con incrementos de 1 minuto.
- ☞ Múltiplex: Modo de botellas múltiples: Múltiples muestras por botella y/o múltiples botellas para colección de muestras.

- ☞ Purga a la entrada: El aire es purgado automáticamente antes y después de cada toma de muestra. La duración es automáticamente compensada con la variación en las líneas de entrada.
- ☞ Caparazón de bomba/controlador: Resistente a los impactos, a prueba de agua y polvos, resistente a la corrosión y al hielo.
- ☞ Panel de control: teclado de membrana de 18 teclas y pantalla liquida para 24 caracteres alfanuméricos.
- ☞ Reloj interno: Indica el tiempo real y la fecha. Precisión de tiempo base de 0.007%
- ☞ Diagnósticos: Pruebas de RAM, ROM, bombas y distribuidores
- ☞ Programa postergado: el muestreo inicia a la hora y minutos programados.
- ☞ Muestreo manual: Inicia una colección de muestras independiente del programa de muestreo en progreso.
- ☞ Enjuague a la entrada: La línea de entrada automáticamente realiza un enjuague previo a la toma de la muestra, de 1 a 3 enjuagues.
- ☞ Fallas a la entrada: el ciclo de colección de muestreo automáticamente se repite de 1 a 3 veces, si la muestra no ha obtenido la orden de inicio.
- ☞ Múltiples programas: Almacena hasta cinco programas de muestreo.
- ☞ Registrador de datos: Registra la hora y fecha de inicio de programas de muestreo, almacena hasta 400 datos de hora y fecha de colección de muestras, estado operacional del equipo en el que se incluye el numero de minutos o pulsos, numero de botellas, numero de muestras colectadas, volumen de muestra colectada, numero de identificación de la muestra.
- ☞ Bloqueo de programa: Código de acceso para proteger la entrada al sistema operacional del muestreador.

1055

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

- ☛ Tubo de entrada: 1 / 4" (.64 cm) ID vinilo. 3/8" (.95 cm) ID vinilo. 3/8" ID línea de polietileno con protección externa de cubierta.
- ☛ Requerimientos de energía: 115 VAC, 60 Hz; Compresor amperage 1.5-2.0 A. Corriente del rotor de bloqueo 12 Amps.
- ☛ Batería interna: Vida útil de 5 años, batería de litio, mantiene la configuración de los programas de muestreo y la hora real del reloj.
- ☛ Protector de sobrecargas: Controlador: fusible de 5 amp DC. Compresor : La sobrecarga térmica se dispara por encima de los 110 °C.
- ☛ Sistema de refrigeración: Compresor de 1/10 HP, 75 Watt, 400 BTU/hr. Condensador del ventilador de 120 CFM. Aislamiento rígido de espuma. Termostato capaz de mantener el liquido en 4° a temperatura ambiente de 49°C. Precisión de ± 0.8 °C. Sello de puerta magnético. El cuerpo del refrigerador es de acero 22, recubierta con lamina de vinilo. Los componentes de refrigeración y la tubería de cobre son protegidos con resinas fenólicas.
- ☛ Rango de temperatura: Uso general: 0°C a 50°C; Pantalla de cristal liquido: opera entre -10°C a 70°C; Almacenamiento: -40°C a 80°C.

Este equipo será de gran utilidad, en la recolección de aquellas muestras que requieran ser llevadas al laboratorio para la determinación de su presencia y concentración, ese es el caso de: Mercurio, Plomo, Nitratos, Hierro, Talio.

Igualmente, durante los primeros años de funcionamiento del Sistema Integrado de Monitoreo de la Red Hídrica del Municipio Santiago de Cali, éste equipo será fundamental en el proceso de calibración de los equipos y de la red como tal; sirviendo de patrón para los equipos de la

red, permitiendo analizar diferentes muestras, y evaluar todos los parámetros, lo que permitirá cada determinado tiempo (lo recomendable: como mínimo 1 vez al mes), comparar los registros de las sondas (que registran parámetros in situ) corroborando el correcto (o indicando el incorrecto) funcionamiento de los sensores, igualmente permite corroborar la regularidad estadística de los espacios físicos encuestados, al eliminar posibles errores en los elementos primarios, se logra construir la secuencia correctamente. En caso contrario los encargados del funcionamiento de las redes deberán acudir a la calibración del equipo con problemas o a hacer un seguimiento de los "picos" o irregularidades del sistema hidrológico en cuestión.

Después de conocer los equipos base de la estación de monitoreo a implementar en la Red 2 o Red de Entradas, a continuación se presenta la figura N° 12.10 modelo de acercamiento a los componentes de la estación:

1057

DIAGRAMA DE ACERCAMIENTO A ESTACION DE MONITOREO

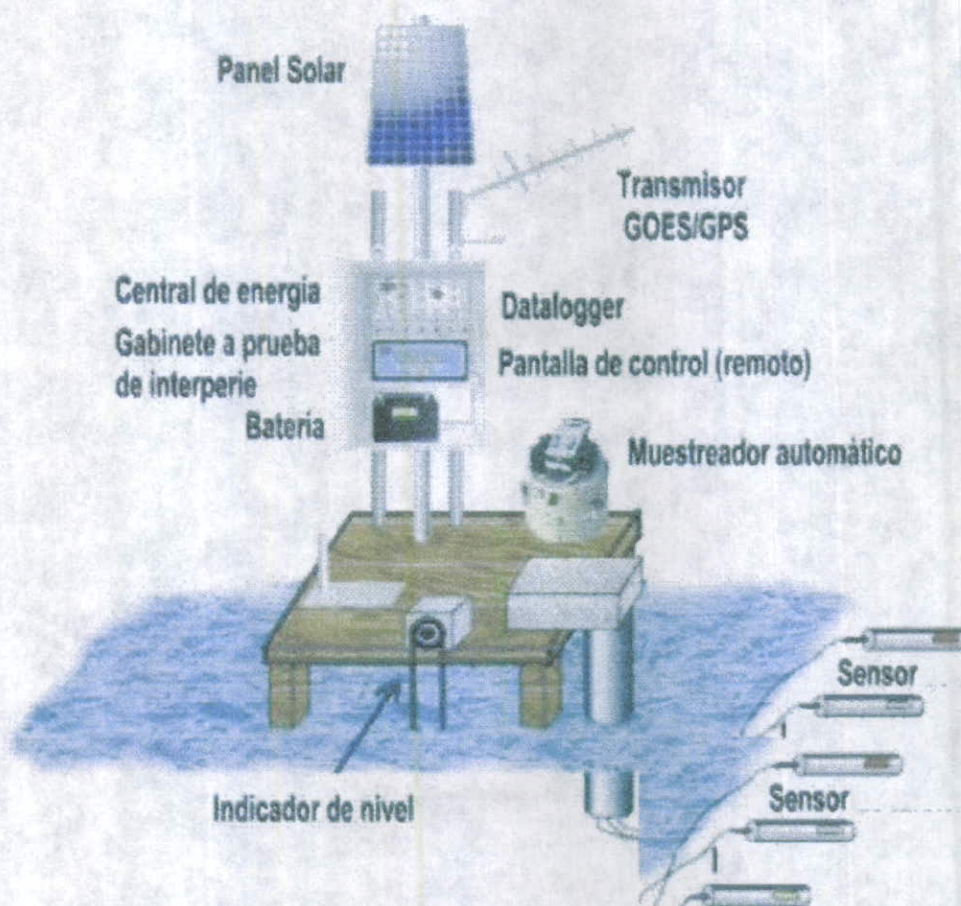


FIGURA 12.10

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRIA A TRAVÉS DEL SISTEMA SATELITAL GOES.

El sistema está previsto para establecer comunicaciones y transmisión de datos vía satelital, utilizando el Satélite GOES, aunque se debe diseñar, para que este en capacidad, en un futuro, de poder trabajar con otros sistemas de transmisión más eficientes. Por ello, se recomienda que el sistema de transmisión debe ser independiente del sistema de adquisición de datos.

Al ser el sistema de transmisión el Satélite GOES, los equipos deberán contar con la aprobación y homologación por parte de la NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE, DATA, AND INFORMATION SERVICE (NESDIS) que forma parte de la NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION de los Estados Unidos de América (NOAA). En caso tal que utilicen otro satélite los equipos deberán contar con la aprobación y homologación de quien los agencie.

Las estaciones remotas almacenarán los datos correspondientes de los sensores climatológicos e hidrológicos, junto a la medición del voltaje de la batería y humedad interna cuando se determine en forma periódica.

El concepto fundamental de la red hídrica proyectada, es que cada una de las estaciones fijas (remotas) es una unidad inteligente, la cual posee en su datalogger un programa que recibe la señal de los sensores, los procesa y los almacena. Con todas las opciones de comunicación: radio, módem dedicado, módem telefónico, módem celular y satélite. Para el

proyecto en estudio, todas las comunicaciones serán vía satélite, por las ventajas que representa, en la comunicación de estaciones remotas. (Ver documento sistema de comunicación).

Básicamente el proceso para la transmisión de la información se realiza en la secuencia que a continuación se expone:

1. *Percepción*, a través de un *Sensor* que será un instrumento que convierte el nivel o intensidad del fenómeno en una señal observable.
2. *Registro*, procedimiento que se utilizará para preservar la señal producida por los sensores. El registro será automático con sistemas de almacenamiento electrónicos.
3. *Transmisión*, que consistirá en la transferencia de los registros desde las estaciones hasta la central. La transmisión en *tiempo real* de la información, se hará a través de satélite. Cada determinado tiempo se recibirá la información, se espera que cuando la información se necesite, en el mediano plazo, el sitio de registro sea "encuestado" por el lugar central; el aparato de registro que tiene la información almacenada electrónicamente, la envíe hacia el sitio central en forma inmediata. La información de satélites es valiosa para la producción de pronósticos de inundaciones y para permitir acceso continuo a sitios de registro remotos que son difíciles de alcanzar por vía terrestre.
4. *Traducción*, que corresponde a la conversión de los registros desde su forma original dada por el instrumento de campo a registros computarizados para almacenamiento electrónico permanente.

5. *Edición*, en esta fase se verifican los registros traducidos al computador con el fin de corregir cualquier error obvio que pueda haber ocurrido durante cualquiera de los pasos previos. Algunos errores comunes incluyen desaciertos en la sincronización automática de las medidas registradas e información perdida en la transmisión y en la traducción, la cual puede ser recuperada analizando directamente el registro hecho en el campo.

6. *Almacenamiento*. La información editada se almacena en un archivo de información computarizada. Los datos son sistemáticamente compilados en archivos indexados por la localización y secuenciados por el tiempo de la medición.

7. *Recuperación*. La información podrá ser recuperada por parte de los usuarios, ya sea en una forma leíble por un computador, como una cinta magnética o un disco flexible, o una lista en papel.

FRECUENCIA DE MONITOREO RED 2 o RED DE ENTRADAS

Para la operación de red de estaciones de monitoreo, en la toma de datos se deben definir diferentes frecuencias, a saber:

➤ Frecuencia en la toma de datos de la estación automática de monitoreo. Para el caso específico de la Red No.2, la frecuencia debe ser de Quince (15) minutos, con una transmisión a la central alrededor de las 3 horas. Esta frecuencia de transmisión se debe definir

detalladamente, de acuerdo al protocolo final de comunicación y los permisos que se obtengan para la transmisión de datos.

➤ La frecuencia para el desarrollo de los programas de monitoreo puntuales; puede ser definida por la entidad administradora del recurso, quien de acuerdo con las necesidades y programas de seguimiento y control, determinara las frecuencias de medición de manera horaria, diaria, semanal, mensual o una vez cada dos o tres meses, dependiendo del nivel potencial de descargas contaminantes sobre el cuerpo de agua y la importancia del río en términos de uso del recurso.

La frecuencia en la toma de muestras de agua para realizar parámetros específicos, también dependerá de la capacidad de recepción y análisis de las muestras por parte del laboratorio químico de la entidad o de uno subcontratado. Deberá considerarse realizar las campañas de monitoreo periódicamente y no de manera permanente, a fin de evitar costos fijos innecesarios.

DISEÑO DE OBRA CIVIL RED 2 o RED DE ENTRADAS

Estas estaciones tendrán básicamente la siguiente distribución:

- ☞ Bocatoma de Fondo.
- ☞ Tanque de Monitoreo.
- ☞ Tanque de Bombeo.
- ☞ Caseta de Controles.

Para la instalación y localización de los Sistemas de Monitoreo. Se buscó adaptar una infraestructura sea sencilla, funcional y que permitiera registrar la información para las condiciones reales que se presentan en los ríos a lo largo del tiempo de monitoreo.

Para la instalación del muestreador de calidad del agua se predimensionó una bocatoma de fondo que captará el agua del río y la conducirá hasta un pozo donde se instalarán los sensores que realizarán los registros de los parámetros de calidad del agua. Como el propósito es medir durante las 24 horas del día los parámetros de calidad, se tomó como criterio mantener una lámina de agua de 0.80 m y un orificio (tipo vertedero) que permita mantener tiempos de retención inferior a 15 minutos aproximadamente en el pozo de medición, por esta razón se diseñó un pozo húmedo que captará los excedentes y mediante una bomba tipo sumergible se entregará el agua captada al río. Al lado de los pozos o sobre la parte superior se instalará la caseta donde estará la unidad de control del sistema.

El predimensionamiento del modelo de bocatoma típico, corresponde a los siguientes criterios:

1. Para el diseño de la bocatoma, rejilla y canal de aducción se tomó un caudal de 5 l/s.
2. El caudal medio y máximo del río es de 200 y 500 LPS.
3. El ancho de la sección típica se trabajó con 20 m.
4. Las cotas de diseño son arbitrarias, tomando como cota de fondo en el río la 100 msnm.

5. La profundidad de los pozos se tomó para efectos del cálculo de cantidades de obra de 4.50 m y con espesores de muros de 0.20 m. Estos muros se deben construir en hormigón armado de 3000 PSI.
6. El ancho de la bocatoma será de 0.50 m y la profundidad de 1.0 m. Su construcción será en concreto ciclópeo, excepto el canal de aducción.

El tipo de funcionamiento de muestreo, a implementar en la anterior estructura, sería el siguiente: la bocatoma de fondo tomará un caudal de diseño de 5 l/s, desde el centro del cauce del río y llevará el agua hasta el tanque de monitoreo, donde por efectos de colmatación se tendrá aproximadamente un caudal constante de 2.5 l/s. En el tanque de monitoreo se tendrá una boya flotante, la cual tendrá asegurada en su base, la sonda multiparamétrica en sentido horizontal. Desde la sonda hasta el datalogger se comunicará vía cableado. Contiguo al Tanque monitoreo estará el tanque de bombeo, desde el cual se bombeará el agua de retorno al río.

En el pozo húmedo se instalará una bomba tipo sumergible, cuyas condiciones preliminares de operación pueden ser:

Caudal de Bombeo : 30 LPS

Altura dinámica total : 15 m

Diámetro de conexión 3"

Potencia de la bomba: 5HP

1064

El diseño típico de la caseta para las diferentes estaciones de monitoreo estará construida en muros de ladrillo y losas de concreto armado⁷, con sus correspondientes instalaciones hidráulicas y eléctricas, con encerramiento de malla para evitar actos vandálicos. Adicionalmente, tendrá acceso para el personal encargado de realizar actividades de calibración y mantenimiento preventivo o correctivo a los dispositivos electrónicos que conforme la estación.

En esta estructura se almacenaran todos los dispositivos encargados de que la estación opere adecuadamente. Entre estos dispositivos se tiene: Batería, Datalogger, regulador de carga con corte por baja tensión de batería, el sistema electrónico de interfase que hace posible la comunicación entre todas las partes de la estación, y estas a su vez con el Centro de Control.

En esta estructura se almacenaran todos los dispositivos encargados de que la estación opere adecuadamente. Entre estos dispositivos se tiene: Batería, Datalogger, regulador de carga con corte por baja tensión de batería, muestreador automático, pozo de quietamiento en el cual estará sumergidos los sensores de medición de calidad de agua y el sistema electrónico de interfase que hace posible la comunicación entre todas las partes de la estación hidrológica y de calidad de agua, y estas a su vez con el Centro de Control.

⁷ Caseta modelo, del tipo implementado por la CVC; en sus estaciones de Monitoreo.

En la misma estación y en los exteriores de la caseta sobre la plancha, se ubicara el panel solar, la antena de transmisión satelital GOES y la antena pararrayos.

La anterior información deberá ser corroborada en los diseños definitivos.

Hay que tener en cuenta, que en este estudio solo se presentan acercamientos a los diseños de las estaciones de monitoreo, *predimensionamientos*, donde el consultor presenta una estación típica, a partir de la cual el DAGMA, se basará para asignar la respectiva licitación para el diseño y construcción definitiva.

A quien se le asigne la licitación, deberá llevar a cabo los diseños definitivos, y si es posible proponer alternativas, de estructuras para la medición de los parámetros de calidad y aforo en cada uno de los ríos de la ciudad. Además, deberá tener en cuenta; para la ubicación de las estaciones y de los sensores de nivel, la realización de un levantamiento topográfico; altimetría y planimetría de los sitios donde se localizarán las estaciones de medición y aforo, con secciones cada 20 m y en una longitud aproximada de 200m, como mínimo. En la sección transversal del río a la altura donde se ubicara la estación, se deberá calcular el caudal de agua que cruza esa sección, con el fin de poder realizar una simulación hidráulica del sistema, para conocer los niveles o alturas de láminas de agua en los cauces de los ríos, específicamente en el punto donde se localizará la estación de medición o monitoreo. Al igual, se tendrá que realizar un estudio de suelos en cada uno de los puntos donde se localizarán las estructuras de medición.

CASETA MODELO DE LA CVC

A continuación se hace una descripción de la caseta modelo de la CVC⁸, que corresponde a una infraestructura que se adapta a la caseta tipo, a implementar en las diferentes estaciones del Sistema de Monitoreo del Recurso Hídrico de la ciudad Santiago de Cali.

- **Cimiento en Concreto Ciclópeo:** Se construirá un cimiento perimetral en concreto ciclópeo de 0.40 x 0.70 m. El tamaño mínimo de la piedra será de 4" y la resistencia del concreto simple no podrá ser inferior a 2500p.s.i.
- **Viga de Amarre:** Se construya sobre el cimiento ciclópeo una viga de amarre perimetral que conectara la caseta con la estructura del pozo. La viga tendrá una sección útil de 0.20 x 0.30 m. Armada con refuerzo longitudinal de ½" de 60.000p.s.i. y estribos N°3 @ 0.20 m.
- **Base:** para la construcción de la cimentación de la caseta de análisis se preparará una base granular de e= 0.15 compactada, de área igual a la sección útil de la caseta, más espesor de muros, más 0.50m. a cada lado.
- **Muros:** los muros de la caseta se contruirán en concreto armado de 0.15m de espesor con refuerzo longitudinal de ½" de 60.000 p.s.i. y refuerzo transversal N°3 de 37.000p.s.i @ 0.20, el concreto tendrá una resistencia mínima de 3000 p.s.i.

⁸ Información suministrada por la CVC – División de Monitoreo Ambiental (Pliegos de Licitación SIMA 1), y visita a la Estación de Calidad FLORALIA - Río Cali

- Repello liso: Los muros se dejarán acabados con un repello liso de $e=0.02$, mortero 1=3 tanto en la parte interna como externa.
- Rejillas de ventilación y puerta metálica: para garantizar la circulación de aire en los muros laterales a la puerta de acceso, se dejarán dos rejillas para ventilación, de 0.50 x 0.70m. La rejilla serán de tipo doble persiana, construido tanto el marco como los difusores en platina, 1" x 1/8". Para acceso a la caseta se instalara una puerta metálica de 0.80 x 1.80 m construida en lamina plegada calibre 18, con marco para empotrar en muro. La puerta tendrá una cerradura tipo bodega y dos portacandados.
- Mesón para cubeta: para la instalación de lavamanos se construirá un mesón de concreto simple de 2500 p.s.i. de 0.60m x 1.20m x 1.10m. El cual será soportado por un marco metálico construido en ángulo de 2" que ira empotrado al muro.
- Instalaciones eléctricas, la caseta estará dotada en cada uno de sus muros de una salida y un toma de 110V y uno de los lados tendrá toma de 220V, habrá una salida para alumbrado interior y otra exterior.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias: para la dotación de agua, se hará una acometida de PVC de 1/2" con sus válvulas. El desagüe del lavamanos y piso irán en tubería sanitaria PVC de 2".
- Pintura: La caseta de análisis tendrá un acabado final en estuco, tanto en su parte externa como interna. Las rejillas de ventilación y la puerta irán acabadas con pintura p21, previo tratamiento con pintura anticorrosiva.
- Cerramiento: para un área de 4.0 x 4.0m. Se requiere encierro en malla eslabonada en alambre calibre 10, hueco de 2" de 1.50 m de altura, postes intermedios y esquineros en tubería de 1 1/2" por

2.0m de largo, con los respectivos gorros protectores en aluminio, los que deben ir anclados a la viga de amarre (0.25 x 0.25 x 0.25 m) en concreto de 3000 p.s.i. con acero longitudinal de 3/8" y flejes de 1/4" con la respectiva puerta en malla eslabonada en calibre 10, hueco de dos pulgadas y de dimensiones 1 x 1.5 m.

Las anteriores especificaciones pueden servir de guía para el diseño a implementar de la caseta, por parte del DAGMA, en las estaciones del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental del Recurso Hídrico. Se recomienda realizar una visita a alguna de las estaciones de la CVC.

ESTIMATIVO DE LA INVERSIÓN RED 2 o RED DE ENTRADAS

Conforme con la definición de la cantidad de estaciones que conformaran la Red de Entradas o Red No.2, para el monitoreo de parámetros hidrológicos y calidad del agua, a continuación en las siguientes Tablas, se estima el valor de la inversión que deberá realizarse para la adquisición, instalación y montaje de las estaciones de monitoreo hidrológicas y de calidad de agua con base al siguiente presupuesto.

Presupuesto de Inversión para la Red N° 2 o Red de Entradas
(En US\$ - Dolares: Valores de Diciembre del 2000)

Detalle	Cantidad	Vr Unitario	Total
Datalogger	5	\$2.974	\$14.870
Gabinete	5	\$750	\$3.750
Sistema de Montaje	5	\$300	\$1.500
Bateria DC, 12V	5	\$175	\$875
Panel solar, 20W	5	\$795	\$3.975
Cableado de poder	5	\$100	\$500
Unidad de transmisión GOES	5	\$3.755	\$18.775
Hardware convertir señal GOES- Telefonica*	1	\$50.000	\$50.000
Software para Windows*	1	\$1.105	\$1.105
Antena superior de transmisión	5	\$444	\$2.220
Antena GPS, con encerramiento y cableado	5	\$45	\$225
Caja de expansión SDI para los sensores -3p	1	\$376	\$376
Sensor de nivel ultrasonico	5	\$1.380	\$6.900
Sensor de Turbiedad	5	\$2.950	\$14.750
Cable de sensor de turbiedad (30m)	5	\$405	\$2.025
Sonda de conductividad, Temperatura, Oxigeno Disuelto y pH	5	\$4.792	\$23.960
Unidad de Display de datos y cables	5	\$1.343	\$6.715
Muestreador automatico con Refrig.	5	\$12.000	\$60.000
Construcción caseta y encerramiento	5	\$3.000	\$15.000
SUBTOTAL			\$227.521
Instalación de Equipos (20%)			\$45.504
Entrenamiento al Personal (5%)			\$11.376
Visita y Diseño de tareas específicas (5%)			\$11.376
SUBTOTAL			\$295.777
Imprevistos (10%)			\$29.578
Presupuesto Estimado Implementación RED 2			\$325.355

*De Estos Equipos, solo se comprarían Una Unidad de cu; y servirían para el funcionamiento las tres redes.
Fuente: Cotización DURESPO S.A. - División Ingeniería y Equipos. Precios a Diciembre del 2000.

1070

En la tabla Siguiete, se presentan los cálculos de las cantidades de obra y el presupuesto que aproximadamente se requiere para la construcción de cada una de las estructuras predimensionadas, tomando como base los precios unitarios de EMCALI, resolución 726 de abril 17 de 2000 y dela CVC del año 2000. Estas obras deben realizarse en todas las estaciones, aquí se expone el presupuesto para "una estación".

1071

PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DEL RECURSO HIDRICO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI.

DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI		PROYECTO: BOCATOMA FONDO TIPICA Y POZOS			
CUADRO DE ITEMES, CANTIDADES Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
A	MATERIALES				
1	Suministro de Bomba sumergible , Caudal 30 lps, 5HP, conexión 3"3" para pozo húmedo	#	2	\$ 6,867,000	\$ 13,734,000
2	Suministro de Codo 90°3" en HF, extremo liso para PVC	#	2	\$ 64,988	129,976
3	Suministro Válvula de retención de 3" HF, extremo liso para PVC	#	1	\$ 351,000	351,000
4	Suministro de tubería PVC unión mecánica diámetro 3"	ml	20	18,899	377,980
	SUBTOTAL MATERIALES				\$ 14,592,956
B	MANO DE OBRA				
1	Localización, Trazado y Replanteo Estacion Medición. Se ejecutará con nivel de precisión, personal calificado, incluye entrega de planos y carteras.	m ²	3000	\$ 496	1,488,000
2	Excavación a máquina bajo agua en material común hasta 4m de profundidad	m ³	116	\$ 4,139	480,124
3	Rellenos con material seleccionado de la excavación 95% Proctor Modificado compactado con equipo vibrocompactador	m ³	25	\$ 3,637	90,925
4	Retiro de materiales sobrantes para esparcir en el sitio	m ³	91	\$ 1,193	108,563
5	Mezcla y fundida de hormigón 210 kg/cm ² (300 psi), incluye materiales y mano de obra y colocación del concreto (No incluye formaleta)	m ³	9	\$ 257,579	2,318,211
6	Suministro, corte, figuración y colocación acero de refuerzo	Kg	720	\$ 2,197	1,581,840
7	Elaboración de formaleta en madera (2 usos), incluye mano de obra y materiales	m ²	25	\$ 11,830	295,750
8	Suministro y colocación de concreto ciclópeo, 40% piedra y 60% mezcla de 2500 PSI incluye materiales y mano de obra, para bocatoma de fondo (No incluye formaleta)	ml	20	\$ 160,966	3,219,320
9	Instalaciones eléctricas incluye el diseño y los materiales	Gl	1	\$ 2,253,250	2,253,250
10	Estudio de suelos dos apique como mínimo	Gl	1	\$ 1,560,000	1,560,000
	SUBTOTAL				\$ 13,395,983
	TOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA				\$ 27,988,939

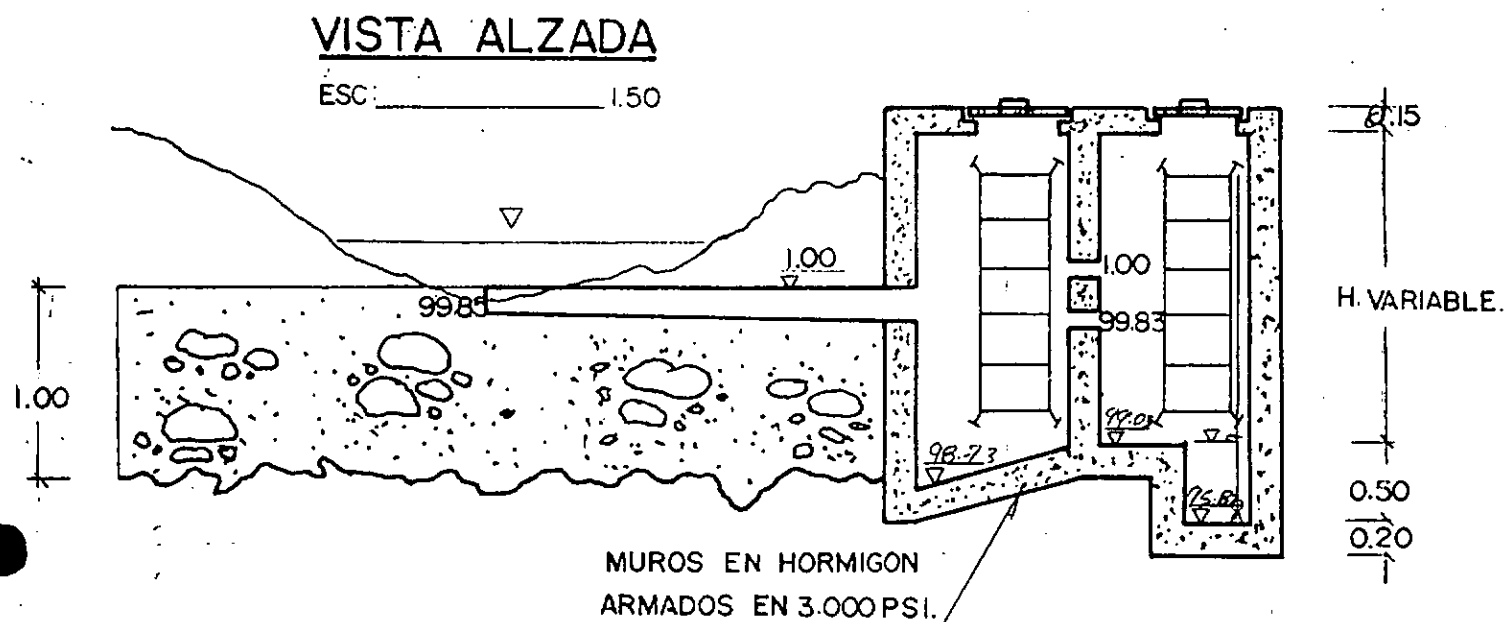
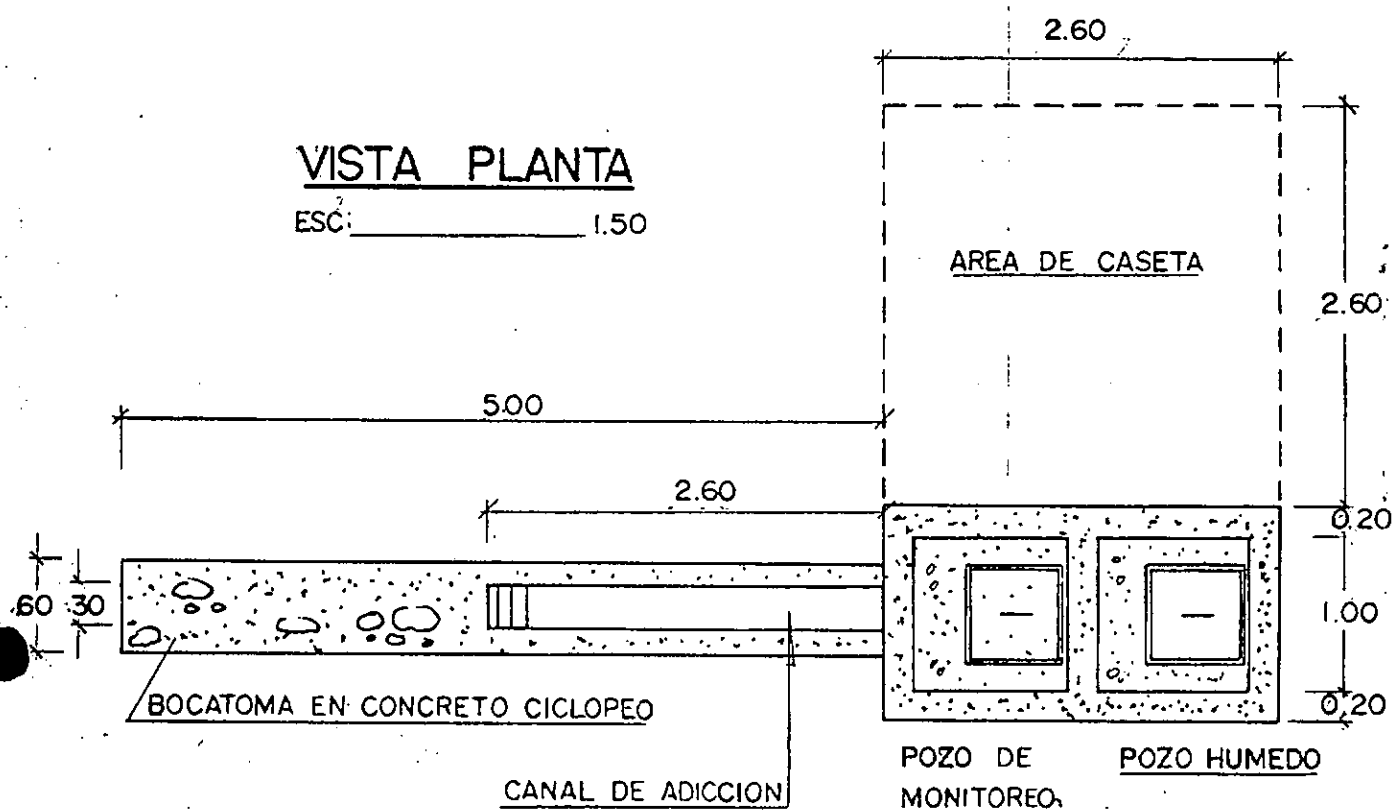
Fuente: CVC -EMCALI

ANEXO PREDIMENSIONAMIENTO

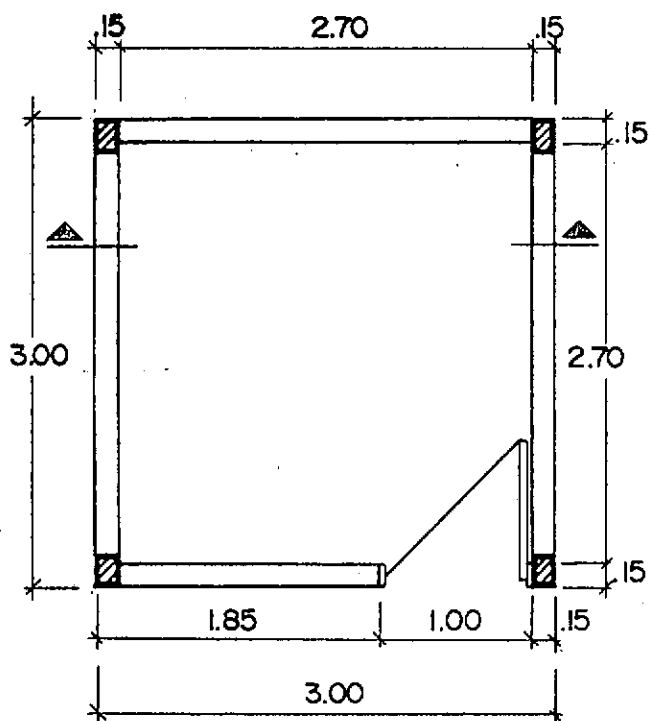
**CASETA MODELO
BOCATOMA**

DISEÑO DE BOCATOMA RED DE ALERTAS
 RED 1 Y RED 2

RED 1 Y RED 2



PLANO ARQUITECTONICO PLANTA

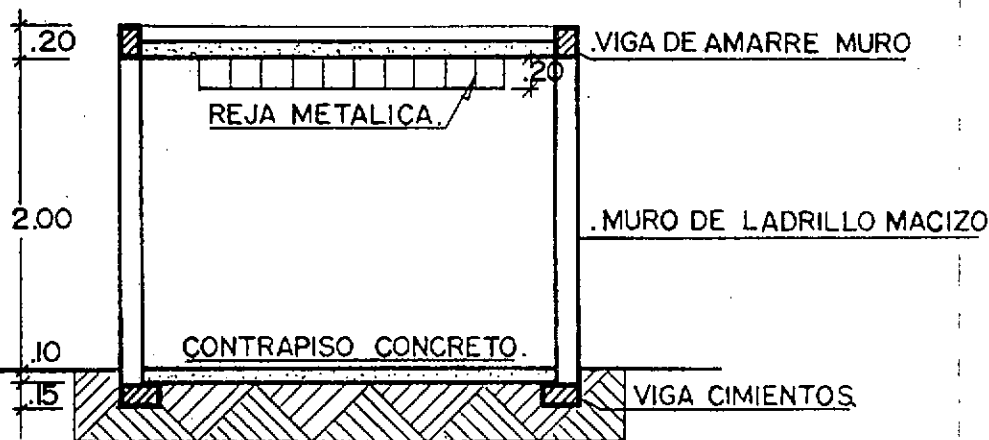


ESTACIONES DE
MONITOREO RED DE
ALERTAS, RED 1 Y
RED 2.

CASETA ESTANDAR. (PREDIMENSIONAMI.)

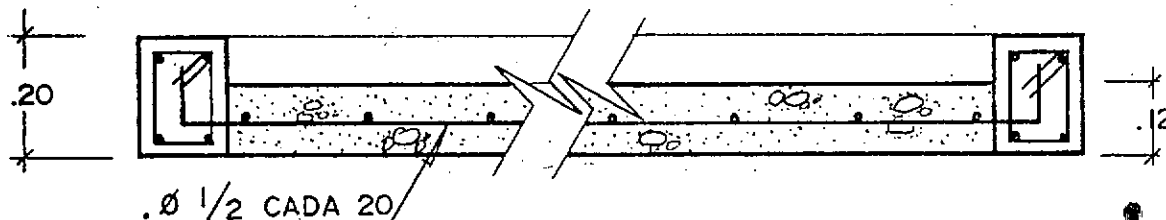
ESC: _____ 1.50

PLANO ARQUITECTONICO ALZADA.



DETALLE ESTRUCTURAL LOSA MACIZA

ESC: _____ 1.50



**DISEÑO DEL SISTEMA DE
MONITOREO RED1
O
RED DE SALIDAS**

1076

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED 1 o RED DE SALIDAS.	2
PRESENTACION	2
CARACTERIZACION DE LAS AGUAS DE LOS RIOS AL SALIR DE LA CIUDAD	3
RIO AGUACATAL	3
RIO CALI	4
RIO CAÑAVERALEJO	5
RIO MELENDEZ	6
RIO LILI	8
VERTIMIENTOS	10
PARÁMETROS A MONITOREAR RED 1 o RED DE SALIDAS	18
PARAMETROS EN FUNCION DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.	20
PARAMETROS EN FUNCION DE LAS NECESIDADES DEL DAGMA	23
PARÁMETROS EN FUNCION DE LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL.	24
SELECCIÓN FINAL DE PARÁMETROS PARA RED 1 o RED DE SALIDAS	27
SELECCIÓN DE SITIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED 1 o RED DE SALIDAS	28
RÍO AGUACATAL	31
RÍO CALI.	31
RÍO CAÑAVERALEJO.	31
RÍO MELÉNDEZ.	32
RIO LILÍ.	32
EQUIPOS A IMPLEMENTAR EN LA RED 2 o RED DE ENTRADAS	34
DATALOGGER	36
BATERIA DE ELECTROLITO.	39
PANEL SOLAR.	40
SENSOR DE NIVEL.	41
SENSORES DE CALIDAD DE AGUA.	43
MUESTREADOR AUTOMATICO (REFRIGERADOS).	45
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRIA A TRAVÉS DEL SISTEMA SATELITAL GOES.	51
FRECUENCIA DE MONITOREO RED 2 o RED DE ENTRADAS	53
DISEÑO DE OBRA CIVIL RED 2 o RED DE ENTRADAS	54
CASETA MODELO DE LA CVC	58
ESTIMATIVO DE LA INVERSIÓN RED 1 o RED DE SALIDAS	60

1077

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO RED 1 o RED DE SALIDAS.

PRESENTACION

La Red de Salidas, será parte del sistema integrado de monitoreo del recurso hídrico para la ciudad de Santiago de Cali, estará conformada por estaciones automáticas fijas, las cuales estarán ubicadas cerca de la desembocadura de los ríos de la ciudad. En esta red se tendrá en cuenta la determinación de parámetros de cantidad y calidad de las aguas a la salida del municipio, de tal forma que permita hacer una correlación entre los datos de entrada y los de salida, y obtener el impacto real que la ciudad tiene sobre estas fuentes de agua superficial, así como sus posibles recuperaciones, criterios y medidas de manejo.

Con la implementación de esta Red, se busca establecer un sistema automático de calidad de las aguas que permita obtener en tiempo real la información sobre la calidad de este recurso, para poder establecer de manera clara el manejo de las cuencas, la limitación de los vertimientos contaminantes y su depuración en origen, ya sean industriales, agropecuarios o urbanos.

Los resultados obtenidos en esta red, permitirán el desarrollo de programas de mejoramiento de usos del suelo en las cuencas y el manejo de las mismas; de los ríos Cali, Aguacatal, Cañaveralejo, Lili y Meléndez. Suministrará una fuente objetiva de información para responder preguntas que cuestionan la adecuada administración del recurso y adicionalmente suministrará las bases para mantener informada a la administración (DAGMA) a lo largo del proceso de la

toma de decisiones, ya que un adecuado monitoreo de los recursos hídricos se necesita a muchas escalas: la Cuenca, la Región, el Departamento y el Estado.

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS DE LOS RIOS AL SALIR DE LA CIUDAD

A continuación se hace una breve exposición de aspectos físico - químicos de los ríos de la ciudad de Santiago de Cali, para luego mostrar la caracterización de los vertimientos de la ciudad¹, información que servirá en la definición de los parámetros de calidad a implementar y monitorear en cada río.

RIO AGUACATAL²

A nivel de ecosistemas, la cuenca del río Aguacatal, presenta el mayor grado de deterioro reflejado en un menor índice de biodiversidad. En la zona urbana, presenta una acelerada invasión de asentamientos subnormales entre los cuales se destacan: Palmas I y II, Alto Aguacatal, El Realengo y Bajo Aguacatal, que generan deterioro tanto en la ladera como en el cuerpo de agua, debido al vertimiento de aguas residuales.

En análisis hidrobiológico del río, se encontró material orgánico parcialmente oxidado, cantidades apreciables de aminoácidos, provenientes de la descomposición de proteínas, además de otros compuestos ricos en energía. Antes de la desembocadura al río Cali,

¹ DAGMA. Estudio Técnico Soporte de tasas Retributivas en el Municipio de Santiago de Cali, Informe Parcial. Unión Temporal PROINSA LTDA y DBO Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

² HIDROINGENIERIA LTDA. Estudio Del Caudal Ecológico, Balance Hídrico, Indicadores Ambientales E Inventario Del Recurso Hídrico En Los Rios Cali, Aguacatal, Cañavalejo Y Meléndez Del Municipio De Santiago De Cali. Noviembre del 2000

el río presenta una fuerte oxidación que ocasiona una baja en el oxígeno disuelto.

El inventario de descargas al río, registra un total de 32 descargas tanto de origen natural como antrópica, en algunos de los casos combinada es decir, descargas naturales aprovechadas por los pobladores del sector para arrojar sus aguas servidas y basuras.

ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO EN EL RIO AGUACATAL

Municipio de Cali. Enero, 1996

Parametros	Colegio Nuestra Sra. de la Gracia	Desembocadura
Turbidez(UTN)	5.4	20
Solidos totales (mg/l)	193	363
Demanda quimica de oxigeno(mg/l)	39	34
Demanda bioquimica de oxigeno(mg/l)	8	12
Nitratos(mg/l NO ₃)	40	40
Fosfatos(mg/l PO ₃)	0.74	0.33
Coliformes totales(NMP/1000ml)	240000	1100000
Coliformes fecales(NMP/1000ml)40	240000	1100000
Bacterias mesofilas(UFC/ml)	128000	110000
pH(unidades)	7.45	7.27
Temperatura(C)	20.7	25.1
Oxigeno disuelto(mg/l)	6	4.8

Fuente: ASOAMBIENTE 1996.

RIO CALI³

En análisis Hidrobiológico se observo material orgánico parcialmente oxidado. En el puente de la Calle 20 con Av. De las América, presenta una fuerte oxidación que ocasiona una baja en el oxígeno disuelto, por lo cual se genera la presencia de gran cantidad de organismos de una misma especie y poca diversidad de población.

³ Ibid.

Es una cuenca que se encuentra bastante presionada por factores tales como la erosión, las lluvias torrenciales, explotación de canteras, invasiones de forma incontrolada y los aportes del río Aguacatal.

El inventario de descargas al río, registra un total de 124 descargas tanto de origen natural como antrópica, en algunos de los casos combinada es decir, descargas naturales aprovechadas por los pobladores del sector para arrojar sus aguas servidas y basuras.

Análisis físico - químicos y microbiológicos río Cali

Municipio de cali. Enero de 1.996

Parámetros	Licorera	Desembocadura
TURBIEDAD (U.T.J.)	23.0	25.3
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	171.0	195.0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	13.0	28.0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	2.0	2.50
NITRATOS (mg/NO3)	33.0	35.0
FOSFATOS (mg/PO4)	0.43	0.79
COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	110.000	2.400.000
COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)	21.000.000	930.000
PH (unidades)	6.53	7.02
TEMPERATURA (°C)	17.8	20.4
OXIGENO DISUELTO (OD) mg/l	7.3	3.5

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986.

RIO CAÑAVERALEJO⁴

Recibe descargas domésticas de la zona de la Sirena, así como de algunas casas campestres al llegar a la zona urbana se canaliza.

En el sector de la Sirena, se observa una fuerte oxidación que ocasiona una baja en el oxígeno disuelto, la presencia de gran cantidad de organismos de una misma especie y poca diversidad de población.

1081

El inventario de descargas al río, registra un total de 73 descargas tanto de origen natural como antrópica, en algunos de los casos combinada es decir, descargas naturales aprovechadas por los pobladores del sector para arrojar sus aguas servidas y basuras.

ANALISIS FISICO-QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS RIO CAÑAVERALEJO

MUNICIPIO DE CALI. ENERO DE 1996

Parámetros	Estación PLAZA DE TOROS	Estación SAN JUDAS
TURBIEDAD (U.T.J.)	125.0	150.0
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	468.0	694.0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	257.0	285.0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	127.30	70.0
NITRATOS (mg/NO ₃)	40.0	40.0
FOSFATOS (mg/PO ₄)	3.95	0.40
COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	460.000	2.400.000
COLIFORMES FECALIS (NMP/100ml)	460.000	2.400.000
PH (unidades)	6.82	6.33
TEMPERATURA (°C)	22.7	25.1
OXIGENO DISUELTO (OD) mg/l	0.3	0.7

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986.

RIO MELENDEZ⁵

Recibe las descargas de varias porquerizas, de poblaciones y de barrios de la zona residencial del Sur, también es utilizado para la recreación, aunque no es muy recomendable esta actividad debido a la fuerte contaminación que sufre.

El inventario de descargas al río, registra un total de 45 descargas tanto de origen natural como antrópica, en algunos de los casos combinada es decir, descargas naturales aprovechadas por los pobladores del sector para arrojar sus aguas servidas y basuras.

⁵ Ibid

1082

Los principales problemas en el área de influencia directa del río Meléndez son: la intensa e inadecuada actividad minera, la ocupación de la llanura de inundación, escorrentía concentrada y laderas deforestadas, la invasión de la zona de reserva, la insuficiencia hidráulica del puente de la autopista Simón Bolívar y la desembocadura del canal Nápoles.

1083

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS RÍO MELÉNDEZ

Municipio De Cali, Enero De 1996

PARAMETROS	ESTACION LA PLAYA	ESTACION DESEMBOCADURA
TURBIEDAD (U.T.J.)	11.0	18.0
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	76.0	11.0
TURBIEDAD (U.T.J.)	11.0	18.0
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	76.0	11.0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	12.0	29.0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (mg/l)	4.0	8.5
NITRATOS (mg/NO3)	35.0	35.0
FOSFATOS (mg/PO4)	0.03	0.08
COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	21.000	4.300.000
COLIFORMES FECALIS (NMP/100ml)	9.000	1.500.000
PH (unidades)	6.90	7.01
TEMPERATURA (°C)	18.4	22.3
OXIGENO DISUELTO (OD) mg/l	7.8	5.5

Fuente: ASOAMBIENTE, 1986.

RIO LILI⁶

A continuación se exponen los resultados del estudio realizado por ASOAMBIENTE, en el año 1996 para el caso del río Lili: Agosto 29/96, se realizó un tipo de muestreo superficial para aguas naturales de contacto primario y directo.

La Estación N° 3, localizada en los alrededores del barrio Ciudad Jardín, las mediciones de oxígeno disuelto indican un descenso en la concentración y esto se debe a que la concentración de amonio (0.4 mg/L), producto de los procesos de oxidación causados por la degradación de materia orgánica han aumentado.

⁶ ASOAMBIENTE. Caracterización Hidrológica y Evaluación de la Calidad de las Aguas de las Subcuencas del Municipio Santiago de Cali: Río Pance, Lili, Melendez, Cali, Cañaveralejo, Aguacatal y Cauca. Cali, 1996.

1084

Se conserva el carácter de acidez de las aguas (pH 5,0), aunque los registros de acidez total se relacionan directamente con los de gas carbónico, apreciándose disminución de incidencia de acidez mineral. Los otros parámetros, guardan estrecha relación con los hallados para la estación N° 1 (Compañía de Minas)⁷.

La estación N° 5 localizada en la desembocadura del canal sur. Esta estación muestra una situación totalmente diferente en cuanto al oxígeno disuelto, con 35% de saturación. Si se compara este déficit, con los registros de gas carbónico y de amonio encontrados, se puede inferir que existe una alta demanda bioquímica de oxígeno, producto de la oxidación que exigen los procesos de degradación de materia orgánica. Se pudo observar en la zona de influencia directa de la estación la presencia de sistemas de descarga de aguas residuales domésticas, lo que seguramente esta incidiendo en estos cambios.

El carácter de acidez de las aguas, a este nivel (6.2 unidades de pH) obedece fundamentalmente a la presencia del gas carbónico producto de estos procesos; mas que a incidencia de acidez mineral, puesto que al comparar con las dos estaciones anteriores, aparecen levemente (3.5 mg de CaCO₃) registros de alcalinidad total. Por otro lado, se aprecia una disminución en los valores de conductividad (0,22 mS/cm) y sólidos disueltos totales (108.5 mg/L).

Se nota también a esta altura del río una disminución de la dureza, en el límite cercano a la clasificación entre aguas blandas y semiduras, con mas del 50% de incidencia de carbonatos. En cuanto a la turbiedad, los valores encontrados (10.7 NTU), no influyen negativamente en el desarrollo de la biota acuática.

ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICOS EN EL RIO LILI

⁷ Se referencia en el capítulo 12 de la Red 2 o Red de Entradas

1085

Parámetros	Municipio de Cali, enero, 1996	
	Estaciones Ciudad Jardin	Estaciones Antes desembocadura
turbidez(UTN)	15	25
Sólidos totales(mg/l)	321	191
Demanda química de Oxígeno(mg/l)	71	37
Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/l)	15	7
Nitratos(mg/l NO ₃)	35	33
Fosfatos(mg/lPO ₄)	0.11	0.1
Coliformes totales(NMP/100ml)	400	9000
Coliformes fecales(NMP/100ml)	90	15000
Bacterias mesofilas(UCF/ml)	40000	92000
pH(unidades)	4.67	6.1
Temperatura(C)	21.7	23.4
Oxígeno disuelto(mg/l)	6.3	4.8

Fuente: ASOAMBIENTE 1996.

VERTIMIENTOS

En el estudio Técnico de Soporte de Tasas Retributivas para el Municipio de Santiago de Cali,¹ se presentan los parámetros utilizados para la caracterización de aguas residuales de la ciudad.

Los parámetros tenidos en cuenta fueron:

- ☐ Temperatura
- ☐ pH
- ☐ Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O)
- ☐ Demanda Química de Oxígeno
- ☐ Sólidos Suspendidos Totales
- ☐ Sólidos Suspendidos Volátiles
- ☐ Alcalinidad
- ☐ Grasas/aceites
- ☐ Cromo, Plomo, Mercurio, Cobre y Cinc
- ☐ Fósforo
- ☐ NTK
- ☐ Nitritos (NO₂)
- ☐ Nitratos (NO₃)

1086

Definidos los parámetros se seleccionaron unos puntos de muestreo, y se realizo la toma de muestras los días 18 y 21 de Septiembre del 2000 (Tiempo Seco), que a continuación se presenta un resumen de los resultados; por puntos de muestreo:

Colector Margen Izquierda Río Cali:

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	743.36 l/s
Caudal Mínimo Registrado	117.42 l/s
Temperatura Máxima	22°C
Temperatura Mínima	12°C
pH Máximo	7.6
pH Mínimo	5.9
Carga Orgánica	DBO 200 mg/l (Promedio) DQO 400 mg/l (Promedio)
Grasa/aceites	Conserva los valores típicos de las aguas residuales domesticas, no se sobrepaso la norma de 100 mg/l. Se registro 46.85 mg/L (Promedio).
Metales	Trazas de Cromo y en algunas ocasiones de Mercurio. También se observa presencia de Cobre y Zinc.
Nutrientes	El Nitrógeno y Fósforo presentan valores típicos de aguas residuales domésticas

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Río Cali Antes de Colector Margen Izquierda:

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	4643.4 l/s
Caudal Mínimo Registrado	2436.2 l/s
Temperatura Máxima	22°C
Temperatura Mínima	18.4°C
pH Máximo	7.8
pH Mínimo	5.0
Carga Orgánica	DBO 30.5 mg/l (Promedio) DQO 35.2 mg/l (Promedio)

1087

Grasa/aceites	Se encuentra en concentraciones bajas. 11.71 mg/L (Promedio)
Metales	Se observo algún tipo de contaminación con Cromo y Plomo, aunque muy distante de la norma. También se presento trazas de mercurio. En cuanto a cobre y Zinc están acordes con las aguas superficiales.
Nutrientes	El Nitrógeno y Fósforo presentes en el río pero en concentraciones bajas.

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

TABLA 13.8 Estación de Bombeo de Floralia

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	1250 l/s
Caudal Mínimo Registrado	250 l/s
Temperatura Máxima	24°C
Temperatura Mínima	10°C
pH Máximo	7.0
pH Mínimo	4.6
Carga Orgánica	DBO 294.5 mg/l (Promedio) DQO 529.66 mg/l (Promedio).
Grasa/aceites	Se encuentra en concentraciones bajas. 49.1 mg/L (Promedio)
Metales	Presencia de Cromo y Plomo aunque muy distante de la norma. En Cobre y Zinc en mínimas cantidades. Trazas de mercurio.
	El Nitrógeno y Fósforo presentes en concentraciones típicas de aguas residuales

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Colector Central

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	1600.3 l/s
Caudal Mínimo Registrado	149.0 l/s
Temperatura Máxima	27°C
Temperatura Mínima	21.4°C
pH Máximo	10.5
pH Mínimo	4.0
Carga Orgánica	Valores típicos de aguas residuales. DBO 312.5 mg/l (Promedio) DQO 600.33 mg/l (Promedio).
Grasa/aceites	Se encuentra en concentraciones bajas. 36.49 mg/L (Promedio)
Metales	Presencia de Cromo y Plomo aunque muy por debajo del nivel detectable por el método. En Cobre y Zinc en mínimas cantidades. Trazas de mercurio.

Nutrientes	El Nitrógeno y Fósforo presentes en concentraciones típicas de aguas residuales

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Estación de Bombeo Cañaveralejo

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	2188 l/s
Caudal Mínimo Registrado	1094 l/s
Temperatura Máxima	27°C
Temperatura Mínima	19°C
pH Máximo	7.5
pH Mínimo	4.4
Carga Orgánica	DBO 177.52 mg/l (Promedio) DQO 335.41 mg/l (Promedio).
Grasa/aceites	Se encuentra en concentraciones bajas. 44.88 mg/L (Promedio)
Metales	Presencia de Cromo y Plomo aunque muy por debajo de lo detectable por el metodo. En Cobre y Zinc en mínimas cantidades.
Nutrientes	El Nitrógeno y Fósforo presentes en concentraciones típicas de aguas residuales

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Estación de Bombeo Navarro

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	1200 l/s
Caudal Mínimo Registrado	300 l/s
Temperatura Máxima	25°C
Temperatura Mínima	10°C
pH Máximo	7.6
pH Mínimo	6.8
Carga Orgánica	DBO 93.91mg/l (Promedio) DQO 199.14 mg/l (Promedio).
Grasa/aceites	Se encuentra en concentraciones bajas. 28.74 mg/L (Promedio)
Metales	Presencia mínima de Cromo, Plomo y Mercurio están por debajo de lo detectable por el método. En Cobre y Zinc en mínimas cantidades.
Nutrientes	El Nitrógeno y Fósforo presentes en concentraciones típicas de aguas residuales

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Canal Sur

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	12092.70 l/s
Caudal Mínimo Registrado	2752.3 l/s
Temperatura Máxima	30°C
Temperatura Mínima	22°C
pH Máximo	7.1
pH Mínimo	6.0
Carga Orgánica	Se observo bajas concentraciones, debido a los altos niveles que presento el Río Cauca en la época en que se realizó el muestreo; se presenta mezcla de las aguas propias del canal y las aguas del río. DBO 9.9 mg/l (Promedio) DQO 28.43 mg/l (Promedio).
Grasa /aceites	12 mg/L (Promedio)
Metales	Presencia de Cromo, Plomo y Mercurio sin llegar a los valores limites de norma. En Cobre y Zinc en cantidades no preocupantes.
Nutrientes -	Los valores medios están por debajo de los niveles de las aguas residuales domesticas, porque el uso actual del canal es básicamente de alcantarillado. (Este parametro tambien se ve afectado por los niveles del Río Cauca)

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Estación de Bombeo de Puerto Mallarino

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	5600 l/s
Caudal Mínimo Registrado	900 l/s
Temperatura Máxima	28°C
Temperatura Mínima	20°C
pH Máximo	7.4
pH Mínimo	4.9
Carga Orgánica	Se observo un efluente diluido en una proporción de 4 a 1 aprox. DBO 62.88 mg/l (Promedio) DQO 121.98 mg/l (Promedio).
Grasas/ Aceites	No fue evaluado este parámetro.
Metales	Trazas de Cromo y Plomo. Mercurio por debajo del nivel detectable por el método. En Cobre y Zinc las cantidades tienen un comportamiento oscilante con rango de décimas a centésimas de mg/l.
Nutrientes	Concentraciones de Nitrógeno y Fósforo se encuentran diluidas.

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Estación de Bombeo Agua Blanca

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	399 l/s
Caudal Mínimo Registrado	35 l/s
Temperatura Máxima	26°C
Temperatura Mínima	24°C
pH Máximo	9.0
pH Mínimo	6.5
Carga Orgánica	Se observo bajas concentraciones, debido a los altos niveles que presento el Río Cauca en la época en que se realizó el muestreo; se presenta mezcla de las aguas propias del canal y las aguas del río. DBO 132.99 mg/l (Promedio) DQO 264.60 mg/l (Promedio).
Grasa/aceites	No fue evaluado este parámetro
Metales	Todos se encuentran a nivel de trazas, no se aproximan a los de la norma.
Nutrientes	La dilución en las concentraciones de Fósforo y Nitrógeno es evidente, aunque en proporción menor a la dilución que presenta la carga orgánica.

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Estación de Bombeo Paso del Comercio

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	673.90 l/s
Caudal Mínimo Registrado	600 l/s
Temperatura Máxima	28°C
Temperatura Mínima	21°C
pH Máximo	7.4
pH Mínimo	6.7
Carga Orgánica	Se observa dilución en una proporción aproximada 6 a 1. DBO 191 mg/l (Promedio) DQO 377.33 mg/l (Promedio).
Grasa/aceites	No fue evaluado este parámetro
Metales	Cromo a nivel de trazas, al igual que el plomo. Mercurio por debajo del limite de detección del método de análisis. Cobre y Zinc en concentraciones minimas
Nutrientes	La dilución en las concentraciones de Fósforo y Nitrógeno es evidente, aunque en proporción menor a la dilución que presenta la carga orgánica.

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

1091

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	1301.1 l/s
Caudal Mínimo Registrado	736.8 l/s
Temperatura Máxima	27°C
Temperatura Mínima	No es clara en el informe
pH Máximo	7.6
pH Mínimo	6.2
Carga Orgánica	Este punto es otra de las fuentes superficiales evaluadas y presenta una concentración de materia organica muy baja. Las concentraciones medidas con respecto a las aguas residuales Domésticas presentn una dilución de 1 en 100.
Grasa/aceites	No fue evaluado este parámetro
Metales	No fue evaluado este parámetro
Nutrientes	No fue evaluado este parámetro

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Río Melendez

Parámetros	Valor Registrado
Caudal Máximo Registrado	3441.60 l/s
Caudal Mínimo Registrado	1750.9 l/s
Temperatura Máxima	22°C
Temperatura Mínima	20°C
pH Máximo	11.2
pH Mínimo	6.3
Carga Orgánica	Este punto es otra de las fuentes superficiales evaluadas y presenta una concentración de materia organica muy baja. Las concentraciones medidas con respecto a las aguas residuales Domésticas presentn una dilución de 1 en 70.
Grasa/aceites	No fue evaluado este parámetro
Metales	No fue evaluado este parámetro
Nutrientes	No fue evaluado este parámetro

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó una distribución porcentual de aporte de cargas y caudales por punto de muestreo, que a continuación se muestra:

Principales Aportantes en Carga de DBO

Punto	Aporte Porcentual (%)
Punto No. 5 Estación de Bombeo Cañaveralejo	22.3
Punto No. 4. Colector Central	15.7
Punto No.8 Estación de Bombeo Puerto Mallarino	14.8
Punto No. 3 Estación de Bombeo Floralia	11.8
Punto No. 10 Estación de Bombeo Paso del Comercio	11.0
Punto No. 7 Canal Sur	8.0
Resto	16.4

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

La distribución de DQO es similar a la de DBO.

Principales Aportantes En Carga De SST

Punto	Aporte Porcentual
Punto No. 8 Estación de Bombeo Pto Mallarino	32.0
Punto No. 7 Canal Sur	14.3
Punto No. 5 Estación de Bombeo Cañaveralejo	13.0
Punto No. 2 Rio Cali antes de Colector M I	11.3
Punto No. 4 Colector Central	9.7
Resto	19.7

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Tabla 13.20 Principales Aportantes en Carga de Metales Pesados

Punto	Aporte Porcentual
Punto No. 7 Canal Sur	43.2
Punto No. 2 Rio Cali antes del Colector M I	31.7
Punto No. 8 Estación de Bombeo Pto Mallarino	10.8
Punto No. 4 Colector Central	4.8
Punto No. 10 Estación de Bombeo Paso del Comercio	3.5
Resto	6

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Principales Aportantes de Caudal

Punto	Aporte Porcentual
Punto No. 7 Canal Sur	49.3
Punto No. 2 Rio Cali antes del Colector M I	19.4
Punto No. 8 Estación de Bombeo Pto Mallarino	13.2
Punto No. 5 Estación de Bombeo Cañaveralejo	6.7
Punto No. 10 Estación de Bombeo Paso del Comercio	3.2
Colector Central	2.4
Resto	5.8

Fuente: Estudio Técnico De Soporte De Tasas Retributivas Para El Municipio De Santiago De Cali, Realizado Por La Unión Temporal "PROINSA LTDA -D.B.O. Ingeniería Sanitaria Ltda. Septiembre del 2000.

Como se observa en las tablas anteriores las concentraciones de metales pesados como plomo y mercurio están presentes en el río Cali, además de otras sustancias no monitoreadas y analizadas que inciden en los cambios de temperatura del agua; adicionalmente se encuentran cromo, cobre y zinc en concentraciones inferiores a la norma para vertimientos a los alcantarillados públicos (Art 73 del Decreto 1594 de 1984); Lo interesante es que se toman los vertimientos de los colectores para las muestras, haciendo que el río Cali se catalogue como un "alcantarillado" en la parte baja.

Es importante entonces modificar con un acuerdo estas instituciones como el DAGMA, la CVC y EMCALI Gerencia de Acueducto y Alcantarillado, la concepción de usos del agua en la zona urbana de la ciudad, permitidas sean menores y las condiciones del agua mejoren en el tiempo.

PARÁMETROS A MONITOREAR RED 1 o RED DE SALIDAS

Aprovechando la información disponible sobre parámetros históricos analizados, es importante resaltar el aporte de la CVC y su trabajo en la evaluación de la calidad del agua a partir de la toma de muestras en diferentes tramos de los ríos del Valle del Cauca, lo que da como resultado un registro de información de 40 sustancias presentes en el agua, que pueden servir de referencia para definir los más significativos en el caso de los ríos de Cali que son objeto de este estudio:

TABLA 13.22 PARAMETROS

• Temperatura • Color • Turbiedad • Sólidos totales • Sólidos suspendidos • Sólidos disueltos • Demanda Bioquímica de Oxígeno • Demanda Química de Oxígeno • Oxígeno Disuelto • Dureza Total • Dureza Cálcica • Dureza Magnésica	• Calcio • Magnesio • Alcalinidad a la fenol • Alcalinidad total • Carbonatos • Bicarbonatos • Conductividad específica • Hierro • Manganeseo • Sodio • Potasio • Cobre • Cinc • Cloruros	• Sulfatos • Fosfatos • Fósforo total • Nitrógeno total • Nitrógeno amoniacal • Nitratos • Nitritos • Cadmio • Cromo • Níquel • Plomo • Coliformes Totales • Coliformes Fecales

Es importante anotar que los parámetros de la CVC presentan diferencias con los requeridos según el Decreto 1594 de 1984, ya que del total (40) solo nueve presentan límites máximos:

1. Cinc.
2. Cloruros.
3. Cobre.
4. Fosfatos.
5. Hierro.

1095

6. Manganeseo.
7. Sulfatos.
8. Nitratos.
9. Nitritos.

Queda la propuesta de definir los parámetros a monitorear en cada río en función de los siguientes factores:

- a) La identificación de las actividades desarrolladas, aguas arriba de la estación.
- b) Los usos posibles dados del agua.
- c) Las necesidades manifestadas por el DAGMA de tener registros sobre parámetros específicos.
- d) La normatividad Internacional.

PARAMETROS EN FUNCION DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.

Si la selección de los parámetros se realiza en función de las actividades productivas que se desarrollan aguas arriba de la ciudad, para el caso de la red 2, es necesario caracterizar las actividades económicas de la ciudad.

En el estudio elaborado por el DAGMA en 1997 llamado "La ciudad de los siete Ríos", se hace una caracterización general de los principales usos de los ríos de la ciudad, que permite identificar las presiones sobre el recurso hídrico.

1096

ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y USOS DEL AGUA EN LAS PARTES MEDIA Y BAJA DE LOS RÍOS DE CALI.

RIO	TRAMO	ACTIVIDAD. USO DEL AGUA
AGUACATAL	PARTE MEDIA	- ASENTAMIENTOS - MINERIA
	PARTE BAJA	ASENTAMIENTOS
CALI	PARTE MEDIA	AGRICULTURA ASENTAMIENTOS RECEPTOR AGUAS RESIDUALES CONSUMO HUMANO
	PARTE BAJA	ASENTAMIENTOS RECEPTOR AGUAS RESIDUALES CONSUMO HUMANO
CAÑAVERALEJO	PARTE MEDIA	RECEPTOR AGUAS RESIDUALES MINERIA
	PARTE BAJA	RECEPTOR AGUAS RESIDUALES
CAUCA	SEGUNDO TRAMO	RECEPTOR AGUAS RESIDUALES ASENTAMIENTOS
LILI	PARTE MEDIA	RECREACIÓN RECEPTOR AGUAS RESIDUALES
	PARTE BAJA	AGRICULTURA RECEPTOR AGUAS RESIDUALES
MELENDEZ	PARTE MEDIA	RECREACIÓN CONSUMO HUMANO
	PARTE BAJA	AGRICULTURA MECANIZADA GANADERIA RECEPTOR AGUAS RESIDUALES
PANCE	PARTE MEDIA	RECREACIÓN ASENTAMIENTOS
	PARTE BAJA	ASENTAMIENTOS AGRICULTURA GANADERIA RECREACION

FUENTE: DAGMA "La ciudad de los 7 ríos". Cali . Dic/ de 97

Como se observa, las actividades predominantes en los ríos de Cali son la agricultura y la ganadería, las cuales generan una serie de

desechos que alteran la calidad del agua, entre los cuales se encuentran:

- contaminación Proveniente de la agricultura:
Abonos y pesticidas con una serie de componentes altamente tóxicos para los humanos, entre los que se encuentran:
 - Nitrato
 - Cianuro
 - Cinc
 - Aldrin / dieldrin
 - Bentazona
 - Cianazina
 - DDT
 - 3- Cloropropano
 - 1,2- Dibromoetano
 - 1,3- Dicloropropano
 - Hepoxido de heptacloro
 - Hexaclorobenceno
 - Lindano
 - Propanil

Muchos de estos elementos no presentan en el Decreto 1594 de 1984 valores máximos permitidos en el agua, lo que dificulta la selección de las sustancias que se ajusten a la normatividad en calidad del agua.

Adicionalmente se generan con la agricultura los *sólidos suspendidos* proveniente del lavado de suelo en los cultivos limpios.

- Contaminantes provenientes de la ganadería y agricultura:
 - Coliformes fecales.

1098

- Sólidos suspendidos.
- Alteración del pH.

La minería, actividad que se desarrolla en los ríos Meléndez, Lili, Cañaveralejo y Aguacatal, genera contaminantes en grandes cantidades, algunos de ellos peligrosos para la salud humana como son:

- Mercurio Hierro
- Talio Cianuro

Adicionalmente se generan sólidos suspendidos, y la alteración del pH principalmente.

Teniendo en cuenta lo anterior, y evaluando únicamente la presencia de sustancias en función de las actividades principales en la parte media y baja de la cuenca, se propone para la RED 1 o RED DE SALIDAS tener equipos para monitorear los siguientes parámetros:

1. Sólidos suspendidos
2. PH
3. Mercurio
4. Hierro
5. Coliformes Fecales
6. Coliformes Totales
7. Nitratos
8. Cianuro
9. Zinc

PARAMETROS EN FUNCION DE LAS NECESIDADES DEL DAGMA

La escogencia de parámetros en función de las necesidades del DAGMA, que como institución ambiental vela por la protección y

conservación del recurso hídrico, buscando que las condiciones del agua en términos de calidad y cantidad sean las más apropiadas. En este caso la institución debe regirse a la normatividad ambiental, que evalúa las condiciones del agua en función de los nueve parámetros contemplados en el artículo 24 de Decreto 1594/84.

- a) DBO5.
- b) DQO.
- c) Sólidos suspendidos.
- d) PH.
- e) Temperatura.
- f) Oxígeno disuelto.
- g) Caudal.
- h) Datos hidrobiológicos.
- i) Coliformes.

Adicionalmente debe tenerse en cuenta el listado de las sustancias de interés sanitario que puedan ser monitoreadas y muestreadas con equipos automáticos o portátiles, o en su defecto en laboratorio con pruebas validadas por el IDEAM¹.

PARÁMETROS EN FUNCION DE LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL.

Son tres las instituciones internacionales que presentan las sustancias permisibles en el agua, con su concentración máxima aceptable: El IFEN (Instituto Francés del Ambiente), La EPA (Environment Protection Agency), y la OMS (Organización Mundial de la Salud); siendo esta

ultima la más exigente en relación a la calidad del agua que es utilizada para consumo humano.

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

Los parámetros de calidad de aguas de la OMS son los siguientes:

- Organolépticos: Sabor y olor, color, turbiedad.
- Constituyentes: Dureza, cloro residual, alcalinidad, hierro, manganeso, cobre
Inorgánicos sulfatos, cloruros, pH, aluminio, sodio, potasio, arsénico, flúor, metales pesados.

- Compuestos orgánicos.
- Compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas, cloro fenoles.
- Microbiológicos.

Dentro de los parámetros con significado sanitario de agua de consumo, se encuentra un extenso listados con sus valores guiados en miligramos por litro.

**PARÁMETROS CON SIGNIFICADO SANITARIO EN AGUA DE CONSUMO
CONSTITUYENTES INORGÁNICOS.**

¹ Ver anexo protocolos del IDEAM.

1101

PARAMETRO	VALOR GUIA OMS 1998 mg/l
ANTIMONIO	0,005
ARSÉNICO	0,01
BARIO	0,7
CADMIO	0,003
COBRE	2
CIANUROS	0,07
FLUORUROS	1,5
PLOMO	0,01
MANGANESO	0,5
MERCURIO	0,001
CROMO	0,005
MOLIBDENO	0,07
NIQUEL	0,02
NITRATOS	50
SELENIO	3
ZINC	0,01

Fuente. Organización Mundial de la Salud.

La OMS recomienda monitorear las sustancias que afectan directamente la salud de los humanos:

- Nitrato y Nitrito
- Plomo
- Arsénico
- Mercurio
- Otros constituyentes inorgánicos o metales pesados (Tabla 14.3)

Propone vigilar las concentraciones de los compuestos orgánicos, los hidrocarburos aromáticos, pesticidas, con la fijación de valores máximos de concentración.

Para los llamados "Desagües cloacales" se determinan unos máximos permitidos los cuales se presentan en la siguiente tabla.

NORMAS PARA DESAGÜES CLOACALES.

PARAMETRO	UNIDAD	DESAGÜES A COLECTORAS
pH	UpH	5.5-10
SSEE	mg/l	100
Sulfuros	mg/l	1
SS10(Compacto)	mg/l	0.5
DBO(Bruta)	mg/l	200
Ox. Consumido del KmnO4	mg/l	80
Cianuros totales(Res.799/99)	mg/l	1.0
Cianuros destructibles por Cloración	mg/l	0.1
Hidrocarburos	mg/l	50
Cromo Hexavalente	mg/l	0.2
Cromo trivalente (Res. 811/97)	mg/l	2
SRAO (detergentes)	mg/l	5
Cadmio	mg/l	0.1
Plomo	mg/l	0.5
Mercurio	mg/l	0.005
Arsénico	mg/l	0.5
Sustancias fenólicas	mg/l	0.5
Plaguicidas y herbicidas	—	—
Demanda de Cloro	mg/l	—

Fuente: Organización Mundial de la Salud

SELECCIÓN FINAL DE PARÁMETROS PARA RED 1 o RED DE SALIDAS

Las metodologías seleccionadas para definir los parámetros a considerar como componentes de las estaciones de monitoreo que conformaran la red 1, llevan a definir como importantes aquellas sustancias que generan daños a la salud humana principalmente, en este caso son el MERCURIO, el PLOMO y los NITRATOS las que deben estar presentes principalmente.

En segundo lugar se deben considerar aquellos parámetros que están asociados con el uso del agua, como son:

- Hierro
- Talio

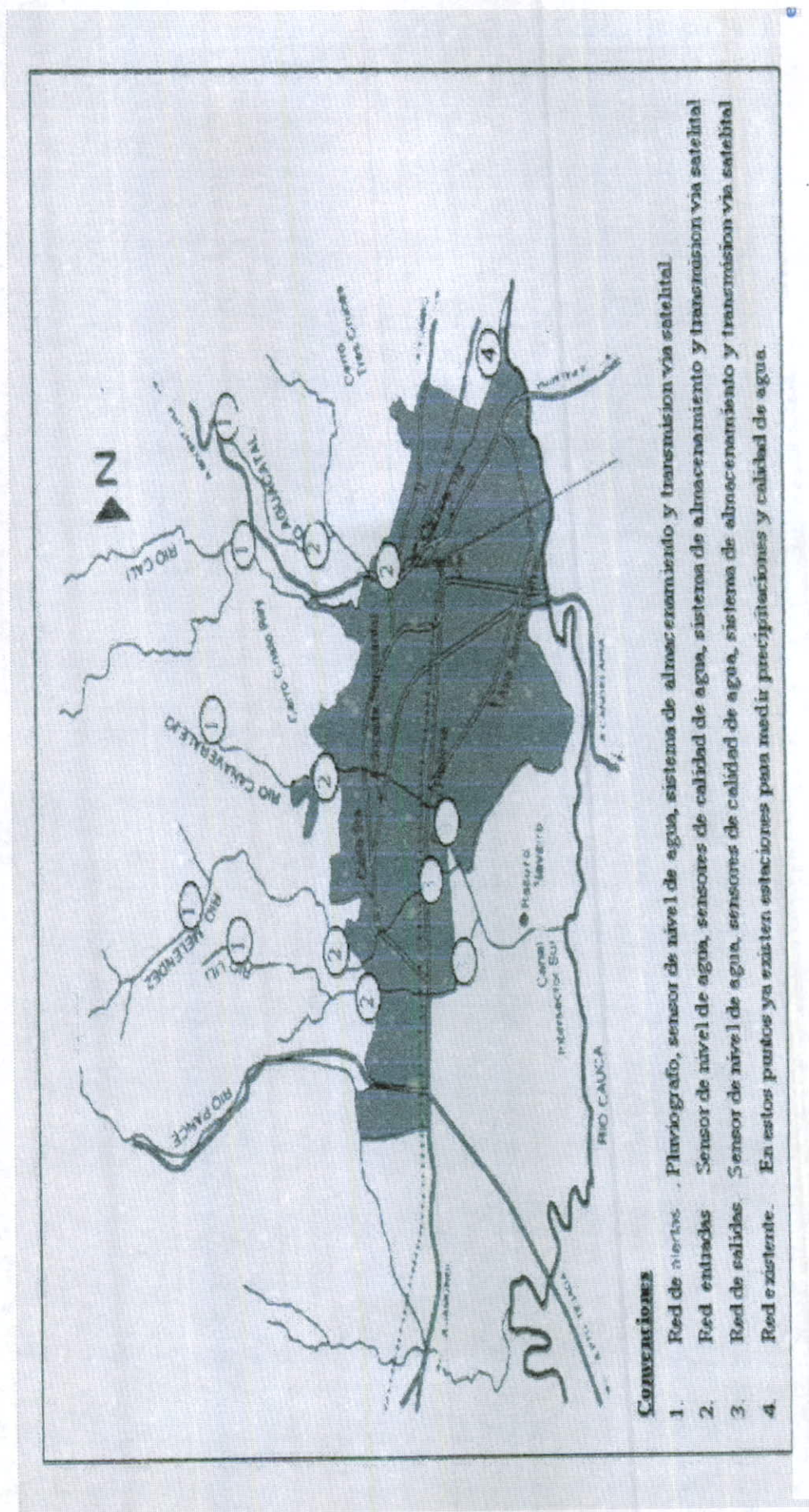
Como variables adicionales se deben incluir las consideradas en el artículo 24 del 1594 de 1984, que sujetas a una selección da como resultado el grupo de:

- Conductividad
- Turbidez
- PH
- Temperatura
- Oxígeno Disuelto

Estas variables deben ser monitoreadas para los 5 ríos donde se instalaran las estaciones por parte del DAGMA.

SELECCIÓN DE SITIOS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED 1 o RED DE SALIDAS

A continuación se presenta mapa donde aparece la selección de los sitios de ubicación de las estaciones de Monitoreo, las estaciones de la Red 1 o Red de Salidas; se identifican en el mapa con el número 1. Posteriormente se expone, por río, propuesta de ubicación de la estación.



RÍO AGUACATAL

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Debido a las características de Ubicación de este río, la Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el puente de El Club la Rivera se convierte en Red de Entradas y Red de Salidas a la vez.

RÍO CALI.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Teniendo en cuenta la existencia una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el jarillón de Floraría, 150 m antes de la desembocadura al río Cauca, la cual es de propiedad de la C.V.C., se recomienda la realización de un convenio Interinstitucional que permita la retroalimentación e intercambio de resultados; además en esta estación es necesario hacer reajustes, reestructuraciones; para superar los problemas, que actualmente tiene en la toma y análisis de muestras de calidad in situ, en el momento solo se esta llevando el registro de nivel del agua.

RÍO CAÑAVERALEJO.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el sitio de descarga al canal interceptor sur

1106

RÍO MELÉNDEZ.

Estación Hidrológica y de Calidad de Agua: Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, en el sitio de descarga al canal interceptor sur.

RIO LILÍ.

Se plantea la Instalación de una Estación Automática de medición de flujo y calidad de agua, 200 m antes de la descarga al canal interceptor sur, en predios de la constructora Melendez

1107

RESUMEN DE UBICACIÓN DE ESTACIONES
RED 1 O RED DE SALIDAS

ITEM	RIOS			
	Aguacatal	Cali	Cañaveralejo	Meléndez
Ubicación.	Esta estación tiene la misma ubicación de la Red 2. Hidrológica y de Calidad	Ya Existe	Descarga al Canal Interc. Sur	Descarga al Canal Interc. Sur
Tipo		Hidrológica y de Calidad	Hidrológica y de Calidad	Hidrológica y de Calidad

EQUIPOS A IMPLEMENTAR EN LA RED 2 o RED DE ENTRADAS

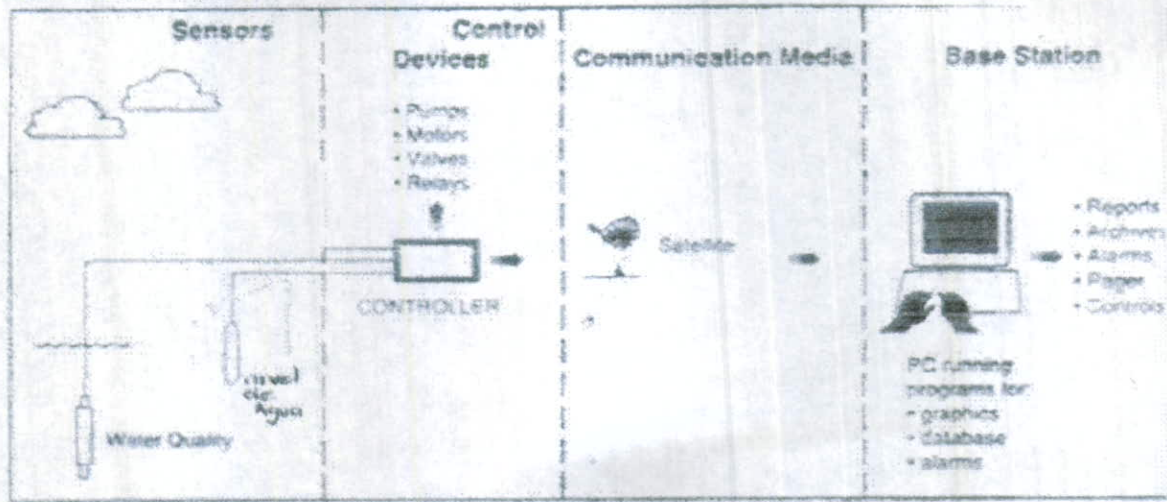
La Red 1 o Red de Salidas estará conformada por:

- Estaciones automáticas que permitirán obtener la información ambiental en tiempo real, la cual será procesada y enviada vía satélite a una Oficina de Control Central . Estas estaciones medirán nivel de agua (básicamente puestos de observación donde se encontraran instalados registradores continuos de nivel) y calidad de las aguas superficiales. En la Figura No. 13.1, se puede observar un acercamiento de lo que serían las estaciones de monitoreo continuo a implementar.

Los registros de la Estación serán almacenados en diferentes mecanismos de memoria de datos, para su posterior transmisión vía satélite, a la Oficina de Control Central, donde por medio de software especiales, se le permitirá al operador interactuar con el sistema y generar reportes sobre el comportamiento de los parámetros en el recurso hídrico evaluado, información que permitirá tomar medidas de prevención de riesgos y catástrofes que afecten directamente a la comunidad.

1109

FIGURA N° 13.1 Esquema de funcionamiento de comunicación de equipos de la estación de monitoreo continuo⁸



El esquema típico de la estación de monitoreo automática, constara de los siguientes sistemas:

- ☞ Sistema de comunicación
- ☞ Sistema de transmisión
- ☞ Sistema de almacenamiento de datos
- ☞ Sistema de suministro de energía
- ☞ Sistema de montaje (plataforma)
- ☞ Sistema de medición de nivel de agua
- ☞ Sistema de medición de parámetros de calidad de agua
- ☞ Sistema de toma de muestras de agua.

A continuación se presentaran los diferentes dispositivos que hacen parte de los anteriores sistemas y que conforman los equipos a implementar en la Red.

⁸ Fuente: Catalogo HIDROLAB. Water Quality Instruments

DATALOGGER

El Datalogger es el sistema de almacenamiento de datos en el sitio de monitoreo, el cual le permite a la estación tener las características de ser automática y continua, en cuanto a la recolección de los datos y la toma de los mismos. Este sistema de registro almacena los datos de tiempo real y los envía posteriormente a través de señal satelital, de acuerdo al protocolo de comunicación implementado



Figura 13.2

El Datalogger como sistema de registro de datos tendrá como funciones principales:

- ☞ Ejecutar el programa estipulado de medición de los sensores de nivel de agua y de calidad del agua, cada periodo de tiempo que se le haya definido.
- ☞ Grabar en una de sus memorias los datos solicitados de acuerdo a una determinada programación y/o alarmas.
- ☞ Efectuar junto a la medición de los sensores, la medición del nivel de batería y de humedad interna con su respectivo sensor incorporado.
- ☞ Efectuar los cálculos necesarios para cumplir con su programación, archivando los mismos en la memoria que posee para tal fin y permitiendo su recolección y transmisión al Centro de Control para su análisis (impresión de reportes).

Las especificaciones para este equipo son las siguientes:

El equipo de telemetría y monitoreo debe poder ser integrado con cualquier tipo de analizador específico o sensor que tenga como salida una señal eléctrica proporcional a la variable medida en mV o mA.

- El Módulo de medición y control debe estar protegido en cubierta de acero inoxidable, con microprocesador configurado para 32K ROM, 64k RAM.
- Sistema de operación tipo multi-tarea que permite simultáneamente la medición y comunicación de las diferentes variables.

1112

- Capacidad de almacenamiento de 60.000 datos, con opción de expansión a 500.000 datos.
- Programable a través de 30 instrucciones de medición, 43 instrucciones de proceso y 15 programas de control.
- Modulo de cableado en acero inoxidable, con protección de transientes para todas las entradas y salidas. Los datos son recolectados selectivamente de acuerdo a tiempos o eventos definidos por el usuario.
- Entradas análogas: 6 canales diferenciales o hasta 12 canales sencillos, configurables.
- Puertos digitales de entrada o salida: 8 puertos seleccionables como entradas binarias o salidas de control.
- Gabinete: Para colocación del modulo de suministro de potencia y sistema de telecomunicaciones. Dimensiones 16"x18"x5.5", en fibra de vidrio NEMA estabilizado contra UV y para la reflexión de la luz solar, reduciendo el gradiente de temperatura dentro del gabinete.

1113

BATERIA DE ELECTROLITO.

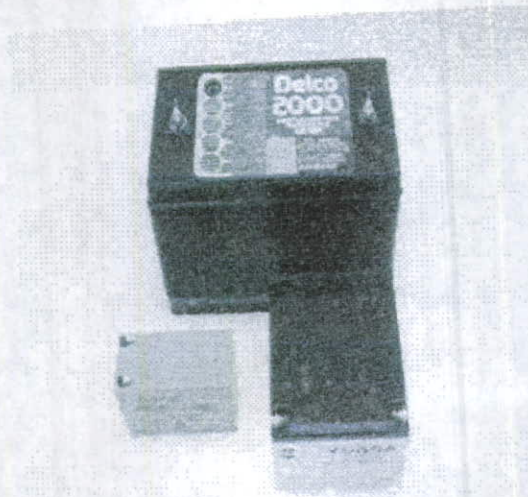


Figura 13.3

Unidad de poder principal y acumulador de energía, la cual proveniente del panel solar. Tiene como función el mantener operando los dispositivos de la red de monitoreo.

Las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta que van a ser equipos ubicados en zonas de cercanas de fácil acceso, se recomienda baterías que correspondan a las siguientes características:

Voltaje: 12 VDC

Capacidad: 7 AH o 24 AH

Peso: 5.84 lbs o 19.1 lbs

Dimensiones: 151mm Largo x 65 mm Ancho x 97.5 mm Alto

O

1114

166mm Largo x 175 mm Ancho x 125 mm Alto

PANEL SOLAR.

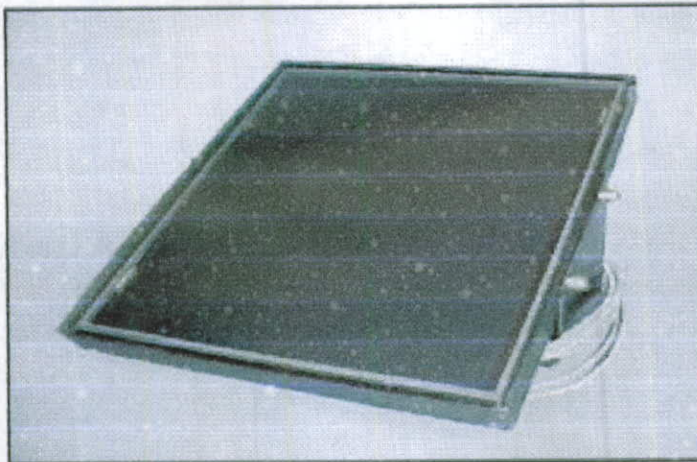


Figura 13.4

La función principal del panel solar, es la de mantener cargada la batería principal de suministro de poder, permitiendo la optima operación de las estaciones de monitoreo.

Especificaciones técnicas:

- Panel solar de 20 W, con soportes, cableado y conectores.
- Dimensiones del panel: 56.9 cm x 33 cm x 3.3 cm

1115

SENSOR DE NIVEL.



Figura 13.5

Dispositivo electrónico o mecánico, que tiene como función principal el registro continuo de los niveles del cuerpo de agua en la sección transversal definida para tal fin.

Para el caso de la Red 2 o Red de Entradas, el sistema de determinación de caudal, se realizará directamente sobre el río, a través de un sensor ultrasónico que se instalará a una altura de seguridad, sobre el máximo nivel del río.

El sensor de nivel ultrasónico, utiliza una serie de ondas de sonido transmitidas por el sensor de forma cónica. Las ondas de sonido se reflejan en la superficie del liquido y son recibidas por el sensor. El sensor mide el intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción de la señal, convirtiéndola en una medida de distancia basada en la velocidad del sonido.

Este sensor no es afectado por el tipo de liquido o por el color del mismo (turbiedad) y funciona perfectamente en ambientes severos.

1116

Los datos de nivel de agua que son receptadas por el sensor, son registradas por medio de una interfase hacia el Datalogger principal de la estación.

Los sensores ultrasónicos pueden ser instalados al aire ambiente y montados sobre plumas o por debajo de las estructuras de los puentes.

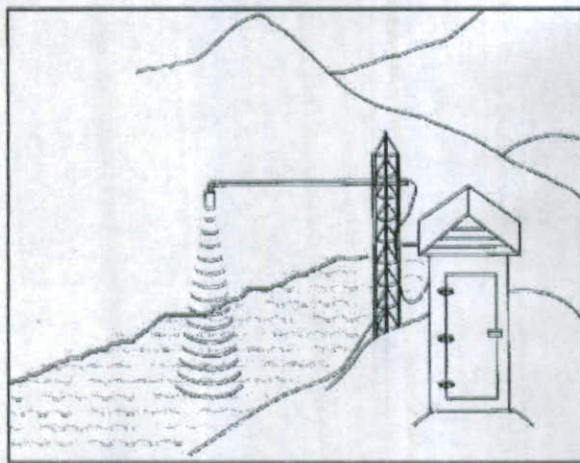


Figura 13.6

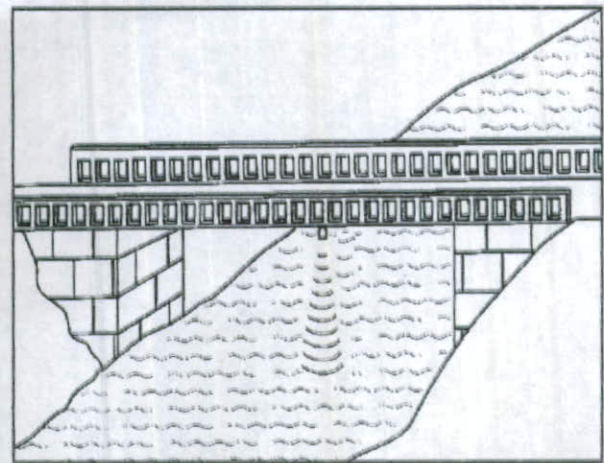


Figura 13.7

Especificaciones técnicas generales.

Tipo	:	ultrasónico
Rango	:	0.3 a 10.7 m.
Precisión	:	+/- 0.25 % del rango completo
Señal de salida	:	4 a 20 mA.
Resolución	:	2.5 mm
Suministro de voltaje:	:	12 – 30 voltios DC.
Longitud Estándar del cable:	:	1.8 metros de longitud.

Para este equipo, hay que tener en cuenta que a partir del levantamiento topográfico (altimetría y planimetría) de la sección transversal del río a la altura donde se ubicara la estación, se calculara el caudal de agua que cruza esa sección. Esta tarea debe

ser realizada por quien se le adjudique la instalación y arranque de los equipos.

SENSORES DE CALIDAD DE AGUA.

Sonda Multiparamétrica

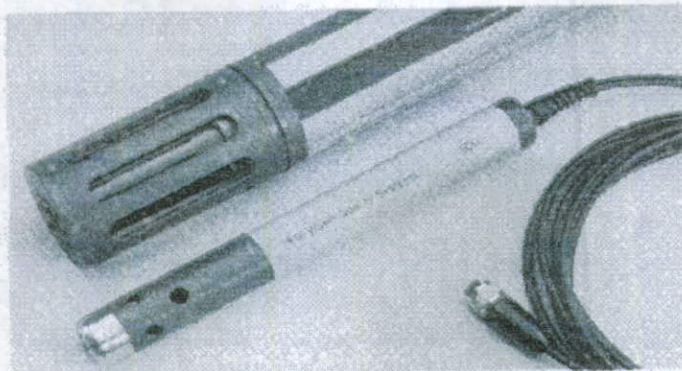


Figura 13.8

Sensores diseñados para monitorear continuamente parámetros de calidad de agua. Estos sensores necesitan menos de 2 pulgadas de agua libre para ejecutar la lectura.

Los sensores de calidad de agua pueden ser en dos presentaciones: sensores individuales para parámetros específicos o sondas multiparamétricas para lectura de diversos parámetros físico químicos.

Para el proyecto de implementación de las Red No.2, se determino la utilización de sondas multiparamétricas. Este tipo de sondas permiten registrar simultáneamente hasta 10 parámetros, lo que permite en un futuro, incluir otro tipo de sensores que sean relevantes en la evaluación de la contaminación de las aguas superficiales.

La estructura compacta de la sonda multiparamétrica que cubre los sensores, les da mayor seguridad contra daños por impacto y facilidad en las jornadas de calibración y mantenimiento.

La sonda multiparamétrica para medición de parámetros de calidad de agua in situ, incluirá los siguientes tipos de sensores:

Especificaciones técnicas:

- **pH**

Rango	:	0 a 14
Rango de temperatura	:	0°C a 70°C
Exactitud	:	± 0.1 unidad de pH
Longitud de cable	:	30 m

- **Temperatura**

Rango	:	0°C a 50 °C
Exactitud	:	± 0.1 °C
Longitud de cable	:	30 m

- **Conductividad**

Rango	:	5 a 7500 microsiemens/cm
Exactitud	:	± 0.001 mS/cm
Longitud de cable	:	30 m

- **Turbiedad**

Rango	:	0 a 400 NTU
Exactitud	:	± 0.01 NTU
Longitud de cable	:	30 m

1119

• **Oxigeno Disuelto**

Rango	:	0 a 50
Tipo	:	Celda galvánica auto - polarizante con compensación automática por temperatura.
Salida	:	mV
Temperatura	:	+ 4 / +40°C
Repetibilidad	:	± 0.2 mg/l

MUESTREADOR AUTOMATICO (REFRIGERADOS).



Figura 13.9

Los muestreadores automáticos con sistema de refrigeración, aseguran la colección de muestras de agua a intervalos de tiempo definidos en el programa de operación o se activa a partir de señales transmitidas por lectura de algún otro parámetro de lectura directa que este por fuera de los rangos definidos o permisibles.

La colección de muestras en un muestreador automático con sistema de refrigeración, permite el análisis de un mayor numero de parámetros químicos en el laboratorio.

Este dispositivo de toma de muestra, permite la colección de muestras compuestas o la colección de diversos tipos de muestras en recipientes independientes.

Un muestreador automático esta diseñado para monitorear de 12 a 24 muestras separadamente. Las muestras pueden ser colectadas de manera compuesta o en recipientes independientes. La frecuencia se define a intervalos de tiempo definidos o se puede activar la colección de muestras por el registro de otro parámetro de lectura directa que este excediendo algunos valores predefinidos.

Especificaciones técnicas generales:

- ☞ Dimensiones: Ancho 24" (61 cm), Profundidad 24" (61 cm), Alto 44 2 (112 cm), Peso 14 Lb (63 Kg).
- ☞ Bomba de muestreo: Velocidad peristáltica alta, rodillo dual, con tubo de la bomba de 3/8" (.95 cm) ID por 5/8" (1.59 cm)
- ☞ Cuerpo de la bomba: Resistente a fuertes impactos y a la corrosión, reforzado con fibra de vidrio.
- ☞ Elevación vertical: máxima de 27 ft (8.2 m)
- ☞ Rata de flujo de bombeo: 60 ml/s en una elevación de vertical de 3 ft (0.9 m) en un tubo de entrada de 3/8" ID.
- ☞ Volumen de muestra: programado en milímetros con incrementa de a 1 ml desde 10 a 9999 ml.
- ☞ Repetibilidad en el volumen de muestra: ± 10 ml
- ☞ Capacidad de la botellas de muestreo:

1121

- Compuestas
 - Botellas individuales
- ☞ Intervalos entre muestras: Seleccionable en incrementos individuales de 1 a 9999 pulsos de flujo o de 1 a 9999 minutos con incrementos de 1 minuto.
 - ☞ Múltiplex: Modo de botellas múltiples: Múltiples muestras por botella y/o múltiples botellas para colección de muestras.
 - ☞ Purga a la entrada: El aire es purgado automáticamente antes y después de cada toma de muestra. La duración es automáticamente compensada con la variación en las líneas de entrada.
 - ☞ Caparazón de bomba/controlador: Resistente a los impactos, a prueba de agua y polvos, resistente a la corrosión y al hielo.
 - ☞ Panel de control: teclado de membrana de 18 teclas y pantalla liquida para 24 caracteres alfanuméricos.
 - ☞ Reloj interno: Indica el tiempo real y la fecha. Precisión de tiempo base de 0.007%
 - ☞ Diagnósticos: Pruebas de RAM, ROM, bombas y distribuidores
 - ☞ Programa postergado: el muestreo inicia a la hora y minutos programados.
 - ☞ Muestreo manual: Inicia una colección de muestras independiente del programa de muestreo en progreso.
 - ☞ Enjuague a la entrada: La línea de entrada automáticamente realiza un enjuague previo a la toma de la muestra, de 1 a 3 enjuagues.
 - ☞ Fallas a la entrada: el ciclo de colección de muestreo automáticamente se repite de 1 a 3 veces, si la muestra no ha obtenido la orden de inicio.
 - ☞ Múltiples programas: Almacena hasta cinco programas de muestreo.

1122

- ☞ Registrador de datos: Registra la hora y fecha de inicio de programas de muestreo, almacena hasta 400 datos de hora y fecha de colección de muestras, estado operacional del equipo en el que se incluye el numero de minutos o pulsos, numero de botellas, numero de muestras colectadas, volumen de muestra colectada, numero de identificación de la muestra.
- ☞ Bloqueo de programa: Código de acceso para proteger la entrada al sistema operacional del muestreador.
- ☞ Tubo de entrada: 1 / 4" (.64 cm) ID vinilo. 3/8" (.95 cm) ID vinilo. 3/8" ID línea de polietileno con protección externa de cubierta.
- ☞ Requerimientos de energía: 115 VAC, 60 Hz; Compresor amperage 1.5-2.0 A. Corriente del rotor de bloqueo 12 Amps.
- ☞ Batería interna: Vida útil de 5 años, batería de litio, mantiene la configuración de los programas de muestreo y la hora real del reloj.
- ☞ Protector de sobrecargas: Controlador: fusible de 5 amp DC. Compresor : La sobrecarga térmica se dispara por encima de los 110 °C.
- ☞ Sistema de refrigeración: Compresor de 1/10 HP, 75 Watt, 400 BTU/hr. Condensador del ventilador de 120 CFM. Aislamiento rígido de espuma. Termostato capaz de mantener el liquido en 4° a temperatura ambiente de 49°C. Precisión de ± 0.8 °C. Sello de puerta magnético. El cuerpo del refrigerador es de acero 22, recubierta con lamina de vinilo. Los componentes de refrigeración y la tubería de cobre son protegidos con resinas fenólicas.
- ☞ Rango de temperatura: Uso general: 0°C a 50°C; Pantalla de cristal liquido: opera entre -10°C a 70°C; Almacenamiento: -40°C a 80°C.

Este equipo será de gran utilidad, en la recolección de aquellas muestras que requieran ser llevadas al laboratorio para la

determinación de su presencia y concentración, ese es el caso de: Mercurio, Plomo, Nitratos, Hierro, Talio.

Igualmente, durante los primeros años de funcionamiento del Sistema Integrado de Monitoreo de la Red Hídrica del Municipio Santiago de Cali, éste equipo será fundamental en el proceso de calibración de los equipos y de la red como tal; sirviendo de patrón para los equipos de la red, permitiendo analizar diferentes muestras, y evaluar todos los parámetros, lo que permitirá cada determinado tiempo (lo recomendable: como mínimo 1 vez al mes), comparar los registros de las sondas (que registran parámetros in situ) corroborando el correcto (o indicando el incorrecto) funcionamiento de los sensores, igualmente permite corroborar la regularidad estadística de los espacios físicos encuestados, al eliminar posibles errores en los elementos primarios, se logra construir la secuencia correctamente. En caso contrario los encargados del funcionamiento de las redes deberán acudir a la calibración del equipo con problemas o a hacer un seguimiento de los "picos" o irregularidades del sistema hidrológico en cuestión.

Después de conocer los equipos base de la estación de monitoreo a implementar en la Red 2 o Red de Entradas, a continuación se presenta la figura N° 13.10 modelo de acercamiento a los componentes de la estación:

1124

DIAGRAMA DE ACERCAMIENTO A ESTACION DE MONITOREO

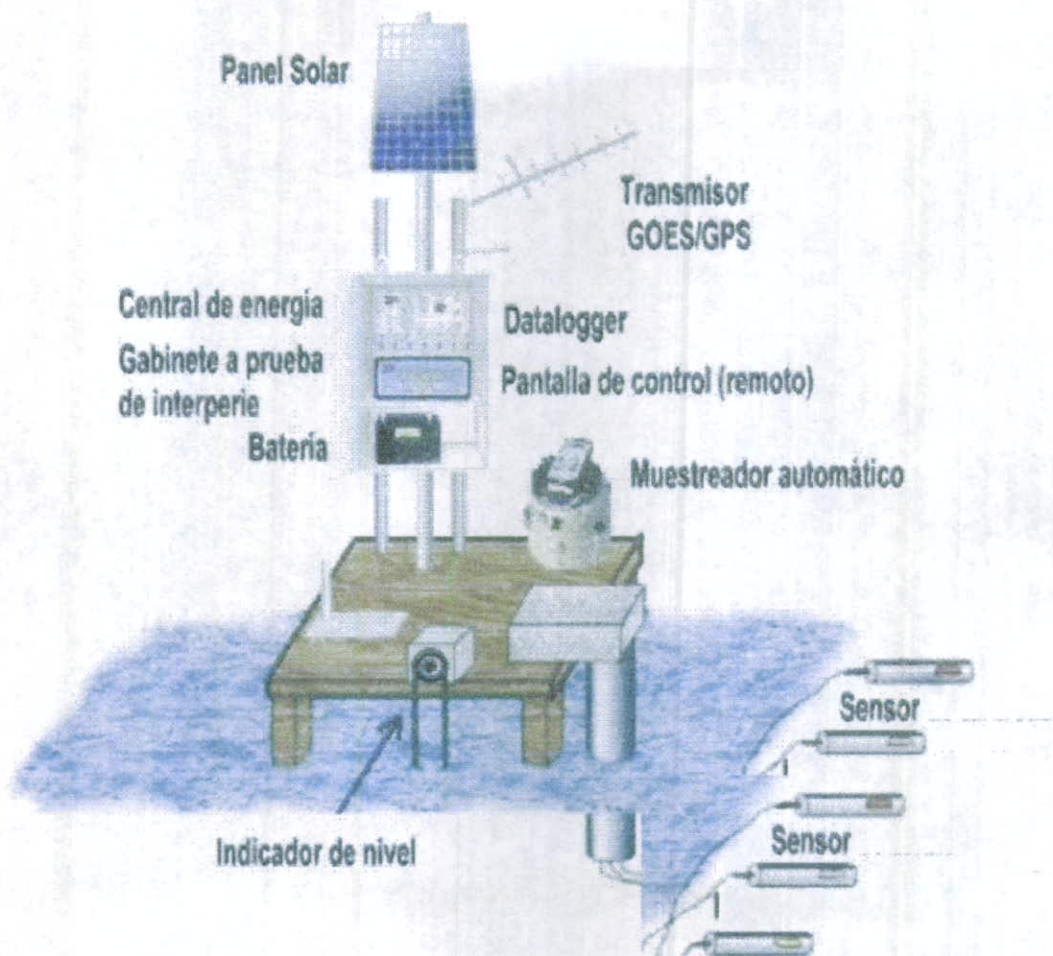


FIGURA 13.10

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRIA A TRAVÉS DEL SISTEMA SATELITAL GOES.

El sistema está previsto para establecer comunicaciones y transmisión de datos vía satelital, utilizando el Satélite GOES, aunque se debe diseñar, para que este en capacidad, en un futuro, de poder trabajar con otros sistemas de transmisión más eficientes. Por ello, se recomienda que el sistema de transmisión debe ser independiente del sistema de adquisición de datos.

Al ser el sistema de transmisión el Satélite GOES, los equipos deberán contar con la aprobación y homologación por parte de la NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE, DATA, AND INFORMATION SERVICE (NESDIS) que forma parte de la NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION de los Estados Unidos de América (NOAA). En caso tal que utilicen otro satélite los equipos deberán contar con la aprobación y homologación de quien los agencie.

Las estaciones remotas almacenarán los datos correspondientes de los sensores climatológicos e hidrológicos, junto a la medición del voltaje de la batería y humedad interna cuando se determine en forma periódica.

El concepto fundamental de la red hídrica proyectada, es que cada una de las estaciones fijas (remotas) es una unidad inteligente, la cual posee en su datalogger un programa que recibe la señal de los sensores, los procesa y los almacena. Con todas las opciones de comunicación: radio, módem dedicado, módem telefónico, módem celular y satélite. Para el proyecto en estudio, todas las comunicaciones serán vía satélite, por las ventajas que representa,

en la comunicación de estaciones remotas. (Ver documento sistema de comunicación).

Básicamente el proceso para la transmisión de la información se realiza en la secuencia que a continuación se expone:

1. *Percepción*, a través de un *Sensor* que será un instrumento que convierte el nivel o intensidad del fenómeno en una señal observable.
2. *Registro*, procedimiento que se utilizará para preservar la señal producida por los sensores. El registro será automático con sistemas de almacenamiento electrónicos.
3. *Transmisión*, que consistirá en la transferencia de los registros desde las estaciones hasta la central. La transmisión en *tiempo real* de la información, se hará a través de satélite. Cada determinado tiempo se recibirá la información, se espera que cuando la información se necesite, en el mediano plazo, el sitio de registro sea "encuestado" por el lugar central; el aparato de registro que tiene la información almacenada electrónicamente, la envíe hacia el sitio central en forma inmediata. La información de satélites es valiosa para la producción de pronósticos de inundaciones y para permitir acceso continuo a sitios de registro remotos que son difíciles de alcanzar por vía terrestre.
4. *Traducción*, que corresponde a la conversión de los registros desde su forma original dada por el instrumento de campo a registros computarizados para almacenamiento electrónico permanente.
5. *Edición*, en esta fase se verifican los registros traducidos al computador con el fin de corregir cualquier error obvio que pueda haber ocurrido durante cualquiera de los pasos previos. Algunos errores comunes incluyen desajustes en la sincronización automática

de las medidas registradas e información perdida en la transmisión y en la traducción, la cual puede ser recuperada analizando directamente el registro hecho en el campo.

6. *Almacenamiento.* La información editada se almacena en un archivo de información computarizada. Los datos son sistemáticamente compilados en archivos indexados por la localización y secuenciados por el tiempo de la medición.

7. *Recuperación.* La información podrá ser recuperada por parte de los usuarios, ya sea en una forma leíble por un computador, como una cinta magnética o un disco flexible, o una lista en papel.

FRECUENCIA DE MONITOREO RED 2 o RED DE ENTRADAS

Para la operación de red de estaciones de monitoreo, en la toma de datos se deben definir diferentes frecuencias, a saber:

- Frecuencia en la toma de datos de la estación automática de monitoreo. Para el caso específico de la Red No.2, la frecuencia debe ser de Quince (15) minutos, con una transmisión a la central alrededor de las 3 horas. Esta frecuencia de transmisión se debe definir detalladamente, de acuerdo al protocolo final de comunicación y los permisos que se obtengan para la transmisión de datos.
- La frecuencia para el desarrollo de los programas de monitoreo puntuales; puede ser definida por la entidad administradora del recurso, quien de acuerdo con las necesidades y programas de seguimiento y control, determinara las frecuencias de medición de manera horaria, diaria, semanal, mensual o una vez cada dos o tres meses, dependiendo del nivel potencial de descargas contaminantes

sobre el cuerpo de agua y la importancia del río en términos de uso del recurso.

La frecuencia en la toma de muestras de agua para realizar parámetros específicos, también dependerá de la capacidad de recepción y análisis de las muestras por parte del laboratorio químico de la entidad o de uno subcontratado. Deberá considerarse realizar las campañas de monitoreo periódicamente y no de manera permanente, a fin de evitar costos fijos innecesarios.

DISEÑO DE OBRA CIVIL RED 2 o RED DE ENTRADAS

Estas estaciones tendrán básicamente la siguiente distribución:

- ☛ Bocatoma de Fondo.
- ☛ Tanque de Monitoreo.
- ☛ Tanque de Bombeo.
- ☛ Caseta de Controles.

Para la instalación y localización de los Sistemas de Monitoreo. Se buscó adaptar una infraestructura sea sencilla, funcional y que permitiera registrar la información para las condiciones reales que se presentan en los ríos a lo largo del tiempo de monitoreo.

Para la instalación del muestreador de calidad del agua se predimensionó una bocatoma de fondo que captará el agua del río y la conducirá hasta un pozo donde se instalarán los sensores que realizarán los registros de los parámetros de calidad del agua. Como el propósito es medir durante las 24 horas del día los parámetros de calidad, se tomó como criterio mantener una lámina de agua de 0.80 m y un orificio (tipo vertedero) que permita mantener tiempos de

retención inferior a 15 minutos aproximadamente en el pozo de medición, por esta razón se diseño un pozo húmedo que captará los excedentes y mediante una bomba tipo sumergible se entregará el agua captada al río. Al lado de los pozos o sobre la parte superior se instalará la caseta donde estará la unidad de control del sistema.

El predimensionamiento del modelo de bocatoma típico, corresponde a los siguientes criterios:

1. Para el diseño de la bocatoma, rejilla y canal de aducción se tomó un caudal de 5 l/s.
2. El caudal medio y máximo del río es de 200 y 500 LPS.
3. El ancho de la sección típica se trabajó con 20 m.
4. Las cotas de diseño son arbitrarias, tomando como cota de fondo en el río la 100 msnm.
5. La profundidad de los pozos se tomó para efectos del cálculo de cantidades de obra de 4.50 m y con espesores de muros de 0.20 m. Estos muros se deben construir en hormigón armado de 3000 PSI.
6. El ancho de la bocatoma será de 0.50 m y la profundidad de 1.0 m. Su construcción será en concreto ciclópeo, excepto el canal de aducción.

El tipo de funcionamiento de muestreo, a implementar en la anterior estructura, sería el siguiente: la bocatoma de fondo tomará un caudal de diseño de 5 l/s , desde el centro del cauce del río y llevará el agua hasta el tanque de monitoreo, donde por efectos de colmatación se tendrá aproximadamente un caudal constante de 2.5 l/s. En el tanque de monitoreo se tendrá una boya flotante, la cual tendrá asegurada en su base, la sonda multiparamétrica en sentido horizontal. Desde la sonda hasta el datalogger se comunicará vía cableado. Contiguo al

1130

Tanque monitoreo estará el tanque de bombeo, desde el cual se bombeará el agua de retorno al río.

En el pozo húmedo se instalará una bomba tipo sumergible, cuyas condiciones preliminares de operación pueden ser:

Caudal de Bombeo : 30 LPS

Altura dinámica total : 15 m

Diámetro de conexión 3"

Potencia de la bomba: 5HP

El diseño típico de la caseta para las diferentes estaciones de monitoreo estará construida en muros de ladrillo y losas de concreto armado⁹, con sus correspondientes instalaciones hidráulicas y eléctricas, con encerramiento de malla para evitar actos vandálicos. Adicionalmente, tendrá acceso para el personal encargado de realizar actividades de calibración y mantenimiento preventivo o correctivo a los dispositivos electrónicos que conforme la estación.

En esta estructura se almacenaran todos los dispositivos encargados de que la estación opere adecuadamente. Entre estos dispositivos se tiene: Batería, Datalogger, regulador de carga con corte por baja tensión de batería, muestreador automático, pozo de aquietamiento en el cual estará sumergidos los sensores de medición de calidad de agua y el sistema electrónico de interfase que hace posible la comunicación entre todas las partes de la estación hidrológica y de calidad de agua, y estas a su vez con el Centro de Control.

⁹ Caseta modelo, del tipo implementado por la CVC; en sus estaciones de Monitoreo.

1121

En la misma estación y en los exteriores de la caseta sobre la plancha, se ubicara el panel solar, la antena de transmisión satelital GOES y la antena pararrayos.

La anterior información deberá ser corroborada en los diseños definitivos.

Hay que tener en cuenta, que en este estudio solo se presentan acercamientos a los diseños de las estaciones de monitoreo, *predimensionamientos*, donde el consultor presenta una estación típica, a partir de la cual el DAGMA, se basará para asignar la respectiva licitación para el diseño y construcción definitiva.

A quien se le asigne la licitación, deberá llevar a cabo los diseños definitivos, y si es posible proponer alternativas, de estructuras para la medición de los parámetros de calidad y aforo en cada uno de los ríos de la ciudad. Además, deberá tener en cuenta; para la ubicación de las estaciones y de los sensores de nivel, la realización de un levantamiento topográfico; altimetría y planimetría de los sitios donde se localizarán las estaciones de medición y aforo, con secciones cada 20 m y en una longitud aproximada de 200m, como mínimo. En la sección transversal del río a la altura donde se ubicara la estación, se deberá calcular el caudal de agua que cruza esa sección, con el fin de poder realizar una simulación hidráulica del sistema, para conocer los niveles o alturas de láminas de agua en los cauces de los ríos, específicamente en el punto donde se localizará la estación de medición o monitoreo. Al igual, se tendrá que realizar un estudio de suelos en cada uno de los puntos donde se localizarán las estructuras de medición.

1132

CASETA MODELO DE LA CVC

A continuación se hace una descripción de la caseta modelo de la CVC¹⁰, que corresponde a una infraestructura que se adapta a la caseta tipo, a implementar en las diferentes estaciones del Sistema de Monitoreo del Recurso Hídrico de la ciudad Santiago de Cali.

- **Cimiento en Concreto Ciclópeo:** Se construirá un cimiento perimetral en concreto ciclópeo de 0.40 x 0.70 m. El tamaño mínimo de la piedra será de 4" y la resistencia del concreto simple no podrá ser inferior a 2500p.s.i.
- **Viga de Amarre:** Se construirá sobre el cimiento ciclópeo una viga de amarre perimetral que conectara la caseta con la estructura del pozo. La viga tendrá una sección útil de 0.20 x 0.30 m. Armada con refuerzo longitudinal de ½" de 60.000p.s.i. y estribos N°3 @ 0.20 m.
- **Base:** para la construcción de la cimentación de la caseta de análisis se preparará una base granular de $e = 0.15$ compactada, de área igual a la sección útil de la caseta, más espesor de muros, más 0.50m. a cada lado.
- **Muros:** los muros de la caseta se contruirán en concreto armado de 0.15m de espesor con refuerzo longitudinal de ½" de 60.000 p.s.i. y refuerzo transversal N°3 de 37.000p.s.i @ 0.20, el concreto tendrá una resistencia mínima de 3000 p.s.i.
- **Repello liso:** Los muros se dejarán acabados con un repello liso de $e = 0.02$, mortero 1=3 tanto en la parte interna como externa.
- **Rejillas de ventilación y puerta metálica:** para garantizar la circulación de aire en los muros laterales a la puerta de acceso, se dejarán dos rejillas para ventilación, de 0.50 x 0.70m. La rejilla

¹⁰ Información suministrada por la CVC – División de Monitoreo Ambiental (Pliegos de Licitación SIMA 1), y visita a la Estación de Calidad FLORALIA - Río Cali

1133

serán de tipo doble persiana, construido tanto el marco como los difusores en platina, 1" x 1/8" . Para acceso a la caseta se instalara una puerta metálica de 0.80 x 1.80 m construida en lamina plegada calibre 18, con marco para empotrar en muro. La puerta tendrá una cerradura tipo bodega y dos portacandados.

- Mesón para cubeta: para la instalación de lavamanos se construirá un mesón de concreto simple de 2500 p.s.i. de 0.60m x 1.20m x 1.10m. El cual será soportado por un marco metálico construido en ángulo de 2" que ira empotrado al muro.
- Instalaciones eléctricas, la caseta estará dotada en cada uno de sus muros de una salida y un toma de 110V y uno de los lados tendrá toma de 220V, habrá una salida para alumbrado interior y otra exterior.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias: para la dotación de agua, se hará una acometida de PVC de 1/2" con sus válvulas. El desagüe del lavamanos y piso irán en tubería sanitaria PVC de 2".
- Pintura: La caseta de análisis tendrá un acabado final en estuco, tanto en su parte externa como interna. Las rejillas de ventilación y la puerta irán acabadas con pintura p21, previo tratamiento con pintura anticorrosiva.
- Cerramiento: para un área de 4.0 x 4.0m. Se requiere encierro en malla eslabonada en alambre calibre 10, hueco de 2" de 1.50 m de altura, postes intermedios y esquineros en tubería de 1 1/2" por 2.0m de largo, con los respectivos gorros protectores en aluminio, los que deben ir anclados a la viga de amarre (0.25 x 0.25 x 0.25 m) en concreto de 3000 p.s.i. con acero longitudinal de 3/8" y flejes de 1/4" con la respectiva puerta en malla eslabonada en calibre 10, hueco de dos pulgadas y de dimensiones 1 x 1.5 m.

1134

Las anteriores especificaciones pueden servir de guía para el diseño a implementar de la caseta, por parte del DAGMA, en las estaciones del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental del Recurso Hídrico. Se recomienda realizar una visita a alguna de las estaciones de la CVC.

ESTIMATIVO DE LA INVERSIÓN RED 1 o RED DE SALIDAS

Conforme con la definición de la cantidad de estaciones que conformaran la Red de Salidas o Red No.1, para el monitoreo de parámetros hidrológicos y calidad del agua, a continuación en las tablas siguiente se estima el valor de la inversión que deberá realizarse para la adquisición, instalación y montaje de las estaciones de monitoreo hidrológicas y de calidad de agua con base al siguiente presupuesto.

Presupuesto de Inversión para la Red N° 1 o Red de Salidas.
(En US\$ - Dolares: Valores de Diciembre del 2000)

Detalle	Cantidad	Vr Unitario	Total
Datalogger	5	\$2.974	\$14.870
Gabinete	5	\$750	\$3.750
Sistema de Montaje	5	\$300	\$1.500
Bateria DC, 12V	5	\$175	\$875
Panel solar, 20W	5	\$795	\$3.975
Cableado de poder	5	\$100	\$500
Unidad de transmisión GOES	5	\$3.755	\$18.775
Hardware convertir señal GOES- Telefonica*	1	\$50.000	\$50.000
Software para Windows*	1	\$1.105	\$1.105
Antena superior de transmisión	5	\$444	\$2.220
Antena GPS, con encerramiento y cableado	5	\$45	\$225
Caja de expansión SDI para los sensores -3p	1	\$376	\$376
Sensor de nivel ultrasonico	5	\$1.380	\$6.900
Sensor de Turbiedad	5	\$2.950	\$14.750
Cable de sensor de turbiedad (30m)	5	\$405	\$2.025
Sonda de conductividad, Temperatura, Oxígeno Disuelto y pH	5	- \$4.792	\$23.960
Unidad de Display de datos y cables	5	\$1.343	\$6.715
Muestreador automatico con Refrig.	5	\$12.000	\$60.000
Construcción caseta y encerramiento	5	\$3.000	\$15.000
SUBTOTAL			\$227.521
Instalación de Equipos (20%)			\$45.504
Entrenamiento al Personal (5%)			\$11.376
Visita y Diseño de tareas especificas (5%)			\$11.376
SUBTOTAL			\$295.777
Imprevistos (10%)			\$29.578
Presupuesto Estimado Implementación RED 2			\$325.355

*De Estos Equipos, solo se comprarían Una Unidad de c/u; y servirán para el funcionamiento las tres redes.
Fuente: Cotización DURESPO S.A. - División Ingeniería y Equipos. Precios a Diciembre del 2000.

1136

En este presupuesto, hay que tener en cuenta, no se incluye la estación del Río aguacatal, ya que esta sería la misma de la red 2, este punto de monitoreo esta incluido en el presupuesto de la red 2. En cuanto a la estación del río Cali, tampoco se incluye, ya que la propuesta es aprovechar las instalaciones existentes, de todas formas es necesario realizar adecuaciones a este sitio, por tanto es necesario reservar un presupuesto para estas actividades. Este ítem será ampliado en el capítulo "Estimativo de la Inversión para el Montaje del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental del Recurso Hídrico del Municipio de Santiago de Cali."

1137

En la próxima tabla, se presentan los cálculos de las cantidades de obra y el presupuesto que aproximadamente se requiere para la construcción de cada una de las estructuras predimensionadas, tomando como base los precios unitarios de EMCALI, resolución 726 de abril 17 de 2000 y de la CVC del año 2000. Estas obras deben realizarse en todas las estaciones, aquí se expone el presupuesto para "una estación".

1138

DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI CUADRO DE ITEMES, CANTIDADES Y PRECIOS			PROYECTO: BOCATOMA FONDO TIPICA Y POZOS		
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
A	MATERIALES				
1	Suministro de Bomba sumergible , Caudal 30 lps, 5HP, conexión 3"3" para pozo húmedo	#	2	\$ 6,867,000	\$ 13,734,000
2	Suministro de Codo 90°3" en HF, extremo liso para PVC	#	2	\$ 64,988	129,976
3	Suministro Válvula de retención de 3" HF, extremo liso para PVC	#	1	\$ 351,000	351,000
4	Suministro de tubería PVC unión mecánica diámetro 3"	ml	20	18,899	377,980
	SUBTOTAL MATERIALES				\$ 14,592,956
B	MANO DE OBRA				
1	Localización, Trazado y Replanteo Estacion Medición. Se ejecutará con nivel de precisión, personal calificado, incluye entrega de planos y carteras.	m ²	3000	\$ 496	1,488,000
2	Excavación a máquina bajo agua en material común hasta 4m de profundidad	m ³	116	\$ 4,139	480,124
3	Rellenos con material seleccionado de la excavación 95% Proctor Modificado compactado con equipo vibrocompactador	m ³	25	\$ 3,637	90,925
4	Retiro de materiales sobrantes para esparcir en el sitio	m ³	91	\$ 1,193	108,563
5	Mezcla y fundida de hormigón 210 kg/cm ² (300 psi), incluye materiales y mano de obra y colocación del concreto (No incluye formaleta)	m ³	9	\$ 257,579	2,318,211
6	Suministro, corte, figuración y colocación acero de refuerzo	Kg	720	\$ 2,197	1,581,840
7	Elaboración de formaleta en madera (2 usos), incluye mano de obra y materiales	m ²	25	\$ 11,830	295,750
8	Suministro y colocación de concreto ciclópeo, 40% piedra y 60% mezcla de 2500 PSI incluye materiales y mano de obra, para bocatoma de fondo (No incluye formaleta)	ml	20	\$ 160,966	3,219,320
9	Instalaciones eléctricas incluye el diseño y los materiales	Gl	1	\$ 2,253,250	2,253,250
10	Estudio de suelos dos apique como mínimo	Gl	1	\$ 1,560,000	1,560,000
	SUBTOTAL				\$ 13,395,983
	TOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA				\$ 27,988,939

Fuente: CVC - EMCALI

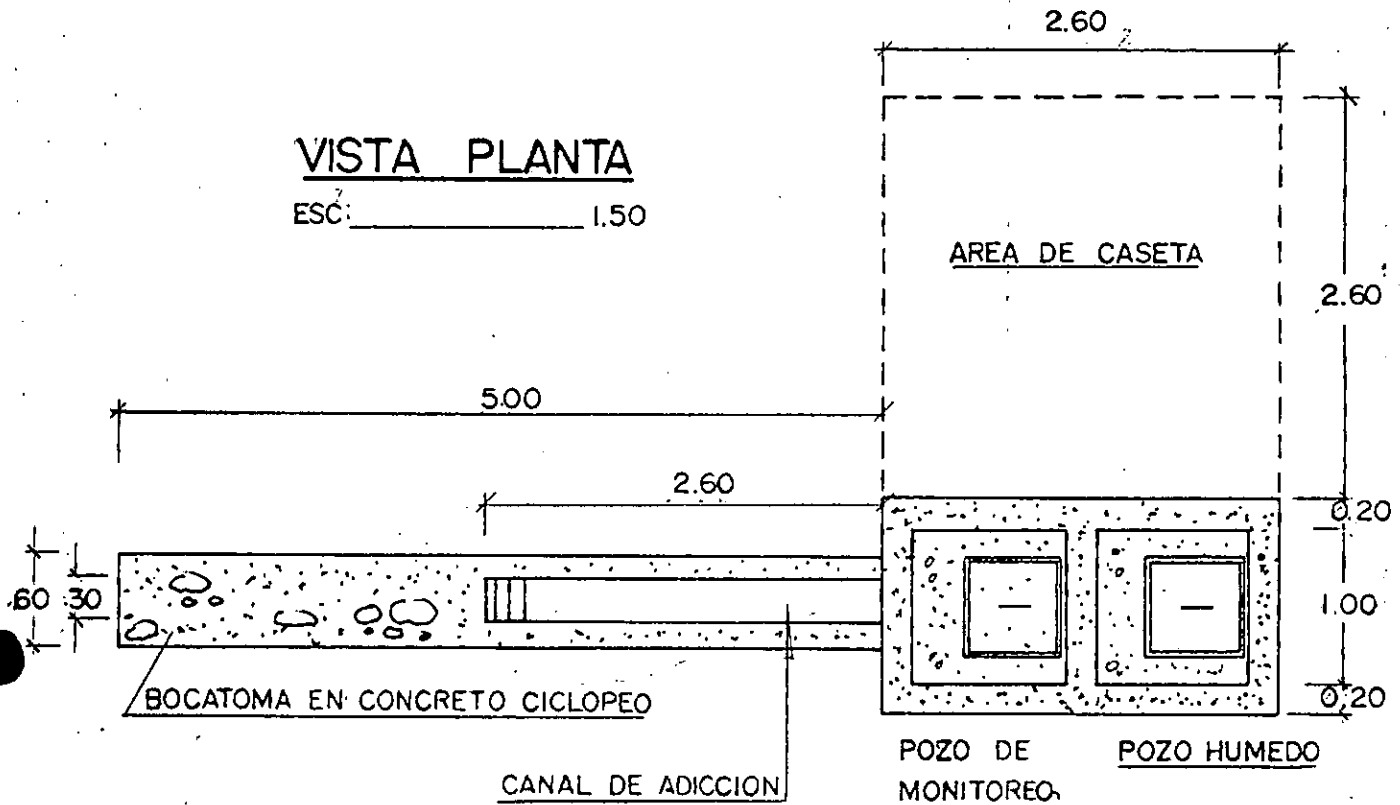
ANEXO PREDIMENSIONAMIENTO

**CASETA MODELO
BOCATOMA**

1140 DISEÑO DE BOCATOMA RED DE ALERTAS RED 1 Y RED 2

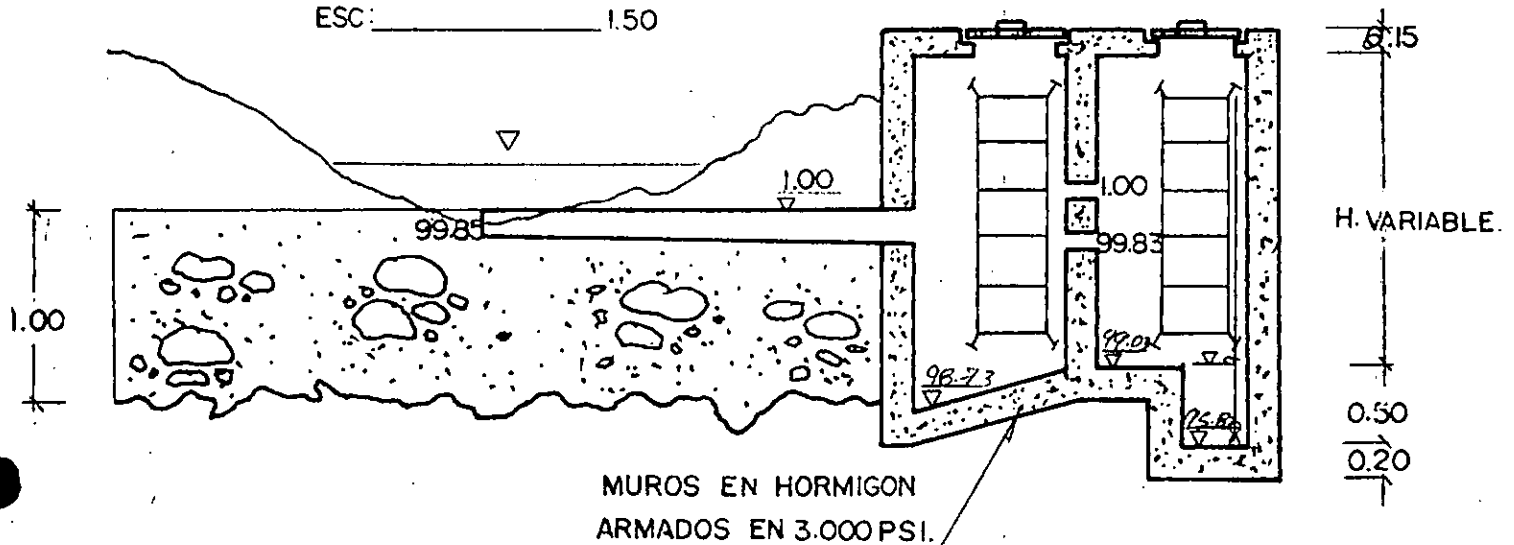
VISTA PLANTA

ESC: 1.50

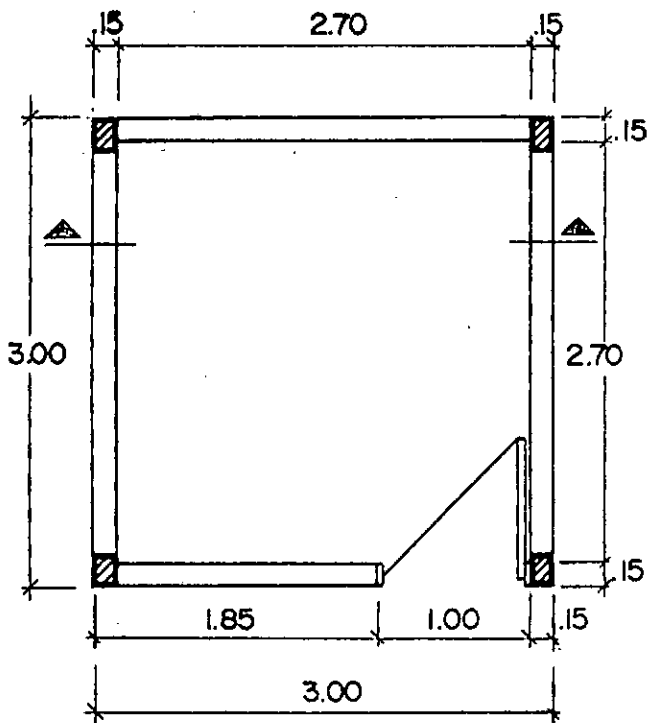


VISTA ALZADA

ESC: 1.50



PLANO ARQUITECTONICO PLANTA

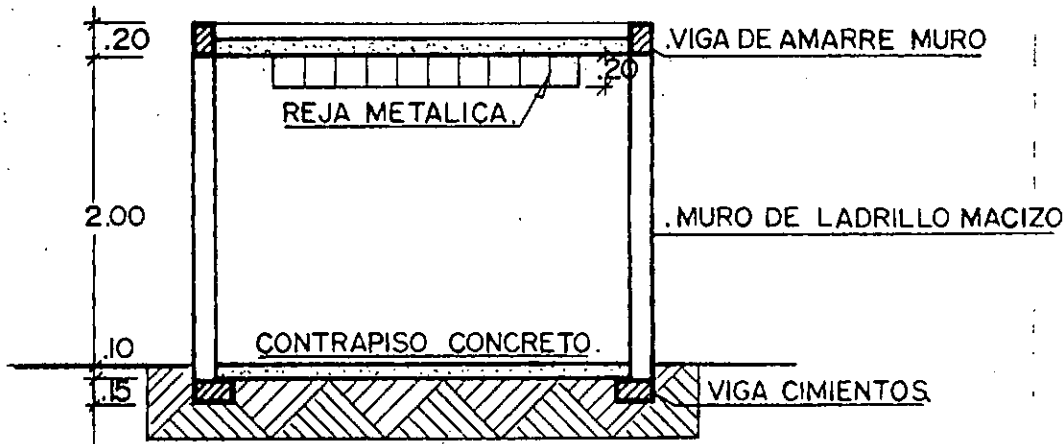


ESTACIONES DE
MONITOREO RED DE
ALERTAS, RED 1 Y
RED 2.

CASETA ESTANDAR. (PREDIMENSIONAMI.)

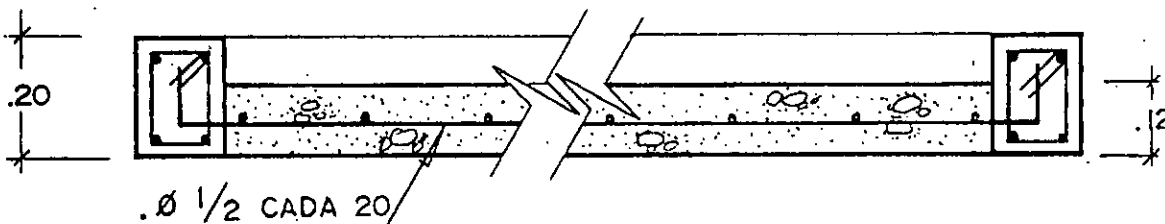
ESC: _____ 1.50

PLANO ARQUITECTONICO ALZADA.



DETALLE ESTRUCTURAL LOSA MACIZA

ESC: _____ 1.50



TOMA Y PRESERVACION DE MUESTRAS

1143

TABLA DE CONTENIDO

TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS	3
INTRODUCCION	3
TIPOS DE MUESTRAS	4
CONTROL Y VIGILANCIA DEL MUESTREO, PRESERVACIÓN Y ANALISIS	8
METODOS DE MUESTREO	11
RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS	12
PRECAUCIONES GENERALES	12
NUMERO DE MUESTRAS	14
CANTIDAD DE MUESTRA	15
PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA	15
Preservación ⁴	19
Refrigerar	21
AFORO DE CAUDALES Y EFLUENTES	26

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD PARA METODOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS Y DATOS.

CONTENIDO DEL SEGUIMIENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

REVISIÓN DE REGISTROS.

PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.

PROCEDIMIENTOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS Y DATOS.

PASO SIGUIENTE AL SEGUIMIENTO DEL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

CAPACITACIONES ANUALES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LOS METODOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LOS DATOS.

TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

INTRODUCCION

Este capitulo es aplicable para las labores realizadas por el personal de campo, durante las actividades de instalación de las botellas de monitoreo en el muestreador automático y a la recolección, almacenamiento y transporte de las muestras de las diferentes estaciones de monitoreo de calidad de agua, hacia el laboratorio de análisis químico.

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y los objetivos del estudio.

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizaran las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

En algunos casos, el objetivo del muestreo es demostrar que se cumplen las normas especificadas por la legislación (resoluciones de las

1146

autoridades ambientales). Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas, sin embargo, la responsabilidad de las condiciones y validez de las mismas debe ser asumida por las personas responsables del muestreo, de la conservación y el transporte de las muestras. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

Se recomienda, en este campo, tener en cuenta las recomendaciones del IDEAM, (Ver anexo "protocolos del IDEAM"), que servirán de gran ilustración, en la toma de muestras a obtener en las estaciones de monitoreo a instalar en los ríos de Santiago de Cali.

TIPOS DE MUESTRAS

Muestra simple o puntual: Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y

duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

Muestras compuestas: En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Algunas veces el término "compuesta en tiempo (time-composite)" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios. Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

No se debe emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento; sino hacer tales determinaciones en muestras individuales lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como oxígeno o dióxido de carbono disueltos, pH, o temperatura, pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad, o dureza. Las muestras compuestas en el tiempo se pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Tomar porciones individuales del cuerpo de agua en estudio en botellas de boca ancha cada hora (en algunos casos cada media hora o incluso cada 5 min.) y mezclarlas al final del período de muestreo, o combinarlas en una sola botella al momento de tomarlas. Si las muestras van a ser preservadas, agregar previamente las respectivas sustancias a la botella, de tal manera que todas las porciones de la composición sean preservadas tan pronto como se recolectan. Algunas veces es necesario el análisis de muestras individuales.

Es deseable, y a menudo esencial, combinar las muestras individuales en volúmenes proporcionales al caudal. Para el análisis de aguas residuales y efluentes, por lo general es suficiente un volumen final de muestra de 2 a 3 L. Para este propósito existen muestreadores automáticos, que no deben ser empleados a menos que la muestra sea

preservada; limpiar tales equipos y las botellas diariamente, para eliminar el crecimiento biológico y cualquier otro depósito.

Muestras integradas: Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

Los lagos naturales y artificiales muestran variaciones de composición según la localización horizontal y la profundidad; sin embargo, estas son condiciones bajo las cuales las variaciones locales son más importantes mientras que los resultados promedio y totales no son especialmente útiles. En tales casos se deben examinar las muestras separadamente antes que integrarlas.

La preparación de muestras integradas requiere generalmente de equipos diseñados para tomar muestras de una profundidad determinada sin que se contaminen con la columna de agua superior. Generalmente se requiere conocer el volumen, movimiento, y composición de varias partes del cuerpo de agua a ser estudiado. La

toma de muestras integradas es un proceso complicado y especializado que se debe describir adecuadamente en el plan de muestreo.

CONTROL Y VIGILANCIA DEL MUESTREO, PRESERVACIÓN Y ANALISIS

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (chain-of custody procedure) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis. Este proceso es básico e importante para demostrar el control y confiabilidad de la muestra no sólo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras.

Etiquetas: Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar al frasco de muestra antes de o en el momento del muestreo, papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información: número de muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección, y preservación realizada.

Sellos: Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, sellar los recipientes con papel autoadhesivo, en los que se incluya por lo menos la siguiente información: número de muestra (idéntico al número en la etiqueta), nombre del recolector, fecha y hora de muestreo; también

son útiles los sellos de plástico encogible. Adherir el sello de tal manera que sea necesario romperlo para abrir el recipiente de la muestra, después de que el personal muestreador ceda la custodia o vigilancia.

Libro de campo: Registrar toda la información pertinente a observaciones de campo o del muestreo en un libro apropiado, en el que se incluya como mínimo lo siguiente: propósito del muestreo; localización de la estación de muestreo, o del punto de muestreo si se trata de un efluente industrial, en cuyo caso se debe anotar la dirección y el nombre del representante de la empresa; tipo de muestra y método de preservación si es aplicable. Si se trata de una muestra de aguas residuales, identificar el proceso que produce el efluente. Estipular también la posible composición de la muestra y las concentraciones; número y volumen de muestra tomados; descripción del punto y método de muestreo; fecha y hora de recolección; número(s) de identificación del (los) recolector(es) de la muestra; distribución y método de transporte de la muestra; referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo; observaciones y mediciones de campo; y firmas del personal responsable de las observaciones. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, es esencial registrar la información suficiente de tal manera que se pueda reconstruir el evento del muestreo sin tener que confiar en la memoria de los encargados. Guardar el libro en un sitio seguro.

Registro del control y vigilancia de la muestra: Diligenciar el formato de control y vigilancia de cada una de las muestras o grupo de muestras, las cuales deben estar acompañadas de este formato; en él se incluye la siguiente información: número(s) de la(s) muestra(s); firma del recolector responsable; fecha, hora y sitio de muestreo; tipo de

1152

muestra; firmas del personal participante en el proceso de control, vigilancia y posesión de las muestras y las fechas correspondientes.

Formato de solicitud de análisis: La muestra debe llegar al laboratorio acompañada de una solicitud de análisis; el recolector completa la parte del formato correspondiente a la información de campo de acuerdo con la información anotada en el libro de campo. La parte del formato correspondiente al laboratorio la completa el personal del laboratorio, e incluye: nombre de la persona que recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recepción, y las determinaciones a ser realizadas.

Entrega de la muestra en el laboratorio: Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo, en el transcurso de dos días como máximo; si el tiempo de almacenamiento y preservación es menor, debe planificarse el procedimiento para asegurar su entrega oportuna en el laboratorio. La solicitud de análisis debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control y vigilancia de la muestra. Entregar la muestra a la oficina de recepción en el laboratorio; el recepcionista a su vez debe firmar el formato de vigilancia y control, incluyendo la fecha y hora de entrega.

Recepción y registro de la muestra: En el laboratorio, el recepcionista inspecciona la condición y el sello de la muestra, compara la información de la etiqueta y el sello con el registro o formato del proceso de control y vigilancia, le asigna un número o código para su entrada al laboratorio, la registra en el libro del laboratorio, y la guarda en el

cuarto o cabina de almacenamiento hasta que sea asignada a un analista.

Asignación de la muestra para análisis: El coordinador del laboratorio asigna la muestra para su análisis. Una vez la muestra está en el laboratorio, el auditor y los analistas son responsables de su cuidado y vigilancia.

METODOS DE MUESTREO

Muestreo manual: El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.

Muestreo automático: Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos. En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado. Programar el muestreador automático de acuerdo con las especificaciones del mismo y las necesidades del muestreo, ajustar cuidadosamente las velocidades de la bomba y los tamaños de los tubos según el tipo de muestra a tomar.

RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra. Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques o séptum de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, plaguicidas, PCBs, aceites y grasas.

PRECAUCIONES GENERALES

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para

la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras colectadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales, debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos microgramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo colectando muestras compuestas en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general. Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible aparentar su variabilidad, los máximos y los mínimos.

En términos generales, la muestra colectada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su

1136

remoción, los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, estos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente, y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente, se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o ambas, si se requiere diferenciar el total de metales y los disueltos presentes en la matriz.

NUMERO DE MUESTRAS

Debido a las variaciones aleatorias tanto del procedimiento analítico como la presencia de un constituyente en el punto de muestreo, una muestra simple puede ser insuficiente para obtener el nivel deseado de incertidumbre. Si la desviación estándar de todo el proceso es conocida, el número de muestras requeridas puede ser calculado a través de la siguiente relación:

$$N \geq (t_s / U)^2$$

donde:

N = número de muestras,

t = prueba t de Student para un nivel de confiabilidad dado,

s = desviación estándar global, y

U = nivel aceptable de incertidumbre.

El cálculo del número de muestras se puede consultar en la Figura 1060:1, página 1-23, Standard Methods, 1995.

CANTIDAD DE MUESTRA

Para la mayoría de análisis físicos y químicos tomar 2 L de muestra. Para determinados análisis puede ser necesario un mayor volumen de muestra. Para pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se deben tomar muestras por separado debido a que los métodos de recolección y manejo son diferentes. Colectar siempre un volumen de muestra suficiente en el recipiente adecuado que permita hacer las mediciones de acuerdo con los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación.

PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

Es prácticamente imposible la preservación completa e inequívoca de las muestras de aguas residuales domésticas e industriales y de aguas

naturales. Independientemente de la naturaleza de la muestra, nunca puede lograrse la completa estabilidad de todos sus constituyentes; en el mejor de los casos, las técnicas de preservación solamente pueden retardar los cambios químicos y biológicos, que continúan inevitablemente después de que la muestra se retira de su fuente.

Naturaleza de los cambios en la muestra: Los cambios químicos son función de las condiciones físicas y suceden en la estructura de ciertos constituyentes. Los cationes metálicos pueden precipitarse como hidróxidos, formar complejos con otros constituyentes, e incluso algunos, tales como aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc, se pueden adsorber en las superficies de los recipientes (vidrio, plástico, cuarzo, etc.). Bajo determinadas condiciones oxidantes o reductoras, los iones pueden cambiar de estado de valencia; otros constituyentes se pueden disolver o volatilizar con el paso del tiempo.

Los cambios biológicos que tienen lugar en una muestra pueden cambiar la valencia de un elemento o radical; los constituyentes solubles pueden convertirse en materiales orgánicamente enlazados a las estructuras celulares; o la ruptura de las células puede liberar el material celular hacia la solución. Los ciclos del nitrógeno y del fósforo son ejemplos de la influencia biológica en la composición de la muestra. La actividad microbiológica puede ser responsable de cambios en el contenido de nitrato-nitrito-amonio, disminución de la concentración de fenoles y de la DBO, o de la reducción del sulfato a sulfuro.

Intervalo de tiempo entre la toma y el análisis de muestras: Los resultados analíticos son más exactos en la medida que el tiempo

transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis sea menor, hecho especialmente cierto, cuando las concentraciones de los análisis están en el orden de mg/L. Para evaluar ciertos constituyentes y parámetros físicos, se requiere su análisis inmediato en el campo. Para las muestras compuestas se registra el tiempo en el momento de finalizar la operación de composición. Los cambios provocados por el crecimiento de microorganismos se retardan por almacenamiento de la muestra en la oscuridad y a baja temperatura ($<4^{\circ}\text{C}$ pero sin congelar). Registrar el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis de la muestra, y la técnica de preservación aplicada.

Técnicas de preservación: Los métodos de preservación incluyen las siguientes operaciones: control del pH, adición de reactivos, uso de botellas ámbar y opacas, refrigeración, filtración y congelamiento; y obran para: (a) retardar la acción biológica, (b) retardar la hidrólisis de los compuestos o complejos químicos, (c) reducir la volatilidad de los constituyentes, y (d) reducir los efectos de absorción.

Para minimizar la volatilización o biodegradación de los constituyentes, guardar la muestra a baja temperatura sin congelación. Antes del envío al laboratorio, es preferible empacar las muestras en hielo triturado o en sustitutos comerciales del hielo; evitar el uso de hielo seco debido a que puede alterar el pH de las muestras, además de que las congela y puede causar la ruptura de los recipientes de vidrio. Las muestras compuestas deben mantenerse a 4°C , con hielo o un sistema de refrigeración, durante el período de composición. Analizar las muestras lo más pronto posible después de su llegada al laboratorio; si esto no es posible se recomienda, para la mayoría de muestras, almacenamiento a 4°C .

1160

La adición de preservativos químicos sólo es aplicable cuando estos no interfieren con los análisis a realizarse, y deben agregarse previamente a la botella de muestra de tal manera que todas las porciones de muestra se preserven de inmediato. En ocasiones, cuando se hacen diferentes determinaciones en una muestra es necesario tomar diferentes porciones y preservarlas por separado, debido a que el método de preservación puede interferir con otra determinación. Todos los métodos de preservación pueden ser inadecuados cuando se aplican a la materia en suspensión. El formaldehído afecta la mayoría de análisis químicos y no debe usarse como preservativo.

En la Tabla 1 se dan los métodos de preservación recomendados para varios constituyentes; la estimación del volumen de muestra requerido para su análisis; el tipo de recipiente sugerido; y el tiempo máximo de almacenamiento recomendado para muestras preservadas en condiciones óptimas.

Sin embargo, es imposible dar las reglas absolutas para prevenir todos los cambios posibles; en cada protocolo de análisis de las variables fisicoquímicas se encuentra la información correspondiente. La confiabilidad de una determinación analítica se apoya en la experiencia y buen criterio de la persona que toma la muestra.

TABLA NO. 1 RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE ACUERDO CON LAS MEDICIONES ¹

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo de muestra, ml	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado ⁵
Acidez	P, V	100	S	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	S	Refrigerar	14 d
Boro	P	100	s, c	No requiere	6 meses
Bromuro	P, V	100	S, c	No requiere	28 d
COT	V	100	S, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H_3PO_4 o H_2SO_4 hasta $pH < 2$	28 d
Cianuro total	P, V	500	S, c	Agregar NaOH hasta $pH > 12$, refrigerar en la oscuridad	14 d ⁷
Clorable	P, V	500	S, c	Agregar 100 mg $Na_2S_2O_3/L$	14 d ⁷
Cloro residual	P, V	500	S	Análisis inmediato	
Clorofila	P, V	500	S, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruros	P, V	50	S, c	No requiere	28 d
Color	P, V	500	S, c	Refrigerar	48 h
Compuestos					

organicos:							
Sustancias activas al azul de metileno	P, V		250	S, c	Regrigerar		48 h
Plaguicidas	V(S) tapón de TFE		1000	S, c	Refrigerar; agregar 1000 mg Acido Ascórbico/L si hay cloro residual		7 d hasta la extracción
Fenoles	P, V		500	S, c	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2		40 d después de extraer
Conductividad	P, V		500	S, c	Refrigerar		28 d
DBO	P, V		1000	S	Refrigerar		48 h
Dióxido de carbono	P, V		100	S	Analisis inmediato		
Dióxido de cloro	P, V		500	S	Analisis inmediato		
DQO	P, V		100	S, c	Analizar lo mas pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar		28 d
Dureza	P, V		100	S, c	Agregar HNO ₃ hasta pH<2		6 meses
Fluoruro	P		300	S, c	No requiere		28 d
Fosfato	V(A)		100	S	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente;		48 h

					refrigerar		
Gas digestor de lodos	V, botella de gases						
Grasa y Aceites	V, boca an-cha calibrado	1000	S, c		Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d	
Metales, general		500	S		Filtrar ⁸ , agregar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses	
Cromo VI	P(A), V(A)	300	S		Refrigerar	24 h	
Cobre, colorimetría	P(A), V(A)						
Mercurio	P(A), V(A)	500	S, c		Agregar HNO ₃ hasta pH<2, 4°C, refrigerar	28 d	
Nitrogeno:							
Amoniaco	P, V	500	S, c		Analizar lo mas pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d	
Nitrato	P, V	100	S, c		Analizar lo mas pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras)	

							cloradas
Nitrato + nitrito	P, V		200	S, c		Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrito	P, V		100	S, c		Analizar lo mas pronto posible o refrigerar	48 h
Organico Kjeldahl	P, V		500	S, c		Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	28 d
Olor	V		500	S		Analizar lo mas pronto posible; refrigerar	
Oxigeno disuelto	G, botella DBO		300	s			
Electrodo						Analisis inmediato	
Winkler						La titulacion puede aplazarse despues de la acidificacion	8 h
Ozono	V		1000	S		Analisis inmediato	
pH	P, V		50	S		Analisis Inmediato	
Sabor	V		500	S		Analizar lo mas pronto posible; refrigerar	
Salinidad	V, sello de cera		240	S		Analisis inmediato o usar sello de cera	
Silica	P		200	S, c		Refrigerar, no congelar	28 d
Solidos	P, V		200	S, c		Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfato	P, V		100	S, c		Refrigerar	28 d

1165

Sulfuro	P, V	100	S, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Temperatura	P, V		S, c	Analisis inmediato	
Turbidez	P, V	100	S, c	Analizar el mismo dia; para mas de 24 h guardar en oscuridad; refrigerar	48 h
Yodo	P, V	500	S, c	Analisis inmediato	

1166

Notas a tener en cuenta:

1.- Para detalles adicionales ver el texto y los protocolos respectivos. Para las determinaciones no enumeradas, usar recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible.

2.- P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio; V(A) o P(A) = enjuagado con HNO_3 1+1; V(B) = vidrio, enjuagado con solventes orgánicos o secado en estufa.

3.- s = simple o puntual; c = compuesta.

4.- Refrigerar = almacenar a 4°C en ausencia de luz. La preservación de la muestra debe realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a 4°C hasta que se complete la composición.

5.- Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido. Las muestras pueden dejarse por periodos más prolongados solo si su monitoreo en el laboratorio ha demostrado que la muestra en estudio es estable durante un mayor tiempo. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla. Si se envían las

muestras por correo, deben cumplir con las regulaciones de transporte de materiales peligrosos (consultar EPA Methods.)

6.- Si la muestra está clorada, consultar su pretratamiento en el protocolo o en Standard Methods.

7.- El máximo tiempo de almacenamiento es de 24 h, si está presente el sulfuro, el cual se puede detectar mediante papel con acetato de plomo antes de ajustar el pH; si el sulfuro está presente, puede removerse por adición de nitrato de cadmio en polvo hasta que se obtenga prueba negativa; después se filtra la muestra y se adiciona NaOH hasta pH 12.

8.- Para metales disueltos las muestras deben filtrarse inmediatamente en el sitio de muestreo, antes de adicionar el ácido.

AFORO DE CAUDALES Y EFLUENTES

Una vez determinados el tipo de descarga y ubicación del sitio donde se va a realizar la caracterización, se diseña el plan de aforo y muestreo. En la determinación de caudales debe adoptarse la forma más práctica de aforar dependiendo del tipo de descarga que se tenga; si se hace necesario adecuar el sitio de muestreo, se deben dar las instrucciones para la implementación de la adecuación. Los factores que se han de tener en cuenta en el momento de seleccionar un sistema de medición son los siguientes:

Tipo de conducto y accesibilidad.

El intervalo de medida debe cubrir con la mejor precisión posible, los caudales máximo y mínimo previstos teóricamente. Si el punto de medida recoge aguas pluviales e interesa determinar su caudal, habrá que tener en cuenta la lluvia máxima registrada caída en la zona.

Economía de compra, instalación y servicio, así como de fácil puesta en marcha, comprobación y ajuste.

Posibilidad de recuperación una vez finalizada la serie de medidas, para su aplicación en otros puntos.

Debido a que los vertidos de aguas residuales se hacen por gravedad, el método seleccionado deberá producir la mínima pérdida posible de carga.

Distancia mínima a la que se encuentran todos aquellos servicios generales precisos para el funcionamiento de todos los aparatos de medida (aire a presión, corriente eléctrica, etc.).

Máxima sencillez de manejo y lectura.

Características del agua residual a medir, y su influencia en el equipo (corrosión, abrasión, ataque químico, taponamiento, etc.).

Como norma general, todas las partes en contacto con el líquido deben estar totalmente protegidas, y en aquellos casos en que se puedan desprender gases o vapores, los equipos y el personal se separan de su acción lo más lejos que sea posible, o bien se dotan con la protección adecuada.

En el caso de utilización de aparatos comerciales, se valorará la experiencia, garantía y servicio posventa del proveedor.

Medición volumétrica manual. La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella.

Siendo Q = caudal en L/s, V = volumen en L, y t = tiempo en s, el caudal se calcula como:

$$Q = V / t$$

Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que sale por la descarga. Entre sus desventajas se cuenta que la mayoría de veces es necesario adecuar el sitio de aforo y toma de muestras para evitar pérdida de muestra en el momento de aforar; también se deben evitar represamientos que permitan la acumulación de sólidos y grasas.

Medición en canales abiertos. El vertedero es un canal en el cual se coloca una represa cuyo rebosadero puede adoptar distintas formas; el líquido represado alcanzará distintas alturas en función del caudal,

relacionadas por ecuaciones dependientes del tipo de vertedero, que puede ser rectangular, triangular o trapezoidal. Las ventajas de este tipo de vertederos radican en su fácil construcción, bajo costo, y buen rango de precisión en líquidos que no contengan sólidos.

Cuando la cabeza sobre un vertedero triangular es menor de 10 cm hay posibilidad de que se formen vacíos, por lo tanto no se recomienda su uso. En los vertederos hay que tener especial cuidado debido a que estos al represar el agua van acumulando sólidos y sustancias como grasas que interfieren en la calidad del agua y, en la representatividad de la muestra.

Medición por velocidad. Las canaletas se usan más comúnmente en canales abiertos donde:

- ☞ La rata de flujo no pueda medirse adecuadamente por un vertedero.
- ☞ Haya una significativa cantidad de partículas y otros materiales que podrían llenar un vertedero.
- ☞ La capacidad de la cabeza hidráulica sea insuficiente para utilizar el vertedero.
- ☞ La velocidad de flujo de una canaleta puede ser establecida tal que, sedimentos y otros sólidos pueden ser lavados a través de ella.
- ☞ La instalación de una canaleta puede ser relativamente más cara que un vertedero.

- ☛ El diseño típico de una canaleta debe incluir lo siguiente: las secciones rectas del canal deben estar corriente arriba de la entrada de la canaleta, el flujo debe ser bien distribuido a través del canal, la velocidad corriente arriba del canal debe ser menor que la velocidad crítica, y la canaleta no debe estar sumergida y debe tener una descarga libre aguas abajo.

Otras técnicas de medición. Existen equipos de medición electromagnética o por ultrasonido, que pueden ser consultados en la bibliografía.

1172

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD PARA METODOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS Y DATOS.

CONTENIDO DEL SEGUIMIENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

El seguimiento de aseguramiento de la calidad al programa de monitoreo de la calidad del agua, se llevara a cabo cada año fiscal y se realizara por parte del Grupo de Aseguramiento de Calidad (Coordinador del Programa de Monitoreo). El propósito del seguimiento es asegurar que el personal de campo este llevando a cabo los procedimientos de monitoreo definidos dentro del programa de monitoreo para colección y transporte de muestras de agua y manejo de datos. El seguimiento de aseguramiento de la calidad realizado por parte del coordinador del programa, debe incluir entrenamiento específico en campo de los procedimientos de monitoreo para colección y transporte de muestras de agua y manejo de datos.

REVISIÓN DE REGISTROS.

El seguimiento del aseguramiento de la calidad incluye la revisión de los siguientes registros:

Diario de datos de campo: debe ser guardado en un archivo específico en el Centro de Control. En él, se almacena todos los inconvenientes presentados en la estación y sirven como un registro permanente de observaciones y mediciones de campo, realizadas durante muchos eventos de monitoreo.

1173

Diario de calibración: Los registros de calibración de igual manera se deben almacenar en un diario de calibración y deben ser guardados en el centro de control. Es importante mantener los diarios de calibración separados, es decir, un portafolio por cada instrumento que necesite calibración (ej. Sonda multiparamétrica). Cada uno de esos documentos deberá contener los datos pre y post calibración, como también las notas referentes a motivos de la descalibración y daños provocados en los componentes.

Formatos de datos de flujo: Los datos de medición de flujo realizados en campo, deben ser guardados en un archivo en el centro de control. Esta información deberá ser registrada y mantenida como parte de los diarios de datos de campo.

Registros de Coliformes fecales: Los registros de los análisis de Coliformes, son guardados en un archivo específico en el centro de control. Estos registros deben incluir información de volúmenes de muestras y conteo de colonias.

Aseguramiento de la calidad para los resultados de las muestras: Copias de los resultados de las muestras blancos y duplicados, deben ser guardadas en un archivo en el centro de control. El aseguramiento de calidad a estos resultados será evaluado por el grupo de Aseguramiento de Calidad y Administración de Datos.

PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.

El personal encargado de cada estación de monitoreo, deberá demostrar el uso apropiado de cada instrumento para los procedimientos de pre y post calibración del medidor de oxígeno disuelto, pH, temperatura y conductancia específica. Donde dos o más personas compartan responsabilidad del manejo de una estación, ellos podrán de manera independiente ser requeridos para demostrar el uso apropiado de los procedimientos de calibración.

Se les realizara evaluaciones periódicas en la medición de pH y conductividad de muestras. Estas muestras deben ser estándares de pH y conductividad conocidas, pero desconocidas para el personal a evaluar. Los resultados de estas evaluaciones deben ser registradas en el control central en el respectivo Kardex de cada personal.

Todas las actividades de calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición serán ejecutados por el personal de campo y serán registradas en el Diario de Calibración de Instrumentos. Si la calibración o el mantenimiento se realiza en campo, esta información se podrá incluir en el Diario de Datos de Campo.

PROCEDIMIENTOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS Y DATOS.

Un mínimo de una persona por cada estación de monitoreo, deberá demostrar el adecuado procedimiento de colección de muestras y datos. El procedimiento de colección, incluye pero no se limita a los siguientes aspectos:

- ☛ Mediciones en campo de oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductancia, sólidos suspendidos y flujo.

- ☛ Colección, preservación y transporte de muestras para calidad de agua, metales y compuestos orgánicos.
- ☛ Colección y preparación de muestras para Coliformes fecales
- ☛ Calculo del flujo de agua a partir de los datos de campo.

PASO SIGUIENTE AL SEGUIMIENTO DEL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Cada seguimiento de aseguramiento de calidad es continuado con una descripción escrita o verbal de los hallazgos obtenidos en la visita de seguimiento. De ser posible, esta descripción se debe realizar en presencia del supervisor directo del personal de campo o del coordinador del programa de monitoreo.

Se discutirán los aspectos concernientes a:

- ☛ Materiales y procedimientos evaluados durante el seguimiento de aseguramiento de calidad.
- ☛ Sugerir y/o realizar cambios en los procedimientos de muestreo, y plantear acciones para corregir cualquier deficiencia.

Las acciones correctivas discutidas durante esta revisión verbal, serán puestas en marcha de manera inmediata. Todas las acciones correctivas definidas, deberán ser registradas en un Memorando interno y guardas en el respectivo archivo del Programa de Aseguramiento de Calidad que para tal fin se debe disponer.

El personal encargado de realizar el programa de aseguramiento de calidad, enviara este memorando al Director del Programa de monitoreo

de calidad de agua, con copia al personal evaluado. Este documento suministrara la siguiente información:

- ☞ Descripción de materiales y procedimientos usados en el monitoreo, evaluados durante el seguimiento.
- ☞ Acciones requeridas para corregir las deficiencias en la colección de muestras y datos de calidad de aguas
- ☞ Acciones propuestas basadas sobre cambios en el programa de monitoreo.

Con base en este memorando y dentro de los 30 días de emitido este documento, el Coordinador del Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua, estará en la obligación de responder por escrito a las no conformidades encontradas y registradas en el memorando de seguimiento de aseguramiento de calidad. En su respuesta, el coordinador deberá describir una o todas las acciones correctivas que se deban tomar para mitigar las deficiencias en el futuro.

El próximo seguimiento de aseguramiento de la calidad (el año fiscal siguiente) incluirá una revisión que asegure que las acciones correctivas fueron iniciadas y continuadas. Si dichas acciones correctivas no se realizaron, la oficina de control central deberá tomar medidas que aseguren la calidad de los datos en el programa de monitoreo del recurso hídrico. Si a través de una revisión de calidad de los datos se observa que estos han sido comprometedores, estos se cuestionaran y serán removidos de la base de datos existente, evitando la toma de decisión equivocadas.

CAPACITACIONES ANUALES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Cada año, todo el personal responsable del programa de monitoreo de la calidad del agua, tendrá la obligación de participar en una jornada de capacitación. En este espacio se revisara las políticas existentes y se aprenderán nuevos procedimientos de monitoreo de la calidad del agua. Adicional a esta capacitación anual, se deben llevar a cabo durante el año, varios cursillos que permitan al personal de control central y al de campo, desarrollar nuevas técnica en monitoreo, mediciones hidráulicas, análisis y reporte de datos.

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los análisis de laboratorio realizados a las muestras, deberán satisfacer o exceder los requerimientos definidos el "Standard Methods for the Examination for Water and Wasterwater", y los protocolos desarrollados por el IDEAM.

El laboratorio implementado por el DAGMA o en su defecto los laboratorios contratados para realizar el análisis a las aguas, participaran en un programa de intercalibración consistente de dos (2) jornadas de monitoreo. Con este programa se buscara determinar la exactitud y precisión de sus análisis, como también la comparabilidad de sus resultados con otros laboratorios participantes en el programa de intercalibración.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LOS METODOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS

Pruebas periódicas de campo referentes a la colección de muestras de aguas y al manejo de habilidades en el transporte, deben ser incluidas en el programa de aseguramiento de calidad. Los métodos de colección, preservación, almacenamiento y transporte de las muestras se deben llevar a cabo conforme a los protocolos desarrollados por el "Standard Methods for the Examination for Water and Wasterwater", y por el IDEAM.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LOS DATOS.

El manejo de la información detallada de los datos será consignada en una Guía de Referencia de Manejo de Datos del Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua. Todos los datos a ser adicionados a la base de datos del programa de monitoreo, experimentaran las siguientes revisiones .

Revisión de los formatos de datos.

Cada formato de datos que sea recibido en el Centro de Control, será revisado bajo los siguientes aspectos:

Descripción de la estación / Código.: Comparar la descripción de la estación con el código de la misma, asegurando que representen el mismo punto de muestreo.

Toma de muestra: Verificar que el código de la estación, fecha, hora y profundidad de la toma de muestra, son correctas y están registradas en el correspondiente formato de Solicitud de Análisis.

Composición de la muestra: Revisar que la información de la composición de la muestra este completa y registrada en el formato de Solicitud de Análisis. La información de la composición de la muestra incluye la fecha de inicio y fin, hora de inicio y fin, profundidad de inicio y fin.

Códigos de parámetros: Asegurarse que cada valor sea representativo a un código valido de parámetro.

Valores de parámetros: Revisar los resultados de laboratorio para valores mínimos y máximos, esto con el fin de verificar que estos valores estén comprendidos en el rango de lectura para cada parámetro específico.

Reporte de datos de laboratorio: Hacer una revisión total de los datos reportados por el laboratorio y comparar los valores mínimos y máximos, con el limite de detección para cada parámetro. Esto indicará que los datos han sido validados.

ANEXO

PROTOCOLOS DEL IDEAM

PRESENTACION

El programa de Físico Química Ambiental del IDEAM elabora protocolos relacionados a los aspectos pertinentes y obligatorios para evaluación de la calidad del agua. En este sentido pueden encontrarse metodologías que son validadas por el IDEAM, otras que están en proceso de validación, y las que están en proceso de montaje. A continuación se presenta un listado de las metodologías agrupadas en cada una de las anteriores categorías.

♦ Metodologías validadas en el IDEAM

Conductividad eléctrica

Fósforo Soluble, método del ácido ascórbico

Nitrógeno amoniacal, destilación y volumetría

pH

Sólidos suspendidos totales, gravimetría/secado a 103-105°C

♦ Metodologías en proceso de validación en el IDEAM

Demanda bioquímica de oxígeno, volumetría

Demanda química de oxígeno, reflujo cerrado - espectrofotometría

Demanda química de oxígeno, reflujo cerrado - volumetría

Metales pesados, absorción atómica - lectura directa/llama de aire-acetileno

Nitrato, espectrofotometría ultravioleta

Nitrito, espectrofotometría

Nitrógeno amoniacal, electrodo selectivo de amoniaco

Nitrógeno amoniacal, electrodo selectivo de amoniaco con adición conocida

Oxígeno disuelto, electrometría

Oxígeno disuelto, yodometría/modificación de azida

Plaguicidas, Cromatografía de gases/espectrometría de masas

Sulfato, turbidimetría

Tensoactivos, sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

♦ **Metodologías en proceso de montaje del IDEAM**

Carbono organico total.

Nitrogeno Kjeldahl.

Fosforo total.

Metales pesados, polarografía de redisolucion.

Hidrocarburos, cromatografía de gases / espectrometria de masas.

Compuestos orgánicos volátiles, purga y trampa / CG - EM.

Nitrato, electrodo de ion selectivo.

En los protocolos que se elaboran se encuentra información referente a las pruebas, aplicaciones de la metodología empleada, limitaciones e interferencias, toma y preservación de muestras, aparatos, reactivos, procedimiento, cálculos, precisión , químico responsable, fechas del protocolo, referencias y bibliografía, que se consideran indispensables para la implementacion del sistema de monitoreo del recurso hidrico en el municipio de Santiago de Cali, con sus tyres componentes: la red 1 de salidas de agua de la ciudad, la red 2 o de entradas de agua a la ciudad y la red tres o red de alertas ubicada en la parte alta de los ríos de Cali.

METODOLOGIAS PARA TOMA DE MUESTRAS

A continuación se presentan las tablas 1 y 2 donde se relacionan algunas de las metodologías mencionadas, resumiendo los siguientes aspectos: prueba, técnica de muestreo, conservación y equipos. La técnica de muestreo encontrada en general es manual, la cual requiere mayor cuidado en la toma de la muestra. En cuanto a la conservación de la muestra, en la mayoría de metodologías se requiere refrigeración para un periodo de 24 horas y congelamiento si es mayor el período, sin embargo existen metodologías que requieren la adición de un ácido para su preservación. Los equipos requeridos para cada prueba varían en complejidad dependiendo de la misma, en general comprenden: filtros, incubadores, electrodos, agitadores, espectrofotómetro, equipo colorimétrico entre otros.

TABLA No. 1. Metodos de análisis fisicoquimico.

Sigla	Variable fisicoquímica	Método	Técnica analítica
MUE	Toma de muestras		
NH3	Nitrógeno amoniacal	Destilación y volumetría	volumetría
NH3	Nitrógeno amoniacal	de electrodo selectivo de amoniaco	electrometría
NH3	Nitrógeno amoniacal	de electrodo selectivo de amoniaco con adición conocida	electrometría
Con	conductividad	Conductométrico	electrometría
DBO	demanda bioquímica de oxígeno	Incubación	volumetría
DQO	demanda química de oxígeno	de reflujo cerrado, volumétrico	volumetría
DQO	demanda química de oxígeno	de reflujo cerrado, colorimétrico	espectrofotometría
PO4	fósforo	del ácido ascórbico	espectrofotometría
MP	metales pesados	Espectrofotométrico de absorción atómica, método directo/llama de aire-acetileno	espectrofotometría
NO3	nitrato	Espectrofotométrico ultravioleta	espectrofotometría
NO2	nitrito	Colorimétrico	espectrofotometría
OD	oxígeno disuelto	Yodométrico/modificación de azida	volumetría
OD	oxígeno disuelto	de electrodo de membrana	electrometría
pH	pH	Electrométrico	electrometría
SST	sólidos suspendidos totales	Gravimétrico secados a 103-105°C	gravimetría
SO4	Sulfato	Turbidimétrico	turbidimetría
T	Temperatura	Termométrico	termometría

Fuente: Información Página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

TABLA No. 2

Listado de Equipos y Aparatos por Prueba

Prueba	Muestreo	Conservación	Equipos ¹
n			
DBO ₅	Manual	Refrigeración	Botellas de incubación para la DBO , de 250 a 300 mL de capacidad. Lavarlas con detergente, enjuagarlas varias veces, y escurrirlas antes de su uso. Para evitar la entrada de aire en la botella de dilución durante la incubación, se debe utilizar un sello de agua, que se puede lograr satisfactoriamente invirtiendo las botellas en un baño de agua o adicionando agua en el reborde cóncavo de la boca de las botellas especiales para la DBO. Colocar una copa de papel o plástica o un capuchón metálico sobre la boca de la botella para reducir la evaporación del sello de agua durante la incubación.
			Incubadora de aire o baño de agua , controlada termostáticamente a $20 \pm 1^\circ\text{C}$; excluir cualquier fuente luminosa para eliminar el proceso de producción fotosintética de OD.
DQO	Manual	Adición de ácido	Equipo de reflujo , constituido por balones o tubos de digestión de 500 o 250 mL de capacidad con boca 24/40 de vidrio esmerilado y condensador Liebig, West, Friedrichs, Allihn o equivalente, de 300 mm, con unión 24/40 de vidrio esmerilado, y una plancha de calentamiento con regulador de temperatura y potencia suficiente para producir al menos $1,4 \text{ W/cm}^2$ de superficie de calentamiento, o su equivalente.
SST	Manual	Refrigeración por máximo 24 horas	Filtros circulares de fibra de vidrio , sin aditivos orgánicos. Aparato de filtración : puede ser uno de los siguientes, adecuado para el filtro seleccionado: a) <i>Embudo con filtro de membrana</i> . b) <i>Crisol Gooch</i> , de 25 a 40 mL de capacidad, con su respectivo adaptador. c) <i>Aparato de filtración</i> con recipiente y disco fritado grueso (40- a 60-mm) como soporte del filtro. Erlenmeyer con tubuladura lateral , de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado. Discos de aluminio o de acero inoxidable , de 65 mm de diámetro, para pesar.

¹ Información página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

5811

			Desecador, con desecante e indicador coloreado de humedad o indicador instrumental. <i>Estufa para secado</i>, para operar en el intervalo de 103 a 105°C. Balanza analítica, con precisión de 0,1 mg. Bomba de vacío. Agitador magnético con barra agitadora de teflón. Pipetas de punta ancha.
PH	Manual	Análisis inmediato	El instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución problema se completa el circuito. Muchos medidores de pH pueden realizar lecturas en escalas de pH o de milivoltios; algunos tienen expansión de escala que permite hacer lecturas de 0,001 unidades de pH, pero la mayoría de instrumentos no son tan precisos. Para trabajos de rutina usar instrumentos con exactitud y reproducibilidad de 0,1 unidades de pH en un rango de 0 a 14 y equipados con un compensador de temperatura. Electrodo de referencia, consiste en una semicelda que provee un potencial de electrodo constante; los más comúnmente usados son electrodos de calomel y plata: cloruro de plata. Seguir las recomendaciones del fabricante para el uso y cuidado del electrodo de referencia. Llenar los electrodos no sellados con el electrolito correcto hasta el nivel debido y asegurarse de que la unión esté humedecida. Electrodo de vidrio. El electrodo sensor es un bulbo de vidrio especial que contiene una concentración fija de HCl o una solución tamponada de cloruro en contacto con un electrodo de referencia interno. Los electrodos combinados incorporan los electrodos de vidrio y de referencia en uno solo. Utilizar un electrodo especial de error bajo de sodio, "low sodium error", que puede operar a altas temperaturas para mediciones de pH mayores de 10, los electrodos estándar de vidrio producen valores bajos. Para medir pH inferiores a 1 emplear una membrana líquida, los electrodos estándar de vidrio producen valores altos. Vasos. Usar preferiblemente vasos de polietileno o de tetrafluoroetileno (TFE, teflón). Agitador. Usar un agitador magnético con barra agitadora recubierta de TFE o un agitador mecánico con hélice recubierta en plástico.
Temperatura		Análisis inmediato	
OD	Manual	Adición de soluciones de Sulfato Manganeso,	Botellas de incubación para DBO, de 250 a 300 mL de capacidad, con boca angosta de reborde ancho y tapa de vidrio esmerilado terminada en punta.

		alcali-yoduro, H_2SO_4	
Caudal			
Nitrogeno Amoni acal	Manual	Refrigeración, Adición de H_2SO_4 hasta $pH < 2$	Aparato de destilación: Acoplar un balón de vidrio borosilicato de 800 a 2 000 mL de capacidad, con un condensador vertical de tal manera que la punta de salida pueda sumergirse bajo la superficie de la solución receptora ácida. Usar un aparato de vidrio borosilicato o un aparato con unidades condensadoras construidas de bloques de estaño o tubos de aluminio. <i>pH metro.</i>
COT	Manual	Refrigeración hasta 24 horas y adición de ácido	Analizador de carbono orgánico total Jeringas: con capacidad de 0 a 50 micro-litros, 0 a 200 micro-litros, 0 a 500 micro-litros y 0 a 1 mL. Homogeneizadora o mezcladora de la muestra. Agitador magnético y barras agitadoras cubiertas con teflón. Aparato de filtrado y filtros con poros de 0.45 micrómetros de diámetro
Mercurio	Manual	Adición de HNO_3 hasta $pH < 2$ y Refrigeración	Espectrofotómetro de Absorción Atómica , de canal y haz de luz sencillo o doble, con monocromador de rejilla, detector fotomultiplicador, ranura ajustable, intervalo de longitud de onda entre 190 y 800 nm, y provisto de una interfase y registrador. Quemador , recomendado por el fabricante para el instrumento en particular. Para ciertos elementos se requiere un quemador de óxido nítrico. Lámparas de cátodo hueco , preferiblemente de un solo elemento. Horno de grafito , capaz de alcanzar la temperatura especificada. Válvulas reductoras de presión , para los tanques de combustible y oxidante.
Nitrato		Refrigeración hasta 24 horas	Espectrofotómetro , para usar a 220 nm y 275 nm con celda de cuarzo de 1 cm de longitud de paso óptico.
Nitrato	Manual	Refrigeración hasta 24 horas	Columna de reducción: Adquirir la columna (Figura 4500- NO_3^- :1, <i>Standard Methods</i> , p 4-87), o construirla con una pipeta de 100 mL o unir un tubo de 10 cm de longitud y 3 cm de diámetro interno a un tubo de 25 cm de longitud y 3,5 mm de diámetro interno; acoplar una llave de TFE con una válvula de medición para controlar el flujo. Equipo colorimétrico: se requiere uno de los siguientes: Espectrofotómetro, para usar a 543 nm, provisto de celda con paso de luz de 1 cm o mayor. Fotómetro de filtro, provisto de una celda con paso de luz de 1 cm o más y equipado con filtro verde que tenga una transmitancia máxima cerca de 540 nm.
Nitrito	Manual	Refrigeración	Equipo colorimétrico: se requiere uno de los siguientes:

			Espectrofotómetro, para usar a 543nm, provisto de celda con paso de luz de 1cm o más. Fotómetro de filtro, provisto de una celda con paso de luz de 1 cm o más y equipado con un filtro verde que tenga una transmitancia máxima cerca de 540 nm.
Nitrogeno Organico	Manual	Acidificación con H2SO4 y Refrigeración	Aparato de digestión: Usar balones kjeldahl con una capacidad de 100 ml en un aparato de digestión semi-micro kjeldahl equipado con elementos de calentamiento para acomodar los balones kjeldahl y una salida de succión para el escape de los gases. Los elementos de calentamiento deben proveer un rango de temperatura de 375 a 385°C para una digestión efectiva. Aparato de destilación: Usar una unidad de vidrio equipada con un recipiente generador de vapor que contenga un calentador de inmersión (Ver Figura 4500-Nora:1, Standard Methods). <i>pH metro.</i>
SST	Manual	Refrigeración hasta 24 horas	Filtros circulares de fibra de vidrio , sin aditivos orgánicos. Aparato de filtración: puede ser uno de los siguientes, adecuado para el filtro seleccionado: Embudo con filtro de membrana. Crisol Gooch , de 25 a 40 mL de capacidad, con su respectivo adaptador. Aparato de filtración con recipiente y disco triturado grueso (40- a 60-m m) como soporte del filtro. Erlenmeyer con tubuladura lateral , de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado. Discos de aluminio o de acero inoxidable , de 65 mm de diámetro, para pesar. Desecador , con desecante e indicador coloreado de humedad o indicador instrumental. Estufa para secado , para operar en el intervalo de 103 a 105°C. Balanza analítica , con precisión de 0,1 mg. Bomba de vacío. Agitador magnético con barra agitadora de teflón. Pipetas de punta ancha.
Sulfato	Manual	Refrigeración	Agitador magnético: Con control de velocidad. Emplear una velocidad de agitación constante y que evite salpicaduras; la velocidad exacta de agitación no es crítica, pero debe mantenerse constante para cada grupo de muestras y estándares. Usar barras agitadoras de forma y tamaño idénticos. Fotómetro: Nefelómetro. Espectrofotómetro, para usar a 420 nm, provisto de un paso de luz de 2,5 a 10 cm. Fotómetro de filtro, equipado con un filtro violeta con un máximo de transmitancia cerca

			a 420 nm y paso de luz de 2,5 a 10 cm. Cronómetro o temporizador eléctrico. Cuchara medidora, con capacidad de 0,2 a 0,3 mL.
Fósforo Total	Manual	Congelamiento y adición de 40 mg de $HgCl_2/l$	Bloque (Rack) de digestión: Balones micro-kjeldahl. Equipo colorimétrico: se requiere uno de los siguientes: Espectrofotómetro, con fototubo infrarrojo para usar a 880 nm, provisto de una celda con paso de luz de 2,5 cm o mayor. Fotómetro de filtro, equipado con un filtro de color rojo y paso de luz de 0,5 cm o mayor. Vidriería lavada con ácido: para determinar bajas concentraciones de fósforo; la contaminación con fosfato es común debido a su absorción en las superficies de vidrio y se debe evitar el uso de detergentes comerciales que contienen fosfato. Lavar toda la vidriería con HCl diluido y caliente y enjuagar muy bien con agua destilada. Es preferible reservar la vidriería solamente para las determinaciones de fosfato, y si después de su uso se lava y guarda llena de agua, el tratamiento con ácido solo se requiere ocasionalmente.
Metales Pesados	Manual	Agregar ácido nítrico hasta $pH < 2$	Filtración: <i>Equipo de filtración</i> , de plástico con soporte de plástico o TFE para el filtro, con aplicación de vacío o presión. Digestión ácida: <i>Plancha de calentamiento.</i> <i>Erlenmeyer</i> , de 125 mL, o vasos <i>Griffin</i> , de 150 mL, lavados con ácido y enjuagados con agua. <i>Balones volumétricos</i> , de 100 mL. <i>Vidrios de reloj</i> . (Para la digestión con ácido nítrico - ácido clorhídrico). <i>Baño de vapor</i> . (Para la digestión con ácido nítrico - ácido clorhídrico). Digestión por Microondas <i>Unidad de microondas</i> , de potencia programable (mínimo 545 W) en el intervalo de ± 10 W de la potencia requerida, resistente a la corrosión, con cavidad bien ventilada y con todos los componentes electrónicos protegidos contra la corrosión para una operación segura. Usar una unidad que tenga plato rotatorio con una velocidad mínima de 3 rpm para asegurar una distribución homogénea de la radiación de microondas. Solo pueden usarse equipos microondas y recipientes de digestión cerrados con escape de presión grado laboratorio, diseñados específicamente para trabajar con ácidos calientes.

			<i>Vasos o recipientes</i>, contruidos de perfluoroalcoxi (PFA) Teflón, capaces de resistir presiones de al menos 760 ± 70 kPa (110 ± 10 psi), y capaces de liberar presión controlada en el máximo de presión dado por el fabricante. Lavar con ácido todos los vasos de digestión y enjuagarlos con agua destilada. Para vasos nuevos o cuando se cambie entre muestras de alta y baja concentración de metales, lavarlos por remojo con HCl 1+1 caliente por un mínimo de 2 h y luego con HNO_3 1+1 por un mínimo de 2 h; enjuagarlos con agua y secarlos en un ambiente limpio. Usar este procedimiento cuando se desconozca el uso previo de los vasos de digestión o cuando se sospeche una contaminación cruzada de los vasos. <i>Recipiente plástico</i> con tapa, de 1 L, preferiblemente hecho de PFA Teflón. <i>Botellas</i>, de polietileno, de 125 mL, con tapas. <i>Termómetro</i>, con exactitud de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. <i>Balanza</i>, con capacidad para 1500 g, exactitud de 0,1 g. <i>Equipo de filtración o centrifuga</i> (opcional).
Plomo y Cadmi o			1. <i>Analizador electroquímico</i>: El analizador electroquímico básico consta de un potencióstato con tres electrodos. El potencióstato suministra un potencial negativo constante al electrodo de trabajo y compara el potencial con un electrodo de referencia. El equipo también consta de un aparato sensible que mide la corriente, suministra pulsos de diferentes amplitudes y frecuencias, diferentes tasas de inspección y rangos de corriente. Los equipos mas elaborados están controlados por un microprocesador y realizan corrección de fondo, rectificación de la línea-base, cronómetro automático, purga de gas, agitación y análisis de datos. Se utilizan comúnmente dos variaciones de los tipos de ondas de desalojo: de pulso diferencial (PDVDA) y de onda cuadrada (OCVDA). La onda de pulso diferencial consiste de una serie de pulsos superpuestos en una rampa de voltaje lineal; mientras que la onda cuadrada consiste en una serie de pulsos superpuestos en una escalera de onda potencial. El desalojo con onda cuadrada es más rápido que el desalojo con pulso diferencial y es por lo general 10 veces más sensible. La mayoría de los equipos modernos realizan tanto el desalojo con pulso diferencial como con onda cuadrada; entre tanto, los equipos viejos ofrecen el desalojo con pulso diferencial únicamente. 2. <i>Electrodos y celda</i>: Hay tres electrodos; el de trabajo, de referencia y el auxiliar. Los electrodos de trabajo pueden trabajar con gota suspendida de mercurio o con una película delgada de mercurio. Los electrodos que utilizan gota suspendida deben distribuir el mercurio en gotas de tamaño precisamente controlados.

		Pueden ser electrodos de tipo Kemula o electrodos de gota estática de mercurio. En cualquier caso, se elimina una gota vieja antes de dispensar una gota fresca de mercurio. Se utiliza un mecanismo de agitación de velocidad constante para suministrar reproducibilidad en el transporte de masa en las muestras y los estándares. Cuando se requieren límites de detección muy bajos, se utiliza preferiblemente electrodos que emplean una película delgada de mercurio. Estos electrodos cuentan con un disco de carbono sobre el cual se produce la amalgama durante la electrólisis. Un agitador de alta precisión y de velocidad constante suministra un transporte de masa reproducible. Los electrodos de referencia pueden ser de calomelano saturado o electrodos de plata/cloruro de plata saturado. El electrodo auxiliar o el contraelectrodo es de platino. Se utilizan celdas de vidrio, sílice fundido o de teflón. Preferiblemente se utilizan las de sílice fundido y las de teflón ya que no están sujetas a procesos de absorción o deabsorción. Las celdas se deben cubrir con una tapa que produzca reproducibilidad en la ubicación de los electrodos y en los tubos de purga de gas. Igualmente la tapa debe tener un orificio adicional para la adición de estándares. La celda se debe colocar en una zona donde la temperatura se mantiene relativamente constante. Como alternativa se puede utilizar un baño de agua de temperatura constante y envolver o cubrir la celda. 3. <i>Equipo para la remoción de oxígeno:</i> El oxígeno produce una interferencia en los análisis electroquímicos; y por lo tanto, éste se debe eliminar de la solución purgando la muestra con nitrógeno antes de realizar la electrólisis. Se colocan dos tubos de entrada de gas a través de la tapa de la celda; uno se extiende dentro de la solución y el otro en el espacio por encima de la solución. El oxígeno y el nitrógeno en exceso se desaloja por medio de un orificio en la tapa de la celda. 4. <i>Equipo de captura de datos:</i> un diagramador XY o un microprocesador para registrar los voltamogramas de desalojo. 5. <i>Cronómetro:</i> que se utiliza para controlar con precisión los tiempos de electrólisis y reposo. Puede ser parte del analizador electroquímico o un cronómetro independiente. 6. <i>Disco de pulimento:</i> Para obtener el pulimento requerido en el electrodo de carbono, se utiliza un disco motorizado de pulimento.

11.93

1. NITRATO

Monitoreo por Espectrofotometría Ultravioleta

SUMARIO Y APLICACIONES

- La técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta (UV) mide la absorbancia del nitrato (NO_3^-) a 220 nm y es adecuada para la determinación rápida de NO_3^- y el monitoreo de aguas con bajo contenido de materia orgánica, como aguas naturales sin contaminar y fuentes de agua potable.
- Debido a que la materia orgánica disuelta también puede absorber a 220 nm y a que el NO_3^- no absorbe a 275 nm, se usa una segunda medición a 275 nm para corregir el valor de NO_3^- . La aplicación de esta corrección empírica está relacionada con la naturaleza y concentración de materia orgánica y puede variar de una muestra a otra. Consecuentemente, este método no es recomendado si se requiere una corrección significativa para absorbancia de materia orgánica, aunque puede usarse en el monitoreo de niveles de NO_3^- en un cuerpo de agua con un tipo constante de materia orgánica. Los factores de corrección para la absorbancia de la materia orgánica se pueden establecer por el método de adiciones en combinación con el análisis del contenido original de NO_3^- por otro método.
- La filtración de muestra tiene la intención de remover la posible interferencia de partículas suspendidas. La acidificación con HCl 1 N está designada para prevenir la interferencia de concentraciones de hidróxido o carbonato hasta de 1000 mg CaCO_3/L . El cloruro no tiene efecto en la determinación.

1194

- Monitorear una muestra y si es necesario, seleccionar otro método de determinación de NO_3^- adecuado para el intervalo de concentración y las probables interferencias. Los intervalos aplicables para otros métodos, en mg NO_3^- -N/L son: electrodo de nitrato, 0,14 a 1400; reducción con cadmio, 0,01 a 1,0; cloruro de titanio, 0,01 a 10; reducción con hidrazina, 0,01 a 10; automatizado de reducción con cadmio, 0,5 a 10; el nitrato también puede ser determinado por cromatografía iónica. Para concentraciones de NO_3^- más altas, diluir al intervalo del método seleccionado.
- La técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta de NO_3^- obedece la ley de Beer hasta 11 mg NO_3^- -N/L.

LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

- La materia orgánica disuelta, los agentes surfactantes, el NO_2^- , y el Cr^{6+} interfieren.
- Varios iones inorgánicos que normalmente no se encuentran en aguas naturales, tales como clorito y clorato, pueden interferir. Se pueden preparar curvas de corrección individuales para compensar la interferencia de las sustancias inorgánicas, por medio de análisis independientes de sus concentraciones.
- El método espectrofotométrico requiere una muestra ópticamente limpia, por lo cual las muestras turbias se deben filtrar a través de un filtro de membrana de 0,45 m m de diámetro de poro. Ensayar los filtros para contaminación por nitrato.

1.1.3 TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

- Iniciar las determinaciones de NO_3^- con prontitud después del muestreo.

- Si es necesario el almacenamiento, guardar hasta por 24 h a 4°C; para almacenamientos más prolongados, preservar con 2 mL de H₂SO₄ concentrado/L y guardar a 4°C.
- NOTA: Cuando la muestra se preserve con ácido, no se pueden determinar NO₃⁻ y NO₂⁻ como especies individuales.

1.1.4 APARATOS

1. *Espectrofotómetro*, para usar a 220 nm y 275 nm con celda de cuarzo de 1 cm de longitud de paso óptico.

1.1.5. REACTIVOS

1. *Agua libre de nitrato*. Usar agua redestilada o destilada, y desionizada de la mayor pureza para preparar todas las soluciones y diluciones.
2. *Solución patrón de nitrato*. Secar nitrato de potasio (KNO₃) en un horno a 105°C por 24 h. Disolver 0,7218 g en agua y diluir a 1000 mL; 1,00 mL = 100 mg NO₃⁻-N. Preservar con 2 mL de CHCl₃/L. Esta solución es estable por lo menos 6 meses.
3. *Solución intermedia de nitrato*. Diluir 100 mL de la solución patrón de nitrato a 1000 mL con agua; 1,00 mL = 10,0 mg NO₃⁻-N. Preservar con 2 mL de CHCl₃/L. Esta solución es estable por lo menos 6 meses.
4. *Solución de ácido clorhídrico*, HCl, 1 N.

1.1.6. PROCEDIMIENTO

1. *Tratamiento de la muestra*: A 50 mL de muestra clara, filtrada si es necesario, agregar 1 mL de solución de HCl y mezclar muy bien.

2. *Preparación de la curva estándar:* Preparar estándares de calibración de NO_3^- en el intervalo de 0 a 7 mg NO_3^- -N/L diluyendo a 50 mL los siguientes volúmenes de solución intermedia de nitrato: 0, 1,00, 2,00, 4,00, 7,00 . . . 35,0 mL. Tratar los estándares de NO_3^- en la misma manera que las muestras.
3. *Medición espectrofotométrica:* Ajustar el cero de absorbancia o 100% de transmitancia con agua redestilada. Leer la absorbancia o transmitancia a una longitud de onda de 220 nm para obtener la lectura de NO_3^- y a una longitud de onda de 275 nm para determinar la interferencia debida a la materia orgánica disuelta.

CÁLCULOS

1. Para obtener la absorbancia debida al NO_3^- en las muestras y los estándares, sustraer dos veces la lectura de absorbancia a 275 nm de la lectura a 220 nm. Construir la curva de calibración graficando la absorbancia debida al NO_3^- contra la concentración de NO_3^- -N de los estándares. Con las absorbancias corregidas de las muestras, obtener las concentraciones de las muestras directamente de la curva estándar.
2. NOTA: Si el valor de corrección es más del 10% de la lectura a 220 nm, no usar este método.

1.1.8. QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: *Laboratorio de Química Ambiental del IDFEAM*

Montaje Técnica: *Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM*

1.1.9. FECHAS

Elaboración Protocolo: *agosto de 1997*

Revisión: agosto de 1997

1.1.10. REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation*. 19ed., New York, 1995

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.2. METALES PESADOS

Filtración y Digestión de Muestras

1.2.1. SUMARIO Y APLICACIONES

1. Las muestras para determinación de metales pesados que contienen material particulado o materia orgánica, generalmente requieren un pretratamiento antes del análisis. De acuerdo con el proceso aplicado, los resultados se pueden clasificar en:
 - *Metales disueltos*. Aquellos constituyentes metálicos de una muestra sin acidificar que pasan a través de un filtro de membrana de 0,45 m m de diámetro de poro.
 - *Metales suspendidos*. Aquellos constituyentes metálicos de una muestra sin acidificar que son retenidos por un filtro de membrana de 0,45 m m de diámetro de poro.
 - *Metales totales*. La concentración de metales determinada después de una digestión vigorosa en una muestra sin filtrar, o la suma de las concentraciones de metales en las fracciones disuelta y

suspendida. Incluye todos los metales enlazados orgánica e inorgánicamente, tanto disueltos como particulados.

- *Metales extraíbles con ácido.* La concentración de metales en solución después del tratamiento con ácido mineral diluido caliente de una muestra sin filtrar.
2. En las muestras incoloras y transparentes (agua potable) que tengan turbidez menor de 1 NTU, inodoras, y de una sola fase, se pueden analizar directamente los metales por espectroscopía de absorción atómica sin digestión. Para posterior verificación o si se encuentran cambios en las matrices existentes, comparar las muestras digeridas y no digeridas para asegurar resultados comparables. Después de la recolección, acidificar tales muestras a $\text{pH} < 2$ con ácido nítrico concentrado (HNO_3) y analizar directamente. Todas las demás muestras de deben digerir antes de determinar los metales totales. Para analizar los metales disueltos, filtrar la muestra, acidificar el filtrado y analizar directamente. Para determinar los metales suspendidos, filtrar la muestra, digerir el filtro y el material retenido, y analizar. Para determinar los metales extraíbles con ácido, hacer la extracción como se indica más adelante y analizar el extracto.

1.2.2. LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

1. Tener cuidado de no introducir metales en la muestra durante el tratamiento preliminar. Evitar el contacto con caucho, pinturas con bases metálicas, humo de cigarrillo, tejidos de papel, y todos los productos metálicos incluyendo los fabricados de acero inoxidable, metal galvanizado y bronce.

2. Las cabinas de extracción convencionales pueden contribuir de manera significativa a la contaminación de la muestra, particularmente durante la digestión ácida en recipientes abiertos.
3. Las puntas plásticas de pipetas muchas veces están contaminadas con cobre, hierro, zinc, y cadmio; antes de usarlas, remojarlas en HCl o HNO₃ 2 N durante varios días y enjuagarlas con agua desmineralizada.
4. Chequear la pureza de los ácidos grado reactivo usados para la preservación, extracción y digestión; si se encuentran concentraciones excesivas de metales, purificar los ácidos por destilación, o usar ácidos ultrapuros.
5. Llevar blancos a través de todos los pasos de digestión y filtración y aplicar las correcciones necesarias a los resultados.

1.2.3. APARATOS

Filtración:

Equipo de filtración, de plástico con soporte de plástico o TFE para el filtro, con aplicación de vacío o presión.

Digestión ácida:

Plancha de calentamiento.

Erlenmeyer, de 125 mL, o *vasos Griffin*, de 150 mL, lavados con ácido y enjuagados con agua.

Balones volumétricos, de 100 mL.

Vidrios de reloj. (Para la digestión con ácido nítrico - ácido clorhídrico).

Baño de vapor. (Para la digestión con ácido nítrico - ácido clorhídrico).

Digestión por Microondas

Unidad de microondas, de potencia programable (mínimo 545 W) en el intervalo de ± 10 W de la potencia requerida, resistente a la corrosión, con cavidad bien ventilada y con todos los componentes electrónicos protegidos contra la corrosión para una operación segura. Usar una unidad que tenga plato rotatorio con una velocidad mínima de 3 rpm para asegurar una distribución homogénea de la radiación de microondas. Solo pueden usarse equipos microondas y recipientes de digestión cerrados con escape de presión grado laboratorio, diseñados específicamente para trabajar con ácidos calientes.

Vasos o recipientes, contruidos de perfluoroalcoxi (PFA) Teflón, capaces de resistir presiones de al menos 760 ± 70 kPa (110 ± 10 psi), y capaces de liberar presión controlada en el máximo de presión dado por el fabricante. Lavar con ácido todos los vasos de digestión y enjuagarlos con agua destilada. Para vasos nuevos o cuando se cambie entre muestras de alta y baja concentración de metales, lavarlos por remojo con HCl 1+1 caliente por un mínimo de 2 h y luego con HNO₃ 1+1 por un mínimo de 2 h; enjuagarlos con agua y secarlos en un ambiente limpio. Usar este procedimiento cuando se desconozca el uso previo de los vasos de digestión o cuando se sospeche una contaminación cruzada de los vasos.

Recipiente plástico con tapa, de 1 L, preferiblemente hecho de PFA Teflón.

Botellas, de polietileno, de 125 mL, con tapas.

Termómetro, con exactitud de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Balanza, con capacidad para 1500 g, exactitud de 0,1 g.

Equipo de filtración o centrífuga (opcional).

1.2.4. REACTIVOS

1. *Agua desmineralizada.*
2. *Acido nítrico concentrado, HNO_3 ; grado ultrapuro, o **sub-boiling** sub-destilado. Se pueden usar ácido no sub-destilado si no presenta contribuciones de metales en los blancos.*
3. *Acido clorhídrico, HCl , 1+1.*
4. *Acido sulfúrico concentrado, H_2SO_4 .*

1.2.5. PROCEDIMIENTO

- **Filtración.**

Cuando se quiera determinar metales disueltos o suspendidos, se debe filtrar la muestra en el momento de su recolección a través de un filtro de membrana de 0,45 m m de diámetro de poro sin cuadrícula (de policarbonato o acetato de celulosa), aplicando vacío o presión mediante un aparato plástico de filtración preacondicionado con soporte de plástico o TFE para el filtro. Previamente se debe filtrar un blanco de agua desmineralizada para asegurar la ausencia de contaminación. Preacondicionar el filtro y el equipo de filtración por enjuague con 50 mL de agua desmineralizada. Si el blanco de filtro contiene cantidades significativas de metales, remojar los filtros de membrana en HCl aproximadamente 0,5 N o en HNO_3 1+1 y enjuagar con agua antes de usarlos. *NOTA: Los diversos filtros muestran diferentes características de sorción y filtración; para análisis de trazas, probar el filtro para verificar la completa recuperación de metales.* Si el filtro va a ser digerido para la determinación de metales suspendidos, registrar el volumen de muestra filtrada e incluir un

filtro en la determinación del blanco. Antes de filtrar las muestras altamente turbias, se deben centrifugar en tubos de TFE o de plástico de alta densidad lavados con ácido, para reducir la carga en el filtro. Después de la filtración, acidificar el filtrado hasta pH 2 con HNO_3 conc. y analizar directamente. Si se forma un precipitado en la acidificación, digerir con HNO_3 el filtrado acidificado antes del análisis. Conservar el filtro y digerirlo, para la determinación directa de metales suspendidos. PRECAUCIÓN: *No usar ácido perclórico para digerir filtros de membrana.*

- **Digestión con Ácido Nítrico.**

Agitar a fondo la muestra preservada y transferir a un vaso de precipitados un volumen medido, apropiado para las concentraciones de metales esperadas. Agregar 5 mL de HNO_3 conc. y unas pocas perlas de ebullición. Sobre una plancha de calentamiento, llevar a ebullición lenta y evaporar hasta el menor volumen posible (cerca de 10 a 20 mL) antes de que ocurra precipitación. Continuar el calentamiento y las adiciones de HNO_3 conc. que sean necesarias hasta obtener una solución de color pálido y clara. No permitir que la muestra llegue a sequedad durante la digestión.

Lavar las paredes del vaso hacia abajo con agua y luego filtrar si es necesario. Transferir el filtrado a un balón volumétrico, enjuagar con dos porciones de 5 mL de agua, y agregar estos enjuagues al balón. Enfriar, diluir a la marca, y mezclar a fondo. Tomar porciones de esta solución para las determinaciones de metales requeridas.

- **Digestión con Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico.**

- *Total HNO_3/HCl :* Agitar a fondo la muestra preservada y transferir a

un vaso de precipitados un volumen medido, apropiado para las concentraciones de metales esperadas. Agregar 3 mL de HNO_3 conc. Colocar el vaso en una plancha de calentamiento y evaporar cuidadosamente a menos de 5 mL, asegurando que la muestra no ebulle y que ninguna parte del fondo del recipiente llegue a sequedad. Enfriar y agregar 5 mL de HNO_3 conc. Cubrir el recipiente con un vidrio de reloj, retornarlo a la plancha e incrementar la temperatura de tal manera que ocurra un reflujo moderado. Continuar el calentamiento y adicionar más ácido si es necesario, hasta que la digestión sea completa (generalmente indicada cuando el digerido tiene un color pálido o no cambia en su apariencia bajo reflujo continuo). Evaporar a menos de 5 mL y enfriar. Agregar 10 mL de HCl 1+1 y 15 mL de agua por 100 mL de volumen final. Calentar por 15 minutos adicionales para disolver cualquier precipitado o residuo. Enfriar, enjuagar con agua las paredes del vaso y el vidrio de reloj hacia abajo, filtrar para remover el material insoluble que puede ocluir el nebulizador, y transferir con enjuagues el filtrado a un balón volumétrico de 100 mL. Alternativamente, centrifugar o dejar sedimentar durante la noche. Ajustar el volumen y mezclar a fondo.

- *Recuperable HNO_3/HCl* : Para esta digestión menos rigurosa, agitar a fondo la muestra preservada y transferir a un vaso de precipitados un volumen medido, apropiado para las concentraciones de metales esperadas. Agregar 2 mL de HNO_3 1+1 y 10 mL de HCl 1+1 y calentar en un baño de vapor o en una plancha de calentamiento hasta que el volumen se reduzca a cerca de 25 mL, asegurando que la muestra no ebulle. Enfriar y filtrar para remover el material insoluble o alternativamente centrifugar o dejar decantar durante la noche.

Transferir la muestra a un balón volumétrico, ajustar el volumen a 100 mL y mezclar.

- **Digestión con Ácido Nítrico - Ácido Sulfúrico.**
- **Digestión con Ácido Nítrico - Ácido Perclórico.**
- **Digestión por Microondas.**
- *Calibración de la unidad microondas.*
- *Procedimiento.*

PRECAUCIÓN: Este método está diseñado solamente para digestión de aguas por microondas. No está proyectado para la digestión de sólidos, en los cuales las altas concentraciones de compuestos orgánicos pueden resultar en altas presiones y posiblemente en condiciones inseguras.

El siguiente procedimiento está basado en el calentamiento en dos etapas de muestras acidificadas, donde la primera etapa es alcanzar $160 \pm 4^{\circ}\text{C}$ en 10 minutos y la segunda etapa es permitir un suave ascenso de 165 a 170°C durante los siguientes 10 minutos. Un programa verificado que alcanza este perfil de temperatura es 545 W por 10 minutos seguido por 344 W por 10 minutos usando cinco vasos de digestión de pared sencilla de PFA Teflón. El número de vasos utilizables está determinado por su diseño y el rendimiento de potencia. Si se usan más vasos en una unidad de mayor potencia, verificar que el perfil de tiempo-temperatura se ajuste al perfil de dos etapas dado. Esto puede ser hecho por el personal del laboratorio si tiene el equipo de prueba apropiado, o por el fabricante del equipo microondas. El cambio en el perfil de potencia, tiempo y temperatura no es directamente proporcional al cambio en el número de muestras; así, pueden ser requeridos diferentes programas de potencia para diferentes

números de vasos que contienen la cantidad apropiada de muestra y ácido.

Registrar antes de su uso, con aproximación a 0,1 g, el peso de cada vaso de digestión ensamblado por completo (A). Transferir exactamente 45 mL de muestra bien agitada al vaso de digestión. Adicionar con pipeta 5 mL de HNO_3 conc. en cada vaso. Verificar que los discos para liberación de presión están insertados y ajustar la tapa, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Pesar cada vaso tapado con aproximación a 0,1 g (B).

Distribuir uniformemente el número apropiado de vasos en el carrusel. Tratar los blancos de muestra, adiciones conocidas y duplicados, de la misma manera que las muestras. Cuando se van a digerir menos muestras, llenar los vasos remanentes con 45 mL de agua y 5 mL de HNO_3 conc. para tener un complemento total de vasos para el programa en particular a ser usado.

Colocar el carrusel en la unidad y sentarlo cuidadosamente en el plato giratorio. Programar la unidad microondas para calentar las muestras a $160 \pm 4^\circ\text{C}$ en 10 minutos y luego, para la segunda etapa, permitir un suave acenso de 165 a 70°C por 10 minutos. Encender el generador de microondas, asegurando que el plato esté girando y que el ventilador del escape de gases esté encendido.

Una vez completado el programa de microondas, dejar enfriar los vasos por lo menos 5 minutos en la unidad antes de retirarlos. Después se puede retirar el carrusel y dejar enfriar las muestras sobre un mesón o en un baño de agua. Cuando se enfríen hasta la temperatura ambiente, pesar cada vaso (a 0,1 g) y registrar el peso (C). Si el peso neto de muestra más ácido decreció en más

del 10%, descartar la muestra.

Completar la preparación de muestra destapando y ventilando cuidadosamente cada vaso en una cabina de extracción. Transferir la solución a botellas plásticas lavadas con ácido. Si la muestra digerida contiene partículas, centrifugar a una velocidad de 2000 a 3000 r.p.m. por 10 minutos, o dejar decantar una noche.

1. *Cálculos.* Ver sección 7.

2. *Control de calidad.*

Incluir preferiblemente una muestra de control de calidad en cada carga del carrusel. Preparar muestras por grupos incluyendo la preparación de blancos, duplicados de muestras, y adiciones conocidas previas a la digestión. Determinar el tamaño de los grupos y la frecuencia de las muestras de control de calidad mediante el método de análisis y la práctica del laboratorio. La potencia de la unidad microondas y el tamaño de los grupos puede impedir la inclusión de una o más de las muestras de control en cada carrusel. No reunir todas muestras de control en un solo grupo, sino distribuir las en varios carruseles para obtener un mejor monitoreo de la digestión.

1.2.6. CÁLCULOS

Digestión por Microondas.

1. *Corrección por dilución:* Multiplicar los resultados por 50/45 o 1,11 para tener en cuenta la dilución causada por la adición de 5 mL de ácido a 45 mL de muestra.
2. *Descarte de muestra:* Para determinar si el peso neto de la muestra más ácido disminuyó en más del 10% durante el proceso de digestión, usar el siguiente cálculo:

1.2.7. QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: *Laboratorio de Química Ambiental Ideam*

Montaje Técnica: *Laboratorio de Química Ambiental Ideam*

1.2.8. FECHAS

Elaboración Protocolo: *abril de 1998*

Revisión: *abril de 1998*

1.2.9. REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation*. 19 ed., New York, 1995. Pp 4-83 a 4-84

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. *United States Environmental Protection Agency*. Cincinnati, 1983.

1.3. METALES (Plomo y Cadmio)

Voltametría de Desalojo Anódico

1.3.1. SUMARIO Y APLICACIONES

1. La voltametría de desalojo anódico (VDA) es una de las técnicas más sensibles para el análisis de metales. Ésta técnica es de 10 a 100 veces más sensible que la técnica electrotrémica de absorción atómica para algunos metales ya que los límites de detección se encuentran en el rango de los nanogramos por litro. La técnica VDA no requiere realizar una extracción de la muestra ni realizar

una concentración previa; es una técnica no destructiva y se pueden determinar en algunos casos entre cuatro y seis elementos simultáneamente. Entre las desventajas relacionadas con la técnica VDA se encuentran las siguientes: (a) únicamente se pueden analizar metales que forman una amalgama; (b) el tiempo de análisis es mucho mayor que para los métodos espectrométricos; y (c) las interferencias y la alta sensibilidad pueden crear ciertas limitaciones. Los análisis se deben llevar a cabo únicamente por analistas diestros en su uso, debido a las interferencias y a la alta posibilidad de contaminación con trazas.

2. *Principio:* La voltametría de desalojo anódico es una técnica electro-analítica de dos pasos. Con una pre-electrólisis, los iones metálicos se reducen y se concentran ya sea en un "electrodo con gota suspendida de mercurio" (EGSM) o en un "electrodo con película delgada de mercurio" (EPDM). En el paso de desalojo anódico, el metal se expulsa rápidamente del electrodo mediante la aplicación de un potencial oxidante. El flujo de la corriente acompañante es proporcional a la concentración del metal en la solución.
3. *Límite de detección y rango de trabajo:* El límite de detección para analizar metales usando VDA depende del metal a analizar, tiempo de desalojo, tasa de agitación, pH de la solución, matriz de la muestra, electrodo de trabajo (EGSM o EPDM) y tipo de desalojo (onda cuadrada o pulso diferencial). Tanto el cadmio como el plomo se concentran eficientemente durante la pre-electrólisis debido a que estos metales tienen una solubilidad muy alta en el mercurio y consecuentemente presentan límites de detección muy bajos (menores a 1 µg/L). Los tiempos largos de desalojo y las

tasas altas de agitación aumentan la concentración de metal pre-electrolizado en la amalgama y disminuyen los límites de detección. Los efectos del pH de la solución y la matriz son más complicados. En general, se adiciona a las muestras una alta concentración de un electrolito fuerte para mantener una fuerza iónica constante. Se acidifica la muestra a un pH bajo o se adiciona una solución tampón de pH. Si el tampón de pH u otro componente de la matriz de la muestra acompleja el metal (3130B.1c), los límites de detección se aumentan.

4. La selección del electrodo de trabajo se determina en gran parte por el rango de trabajo de la concentración requerida. El EGSM es más apropiado para análisis en un rango aproximado de $1\mu\text{g/L}$ a 10 mg/L y el EPDM para análisis en rangos menores a $1\mu\text{g/L}$.

1.3.2. LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

- La mayoría de las interferencias están relacionadas con la formación de compuestos intermetálicos, la sobreposición de picos de desalojo, la absorción de compuestos orgánicos y el acomplejamiento. Los compuestos intermetálicos se pueden formar en la amalgama de mercurio cuando se presentan simultáneamente concentraciones altas de ciertos metales. El cadmio forma compuestos intermetálicos con cobre, plata y oro, originando una depresión o eliminación severa de la corriente de desalojo para el cadmio. La formación de compuestos intermetálicos se puede minimizar o suprimir siguiendo los siguientes pasos: (i) utilizando un electrodo con gota suspendida de mercurio en lugar del electrodo con película delgada de mercurio cuando las concentraciones de los metales se encuentran

por encima de 1 $\mu\text{g/L}$, (ii) aplicar un potencial de pre-electrólisis lo suficientemente negativo para reducir el metal deseado y no el que causa la interferencia, y por último (iii) utilizar un tiempo corto de pre-electrólisis seguido por un pulso de modulación relativamente largo (50 mV) durante el proceso de desalojo. En general, se debe esperar la formación de compuestos intermetálicos si las concentraciones de los metales se encuentran por encima de 1 mg/L. No se debe utilizar la técnica de voltametría de desalojo anódico si las muestras presentan metales en concentraciones superiores a 10 mg/L.

- La sobreposición de los picos de desalojo se puede tratar por varios métodos entre los cuales se encuentran la selección apropiada de la solución tampón y electrolítica. Si solo uno de los picos de los metales es de interés, se puede eliminar el pico de interferencia mediante un acomplejamiento selectivo con un ligante adecuado, tal como el EDTA. La selección del potencial de electrólisis puede originar una acumulación del metal seleccionado y no del metal que causa la interferencia en el electrodo de mercurio. Alternativamente, utilizar un "intercambio moderado" en la cual la pre-electrólisis se realiza con los electrodos dentro de la muestra y el desalojo se realiza en una solución electrolítica diferente. En este procedimiento, los metales se depositan en la amalgama como es usual, pero se pueden desalojar en un medio que suministra diferentes potenciales de picos de desalojo para los metales sobrepuestos.
- Las interferencias originadas por la absorción de compuestos orgánicos y el acomplejamiento, se pueden tratar removiendo la materia orgánica mediante la digestión de las muestras con ácidos

de alta pureza. Realizar adiciones de estándares para determinar si el acomplejamiento o la absorción continúa siendo un problema. Igualmente, analizar una solución libre de metales de una matriz similar a la de la muestra antes y después de la adición de cantidades conocidas de estándar. Repetir el procedimiento para la muestra y si la pendiente de la corriente de desalojo versus el metal adicionado es bastante diferente en la muestra comparado con la solución libre de metal, se debe continuar con la digestión de la muestra. La selección del tipo de la onda de desalojo también es importante; ya que mientras los desalojos tanto de onda cuadrada como los de pulso diferencial minimizan la interferencia producida por las corrientes de absorción, el desalojo con onda cuadrada lo realiza mas eficientemente. Por consiguiente, se sugiere realizar el desalojo con onda cuadrada en vez que con pulso diferencial cuando ocurre una absorción.

1.3.3. APARATOS

- *Analizador electroquímico:* El analizador electroquímico básico consta de un potenciostato con tres electrodos. El potenciostato suministra un potencial negativo constante al electrodo de trabajo y compara el potencial con un electrodo de referencia. El equipo también consta de un aparato sensible que mide la corriente, suministra pulsos de diferentes amplitudes y frecuencias, diferentes tasas de inspección y rangos de corriente. Los equipos mas elaborados están controlados por un microprocesador y realizan corrección de fondo, rectificación de la línea-base, cronómetro automático, purga de gas, agitación y análisis de datos.

Se utilizan comúnmente dos variaciones de los tipos de ondas de desalojo: de pulso diferencial (PDVDA) y de onda cuadrada (OCVDA). La onda de pulso diferencial consiste de una serie de pulsos sobrepuestos en una rampa de voltaje lineal; mientras que la onda cuadrada consiste en una serie de pulsos sobrepuestos en una escalera de onda potencial. El desalojo con onda cuadrada es más rápido que el desalojo con pulso diferencial y es por lo general 10 veces más sensible. La mayoría de los equipos modernos realizan tanto el desalojo con pulso diferencial como con onda cuadrada; entre tanto, los equipos viejos ofrecen el desalojo con pulso diferencial únicamente.

- *Electrodos y celda:* Hay tres electrodos; el de trabajo, de referencia y el auxiliar. Los electrodos de trabajo pueden trabajar con gota suspendida de mercurio o con una película delgada de mercurio. Los electrodos que utilizan gota suspendida deben distribuir el mercurio en gotas de tamaño precisamente controlados. Pueden ser electrodos de tipo Kemula o electrodos de gota estática de mercurio. En cualquier caso, se elimina una gota vieja antes de dispensar una gota fresca de mercurio. Se utiliza un mecanismo de agitación de velocidad constante para suministrar reproducibilidad en el transporte de masa en las muestras y los estándares.

Cuando se requieren límites de detección muy bajos, se utiliza preferiblemente electrodos que emplean una película delgada de mercurio. Estos electrodos cuentan con un disco de carbono sobre el cual se produce la amalgama durante la electrólisis. Un agitador de alta precisión y de velocidad constante suministra un transporte de masa reproducible.

Los electrodos de referencia pueden ser de calomelano saturado o electrodos de plata/cloruro de plata saturado. El electrodo auxiliar o el contraelectrodo es de platino.

Se utilizan celdas de vidrio, sílice fundido o de teflón. Preferiblemente se utilizan las de sílice fundido y las de teflón ya que no están sujetas a procesos de absorción o deabsorción. Las celdas se deben cubrir con una tapa que produzca reproducibilidad en la ubicación de los electrodos y en los tubos de purga de gas. Igualmente la tapa debe tener un orificio adicional para la adición de estándares. La celda se debe colocar en una zona donde la temperatura se mantiene relativamente constante. Como alternativa se puede utilizar un baño de agua de temperatura constante y envolver o cubrir la celda.

- *Equipo para la remoción de oxígeno:* El oxígeno produce una interferencia en los análisis electroquímicos; y por lo tanto, éste se debe eliminar de la solución purgando la muestra con nitrógeno antes de realizar la electrólisis. Se colocan dos tubos de entrada de gas a través de la tapa de la celda; uno se extiende dentro de la solución y el otro en el espacio por encima de la solución. El oxígeno y el nitrógeno en exceso se desaloja por medio de un orificio en la tapa de la celda.
- 1. *Equipo de captura de datos:* un diagramador XY o un microprocesador para registrar los voltamogramas de desalojo.
- 2. *Cronómetro:* que se utiliza para controlar con precisión los tiempos de electrólisis y reposo. Puede ser parte del analizador electroquímico o un cronómetro independiente.
- 3. *Disco de pulimento:* Para obtener el pulimento requerido en el electrodo de carbono, se utiliza un disco motorizado de pulimento.

1.3.4. REACTIVOS

Agua libre de metal: Usar agua desionizada para preparar las soluciones tampón, las soluciones electrolíticas, los estándares, etc. Para determinar metales en concentraciones cercanas a 1 mg/L, el agua utilizada debe tener una resistividad de por los menos 1 megohm-cm. Para la determinación de metales en concentraciones más bajas se debe utilizar agua con por los menos 18 megohm-cm de resistividad.

Acido nítrico, HNO₃, concentrado, de alta pureza (Ultrex, Suprapur, Aristar o equivalente).

Acido nítrico, HNO₃, 6N, 1.6N(10%) y 0.01N.

Nitrógeno, de alta pureza (Seaford o equivalente). Remover las trazas de oxígeno en gas nitrógeno antes de purgar la solución. Pasar el gas a través de columnas de lavado secuencial que contengan cloruro de vanadio en la primera columna y ya sea solución tampón o agua desionizada en la segunda columna.

Estándares de metales: Preparar soluciones stock que contengan 1 mg de metal/mL en botellas de polietileno. Se deben preparar diariamente los estándares, que contengan matrices similares a las de la muestra para cubrir el rango de concentración deseado.

Solución electrolítica/tampón: Usar una de las siguientes:

Tampón de acetato, pH 4.5: disolver 8.2 g de acetato de sodio, NaC₂H₃O₂•3H₂O, en 800 mL de agua. Ajustar el pH a 4.5 con ácido acético glacial de alta pureza. Diluir a 1 L con agua.

Tampón de Citrato, pH 3.0: Disolver 42.5 g de ácido cítrico (monohidrato) en 700 mL de agua. Ajustar el pH a 3.0 con NH₄OH de alta pureza. ⁴ Diluir a 1 L con agua.

Tampón de fosfato, pH 6.8: Disolver 24 g de NaH₂PO₄ en 500 mL de agua. Ajustar el pH a 6.8 con H₃PO₄. Diluir a 1 L con agua.

Mercurio: Usar mercurio metálico triple destilado disponible comercialmente para los electrodos de gota suspendida.

PRECAUCIÓN: Los vapores de mercurio son altamente tóxicos. Utilizar únicamente en áreas bien ventiladas.

Solución de nitrato de mercurio, $Hg(NO_3)_2$: Para los electrodos con película delgada de mercurio, disolver 3.25 g de $Hg(NO_3)_2$ en HNO_3 0.01N.

Solución del electrodo de referencia: Disponible a través del fabricante del electrodo.

Zinc amalgamado: Disolver 2 g de $Hg(NO_3)_2$ en 25 mL de HNO_3 concentrado y llevar a un volumen de 250 mL con agua. En un vaso de precipitados separado, limpiar aproximadamente 50 g de zinc musgoso oxidando la superficie suavemente con HNO_3 al 10% y lavar con agua. Adicionar una solución de $Hg(NO_3)_2$ para limpiar el zinc y agitar. Si no se aprecian burbujas visibles, adicionar una pequeña cantidad de HNO_3 6N. El zinc debe adquirir rápidamente una apariencia metálica brillante. Decantar la solución y almacenar para usos futuros. Enjuagar copiosamente el zinc amalgamado con agua y transferir a una columna de lavado de gas.

Acido clorhídrico, HCl, concentrado.

Cloruro de vanadio: Adicionar 2 g de metavanadato de amonio NH_4VO_3 , a 25 mL de HCl concentrado y calentar hasta ebullición. La solución se debe tornar de color azul verdoso. Diluir a 250 mL con agua. Pasar la solución por una columna de lavado de gas la cual debe estar empacada con zinc amalgamado y burbujas de gas nitrógeno hasta que la solución se torne de un color violeta claro. Cuando el color violeta se vuelve azul, verde o marrón; se debe regenerar el cloruro de vanadio adicionando HCl.

Solución siliconada: Preferiblemente utilizar soluciones disponibles comercialmente presentadas en ampollas selladas para siliconizar capilares y utilizados para suspender las gotas de mercurio.
PRECAUCIÓN: Las soluciones contienen CCl_4 , un agente cancerígeno y por lo cual se debe utilizar guantes y se debe evitar inhalar sus vapores.

Arena de alúmina, 1; 0.3 y 0.05 μm . Hacer un lechado adicionando una pequeña cantidad de agua a la alúmina.

HF, 5%: Diluir 5 mL de HF concentrado en 100 mL con agua.

Metanol.

1.3.5. PROCEDIMIENTO

Variable	Valor
Potencial inicial	- 1 V
Potencial final	0 V
Potencial de reposo	- 1 V
Tamaño de la gota del EGSM	Mediana
Tasa de rotación del EPDM	2000 rpm
PDVDA:	25 mV
Amplitud del pulso	0.5 s
Período del pulso	50 ms
Grosor del pulso	17 ms
Grosor de la muestra	5 mV/s
Tasa de revisión	
OCVDA:	25 mV
Amplitud de onda cuadrada	4 mV
Potencial	15 Hz
Frecuencia	

Metales	mL muestra	Preservación	Almacenamiento
Disueltos	200	Filtrar en campo $pH < 2$ con HNO_3	6 meses
Suspendidos	200	Filtrar en campo	6 meses
Totales	100	$pH < 2$ con HNO_3	6 meses
Cromo (VI)	200	Refrigerar a $4^\circ C$	24 horas
Mercurio			
Disuelto	100	Filtrar	28 días

1217

		pH<2 con HNO ₃	
Total	100	pH<2 con HNO ₃	28 días

FUENTE : IDEAM

4. Inmediatamente después del muestreo, preservar las muestras por acidificación a pH<2 con ácido nítrico concentrado (HNO₃). Las muestras para metales disueltos se deben filtrar antes de la preservación. Para una preservación poco prolongada, usualmente es suficiente 1,5 mL de HNO₃ conc./L de muestra (o 3 mL de HNO₃ 1+1/L de muestra). Emplear ácido comercial de alta pureza o prepararlo por destilación.
5. Después de acidificar la muestra, es preferible guardarla en un refrigerador a 4°C para prevenir cambios en el volumen debidos a la evaporación. Bajo estas condiciones, las muestras con concentración de metales de algunos miligramos por litro, son estables por seis meses (excepto el mercurio, para el cual el límite es de cinco semanas). Las muestras con niveles de metales de microgramos por litro, deben analizarse tan pronto como sea posible después de su recolección.
6. Las muestras para análisis de mercurio se pueden preservar alternativamente por adición de 2 mL/L de muestra de una solución de K₂Cr₂O₇ al 20% (p/v) preparada en HNO₃ 1+1. Guardar en refrigerador no contaminado con mercurio. (PRECAUCIÓN: las concentraciones de mercurio se pueden incrementar en muestras almacenadas en botellas plásticas en laboratorios contaminados con mercurio).

1.4.4. APARATOS

1. *Espectrofotómetro de Absorción Atómica*, de canal y haz de luz sencillo o doble, con monocromador de rejilla, detector

fotomultiplicador, ranura ajustable, intervalo de longitud de onda entre 190 y 800 nm, y provisto de una interfase y registrador.

2. Quemador, recomendado por el fabricante para el instrumento en particular. Para ciertos elementos se requiere un quemador de óxido nitroso.
3. Lámparas de cátodo hueco, preferiblemente de un solo elemento.
4. Horno de grafito, capaz de alcanzar la temperatura especificada.
5. Válvulas reductoras de presión, para los tanques de combustible y oxidante.

1.4.5. REACTIVOS

1. *Agua desmineralizada*, obtenida después de pasar agua destilada a través de un lecho mixto de resinas de intercambio aniónico y catiónico. Usar agua desmineralizada para la preparación de todos los reactivos, estándares de calibración y diluciones.

Acido nítrico concentrado, HNO_3 ; grado ultrapuro.

Acido nítrico 5,6 N, HNO_3 ; diluir XX mL de HNO_3 del 65% a 1L con agua desmineralizada.

Acido sulfúrico concentrado, H_2SO_4 , grado ultrapuro.

Permanganato de potasio, $KMnO_4$ 5%; disolver.

Clorhidrato o sulfato de hidroxilamina 1,5%; disolver 1,5 g en 100 mL de agua desmineralizada.

Borohidruro de sodio, $NaBH_4$, 3% en $NaOH$ 1%. Disolver 1 g de $NaOH$ en 100 mL de agua desmineralizada, agregar 3 g de $NaBH_4$ y disolver.

Solución patrón de mercurio, 1000 mg/L. .

Solución intermedia de mercurio, 100 mg/L. Diluir 10,00 mL de solución patrón a 100 mL con agua desmineralizada en balón aforado.

Solución estándar de mercurio, 1 mg/L. Diluir 10,0 mL de la solución intermedia a 1000 mL con agua desmineralizada en balón aforado.

Estándares de calibración: Preparar una serie de estándares 10-1,0 y 0,5 mg/L por dilución de 1000, 100 y 50 mL respectivamente de la solución estándar a 100 mL con agua desmineralizada en balones aforados.

1.4.6. PROCEDIMIENTO

1. Las diferencias entre las varias marcas y modelos de espectrofotómetros de AA impiden la formulación de instrucciones detalladas aplicables para cualquier instrumento. El analista debe seguir las instrucciones de operación dadas por el fabricante para su instrumento en particular.
2. En general, encender el equipo y verificar que el control de energía esté en cero; conectar la lámpara de cátodo hueco apropiada para el análisis y ajustar la corriente de la lámpara de acuerdo con la recomendación del fabricante; ésta debe dejarse calentar por un mínimo de 15 minutos a menos que se opere en el modo de doble haz. Durante este periodo, ajustar las condiciones para el mercurio: corriente de la lámpara 6 mA, longitud de onda 253,8 nm, ancho de rendija 0,7, tiempo de medición 0,5 segundos, gas de arrastre argón (37psi), alinear la lámpara, moviéndola hasta obtener la máxima lectura del control de energía; si es necesario, aumentar la señal ajustando la longitud de onda o el control de ganancia del instrumento. Alinear la celda de cuarzo con la lámpara hasta obtener la menor absorbancia debida a las paredes de la celda. Ajustar el cero de absorción con el respectivo botón.

3. Tomar dos alícuotas de 10 mL de cada estándar, agregar 1 mL de KMnO_4 , 5 mL de HNO_3 5,6 N, 5 mL de H_2SO_4 18 N y cloruro de hidroxilamina hasta decoloración; agitar y leer la absorbancia. Construir la curva de calibración como absorbancia contra concentración. Para aquellos instrumentos que leen directamente en concentración, ajustar el corrector de curva para leer la concentración apropiada. Aspirar las muestras y determinar las concentraciones directamente o de la curva de calibración. Los estándares deben ser leídos cada vez que se corra una serie de muestras.
4. Tomar 100 mL de muestra en un erlenmeyer de 250 mL y agregar 1 mL de KMnO_4 ; si la solución se decolora, adicionar más KMnO_4 hasta que el color púrpura sea permanente. Añadir 5 mL de HNO_3 5,6 N, agitar y esperar 15 segundos; agregar 5 mL de H_2SO_4 18 N, agitar y esperar 45 segundos; adicionar cloruro de hidroxilamina hasta decoloración; agitar y leer la absorbancia.
5. *Procedimiento para muestras de sedimentos o material particulado.* Secar el material a 40°C , para evitar la evaporación de algunos compuestos de mercurio volátiles. Triturar la muestra seca en un mortero hasta obtener un polvo fino. Pesar entre 0,2 y 0,5 g de muestra triturada en un erlenmeyer, agregar 5 mL de agua desmineralizada y 5 mL de agua regia cuidadosamente. Calentar en un baño maría a 95°C durante 2 minutos. Sacar las botellas del baño, enfriar, adicionar 40 mL de agua desmineralizada y 15 mL de KMnO_4 5% y agitar. Colocar nuevamente en el baño maría a 95°C durante 30 minutos. Enfriar y adicionar 50 mL de agua desmineralizada.

1.4.7. CÁLCULOS

1. Determinación directa de muestras líquidas: leer la concentración de metal en mg/L de la curva de calibración o directamente del sistema de lectura del instrumento.

1.4.8. QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: *Laboratorio de Química Ambiental Ideam*

Montaje Técnica: *Laboratorio de Química Ambiental Ideam*

1.4.9. FECHAS

Elaboración Protocolo: *marzo de 1998*

Revisión: *marzo de 1998*

REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation*. 19 ed., New York, 1995. Pp 4-83 a 4-84

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. *United States Environmental Protection Agency*. Cincinnati, 1983.

1.5. NITROGENO AMONIACAL²

Destilación y Volumetría

1.5.1. SUMARIO Y APLICACIONES

1. Para la determinación de nitrógeno amoniacal, el pH de una muestra se ajusta a 9,5 con un tampón de borato -para disminuir la

² Tomado de la información de la página Web del IDEAM: www.ideam.gov.co

hidrólisis de cianatos y compuestos orgánicos nitrogenados- y luego se destila sobre una solución de ácido bórico. El amoníaco (NH_3) en el destilado se determina volumétricamente con H_2SO_4 estándar y un indicador mixto o un pH metro.

2.El método volumétrico se usa solamente en muestras que hayan sido destiladas. En general, la determinación manual directa de bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal está limitada a aguas potables, superficiales o subterráneas limpias, y efluentes residuales nitrificados de buena calidad.

3.El procedimiento de destilación y titulación se aplica especialmente para concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ mayores de 5 mg/L. Si se va a titular el destilado, se usa ácido bórico como absorbente para el destilado.

4.Este método es aplicable a aguas potable, superficiales y salinas y a aguas residuales domésticas e industriales.

5.Otros métodos para la determinación de nitrógeno amoniacal incluyen: electrodo selectivo de amonio con o sin adición conocida, y el método colorimétrico manual o automatizado de fenato, que pueden consultarse en la referencia bibliográfica.

1.5.2. LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

- 1 En solución en reposo los compuestos glicina, urea, ácido glutámico, cianatos y acetamida se hidrolizan muy lentamente pero, de estos, solo la urea y los cianatos se hidrolizan por destilación a pH 9,5, en cantidades alrededor de 7% y 5% respectivamente.
- 2 Algunos compuestos alcalinos volátiles tales como hidrazina y aminas tienen influencia en los resultados volumétricos.
- 3 El cloro residual reacciona con el amoníaco y debe removerse por pretratamiento de la muestra; si es probable que una

muestra contenga cloro residual, tratarla con un agente decolorador (tiosulfato de sodio) inmediatamente después de la recolección.

1.5.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

- Los resultados más veraces se obtienen en muestras frescas.
- Si las muestras se analizan en el transcurso de 24 h después de la recolección, refrigerar a 4°C sin acidificar.
- Para preservación hasta por 28 días, congelar a -20°C sin acidificar, o preservar las muestras por acidificación a pH<2 y almacenarlas a 4°C.
- Si se emplea preservación ácida, neutralizar las muestras con NaOH o KOH inmediatamente antes de hacer la determinación.
- PRECAUCIÓN: Aunque la acidificación es apropiada para ciertos tipos de muestras, produce interferencias cuando existe amonio intercambiable en los sólidos no filtrados.

1.5.4. APARATOS

- *Aparato de destilación:* Acoplar un balón de vidrio borosilicato de 800 a 2 000 mL de capacidad, con un condensador vertical de tal manera que la punta de salida pueda sumergirse bajo la superficie de la solución receptora ácida. Usar un aparato de vidrio borosilicato o un aparato con unidades condensadoras construidas de bloques de estaño o tubos de aluminio.
- *pH metro.*

1.5.5. REACTIVOS

- *Agua libre de amoníaco.* Usar agua libre de amoníaco para preparar todos los reactivos, las diluciones de muestra y enjuagues. Preparar por intercambio iónico o por destilación:
- 5.1.1. *Intercambio iónico:* pasar agua destilada a través de una columna de intercambio de iones que contenga una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida mezclada con una resina de intercambio aniónico fuertemente básica; seleccionar resinas que remuevan los compuestos orgánicos que interfieran con la determinación de nitrógeno amoniacal. Algunas resinas de intercambio aniónico tienden a liberar amoníaco; si esto ocurre, preparar el agua libre de amoníaco con una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida. Regenerar la columna de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Chequear el agua libre de amoníaco por la posibilidad de un alto valor de blanco.
- 5.1.2. *Destilación:* Eliminar las trazas de amoníaco en el agua destilada por adición de 0,1 mL de H_2SO_4 concentrado a 1 L de agua destilada y redestilar; también se puede tratar el agua destilada con suficiente agua de bromo o de cloro para producir un halógeno residual libre de 2 a 5 mg/L y redestilar después de dejar en reposo al menos 1 h. Descartar los primeros 100 mL destilados. Chequear el agua redestilada por la posibilidad de un alto valor de blanco.
- Es muy difícil guardar el agua libre de amoníaco en el laboratorio sin contaminación por el amoníaco gaseoso. Sin embargo, si es necesario el almacenamiento, guardar en un recipiente de vidrio herméticamente tapado al cual se han adicionado cerca de 10 g de resina de intercambio iónico (preferiblemente una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida) por cada litro de agua libre

de amoníaco. Para usar, dejar decantar la resina. Si se produce un valor de blanco alto, remplazar la resina o preparar agua libre de amoníaco fresca.

- *Solución tampón de borato.* Agregar 88 mL de solución de NaOH 0,1 N a 500 mL de solución de tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) aprox. 0,025 M (9,5 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}/\text{L}$) y diluir a 1 L.
- *Hidróxido de sodio, 6 N.*
- *Reactivo decolorador.* Disolver 3,5 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en agua y diluir a 1 L. Preparar fresco semanalmente. Usar 1 mL de reactivo para remover 1 mg/L de cloro residual en 500 mL de muestra.
- *Agente neutralizador.*
- 5.5.1. *Hidróxido de sodio, NaOH, 1 N.*
- 5.5.2. *Ácido sulfúrico, H_2SO_4 , 1 N.*
- *Solución absorbente, ácido bórico corriente.* Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua y diluir a 1 L.
- *Ácido sulfúrico, 0,04 N.* Diluir 1,0 mL de H_2SO_4 conc. a 1 L.
- *Solución indicadora mixta.* Disolver 200 mg de indicador rojo de metilo en 100 mL de alcohol etílico o isopropílico del 95%. Disolver 100 mg de azul de metileno en 50 mL de alcohol etílico o isopropílico del 95%. Combinar las soluciones. Preparar mensualmente.
- *Solución indicadora de ácido bórico.* Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua, agregar 10 mL de la solución indicadora mixta, y diluir a 1 L. Preparar mensualmente.
- *Ácido sulfúrico titulante estándar, 0,02 N.* Preparar y estandarizar como se indica en **Alcalinidad, Sección 2320B.3c, Standard Methods**. [Preparar una solución patrón de H_2SO_4 0,1 N por dilución de 3 mL de H_2SO_4 concentrado a 1 L con agua destilada libre de CO_2 .

Diluir 200 mL de esta solución a 1 L con agua destilada. Estandarizar el ácido 0,02 N contra una solución de Na_2CO_3 0,0200 N, (1,060 g de Na_2CO_3 anhidro secado a 140°C , diluido a 1000 mL con agua destilada). □ Para la mayor exactitud, estandarizar el titulante contra una cantidad de Na_2CO_3 que ha sido incorporada en la solución indicadora de ácido bórico para reproducir las actuales condiciones de titulación dela muestra; 1,00 mL = 14 □ normalidad □ 1000 □ g N. (Para 0,02 N, 1,00 mL = 280 □ g N).

1.5.6.PROCEDIMIENTO

- *Preparación del equipo:* Mezclar 500 mL de agua y 20 mL de tampón de borato, ajustar el pH a 9,5 con solución de NaOH 6N, y agregar al balón de destilación. Adicionar unas perlas de ebullición de vidrio y usar esta mezcla para purgar el aparato de destilación hasta que el destilado no presente trazas de amoniaco.
- *Volumen de muestra:* La siguiente tabla se usa para seleccionar el volumen de muestra de agua para los métodos de destilación y titulación:

Nitrógeno Amoniacal en la Muestra, mg/L	Volumen de muestra mL
5-10	250
10-20	100
20-50	50,0
	25,0

- *Preparación de la muestra:* Usar 500 mL de muestra declorada o una porción conocida diluida a 500 mL con agua. Cuando la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ sea menor de 100 □ g/L, usar un volumen de muestra de 1000 mL. Remover el cloro residual por adición, en el momento del

muestreo, de agente decolorador equivalente al cloro residual. Si es necesario, neutralizar a aproximadamente pH 7 con ácido o base diluidos, y un pHmetro. Agregar 25 mL de solución tampón de borato y ajustar a pH 9,5 con NaOH 6 N y un pH metro.

- Destilación: Para minimizar la contaminación, dejar el aparato de destilación ensamblado después de la purga y hasta justo antes de iniciar la destilación de la muestra. Desconectar el balón de purga e inmediatamente transferir el balón de la muestra al aparato de destilación. Destilar a una velocidad de 6 a 10 mL/min. con la punta del tubo de salida bajo la superficie de la solución receptora ácida. Recolectar el destilado en un erlenmeyer de 500 mL que contiene 50 mL de solución indicadora de ácido bórico como absorbente. (Para los métodos de fenato destilar el amoníaco en 50 mL de H₂SO₄ 0,04N). Recolectar al menos 200 mL de destilado. Bajar el receptor de destilación de tal manera que la punta del tubo de salida quede libre de contacto con el líquido y continuar la destilación durante 1 o 2 minutos para limpiar el condensador y el tubo de salida. Diluir a 500 mL con agua. (Cuando se use el método de fenato, neutralizar el destilado con solución de NaOH 1N).
- Determinación de amoníaco: Titular el amoníaco en el destilado con H₂SO₄ 0,02 N estándar hasta que el indicador cambie a un color lavanda pálido.
- Blanco: Llevar un blanco a través de todos los pasos del procedimiento y aplicar la corrección necesaria a los resultados.
- Muestras de lodos o sedimentos: Rápidamente pesar una cantidad de muestra húmeda al $\square$ 1%, equivalente a aproximadamente 1 g de peso seco, en un pesasustancias o en un crisol. Lavar la muestra con agua en un balón kjeldahl de 500 mL y diluir a 250 mL. Proceder

como en los numerales 6.3 a 6.5, pero adicionar una pieza de cera de parafina al balón de destilación y recolectar solamente 100 mL de destilado.

1.5.7. PRECISIÓN

- Tres muestras sintéticas que contenían amonio y otros constituyentes disueltos en agua destilada fueron destiladas y analizadas por volumetría.
- La muestra 1 contenía 200 $\square$ g de $\text{NH}_3\text{-N/L}$, 10 mg de Cl^-/L , 1,0 mg NO_3^-/L , 1,5 mg de N orgánico/L, 10,0 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$, y 5,0 mg de sílica/L. La desviación estándar relativa y el error relativo para los 21 laboratorios participantes fueron de 69,8% y 20%, respectivamente.
- La muestra 2 contenía 800 $\square$ g de $\text{NH}_3\text{-N/L}$, 200 mg de Cl^-/L , 1,0 mg NO_3^-/L , 0,8 mg de N orgánico/L, 5,0 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$, y 15,0 mg de sílica/L. La desviación estándar relativa y el error relativo para los 20 laboratorios participantes fueron de 28,6% y 5%, respectivamente.

1.5.10. REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995. pp 4-75 a 4-82.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.6. OXIGENO DISUELTO³

Método yodométrico - Modificación de azida

El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es ligeramente soluble en el agua; la cantidad real de oxígeno que puede estar presente en la solución está determinada por a) la solubilidad del gas, b) la presión parcial del gas en la atmósfera, c) la temperatura, y d) la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos, ...). La interrelación de estas variables debe ser consultada en textos apropiados (ver bibliografía) para conocer los efectos de la temperatura y la salinidad sobre la concentración de OD.

Las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas.

La muestra obtenida se trata con sulfato manganoso (MnSO_4), hidróxido de potasio (KOH) y yoduro de potasio (KI), estos dos últimos reactivos combinados en una solución única, y finalmente se acidifica con ácido sulfúrico (H_2SO_4). Inicialmente se obtiene un precipitado de hidróxido manganoso, $\text{Mn}(\text{OH})_2$, el cual se combina con el OD presente en la muestra para formar un precipitado carmelito de hidróxido mangánico, $\text{MnO}(\text{OH})_2$; con la acidificación, el hidróxido mangánico forma el sulfato mangánico que actúa como agente oxidante para liberar yodo del yoduro de potasio. El yodo libre es el equivalente estequiométrico del OD en la muestra y se valora con una solución estándar de tiosulfato.

³ Tomado de información página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

Para minimizar el efecto de los materiales interferentes existen algunas modificaciones del método yodométrico.

La modificación de la azida elimina la interferencia causada por los nitritos (esta es la más común en efluentes tratados biológicamente y en muestras incubadas para la prueba de la DBO); se emplea en el análisis del OD en la mayoría de aguas residuales, efluentes y aguas superficiales, especialmente si las muestras tienen concentraciones mayores de 50 $\square$ g NO₂--N/L y no más de 1 mg de hierro ferroso/L. Los compuestos oxidantes y reductores interfieren en la determinación.

1.6.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

Existen numerosas interferencias en la prueba del OD, estas incluyen los agentes oxidantes o reductores, los iones nitrato, ferroso y la materia orgánica. Se han realizado varias modificaciones al método original de Winkler para la determinación analítica del OD, todas ellas desarrolladas para compensar o eliminar las interferencias. Los procedimientos más usados para eliminar las interferencias son: la modificación de la azida para los nitritos; la modificación del permanganato para el hierro ferroso, la modificación de la floculación con alumbre para los sólidos suspendidos, y la modificación de la floculación con sulfato de cobre-ácido sulfámico aplicada para muestras de lodos activados.

La modificación de la azida no es aplicable bajo las siguientes condiciones: (a) muestras que contengan sulfito, tiosulfato, politionato, cantidades apreciables de cloro libre o hipoclorito; (b) muestras con concentraciones altas de sólidos suspendidos; (c) muestras que contengan sustancias orgánicas fácilmente oxidables en solución fuertemente alcalina, o que sean oxidadas por yodo libre en solución ácida; (d) aguas residuales domésticas sin tratar; y (e) interferencias de

color que incidan en la detección del punto final. En los casos de inaplicabilidad de la modificación de la azida, se debe usar el método electrométrico para la evaluación de OD.

Ciertos agentes oxidantes liberan yodo a partir del yoduro (interferencia positiva) y algunos agentes reductores transforman el yodo en yoduro (interferencia negativa); la mayor parte de la materia orgánica se oxida parcialmente cuando se acidifica el precipitado de manganeso oxidado, lo que causa errores negativos.

En presencia de 100 a 200 mg de hierro férrico/L el método es aplicable si se agrega 1 mL de solución de KF antes de acidificar la muestra, y si esta adición no interfiere en la titulación. Se elimina la interferencia de Fe(III) por acidificación con ácido fosfórico (H_3PO_4) de 85 a 87% en lugar de usar el ácido sulfúrico (H_2SO_4); este procedimiento no ha sido probado para concentraciones de Fe(III) mayores de 20 mg/L.

1.6.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Tomar las muestras muy cuidadosamente; no dejar que la muestra permanezca en contacto con aire ni que se agite, debido a que cualquiera de estas condiciones causa un cambio en su contenido gaseoso. Los métodos de muestreo son muy dependientes de las características de la muestra y su procedencia, y del método de análisis. Las muestras de profundidad o de estudios batimétricos en corrientes, lagos, o depósitos, y las muestras de aguas de caldera, requieren de precauciones especiales para eliminar cambios en las condiciones de presión y temperatura. Se han desarrollado procedimientos y equipos especiales para este tipo de muestreo, descritos en la Publicación Técnica Especial N° 148-1 de ASTM (American Society for Testing and Materials).

Las muestras de agua superficial se recolectan en botellas para la DBO de 300 mL de capacidad. Para evitar la entrada del oxígeno atmosférico, se debe taponar para evitar burbujas.

En el muestreo de una conducción hidráulica bajo presión, acoplar un tubo de vidrio o caucho desde la llave hasta el fondo de la botella y dejar rebosar dos o tres veces su volumen.

Para muestras tomadas en profundidades mayores de 2 m, emplear un muestreador tipo Kemmerer. Dejar salir la muestra del fondo del muestreador a través de un tubo que llega hasta el fondo de una botella para DBO de 250 a 300 mL de capacidad. Llenar la botella y dejarla rebosar aproximadamente 10 segundos; prevenir la turbulencia y la formación de burbujas durante el llenado. Registrar la temperatura de la muestra con aproximación al grado Celsius más cercano, o con mayor precisión.

En todas las muestras que contengan demanda de oxígeno o de yodo apreciables, determinar el OD inmediatamente. Las muestras sin demanda de yodo pueden guardarse sin cambios por unas pocas horas, después de la adición de las soluciones de sulfato manganoso (MnSO_4), álcali-yoduro, y H_2SO_4 , y agitación de la manera usual. Proteger las muestras almacenadas de la luz solar fuerte y titularlas tan pronto como sea posible.

Las muestras con demanda de yodo se pueden preservar por 4-8 h por adición a la botella de la DBO de 0,7 mL de H_2SO_4 concentrado y 1 mL de solución de azida de sodio (2 g NaN_3 /100 mL de agua destilada). Este procedimiento detiene la actividad biológica y mantiene el OD si la botella se almacena a la temperatura de recolección, o de 10 a 20°C se debe mantener con sello de agua. Tan pronto como sea posible se adicionan 2 mL de solución de MnSO_4 , 3 mL de solución de álcali-

yoduro, y 2 mL de H_2SO_4 concentrado, para completar el procedimiento.

1.6.4. APARATOS

Botellas de incubación para DBO, de 250 a 300 mL de capacidad, con boca angosta de reborde ancho y tapa de vidrio esmerilado terminada en punta.

1.6.5. REACTIVOS

Solución de sulfato manganoso. Disolver 480 g de $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 400 g de $MnSO_4 \cdot 2H_2O$, o 364 g de $MnSO_4 \cdot H_2O$ en agua destilada, filtrar y diluir a 1 L. Cuando se adicione la solución de $MnSO_4$ a una solución acidificada de yoduro de potasio (KI), no debe producir color con el indicador de almidón.

Reactivo álcali-yoduro-azida.

5.2.1. Para muestras saturadas o sin saturar. Disolver 500 g de NaOH (o 700 g de KOH) y 135 g de NaI (o 150 g de KI) en agua destilada y diluir a 1 L. Agregar 10 g de NaN_3 disuelto en 40 mL de agua destilada. Las sales de potasio y de sodio pueden usarse alternadamente. Cuando se diluya y acidifique, el reactivo no debe dar color con la solución de almidón.

5.2.2. Para muestras supersaturadas. Disolver 10 g de NaN_3 en 500 mL de agua destilada. Agregar 480 g de hidróxido de sodio (NaOH) y 750 g de yoduro de sodio (NaI), y agitar hasta disolver. Puede presentarse turbidez blanca debido al carbonato de sodio (Na_2CO_3), pero esto no es perjudicial. PRECAUCIÓN: No acidificar esta solución porque se pueden producir vapores tóxicos de ácido hidrazoico.

3. Acido sulfúrico, H_2SO_4 , concentrado. 1 mL es equivalente a aproximadamente 3 mL del reactivo de álcali-yoduro-azida.

4. Almidón. Emplear una solución acuosa o mezclas de almidón en polvo soluble. Para preparar una solución acuosa, disolver 2 g de almidón soluble grado analítico y 0,2 g de ácido salicílico como preservativo, en 100 mL de agua destilada caliente.

4. Tiosulfato de sodio titulante estándar. Disolver 6,205 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ en agua destilada, agregar 1,5 mL de NaOH 6N o 0,4 g de NaOH sólido y diluir a 1000 mL. Estandarizar con solución de biyodato.

5. Solución de biyodato de potasio estándar, 0,0021 M. Disolver 812,4 mg de $KH(IO_3)_2$ en agua destilada y diluir a 1000 mL. Estandarizar de la siguiente manera:

En un erlenmeyer disolver aproximadamente 2 g de KI, libre de yodato, con 100 a 150 mL de agua destilada, agregar 1 mL de H_2SO_4 6N o unas pocas gotas de H_2SO_4 concentrado y 20,00 mL de solución estándar de biyodato. Diluir a 200 mL y titular con tiosulfato el yodo liberado, agregar almidón cerca al punto final de la titulación, o sea cuando se alcance un color pajizo tenue. Cuando las soluciones son equivalentes, se requieren 20,00 mL de $Na_2S_2O_3$ 0,025 M, de lo contrario, ajustar la concentración del $Na_2S_2O_3$ a 0,025 M.

6. Solución de fluoruro de potasio. Disolver 40 g de $KF \cdot 2H_2O$ en agua destilada y diluir a 100 mL.

1.6.6. PROCEDIMIENTO

Agregar 1 mL de solución de $MnSO_4$ a la muestra en la botella de DBO, seguido de 1 mL del reactivo de álcali-yoduro-azida (si se sumergen las puntas de las pipetas en la muestra, enjuagarlas antes

de retornarlas a las respectivas botellas de reactivos, o también, sostener la punta de las pipetas justo sobre la superficie del líquido cuando se adicionen los reactivos); tapar cuidadosamente para evitar burbujas de aire y mezclar unas pocas veces por inversión de la botella. Cuando el precipitado se haya decantado hasta aproximadamente la mitad del volumen de la botella, para dejar un sobrenadante claro sobre el floc de hidróxido de manganeso, agregar 1,0 mL de H_2SO_4 concentrado, tapar y mezclar varias veces por inversión de la botella, hasta que la disolución sea completa. Para titular un volumen correspondiente a 200 mL de la muestra original, calcular la corrección por la pérdida de muestra desplazada por los reactivos, así: para un total de 2 mL de reactivos de $MnSO_4$ y álcali-yoduro-azida (1 mL de cada uno) en una botella de 300-mL, tomar $200 \square 300/(300-2) = 201$ mL.

Titular con solución 0,025 M de $Na_2S_2O_3$ hasta color pajizo pálido; agregar unas pocas gotas de solución de almidón y continuar la titulación hasta la primera desaparición del color azul. Si se sobrepasa el punto final, retro-titular con solución 0,0021 M de biyodato adicionada gota a gota, o adicionar un volumen medido de muestra tratada y corregir por la cantidad de solución de biyodato o de muestra. Ignorar subsecuentes reapariciones del color, debidas al efecto catalítico del nitrito o a trazas de sales férricas que no han sido acomplexadas con el fluoruro.

1.6.7.PRECISIÓN

El OD puede determinarse con una precisión, expresada como desviación estándar, aproximadamente de $20 \square$ g/L en agua destilada y de $60 \square$ g/L en aguas residuales y efluentes secundarios.

En presencia de interferencias apreciables, incluso con las modificaciones apropiadas, la desviación estándar puede elevarse hasta 100 $\square$ g/L. A pesar de todo, pueden ocurrir errores más grandes en el análisis de aguas con sólidos suspendidos orgánicos o con fuerte contaminación. Evitar errores debidos a descuidos en la toma de muestra, prolongación de la terminación del ensayo, o selección de una modificación inadecuada.

1.6.8.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración del Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental Ideam

Estandarización de la Técnica: Laboratorio de Química Ambiental Ideam

1.6.9.FECHAS

Elaboración del Protocolo: julio de 1997

Montaje de la Técnica: IDEAM

Calibración: IDEAM

Revisión: julio de 1997

1.6.10.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995. Pp 4-96 a 4-104

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.8. CARBONO ORGANICO TOTAL⁴

Método de Combustión Infrarroja

1.8.1.SUMARIO Y APLICACIONES

El carbono orgánico en las aguas (incluyendo las aguas residuales) está conformado por una variedad de compuestos orgánicos en diferentes estados de oxidación. Algunos de estos compuestos orgánicos se pueden oxidar posteriormente mediante procesos químicos y biológicos y sus fracciones se pueden caracterizar mediante la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Cuando en los ensayos la presencia de carbono orgánico no responde a los análisis de DQO o DBO no se pueden realizar los análisis de COT.

Los ensayos de COT son más útiles, convenientes y dan una expresión más directa del contenido orgánico total en una muestra que los ensayos de DQO o DBO; sin embargo no suministran el mismo tipo de información. Si se establece una relación empírica reproducible entre el COT y la DBO o el COT y la DQO, entonces el COT se puede utilizar para estimar la DBO o la DQO. Esta relación se debe establecer independientemente para cada grupo de condiciones de una matriz, tales como en varios puntos de un proceso de tratamiento. A diferencia de la DBO o la DQO, el COT es independiente del estado de oxidación de la materia orgánica y no mide otros elementos enlazados orgánicamente, tales como el nitrógeno y el hidrógeno y otros elementos inorgánicos que pueden contribuir a la demanda de oxígeno que se mide en la DBO o la DQO. Los ensayos de COT no constituyen un reemplazo a los ensayos de la DBO y la DQO.

⁴ Tomado de la información de la página Web del IDEAM: www.ideam.gov.co

Con el fin de determinar el carbono enlazado orgánicamente, las moléculas orgánicas se deben deshacer a unidades de carbono sencillas y se deben convertir en una forma molecular simple que pueda ser determinada cuantitativamente. Los métodos para analizar el COT utilizan calor, oxígeno, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o combinaciones de estos oxidantes para convertir el carbono orgánico en bióxido de carbono (CO_2). El CO_2 se puede medir directamente por un analizador infrarrojo no disperso, se puede reducir a metano midiéndolo posteriormente con un detector de ionización con llama, o simplemente el CO_2 se puede titular químicamente.

El método de combustión infrarroja es apropiado para muestras que tienen una concentración de COT mayor o igual a 1 mg/L. Para concentraciones menores, se utiliza el método de oxidación de persulfato-ultravioleta o el método de oxidación húmeda.

Fracciones del Carbono Total. Los métodos y los equipos utilizados en la medición de COT analizan las fracciones de carbono total (CT) y miden el COT por dos o más formas. Las fracciones del carbono total se definen de la siguiente manera: **carbono inorgánico (CI)** – que son los carbonatos, bicarbonatos y CO_2 disuelto; **carbono orgánico total (COT)** – que son todos los átomos de carbono unidos por enlaces covalentes en moléculas orgánicas; **carbono orgánico disuelto (COD)** – es la fracción de COT que pasa por un filtro con porosidad de 0.45 micrómetros de diámetro; **carbono orgánico particulado (COP)** – también conocido como carbono orgánico no disuelto, es la fracción del COT retenido en el filtro con porosidad de 0.45 micrómetros de diámetro; **carbono orgánico volátil (COV)** – también conocido como carbono orgánico purgable, es la fracción de COT que se remueve de una solución acuosa mediante desalojo de gas bajo ciertas condiciones;

y **carbono orgánico no purgable** (CONP) – es la fracción del COT que no se remueve por desalojo de gas.

En la mayoría de las aguas, la fracción del CI es mucho mayor que la fracción de COT. Eliminar o compensar las interferencias de CI, requiere de múltiples determinaciones para medir el COT verdadero. Las interferencias del CI se pueden eliminar acidificando las muestras a un pH de 2 o menos con el fin de convertir las especies de CI en CO_2 . Seguidamente, se purga la muestra con un gas purificado para remover el CO_2 por volatilización. La purga de la muestra también remueve el COP y por consiguiente la medición de carbono orgánico realizada después de eliminar las interferencias del CI, es básicamente una medición del CONP. En otras palabras se mide el COV para determinar el COT. En muchas aguas superficiales y subterráneas la contribución del COV al COT es despreciable. Consecuentemente, en la práctica, la determinación del CONP se sustituye por la del COT.

Como alternativa, las interferencias del CI se pueden compensar realizando mediciones separadas del carbono total (CT) y el carbono inorgánico. La diferencia entre el CT y el CI da COT.

La fracción purgable del COT está dada por algunas condiciones específicas y el equipo utilizado. Por ejemplo, la temperatura y salinidad de la muestra así como la tasa de flujo del gas, el tipo de difusor de gas, las dimensiones del vaso de purga, el volumen de purga y el tiempo de purgado afectan el fraccionamiento del COT en porciones purgables y no purgables. Cuando se analizan separadamente el COV y el CONP en una misma muestra, se utilizan condiciones idénticas de purgado durante la medición de COV así como cuando se realiza la purga para preparar la porción de CONP para el análisis. Cuando se hacen comparaciones de

resultados de COV o CONP entre diferentes laboratorios o diferentes equipos, se deben tener en cuenta las condiciones de purgado.

El método de combustión infrarroja ha sido utilizado para una gran variedad de muestras; sin embargo, su exactitud depende de la reducción del tamaño de las partículas ya que emplea jeringas de orificio pequeño.

Principio del método: La muestra se homogeneiza y se diluye tanto como sea necesario y una porción en el rango de microlitros se inyecta en una cámara de reacción caliente acondicionada con un catalizador oxidante como el óxido de cobalto. El agua se vaporiza y el carbono orgánico se oxida a CO_2 y H_2O . El CO_2 resultante de la oxidación de carbono orgánico e inorgánico se envía por un sistema transportador de gas y se mide por medio de un analizador infrarrojo no disperso.

Debido a que se realiza una medición del carbono total, el COT se determina por diferencia, midiendo separadamente el CI. La medición del CI se realiza inyectando la muestra en una cámara separada de reacción que consta de lechos de cuarzo cubiertos con ácido fosfórico. Bajo condiciones de acidez, todo el CI se convierte a CO_2 que se analiza. En estas condiciones el carbono orgánico no se oxida y se determina únicamente el CI. Como alternativa se adiciona ácido para convertir los carbonatos inorgánicos a CO_2 y se remueve posteriormente el CO_2 realizando un purgado antes de la inyección de la muestra. La muestra contiene únicamente la fracción del CONP del carbono total. También se realiza un análisis de COV para medir el COT verdadero.

Mínima concentración detectable: 1 mg de carbono / L. Esta concentración se puede obtener con la mayoría de analizadores de combustión infrarroja; sin embargo, el rendimiento varía de un equipo a otro. La mínima concentración detectable se puede disminuir

concentrando la muestra o simplemente aumentando la porción tomada para el análisis.

1.8.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

La remoción del carbonato y el bicarbonato por acidificación y purgado con gas purificado origina una pérdida de sustancias orgánicas volátiles. Las sustancias volátiles también se pueden perder durante la homogeneización, especialmente si la temperatura aumenta. Otro tipo de pérdida importante ocurre cuando hay partículas carbonadas de gran tamaño que no penetran el orificio de la aguja utilizada para la inyección. Cuando se realizan únicamente determinaciones de COD, la filtración, aunque es necesaria para eliminar la materia orgánica particulada, puede originar pérdidas o ganancias de COD dependiendo de las propiedades físicas de los compuestos carbonados y de la absorción de material carbonado en el filtro o la deabsorción del mismo. La contribución de COD de los filtros se revisa analizando un filtro como blanco. Es de anotar que cualquier contacto de la muestra con material orgánico la puede contaminar. Evitar la utilización de material de vidrio contaminado, recipientes de plástico y mangueras de caucho. Revisar el tratamiento, el sistema y los blancos de reactivos.

1.8.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Tomar y almacenar las muestras en botellas de vidrio ámbar con tapas de teflón. Antes de tomar las muestras, los recipientes se deben lavar con ácido, tapar con papel aluminio y poner en el horno a 400°C por lo menos una (1) hora. Lavar el septa de teflón con detergente, enjuagar repetidamente con agua libre de material orgánico, envolver en papel aluminio y poner en el horno a 100°C por una (1) hora. Es preferible utilizar septa de teflón con caucho de silicona grueso con tapas de

anillos para producir un sello positivo. Como el límite de detección es relativamente alto, no se requiere una limpieza tan minuciosa; sin embargo se deben utilizar blancos de botellas con cada grupo de muestras. Si se van a tomar muestras en profundidades mayores de 2 m, se utiliza un muestreador Kemmerer o uno similar. Las muestras que no se pueden analizar inmediatamente se refrigeran a 4 °C con exposición mínima a la luz y al aire. Las muestras inestables se pueden preservar acidificando con ácido fosfórico o sulfúrico a un pH menor o igual a 2 en el momento de la recolección. Todas las muestras se pueden acidificar; sin embargo, el carbono inorgánico se debe purgar antes de realizar los análisis.

1.8.4. APARATOS

Analizador de carbono orgánico total

Jeringas: con capacidad de 0 a 50 micro-litros, 0 a 200 micro-litros, 0 a 500 micro-litros y 0 a 1 mL.

Homogeneizadora o mezcladora de la muestra.

Agitador magnético y barras agitadoras cubiertas con teflón.

Aparato de filtrado y filtros con poros de 0.45 micrómetros de diámetro

1.8.5. REACTIVOS

Agua de grado reactivo: Preparar blancos y soluciones estándar con agua libre de carbono; usar preferiblemente agua redestilada y filtrada.

Ácido fosfórico: H_3PO_4 , concentrado. Como alternativa, utilizar ácido sulfúrico, H_2SO_4 . No utilizar ácido clorhídrico.

Solución stock de carbono orgánico: Disolver 2.1254 g de biftalato de potasio anhidro, $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$, en agua libre de carbono y diluir a 1000 mL. 1.00 mL = 1.00 mg de carbono. Alternativamente utilizar cualquier otro compuesto que contenga carbono orgánico y que sea de adecuada

pureza, estable y soluble en agua. Preservar acidificando con H_3PO_4 o H_2SO_4 hasta un pH menor o igual a 2.

Solución stock de carbono inorgánico: Disolver en agua 4.4122 g de carbonato de sodio anhidro, Na_2CO_3 , adicionar 3.497 g de bicarbonato de sodio anhidro, NaHCO_3 , y diluir a 1000 mL. 1.00 mL = 1.00 mg de carbono. Alternativamente, usar cualquier otro compuesto inorgánico carbonado de adecuada pureza, estabilidad y solubilidad en el agua. Mantener bien tapado. No se debe acidificar.

Gas transportador: Oxígeno puro o aire, libre de CO_2 y con un contenido menor de 1 ppm de hidrocarburos en forma de metano.

Gas de purga: Cualquier gas libre de CO_2 e hidrocarburos.

1.8.6.PROCEDIMIENTO

Operación del equipo: Seguir las instrucciones del fabricante para instalación, análisis, calibración y operación del equipo. Ajustar la temperatura óptima de combustión (normalmente 900°C) antes de usar el instrumento. Revisar repetidamente la temperatura para asegurar estabilidad.

Tratamiento de la muestra: Si una muestra contiene sólidos gruesos o material insoluble, ésta se debe homogeneizar hasta que se obtenga una réplica satisfactoria. Analizar un blanco homogeneizado que consista de agua grado reactivo llevada por el proceso de homogeneizado.

Si se requiere remover el carbono inorgánico antes de realizar los análisis, se transfiere una cantidad representativa de unos 10 a 15 mL a un vaso de precipitados de 30 mL, se adiciona H_3PO_4 para disminuir el pH hasta 2 o menos y se realiza una purga con gas por 10 min. No se debe utilizar mangueras de plástico. El carbono inorgánico también se puede remover agitando la muestra acidificada en un vaso de precipitados mientras se le adiciona gas puro. Debido que durante la

operación de purgado de la solución acidificada se pierde el carbono orgánico volátil, se reporta el carbono orgánico como carbono orgánico no purgable.

Si en el equipo utilizado se puede determinar separadamente el carbono inorgánico (carbonato, bicarbonato, CO_2 libre) y el carbono total, se omite la decarbonatación y se procede de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para determinar el COT por diferencia entre el CT y el CI.

Si se desea determinar el carbono orgánico disuelto, se filtra al vacío la muestra a través de un filtro con poros de 0.45 micrómetros de diámetro y se analiza un filtro como blanco.

Inyección de la muestra: Extraer una porción de la muestra preparada utilizando una jeringa con aguja de punta desafilada. Se selecciona el volumen de la muestra de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del equipo. Se agitan las muestras que contienen partículas empleando un agitador magnético. Se selecciona el tamaño de la aguja que sea consistente con el tamaño de las partículas en la muestra. Se inyectan las muestras y los estándares en el analizador de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y se registran las respuestas. Se repiten las inyecciones hasta que se obtienen picos consecutivos reproducibles dentro de $\pm 10\%$.

Elaboración de la curva patrón: Preparar diferentes series de estándares de carbono orgánico e inorgánico diluyendo soluciones stock para cubrir todo el rango de concentraciones esperadas en las muestras. Inyectar y registrar la altura del pico o el área de estos estándares y el blanco de agua de dilución. Realizar una gráfica de la concentración del carbono en miligramos por litro vs la altura del pico corregido o el área en un papel de coordenada rectangular. Esto no es necesario hacerlo si el equipo da

lecturas digitales de la concentración. Si se desea, se prepara una curva patrón con concentraciones de 1 a 10 mg/L realizando diluciones apropiadas de los estándares.

Con la mayoría de los analizadores de COT no es posible determinar separadamente blancos de agua grado reactivo, de reactivos y del sistema completo. Además, algunos analizadores de COT producen un blanco variable y errático que no puede ser corregido con exactitud. En muchos laboratorios, los blancos se realizan con agua grado reactivo. Si se corrige solamente la altura de los picos de los estándares (los cuales contienen agua grado reactivo + reactivos + blanco del sistema) se crea un error positivo, mientras que si se corrigen también las muestras (que contienen reactivos y algunas contribuciones del blanco del sistema) por el blanco de agua grado reactivo se crea un error negativo. Los errores se minimizan utilizando agua grado reactivo y reactivos con un contenido bajo en carbono.

Las muestras y los blancos del procedimiento (que consisten de agua grado reactivo y que se llevan a través de cualquiera de los procedimientos de pre-análisis presentan valores que son generalmente mayores que aquellos blancos para agua grado reactivo) se inyectan y se determinan las concentraciones de carbono orgánico en la muestra comparando las alturas corregidas de los picos con la curva de calibración.

1.8.7.CÁLCULOS

Cuando el agua de grado reactivo es una fracción importante del blanco total:

Calcular la altura corregida del pico de los estándares restando la altura del pico del blanco de agua grado reactivo de la altura de los picos de los estándares.

Preparar una curva patrón de la altura corregida de los picos contra la concentración de COT.

Restar el blanco del procedimiento de las alturas del pico de cada muestra y comparar con la curva patrón para determinar el contenido de carbono. Nota: Se crea un error positivo si el contenido de COT del agua grado reactivo es significativo en comparación al contenido de COT en la muestra. En lo posible se debe intentar utilizar agua libre de carbono.

Aplicar el factor de dilución cuando sea necesario.

Restar el carbono inorgánico del carbono total cuando el COT se determina por diferencia.

Cuando el agua grado reactivo es una fracción mínima del blanco total:

Calcular la altura corregida del pico de los estándares y las muestras restando la altura del pico del blanco de agua grado reactivo de las alturas de los picos de los estándares y las muestras.

Preparar una curva patrón de la altura del pico corregido vs. la concentración del COT.

Restar el blanco del procedimiento de la altura de pico de cada muestra y comparar con la curva patrón para determinar el contenido de carbono. Los valores tienen un error negativo igual a la contribución hecha por el blanco del agua grado reactivo.

Aplicar el factor de dilución cuando sea necesario.

Restar el carbono inorgánico del carbono total cuando el COT se determina por diferencia. Nota: Si el analizador de COT permite aislar cada una de las contribuciones al blanco total, se aplican las

correcciones necesarias del blanco en las alturas de los picos de los estándares (blanco de reactivo, blanco del agua, blanco del sistema) y en la muestra (blanco de reactivo y blanco del sistema).

1.8.8.PRECISIÓN

La precisión del método se limita entre 5 y 10% aproximadamente cuando a las muestras no se les filtra el material particulado. En muestras sin partículas o en aquellas que se filtran antes de realizar los ensayos, la precisión se aproxima al 1 ó 2% +/- 1 ó 2 mg de carbono/ L (cualesquiera que sea mayor).

1.8.9.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración del Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental Ideam

Montaje de la Técnica: Laboratorio de Química Ambiental

1.8.10.FECHAS

Elaboración del Protocolo: junio de 1998

Revisión: junio de 1998

1.8.11.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.9. SULFATO

Turbidimetría

1.9.1.SUMARIO Y APLICACIONES

El sulfato (SO_4^{2-}) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y puede estar presente en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos miligramos por litro hasta algunos gramos por litro; algunos drenajes de minería pueden contribuir con grandes cantidades de sulfatos a través de la oxidación de pirritas.

El ion SO_4^{2-} se precipita con cloruro de bario (BaCl_2) en presencia de ácido acético para formar cristales de sulfato de bario (BaSO_4) de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia de luz de la suspensión de BaSO_4 con un fotómetro y la concentración de SO_4^{2-} se determina por comparación de la lectura contra una curva estándar.

El intervalo de aplicación de este método va de 1 a 40 mg SO_4^{2-} /L. Para muestras con concentraciones superiores, usar una alícuota que contenga menos de 40 mg SO_4^{2-} /L.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y efluentes domésticos e industriales.

El sulfato también se puede determinar por cromatografía iónica para concentraciones superiores a 0,1 mg/L; por gravimetría con ignición o con secado del residuo para concentraciones superiores a 10 mg/L; y por el método automatizado de azul de metiltimol para analizar cerca de 30 muestras por hora, cuando se dispone del equipo. Los métodos gravimétricos ofrecen los resultados más exactos.

1.9.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

El color o la materia en suspensión en grandes cantidades pueden interferir con la determinación; esta última se puede remover por filtración. Si ambas son pequeñas en comparación con la concentración

de SO_4^{2-} , se corrige la interferencia mediante un blanco de muestra en el que se omite la adición de BaCl_2 .

La sílica en cantidad superior a 500 mg/L interfiere.

En aguas con grandes cantidades de materia orgánica puede ser imposible precipitar el BaSO_4 satisfactoriamente.

En aguas potables no hay otros iones diferentes del SO_4^{2-} que formen compuestos insolubles con bario bajo condiciones fuertemente ácidas.

En presencia de materia orgánica algunas bacterias reducen el SO_4^{2-} a S^{2-} , lo que se evita por refrigeración de la muestra.

Hacer las determinaciones a temperatura ambiente; la variación de temperatura en un intervalo de 10° C no causa un error apreciable.

1.9.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Preservar por refrigeración a 4° C.

1.9.4.APARATOS

Agitador magnético: Con control de velocidad. Emplear una velocidad de agitación constante y que evite salpicaduras; la velocidad exacta de agitación no es crítica, pero debe mantenerse constante para cada grupo de muestras y estándares. Usar barras agitadoras de forma y tamaño idénticos.

2.Fotómetro:

3.Nefelómetro.

4.Espectrofotómetro, para usar a 420 nm, provisto de un paso de luz de 2,5 a 10 cm.

5.Fotómetro de filtro, equipado con un filtro violeta con un máximo de transmitancia cerca a 420 nm y paso de luz de 2,5 a 10 cm.

Cronómetro o temporizador eléctrico.

Cuchara medidora, con capacidad de 0,2 a 0,3 mL.

1.9.5.REACTIVOS

Solución tampón A: Disolver 30 g de cloruro de magnesio, $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$, 5 g de acetato de sodio, $\text{CH}_3\text{COONa} \times 3\text{H}_2\text{O}$, 1,0 g de nitrato de potasio, KNO_3 , y 20 mL de ácido acético, CH_3COOH (99%) en 500 mL de agua destilada y diluir a 1000 mL.

Solución tampón B (requerida cuando la concentración de SO_4^{2-} en la muestra sea menor de 10 mg/L): Disolver 30 g de $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$, 5 g de $\text{CH}_3\text{COONa} \times 3\text{H}_2\text{O}$, 1,0 g de KNO_3 , 0,111 g de sulfato de sodio, Na_2SO_4 , y 20 mL de ácido acético, CH_3COOH (99%) en 500 mL de agua destilada y diluir a 1000 mL.

Cloruro de bario, BaCl_2 , en cristales de malla 20 a 30. En la estandarización se produce turbidez uniforme con este intervalo de malla y el tampón apropiado.

Solución estándar de sulfato: Preparar la solución estándar de sulfato por alguno de los métodos descritos en seguida; 1,00 mL = 100 mg SO_4^{2-} .

5.4.1. Diluir 10,4 mL de H_2SO_4 0,0200 N estándar (especificado en Alcalinidad, Sección 2320B.3c, Standard Methods) a 100 mL con agua destilada.

(El H_2SO_4 0,0200 N se puede obtener por dilución de 200,0 mL de H_2SO_4 0,100 N a 1000 mL. El H_2SO_4 0,100 N estándar se obtiene por dilución de 3,0 mL de H_2SO_4 concentrado a 1000 mL con agua destilada y se estandariza contra 40,0 mL de solución de Na_2CO_3 0,05 N).

5.4.2. Disolver 0,1479 g de Na_2SO_4 anhidro en agua destilada y diluir a 1000 mL.

1.9.6.PROCEDIMIENTO

Formación del sulfato de bario: Medir 100 mL de muestra, o una porción adecuada diluida a 100 mL, en un erlenmeyer de 250 mL; agregar 20 mL de solución tampón y mezclar con el agitador. Mientras se agita, agregar una cucharada de cristales de BaCl_2 y empezar a cronometrar inmediatamente; agitar por 60 ± 2 s a velocidad constante.

Medición de la turbidez de sulfato de bario: Una vez terminado el periodo de agitación, colocar la solución en la celda de absorción del fotómetro y medir la turbidez a los $5 \pm 0,5$ min.

Preparación de la curva de calibración: Estimar la concentración de SO_4^{2-} en la muestra por comparación de la lectura de turbidez contra una curva de calibración preparada con estándares en el intervalo de 0 a 40 mg de SO_4^{2-} /L en incrementos de 5 mg/L, llevados a través del mismo procedimiento. Por encima de 40 mg/L la exactitud decrece y la suspensión de BaSO_4 pierde estabilidad. Verificar la confiabilidad de la curva de calibración mediante la realización de un estándar cada tres o cuatro muestras.

Corrección por color y turbidez de la muestra. Llevar un blanco de muestra a través del procedimiento sin agregarle BaCl_2 , para corregir por color y turbidez de la muestra.

1.9.7.PRECISIÓN

En un laboratorio se analizó una muestra con un promedio de 7,45 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$, y se obtuvo una desviación estándar de 0,13 mg/L y un coeficiente de variación de 1,7%, con un turbidímetro Hach 2100 A. En dos muestras dosificadas con sulfato se obtuvieron recuperaciones de 85 y 91%.

En 19 laboratorios se analizó, por el método turbidimétrico, una muestra sintética que contenía 259 mg de $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$, 108 mg Ca^{2+}/L , 82 mg Mg^{2+}/L , 3,1 mg K^{+}/L , 19,9 mg Na^{+}/L , 241 mg Cl^{-}/L , 0,250 mg NO_2^{-}/L , 1,1 mg NO_3^{-}/L , y 42,5 mg de alcalinidad total/L. La desviación estándar relativa fue de 9,1% y el error relativo de 1,2%.

Treinta y cuatro analistas en 16 laboratorios analizaron seis muestras sintéticas de agua con incrementos exactos de sulfato inorgánico, con los siguientes resultados:

TABLA No. 1.9

Incremento como	Precisión como	Exactitud como	
Sulfato mg/L	Desviación Estándar mg/L	Sesgo %	Sesgo mg/L
8,6	2,30	-3,72	-0,3
9,2	1,78	-8,26	-0,8
110	7,86	-3,01	-3,3
122	7,50	-3,37	-4,1
188	9,58	+0,04	+0,1
199	11,8	-1,70	-3,4

1.9.8.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM

Montaje Técnica: Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM

1.9.9.FECHAS

Elaboración Protocolo: agosto de 1997

Revisión: agosto de 1997

1.9.10.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.10. NITRATO⁵

Método de Electrodo de Nitrato

1.10.11.SUMARIO Y APLICACIONES

El electrodo de ion NO_3^- es un sensor selectivo que desarrolla un potencial a través de una membrana delgada, poroso e inerte colocada en un intercambiador de iones líquido inmiscible con agua.

El electrodo responde a la actividad del ion NO_3^- entre 10^{-5} y 10^{-1} M (0,14 a 1400 mg NO_3^- -N/L). El límite de detección inferior es determinado por la pequeña pero finita solubilidad del intercambiador iónico líquido.

1.10.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

Los iones cloruro y bicarbonato interfieren cuando sus relaciones de peso con el NO_3^- -N son >10 o >5 , respectivamente. Los iones NO_2^- , CN^- , S^{2-} , Br^- , Cl^- , ClO_3^- , y ClO_4^- . son potenciales interferencias pero normalmente no ocurre a niveles significantes en aguas potables.

⁵ Tomado de información página Web IDEAM: www.ideam.edu.co

Si bien los electrodos funcionan satisfactoriamente en tampones en el intervalo de pH de 3 a 9, se han notado respuestas erráticas cuando el pH no se mantiene constante.

Debido a que el electrodo responde a la actividad del NO_3^- más que a la concentración, la fuerza iónica debe ser constante en todas las muestras y estándares. Minimizar estos problemas por el uso de una solución tampón que contenga Ag_2SO_4 para remover Cl^- , Br^- , I^- , y CN^- , ácido sulfámico para remover NO_2^- , un tampón a pH 3 para eliminar HCO_3^- y para mantener pH y fuerza iónica constantes, y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para acomplejar los ácidos orgánicos.

1.10.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Iniciar las determinaciones de NO_3^- con prontitud después del muestreo. Si es necesario el almacenamiento, guardar hasta por 24 h a 4°C ; para almacenamientos más prolongados, preservar con 2 mL de H_2SO_4 conc./L y guardar a 4°C .

NOTA: Cuando la muestra se preserve con ácido, no se pueden determinar NO_3^- y NO_2^- como especies individuales.

1.10.4.APARATOS

pH metro, de escala expandida o digital, con resolución de 0,1 mV.

Electrodo de referencia de doble unión. Llenar la cámara exterior con solución de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Electrodo ion nitrato. Seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante referentes a cuidado y almacenamiento.

Agitador magnético. Barra agitadora recubierta de TFE (teflón)

1.10.5.REACTIVOS

Agua libre de nitrato. Usar agua redestilada o destilada, desionizada de la mayor pureza para preparar todas las soluciones y diluciones.

Solución patrón de nitrato. Secar nitrato de potasio (KNO_3) en un horno a 105°C por 24 h. Disolver 0,7218 g en agua y diluir a 1000 mL; 1,00 mL = 100 mg NO_3^- -N. Preservar con 2 mL de CHCl_3 /L. Esta solución es estable por lo menos 6 meses.

Solución estándar de nitrato. Diluir 1,0, 10 y 50 mL de la solución patrón de nitrato a 100 mL con agua para obtener soluciones estándar de 1,0, 10 y 50 mg NO_3^- -N/L, respectivamente.

Solución tampón. Disolver 17,32 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, 3,43 g de Ag_2SO_4 , 1,28 g de H_3BO_3 , y 2,52 g de ácido sulfámico ($\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}$), en cerca de 800 mL de agua. Ajustar a pH 3,0 por adiciones lentas de NaOH 0,10 N. Diluir a 1000 mL y guardar en una botella oscura de vidrio.

Hidróxido de sodio, NaOH , 0,1 N.

Solución de llenado del electrodo de referencia. Disolver 0,53 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en agua y diluir a 100 mL.

1.10.6.PROCEDIMIENTO

Preparación de la curva de calibración: Transferir 10 mL del estándar de 1 mg NO_3^- -N/L a un vaso de 50-mL, agregar 10 mL de tampón, y agitar con el agitador magnético. Sumergir las puntas de los electrodos y registrar la lectura de milivoltios cuando se estabilice (después de cerca de 1 min.). Retirar los electrodos, enjuagarlos y secarlos. Repetir para los estándares de 10 mg NO_3^- -N/L y 50 mg NO_3^- -N/L. Graficar las mediciones de potencial (Sección 7.1). Recalibrar los electrodos varias veces al día mediante la lectura de potencial del estándar de 10 mg

NO_3^- -N y ajuste del control de calibración hasta que muestre nuevamente la lectura graficada en la curva.

Medición de la muestra: Transferir 10 mL de muestra a un vaso de 50 mL, agregar 10 mL de tampón, y agitar (cerca de 1 min.) con el agitador magnético. Medir los estándares y las muestras alrededor de la misma temperatura. Sumergir las puntas de los electrodos en la muestra y registrar la lectura de potencial cuando se estabilice (después de cerca de 1 min.). Leer la concentración de la curva de calibración.

1.10.7.CÁLCULOS

Graficar las mediciones de potencial contra la concentración de NO_3^- -N en papel semilogarítmico, con la concentración de NO_3^- -N en el eje logarítmico (abcisas) y el potencial (en milivoltios) en el eje lineal (ordenadas). Debe resultar una línea recta con una pendiente de $+ 57 \pm 3$ mV/década a 25°C.

1.10.8.PRECISIÓN

En el intervalo del método, se espera una precisión de $\pm 0,4$ mV, correspondiente a 2,5% en concentración.

1.10.9.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM

Montaje Técnica: Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM.

1.10.10.FECHAS

Elaboración Protocolo: agosto de 1997

Revisión: agosto de 1997

1.10.11.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.11. NITRITO⁶

Espectrofotometría

1.11.1.SUMARIO Y APLICACIONES

El nitrito (NO_2^-) se determina mediante la formación de un colorante azo de color púrpura rojizo por reacción de diazotación-copulación de sulfanilamida con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (NED diclorhidrato) a pH entre 2,0 y 2,5.

El método es adecuado para determinar nitrito en concentraciones de 10 a 1000 mg NO_2^- -N/L. El sistema de color obedece la ley de Beer en concentraciones hasta de 180 mg NO_2^- -N/L a 543 nm si se emplea celda de 1 cm de longitud; se pueden hacer mediciones en el intervalo de 5 a 50 mg NO_2^- -N/L con una celda de 5 cm de paso de luz y un filtro de color verde. Se pueden determinar concentraciones más altas por dilución de la muestra.

El método es aplicable para la determinación de nitrito en aguas potable, superficial y salinas, y aguas residuales domésticas e industriales.

⁶ Tomado de información página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

1.11.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

El tricloruro de nitrógeno (NCl_3) imparte un falso color rojo cuando se agrega el reactivo de coloración; la incompatibilidad química impide que coexistan NO_2^- , cloro libre y NCl_3 .

Los siguientes iones no deben estar presentes porque interfieren debido a su precipitación bajo las condiciones del ensayo: Sb^{3+} , Au^{3+} , Bi^{3+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Ag^{2+} , cloroplatinato (PtCl_6^{2-}) y metavanadato (VO_3^{2-}); el ion cúprico puede causar bajos resultados porque cataliza la descomposición de la sal de diazonio.

En la muestra no deben estar presentes iones coloreados que alteren el sistema de color.

Los sólidos suspendidos se deben remover por filtración a través de membrana con diámetro de poro de 0,45 m m.

1.11.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

El tamaño mínimo de muestra para determinar NO_2^- es de 100 mL y puede recolectarse en recipientes de vidrio o plástico.

La determinación debe hacerse lo más pronto posible una vez recogida la muestra para prevenir la posible conversión bacteriana de NO_2^- a NO_3^- o NH_3 .

Para preservaciones cortas, de 1 a 2 días, congelar a -20°C ó guardar a 4°C .

Nunca se debe emplear preservación ácida.

1.11.4.APARATOS

Equipo colorimétrico: se requiere uno de los siguientes:

Espectrofotómetro, para usar a 543nm, provisto de celda con paso de luz de 1cm o más.

Fotómetro de filtro, provisto de una celda con paso de luz de 1 cm o más y equipado con un filtro verde que tenga una transmitancia máxima cerca de 540 nm.

1.11.5.REACTIVOS

Agua libre de nitritos. Usar agua libre de nitrito para la preparación de todos los reactivos y diluciones. Si no se sabe que el agua destilada o desmineralizada esté libre de NO_2^- , usar alguno de los siguientes procedimientos para prepararla:

*Agregar por cada litro de agua destilada un cristal pequeño de KMnO_4 y otro de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ o de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Redestilar en un equipo hecho completamente de vidrio borosilicato y descartar los primeros 50 mL de destilado. Recolectar la fracción destilada libre de permanganato; la aparición de un color rojo al agregar reactivo DPD indica la presencia de permanganato.

*Agregar por cada litro de agua destilada, 1 mL de H_2SO_4 concentrado y 0,2 mL de solución de MnSO_4 (36,4 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ / 100 mL de agua destilada), y agregar, hasta aparición de color rosado, de 1 a 3 mL de solución de KMnO_4 (400 mg de KMnO_4 /L de agua destilada). Redestilar como se describe en el párrafo anterior.

Reactivo de coloración. A 800 mL de agua agregar 100 mL de ácido fosfórico del 85% y 10 g de sulfanilamida, agitar y disolver. Agregar 1 g de N-(1-naftil)-etilendiamina diclorhidrato. Mezclar hasta disolver, y diluir a 1 L con agua. Esta solución es estable hasta por un mes si se guarda en una botella oscura y en refrigeración.

3.Oxalato de sodio, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 0,025 M (0,05N). Pesar con exactitud 3,350 g de oxalato de sodio anhidro grado estándar primario en agua y diluir a 1000 mL con agua.

4. Sulfato ferroso amónico, 0,05 M (0,05 N). Disolver en agua 19,607 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, agregar 20 mL de H_2SO_4 concentrado y diluir a 1000 mL. Estandarizar como se describe en la Sección 5220B.3d, Standard Methods.

5. Solución patrón de nitrito. El NaNO_2 comercial grado reactivo es de mínimo 99% de pureza. Como el NO_2^- es oxidado fácilmente en presencia de humedad, usar un frasco de reactivo reciente para preparar la solución patrón y guardar los frascos herméticamente tapados cerca de un libre acceso de aire cuando no estén en uso. Para determinar el contenido de NaNO_2 , agregar un exceso conocido de solución estándar de KMnO_4 0,01 M (0,05 N), descargar el color del permanganato con una cantidad conocida de reductor estándar tal como $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,025 M o $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$, y retrotitular con solución estándar de permanganato.

*Preparación de la solución patrón. Disolver 1,232 g de nitrito de sodio en agua y diluir a 1000 mL en balón aforado con agua desmineralizada. 1 mL = 250 mg N.

*Estandarización: Transferir a un erlenmeyer, en orden, 50,00 mL de KMnO_4 0,01 M (0,01 N) estandarizado, 5 mL de H_2SO_4 concentrado y 50,00 mL de la solución patrón de nitrito; sumergir la punta de la pipeta al agregar esta última. Agitar suavemente y calentar a 70-80°C en una plancha de calentamiento. Descargar el color del KMnO_4 por adición de porciones de 10,00 mL de solución estándar 0,025 M de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Titular el exceso de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ con KMnO_4 0,01 M (0,05 N) hasta punto final de color rosa tenue (1,00 mL 0,050 N = 350 mg NO_2^- -N). Paralelamente realizar un blanco y hacer las correcciones necesarias a los cálculos.

Si se sustituye la solución estándar 0,05 M de sulfato ferroso amónico por $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, omitir el calentamiento y extender el periodo de reacción

entre el KMnO_4 y Fe^{2+} a 5 min. antes de hacer la titulación final con KMnO_4 .

Solución intermedia de nitrito. Calcular el volumen, V, de solución patrón de NO_2^- requerido para la solución intermedia de NO_2^- como $V = 12,5/\text{concentración patrón } \text{NO}_2^-$. Medir este volumen (aproximadamente 50 mL) y diluir a 250 mL con agua desmineralizada; 1,00 mL = 50,0 mg N. Preparar diariamente.

Solución estándar de nitrito. Diluir 10,00 mL de la solución intermedia de NO_2^- a 1000 mL con agua desmineralizada; 1,00 mL = 0,500 mg N. Preparar diariamente.

8. Permanganato de potasio estándar, KMnO_4 0,05N. Disolver 1,6 g de KMnO_4 en 1 L de agua desmineralizada. Guardar en botella café oscura y dejar en reposo al menos un día. Cuidadosamente decantar o extraer con pipeta el sobrenadante sin remover cualquier sedimento. Estandarizar frecuentemente esta solución así:

1.11.6. PROCEDIMIENTO

Remoción de sólidos suspendidos: Si la muestra contiene sólidos en suspensión, filtrar a través de membrana de 0,45 μm de diámetro de poro.

Desarrollo de color: si el pH no está entre 5 y 9, ajustarlo a este intervalo con HCl 1N ó NH_4OH 1N según se requiera. A 50,0 mL de muestra, o a una porción diluida a 50,0 mL, agregar 2 mL de reactivo de coloración y agitar.

Medición fotométrica: Entre 10 min. y 2 h después de la adición de reactivo de coloración a las muestras y estándares, medir la absorbancia a 543 nm. A manera de guía usar los siguientes pasos de luz para las concentraciones de NO_2^- -N indicadas:

Paso de luz cm	NO ₂ ⁻ -N m g/L
1	2-25
5	2-6
10	<2

1.12. NITROGENO ORGANICO⁷

Método Semi-Micro Kjeldahl

1.12.1.SUMARIO Y APLICACIONES

El nitrógeno amino de la mayoría de materiales orgánicos y el amoníaco libre son convertidos a amonio en presencia de H₂SO₄, sulfato de potasio (K₂SO₄), y sulfato cúprico (CuSO₄) como catalizador. Después de la adición de base, el amoníaco es destilado desde el medio alcalino y absorbido en ácido bórico o sulfúrico, para ser cuantificado volumétricamente con H₂SO₄ estándar.

El amoníaco también puede ser determinado colorimétricamente o mediante electrodo selectivo de amonio; la sensibilidad de los métodos colorimétricos los hace particularmente útiles para la determinación de niveles de nitrógeno orgánico menores de 5 mg/L. Los métodos volumétrico y de electrodo selectivo para medición de amoníaco en el destilado son adecuados para un amplio rango de concentraciones de nitrógeno orgánico; los métodos de electrodo selectivo y colorimétrico automatizado pueden usarse para la medición de amoníaco sin destilación.

El método kjeldahl determina el nitrógeno en estado trinegativo; el "nitrógeno kjeldahl" es la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal. El principal factor que influencia la selección del método macro- o semi-micro-kjeldahl para determinar el nitrógeno orgánico es su concentración. El método macro-kjeldahl es aplicable para muestras

que contengan bajas o altas concentraciones de nitrógeno orgánico pero requiere volúmenes de muestra relativamente grandes para bajas concentraciones.

En el método semi-micro-kjeldahl, aplicable a muestras con altas concentraciones de nitrógeno orgánico, el volumen de muestra debe escogerse para un contenido de nitrógeno orgánico más amoniacal en el rango de 0,2 a 2 mg.

1.12.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

Nitrato: Durante la digestión kjeldahl, un exceso de nitrato superior a 10 mg/L puede oxidar una porción del amoniaco liberado a partir del nitrógeno orgánico digerido, para producir N_2O y causar una interferencia negativa. Cuando está presente suficiente materia orgánica en un bajo estado de oxidación, el nitrato puede ser reducido a amoniaco, resultando en una interferencia positiva. Las condiciones bajo las cuales ocurren interferencias significantes no están bien definidas y no hay una vía probada para eliminar la interferencia en conjunción con los métodos kjeldahl.

Sales y sólidos inorgánicos: El contenido de ácido y sal del reactivo de digestión kjeldahl tiene la intención de producir una temperatura de digestión cercana a 380°C. Si la muestra contiene una cantidad muy grande de sales o sólidos inorgánicos que se disuelvan durante la digestión, la temperatura puede elevarse sobre 400°C, punto en el cual empieza a ocurrir una pérdida pirolítica de nitrógeno. Para prevenir una temperatura de digestión excesiva, agregar más H_2SO_4 para mantener el balance ácido-sal. No todas las sales causan precisamente la misma elevación de temperatura, pero la adición de 1 mL H_2SO_4 /g de sal en la

⁷ Tomado de información página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

muestra da resultados razonables. Agregar el ácido extra y el reactivo de digestión a la muestra y al blanco de reactivos. Demasiado ácido puede disminuir la temperatura de digestión por debajo de 380°C y resultar en una digestión y recuperación incompleta. Si es necesario, agregar hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio antes del paso final de destilación para neutralizar el exceso de ácido.

Grandes cantidades de sales o sólidos también pueden causar sacudidas durante la destilación. Si esto ocurre, agregar más agua de dilución después de la digestión.

Materia orgánica: Durante la digestión kjeldahl, el H_2SO_4 oxida la materia orgánica a CO_2 y H_2O . Si está presente una gran cantidad de materia orgánica, se consumirá una gran cantidad de ácido, se incrementará la relación de sal a ácido, y se incrementará la temperatura de digestión. Si está presente suficiente materia orgánica, la temperatura puede ascender sobre 400°C, resultando en una pérdida pirolítica de nitrógeno. Para prevenir esto, agregar al balón de digestión 10 mL de H_2SO_4 conc./3 g DQO. Alternativamente, agregar 50 mL más de reactivo de digestión/g DQO. Puede ser necesario reactivo de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio adicional para mantener el pH de destilación alto. Debido a que los reactivos pueden contener trazas de amoníaco, tratar el blanco de reactivos idénticamente como las muestras.

1.12.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Los resultados más significativos se obtienen en muestras frescas. Si no es posible un análisis inmediato, preservar las muestras para digestión kjeldahl acidificando a pH de 1,5 a 2,0 con H_2SO_4 concentrado y almacenándolas a 4°C. No usar $HgCl_2$ ya que este interfiere con la remoción del amoníaco.

1.12.4. APARATOS

Aparato de digestión: Usar balones kjeldahl con una capacidad de 100 mL en un aparato de digestión semi-micro kjeldahl equipado con elementos de calentamiento para acomodar los balones kjeldahl y una salida de succión para el escape de los gases. Los elementos de calentamiento deben proveer un rango de temperatura de 375 a 385°C para una digestión efectiva.

Aparato de destilación: Usar una unidad de vidrio equipada con un recipiente generador de vapor que contenga un calentador de inmersión (Ver Figura 4500-N_{org}:1, Standard Methods).

pH metro.

1.12.5. REACTIVOS

Preparar todos los reactivos y diluciones con agua libre de amoníaco. Se requieren todos los reactivos enumerados para la determinación de Amoníaco, además de los siguientes:

Agua libre de amonio. Usar agua libre de amonio para preparar todos los reactivos, las diluciones de muestra y enjuagues. Preparar por intercambio iónico o por destilación.

Reactivo de digestión: Disolver 134 g de K₂SO₄ y 7,3 g de CuSO₄ en cerca de 800 mL de agua. Cuidadosamente agregar 134 mL de H₂SO₄ conc. Cuando se haya enfriado hasta temperatura ambiente, diluir la solución a 1 L con agua. Mezclar bien. Mantener a una temperatura cercana a 20°C para prevenir la cristalización.

Reactivo de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio: Disolver 500 g de NaOH y 25 g Na₂S₂O₃·5H₂O en agua y diluir a 1 L.

Hidróxido de sodio, NaOH, 6 N.

Solución tampón de borato. Agregar 88 mL de solución de NaOH 0,1 N a 500 mL de solución de tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) aprox. 0,025 M (9,5 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O/L}$) y diluir a 1 L.

Solución absorbente, ácido bórico corriente. Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua y diluir a 1 L.

Solución indicadora mixta. Disolver 200 mg de indicador rojo de metilo en 100 mL de alcohol etílico o isopropílico del 95%. Disolver 100 mg de azul de metileno en 50 mL de alcohol etílico o isopropílico del 95%. Combinar las soluciones. Preparar mensualmente.

Solución indicadora de ácido bórico. Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua, agregar 10 mL de la solución indicadora mixta, y diluir a 1 L. Preparar mensualmente.

Ácido sulfúrico titulante estándar, 0,02 N. Preparar y estandarizar como se indica en **Alcalinidad, Sección 2320B.3c**. [Preparar una solución patrón de H_2SO_4 0,1 N diluyendo 3 mL de H_2SO_4 concentrado a 1 L con agua destilada libre de CO_2 . Diluir 200 mL de esta solución a 1 L con agua destilada. Estandarizar el ácido 0,02 N contra una solución de Na_2CO_3 0,0200 N, (1,060 g de Na_2CO_3 anhidro secado a 140°C , diluido a 1000 mL con agua destilada).] Para la mayor exactitud, estandarizar el titulante contra una cantidad de Na_2CO_3 que ha sido incorporada en la solución indicadora de ácido bórico para reproducir las actuales condiciones de titulación de la muestra; 1,00 mL = 14 ' normalidad ' 1000 m g N. (Para 0,02 N, 1,00 mL = 280 m g N).

1.12.6.PROCEDIMIENTO

Selección del volumen de muestra: Determinar el tamaño de muestra de la siguiente tabla:

TABLA No. 1.12

Nitrógeno Orgánico en la Muestra, mg/L	Volumen de muestra mL
4-40	50,0
8-80	25,0
20-200	10,0
40-400	5,0

Para muestras de lodos y sedimentos pesar una porción de muestra húmeda que contenga entre 0,2 y 2 mg de nitrógeno orgánico en un crisol o en un pesa sustancias. Transferir la muestra cuantitativamente a un vaso de 100 mL diluyendo y enjuagando el disco de pesaje varias veces con pequeñas cantidades de agua. hacer la transferencia usando la más pequeña cantidad de agua posible y sin exceder un volumen total de 50 mL. Medir el peso seco de muestra en una porción separada.

Remoción de amonio: Pipetear 50 mL de muestra, o un volumen apropiado diluido a 50 mL con agua, en un vaso de 100 mL. Agregar 3 mL de tampón de borato y ajustar el pH a 9,5 con NaOH 6N, usando un pH metro. Cuantitativamente transferir la muestra a un balón kjeldahl de 100 mL y dejar evaporar 30 mL por ebullición. Alternativamente, si no se requiere la remoción de amoniaco, digerir las muestras directamente como se describe en el siguiente numeral. La destilación siguiendo esta digestión directa da la concentración de nitrógeno kjeldahl en lugar del nitrógeno orgánico.

Digestión: Cuidadosamente agregar 10 mL de reactivo de digestión al balón kjeldahl que contiene la muestra. Agregar cinco o seis perlas de ebullición (de 3 a 4 mm de tamaño) para prevenir las sacudidas durante la digestión. Ajustar cada unidad de calentamiento en el aparato de digestión micro-kjeldahl hasta su punto medio y calentar los balones bajo una campana o con el equipo de evacuación disponible para

remover los vapores de SO_3 . Continuar la ebullición vigorosa hasta que la solución se haga transparente y verde pálida y se observen copiosos vapores. Entonces girar cada unidad de calentamiento a su máximo punto y digerir por 30 min. adicionales. Enfriar. Transferir cuantitativamente la muestra digerida al aparato de destilación micro-kjeldahl, diluyendo y enjuagando varias veces, de tal manera que el volumen total en el aparato de destilación no exceda de 30 mL. Agregar 10 mL de reactivo de hidróxido-tiosulfato de sodio y encender el destilador.

Destilación: Controlar la rata de generación de vapor para ebullicir el contenido en la unidad de destilación de tal manera que no ocurra escape de vapor en la salida del condensador ni tampoco burbujeo del contenido del balón receptor. Destilar y recolectar de 30 a 40 mL de destilado bajo la superficie de 10 mL de solución absorbente contenida en un erlenmeyer de 125 mL. Usar indicador de ácido bórico para la determinación volumétrica. Extender bien la punta del condensador bajo el nivel de la solución absorbente y no dejar que la temperatura en el condensador alcance los 29°C . Bajar el destilado colectado dejándolo libre de contacto con el extremo del condensador y continuar la destilación durante 1 o 2 min. para enjuagar el condensador.

Estándares: Llevar un blanco de reactivos y estándares a través de todos los pasos del procedimiento y aplicar las correcciones necesarias a los resultados.

Medición final de amoníaco: Titular el amoníaco en el destilado con H_2SO_4 0,02 N estándar hasta que el indicador cambie a un color lavanda pálido. (Protocolo para la determinación de Amoníaco; también son aplicables los métodos de electrodo selectivo, y de fenato manual o automatizado).

1.12.7.PRECISIÓN

No hay datos disponibles de precisión y sesgo del método semi-micro kjeldahl.

1.12.8.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM

Montaje Técnica: Laboratorio de Química Ambiental del IDEAM

1.12.9.FECHAS

Elaboración Protocolo: agosto de 1997

Revisión: agosto de 1997

1.12.10.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.13. pH⁸

1.13.1.SUMARIO Y APLICACIONES

El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse

⁸ Tomado de información página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

por la obtención de una gráfica de pH vs. fem para diferentes soluciones de pH conocido. El pH de la muestra se determina por interpolación.

El método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida.

1.13.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

El electrodo de vidrio está libre de interferencias debidas a color, turbidez, material coloidal, oxidantes, reductores o alta salinidad, excepto para interferencias del ion sodio en soluciones de pH mayor de 10; este error se reduce con la utilización de electrodos especiales ("error bajo de sodio, low sodium error").

Las capas de materiales aceitosos presentes en algunos tipos de aguas pueden disminuir la respuesta del electrodo. Se limpian suavemente con un paño o mediante lavado con detergente y enjuague con agua destilada. Puede ser necesario un tratamiento adicional con HCl 1+9 para remover la película remanente.

Las mediciones de pH varían con la temperatura en dos formas: por efectos mecánicos causados por cambios en las propiedades de los electrodos y por efectos químicos producidos por alteración de las constantes de equilibrio. En el primer caso, se incrementa la pendiente de la ecuación de Nernst con el aumento de temperatura y los electrodos requieren de un mayor tiempo para lograr el equilibrio térmico. Este efecto provoca cambios significativos en el pH. Debido a que los equilibrios químicos afectan el pH, los estándares para preparar las soluciones tampón tienen pH específico a la temperatura indicada.

Reportar siempre la temperatura a la cual se mide el pH. La mayoría de los instrumentos de medida del pH están equipados con compensadores de temperatura que corrigen los errores del primer tipo, pero la medición sólo puede mostrar el pH a la temperatura de la medida.

1.13.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras deben ser analizadas inmediatamente, preferiblemente en el campo después de obtener la muestra.

Las aguas de alta pureza y las aguas que no están en equilibrio con la atmósfera, están sujetas a cambios cuando se exponen a la atmósfera, por lo cual los frascos de muestra deben llenarse completamente y mantenerse sellados hasta el análisis.

1.13.4.APARATOS

El instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución problema se completa el circuito. Muchos medidores de pH pueden realizar lecturas en escalas de pH o de milivoltios; algunos tienen expansión de escala que permite hacer lecturas de 0,001 unidades de pH, pero la mayoría de instrumentos no son tan precisos. Para trabajos de rutina usar instrumentos con exactitud y reproducibilidad de 0,1 unidades de pH en un rango de 0 a 14 y equipados con un compensador de temperatura.

Electrodo de referencia, consiste en una semicelda que provee un potencial de electrodo constante; los más comúnmente usados son electrodos de calomel y plata: cloruro de plata. Seguir las recomendaciones del fabricante para el uso y cuidado del electrodo de referencia. Llenar los electrodos no sellados con el electrolito correcto hasta el nivel debido y asegurarse de que la unión esté humedecida.

Electrodo de vidrio. El electrodo sensor es un bulbo de vidrio especial que contiene una concentración fija de HCl o una solución tamponada de cloruro en contacto con un electrodo de referencia interno. Los

electrodos combinados incorporan los electrodos de vidrio y de referencia en uno solo. Utilizar un electrodo especial de error bajo de sodio, "low sodium error", que puede operar a altas temperaturas para mediciones de pH mayores de 10, los electrodos estándar de vidrio producen valores bajos. Para medir pH inferiores a 1 emplear una membrana líquida, los electrodos estándar de vidrio producen valores altos.

Vasos. Usar preferiblemente vasos de polietileno o de tetrafluoroetileno (TFE, teflón).

Agitador. Usar un agitador magnético con barra agitadora recubierta de TFE o un agitador mecánico con hélice recubierta en plástico.

1.13.5.REACTIVOS

Preparación General. Calibrar el sistema de electrodos con soluciones tampón estándar de pH conocido. Debido a que las soluciones tampón se pueden deteriorar como resultado del crecimiento de mohos o por contaminación, es necesario prepararlas frescas para trabajos de precisión. Se pesan las cantidades de reactivos especificadas en la Tabla 1, se disuelven en agua destilada, a 25°C y se diluyen a 1000 mL. Esto es particularmente importante para las soluciones tampones de borato y carbonato.

El agua destilada, hervida y fría debe tener una conductividad menor de 2 $\mu\text{mhos/cm}$. A 50 mL agregar una gota de la solución saturada de KCl para usar en el electrodo de referencia. Si el pH de esta solución de prueba está entre 6,0 y 7,0, se puede usar para preparar las soluciones estándar.

Para preparar las soluciones estándar, consultar en el "Standard Methods" las condiciones de temperatura, tiempo, precauciones de secado de los reactivos y los pH de las soluciones tampón estándar a

temperaturas diferentes de 25°C. Por ejemplo, el KH_2PO_4 se debe secar a una temperatura entre 110°C y 130°C por 2 horas, el hidrato tetraoxalato de potasio, no se debe calentar a más de 60°C, y las otras sales tampón especificadas no se deben secar. La regla general es seleccionar y preparar las soluciones tampón clasificadas como estándares primarios, mostradas en la Tabla 1; reservar los estándares secundarios para situaciones extremas encontradas en mediciones de las aguas residuales. Para uso rutinario, almacenar las soluciones tampón y las muestras en botellas de polietileno. Reemplazar las soluciones tampón cada cuatro semanas.

Solución saturada de tartrato ácido de potasio. Agitar vigorosamente un exceso (5 a 10 g) de cristales finos de $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ con 100 a 300 mL de agua destilada, a 25°C, en una botella con tapón de vidrio. Separar por decantación o filtración la solución clara del material no disuelto. Preservar, para dos meses o más, por adición de un cristal de timol (8 mm de diámetro) por cada 200 mL de solución preparada.

Solución saturada de hidróxido de calcio. Calcinar CaCO_3 bien lavado y de bajo grado alcalino, en una cápsula de platino por ignición durante 1 hora a 1000°C. Enfriar e hidratar, adicionando lentamente agua destilada mientras se agita, calentar a ebullición, enfriar, filtrar y recoger el Ca(OH)_2 sólido en un filtro de vidrio fritado de porosidad media. Secar a 110°C, enfriar y pulverizar hasta obtener gránulos finos y uniformes. Agitar vigorosamente un exceso de estos gránulos con agua destilada en una botella de polietileno tapada. Después de mezclar, alcanzar la temperatura de 25 C. Con la ayuda de un equipo de filtración al vacío, filtrar el sobrenadante a través de un filtro de vidrio sinterizado de porosidad media y usar el filtrado como la solución

tampón. Descartar la solución tampón cuando el CO₂ atmosférico cause la aparición de turbidez.

Soluciones auxiliares: NaOH 0,1N; HCl 0,1N; HCl 5N (diluir cinco volúmenes de HCl 6N en un volumen de agua destilada), y solución ácida de fluoruro de potasio (disolver 2 g de KF en 2 mL de H₂SO₄ concentrado y diluir a 100 mL con agua destilada).

TABLA 1.13. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES ESTANDAR DE pH		
Solución Estándar (molalidad)	pH a 25 °C	Peso de reactivos necesarios/ 1000 mL de solución acuosa a 25 °C
Estándares Primarios:		
Tartrato ácido de potasio (saturado a 25°C)	3,557	> 7 g KHC ₄ H ₄ O ₆ *
Citrato diácido de potasio 0,05	3,776	11,41 g KH ₂ C ₆ H ₅ O ₇
Biftalato de potasio 0,05	4,004	10,12 g KHC ₈ H ₄ O ₄
Fosfato diácido de potasio 0,025 + fosfato ácido de sodio 0,025	6,863	3,387 g KH ₂ PO ₄ + 3,533 g Na ₂ HPO ₄ **
Fosfato diácido de potasio 0,008 695 + fosfato ácido de sodio 0,030 43	7,415	1,179 g KH ₂ PO ₄ + 4,303 g Na ₂ HPO ₄ *
Borato de sodio decahidratado (bórax) 0,01	9,183	3,80 g Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O**
Bicarbonato de sodio 0,025 + carbonato de sodio 0,025	10,014	2,092 g NaHCO ₃ + 2,640 g Na ₂ CO ₃
Estándares Secundarios :		
Tetraoxalato de potasio dihidratado 0,05	1,679	12,61 g KH ₃ C ₄ O ₈ ·2H ₂ O
Hidróxido de calcio (saturado a 25°C)	12,454	> 2 g Ca(OH) ₂ *

Solubilidad aproximada

** Preparar con agua fresca, hervida y enfriada (libre de bióxido de carbono)

1.13.6.PROCEDIMIENTO

Calibración instrumental

En cada caso se deben seguir las instrucciones del fabricante para el manejo del pH metro y para el almacenamiento y preparación de los electrodos para su uso. Las soluciones recomendadas para períodos cortos de almacenamiento de los electrodos varían con el tipo de

electrodo y el fabricante, pero generalmente tienen una conductividad mayor de 4000 $\mu\text{mhos/cm}$. El agua del grifo es un mejor sustituto que el agua destilada, pero un tampón de pH 4 es mejor para el electrodo de vidrio sencillo y una solución saturada de KCl es preferible para un electrodo de referencia de calomel y Ag/AgCl. Para un electrodo combinado es preferible una solución saturada de KCl. Mantener los electrodos húmedos retornándolos a la solución de almacenamiento mientras que el instrumento no esté en uso. Antes de usarlos, retirar los electrodos de la solución de almacenamiento, enjuagarlos y secar con un papel suave, colocar en la solución tampón inicial, y ajustar el punto isopotencial. Seleccionar un segundo tampón que esté en un rango de 2 unidades del pH de la muestra y llevar el tampón y la muestra a la misma temperatura, la cual puede ser la temperatura ambiente, una temperatura fija tal como 25°C, o la temperatura de una muestra fresca. Retirar los electrodos del primer tampón, enjuagarlos abundantemente con agua destilada, secarlos y sumergirlos en el segundo tampón. Registrar la temperatura de medición y ajustar el indicador de temperatura en el pH-metro hasta que el equipo indique el valor de pH del tampón a la temperatura de análisis (esto es el ajuste de pendiente).

Utilizar el valor de pH de las tablas para el tampón usado a la temperatura del ensayo. Retirar los electrodos del segundo tampón, enjuagarlos abundantemente con agua destilada y secarlos. Sumergirlos en un tercer tampón por debajo de pH 10, aproximadamente tres unidades de pH de diferencia con el segundo; la lectura estará dentro de 0,1 unidades para el pH del tercer tampón. Si la respuesta del pH-metro muestra una diferencia mayor de 0,1 unidades de pH con respecto al

valor esperado, buscar averías o fallas de los electrodos o el potenciómetro.

El propósito de la estandarización es ajustar la respuesta del electrodo de vidrio al instrumento. Cuando se hacen mediciones de pH sólo ocasionalmente, se debe calibrar el instrumento antes de cada medición. Cuando se hacen mediciones frecuentes y el instrumento es estable, la calibración se puede hacer con menor frecuencia. Si los valores de pH de las muestras varían ampliamente, se debe hacer una calibración para cada muestra con un tampón que tengo un pH dentro del intervalo de 1 a 2 unidades con respecto a la muestra.

Tratamiento de la muestra: Establecer el equilibrio entre los electrodos y la muestra agitándola para garantizar la homogeneización; agitar lentamente para minimizar la incorporación de dióxido de carbono. Para muestras tamponadas o con alta fuerza iónica, acondicionar los electrodos después de lavarlos dejándolos dentro de la muestra por un minuto. Secar, sumergir en una porción fresca de la misma muestra y leer el pH. Con soluciones diluidas o débilmente tamponadas, equilibrar los electrodos sumergiéndolos en tres o cuatro porciones sucesivas de muestra. Tomar una muestra fresca para medir el pH.

1.13.7.PRECISIÓN

Con un cuidadoso uso del pH metro y con buenos electrodos, se puede lograr una precisión de $\pm 0,02$ unidades de pH y una exactitud de $\pm 0,05$. Sin embargo, el límite de exactitud bajo condiciones normales es de $\pm 0,1$ unidades de pH, especialmente para mediciones en agua y soluciones débilmente tamponadas. Por esta razón, reportar los valores de pH con aproximación a 0,1 unidades de pH.

El análisis electrométrico de una muestra sintética de pH 7,3 realizado por 30 laboratorios se obtuvo con una desviación estándar de $\pm 0,13$ unidades de pH.

1.13.8.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración del Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental Ideam

Estandarización de la Técnica: Laboratorio de Química Ambiental Ideam

1.13.9.FECHAS

Elaboración del Protocolo: julio de 1997

Revisión: julio de 1997

1.13.10.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995. pp 4-65 a 4-69

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

1.14. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES⁹

***Secados a 103-105°C.* 1.14.1.SUMARIO Y APLICACIONES**

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.

⁹ Tomado de información página Web IDEAM: www.ideam.gov.co

Una muestra bien mezclada se pasa a través de un filtro estándar de fibra de vidrio, previamente pesado, y el residuo retenido se seca a 103-105°C hasta peso constante. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos.

Si el material suspendido taponar el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un estimativo de los sólidos suspendidos totales.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida, en un intervalo de 4 a 20 000 mg/L.

1.14.2.LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

Debido a que un residuo excesivo en el filtro puede formar una costra que impide el paso del agua, limitar el tamaño de muestra de tal manera que se obtengan como máximo 200 mg de residuo.

El taponamiento del filtro prolonga la filtración y puede producir resultados altos debido a la excesiva retención de sólidos coloidales.

Para muestras con elevado contenido de sólidos disueltos, enjuagar muy bien el filtro para asegurar la remoción del material disuelto.

La suspensión no se adhiera a las paredes del recipiente.

Realizar el análisis tan pronto como sea posible.

Refrigerar la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la

1.14.3.TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Eliminar de la muestra partículas flotantes grandes o aglomerados dispersos de material no homogéneo.

Usar frascos de plástico o de vidrio resistente, en los que el material en su descomposición microbiológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, llevar las muestras a temperatura ambiente.

Es preferible no almacenar las muestras por más de 24 h; bajo ningún concepto guardar las muestras por más de 7 días.

1.14.4.APARATOS

Filtros circulares de fibra de vidrio, sin aditivos orgánicos.

Aparato de filtración: puede ser uno de los siguientes, adecuado para el filtro seleccionado:

Embudo con filtro de membrana.

Crisol Gooch, de 25 a 40 mL de capacidad, con su respectivo adaptador.

Aparato de filtración con recipiente y disco fritado grueso (40- a 60-mm) como soporte del filtro.

Erlenmeyer con tubuladura lateral, de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado.

Discos de aluminio o de acero inoxidable, de 65 mm de diámetro, para pesar.

Desecador, con desecante e indicador coloreado de humedad o indicador instrumental.

Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105°C.

Balanza analítica, con precisión de 0,1 mg.

Bomba de vacío.

Agitador magnético con barra agitadora de teflón.

Pipetas de punta ancha.

1.14.5.REACTIVOS

Agua destilada Tipo III., agua destilada y desmineralizada.

1.14.6.PROCEDIMIENTO

Preparación del filtro de fibra de vidrio: Insertar el filtro circular en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba, aplicar vacío y lavar el filtro con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada; continuar la succión hasta remover todas las trazas de agua, y descartar el filtrado. Remover el filtro y transferirlo a un disco para pesaje, con el cuidado necesario para prevenir que el filtro seco se adhiera al disco; el material que se adhiera al disco debe agregarse al filtro para evitar errores. También se puede pesar el filtro seco junto con el disco tanto antes como después de la filtración; si se emplea un crisol Gooch, remover y pesar este junto con el filtro. Secar en una estufa a 103-105°C por 1 h (si se van a determinar sólidos volátiles, secar a 550°C por 15 min. en un horno). Dejar enfriar en un desecador y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg de la pesada anterior, lo que sea menor. Guardar el filtro en un desecador hasta que se vaya a emplear.

Selección del filtro y tamaño de muestras: Tomar una alícuota de muestra que produzca entre 10 y 200 mg de residuo seco. Si se emplean más de 10 minutos para completar la filtración, aumentar el tamaño del filtro o disminuir el volumen de muestra; para muestras no homogéneas tales como agua residuales, usar un filtro grande que permita filtrar una muestra representativa.

Análisis de muestras. Ensamblar el filtro al aparato de filtración e iniciar la succión; humedecer el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada para fijarlo. Mientras se agita la muestra con un agitador magnético, tomar una alícuota con pipeta y transferirla al filtro. Lavar el residuo con tres porciones sucesivas de 10 mL de agua destilada, y se deja secar

completamente entre lavados; continuar la succión por tres minutos después de completar la filtración. Las muestras con alto contenido de sólidos disueltos pueden requerir lavados adicionales. Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración y transferirlo al disco de pesaje; si se usa un crisol Gooch, removerlo de su adaptador. Secar en una estufa a 103-105°C, mínimo durante 1 h; dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg del peso anterior, lo que sea menor. Las determinaciones por duplicado deben coincidir hasta en un 5% de su promedio.

1.14.7.PRECISIÓN

En un estudio hecho por dos analistas con cuatro series de 10 determinaciones cada una, la desviación estándar fue de 5,2 mg/L (coef. variación 33%) para un nivel de concentración de 15 mg/L; 24 mg/L (10%) para 242 mg/L, y 13 mg/L (0,76%) para 1707 mg/L.

En un laboratorio individual se realizaron análisis por duplicado de 50 muestras de aguas naturales y aguas residuales con una desviación estándar de $\pm 2,8$ mg/L.

1.14.8.QUÍMICO RESPONSABLE

Elaboración Protocolo: Laboratorio de Química Ambiental Ideam

Estandarización de la Técnica: Laboratorio de Química Ambiental

1.14.9.FECHAS

Elaboración Protocolo: julio de 1997

Revisión: julio de 1997

1.14.10.REFERENCIAS

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995. Pp 2-53 a 2-58

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

BIBLIOGRAFÍA

RODIER, J. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona, 1981.

SAWYER, C.; McCARTY, P. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill, New York, 1996

GARAY, J.; PANIZZO, L.; LESMES, L.; RAMIREZ, G.; SANCHEZ, J. Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-Químicos y Contaminantes Marinos. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena, 1993

**MODELO LLUVIA CAUDAL
A
APLICAR EN EL PROYECTO**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
2.1 LOCALIZACIÓN	3
2.2 COORDENADAS	4
2.3 LIMITES	4
2.4 SUPERFICIE	4
2.5 CLIMA	4
2.5.1 PRECIPITACIÓN	4
2.5.2 TEMPERATURA	7
2.5.3 VIENTOS	7
2.5.4 HUMEDAD RELATIVA	8
2.6 ZONAS DE VIDA	8
2.7 RELIEVE	9
2.8 TOPOGRAFÍA	9
2.9 HIDROGRAFIA	10
2.10 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	10
2.11 SUELOS	11
2.12 COBERTURA VEGETAL	12
2.13 GENERACIÓN DE TORMENTAS	13
3. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA	15

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	15
3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DEL CICLO HIDROLOGICO	15
3.2.1 CICLO HIDROLÓGICO	15
3.2.2 PRECIPITACIÓN	16
3.2.3 INTERCEPCIÓN	17
3.2.4 EVAPORACIÓN	17
3.2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN	17
3.2.6 INFILTRACIÓN	18
3.2.7 ESCURRIMIENTO	18
3.2.8 BALANCE HÍDRICO	18
3.3 CONCEPTOS BÁSICOS DE MODELACION HIDROLOGICA	20
3.3.1 CONCEPTO DE MODELO	20
3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS HIDROLÓGICOS	21
3.3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS	23
3.3.4 UTILIZACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS EN HIDROLOGÍA	24
3.3.5 ETAPAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS	25
3.3.6 LIMITACIONES EN LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS	25
3.3.7 MODELOS AGREGADOS CON REDUCIDO NÚMERO DE PARÁMETROS	26
3.3.8 CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS EN MODELOS HIDROLÓGICOS DETERMINÍSTICOS	32
4. METODOLOGÍA	44
4.1 SELECCIÓN DEL PERIODO DE ESTUDIO	44
4.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROCLIMATICA	44
4.3 SELECCIÓN DE LA RED DE MEDICIÓN	44
4.3.1 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS	44
4.3.2 ESTACIONES LIMNIMÉTRICAS.	45
4.3.3 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.	45
4.4 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	46
4.4.1 PRECIPITACIÓN	46
4.4.2 CAUDAL	47
4.4.3 APLICACIÓN DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.	47
4.5 CALCULO COMPONENTES DEL MODELO	48
4.5.1 PRECIPITACIÓN MEDIA	48

1286

4.5.2 EVAPORACIÓN TOTAL	49

4.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DE SIMULACIÓN	50

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	51

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52

REFERENCIAS	53

ANEXOS	56

CALIBRACIÓN DE UN MODELO LLUVIA-ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO CALI

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del río Cali forma parte de la región montañosa del municipio de Santiago de Cali, y por su estratégica ubicación, reviste gran importancia para la comunidad como fuente de abastecimiento, recreación, ornamentación, paisaje, drenaje urbano y generación de energía, además de pertenecer a la estrella fluvial más importante del Alto Cauca y al Parque Natural Nacional Los Farallones de Cali, tercero en importancia en los Andes Americanos por su alta Biodiversidad. (Ver Figura 1)

Tiene una extensión aproximada 122.9 km² hasta la Bocatoma del río; presenta una alta vulnerabilidad por la combinación de diversos factores climatológicos, fisiográficos y tectónicos, que la hacen susceptible a problemas tales como:

- Erosión
- Tala y uso indiscriminado de los recursos
- Altas e intensas precipitaciones
- Grandes Crecientes
- Cauces encañonados que facilitan represamientos
- Suelos inestables y poco profundos
- Pendientes escarpadas
- Topografía abrupta
- Zona de incidencia de fenómenos Oceano-atmosféricos
- Cauces modificados e inestables
- Deforestación e intervención antrópica indiscriminada
- Alta actividad sísmica
- Alto riesgo de Incendios Forestales

En esta cuenca es posible apreciar tres tipos de clima; desde cálido en la ciudad, hasta frío en los 4000 m de altura. Existe una estratificación térmica que decrece desde el piso cálido seco a la altura de la ciudad (1000 m.s.n.m.) pasando por el templado (1800-2400 m.s.n.m.) hasta llegar al frío (2500-4000 m.s.n.m.). La distribución de lluvias es variada; las lluvias de tipo erosivo (intensidad mayor de 10 mm/hr) son muy frecuentes, constituyendo el 50 % de las lluvias.

En el presente estudio se pretende calibrar un conjunto de modelos de precipitación – escorrentía en la cuenca del Río Cali, con el objeto de formarse una idea del comportamiento hidrológico de la cuenca. Con esta herramienta preliminar se podrá conocer mediante simulación el comportamiento del caudal del río Cali a nivel mensual.

Esta herramienta se considera una parte preliminar del conocimiento del proceso lluvia – escorrentía que permitirá posteriormente, afinar la agregación temporal a intervalos de tiempo más pequeños, es decir, a nivel diario u horario, con el objeto de acoplar el modelo a la predicción y simulación de caudal, mediante la alimentación de datos en tiempo real, que suministrará la red de alertas.

1. OBJETIVOS

- Describir el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Cali, mediante la aplicación de un modelo lluvia - escorrentía a nivel mensual.
- Describir fisiográfica e hidroclimatológicamente la cuenca del río Cali.
- Calibrar un sistema de modelación lluvia – escorrentía a nivel mensual, como fase preliminar para simulación de datos de caudal en el río Cali.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN

La cuenca del río Cali, se encuentra localizada en Colombia, departamento del Valle del Cauca, municipio de Santiago de Cali, en el sector montañoso del municipio, en la Cordillera Occidental, sobre su flanco oriental. Ver Figura 1, Plano 1.

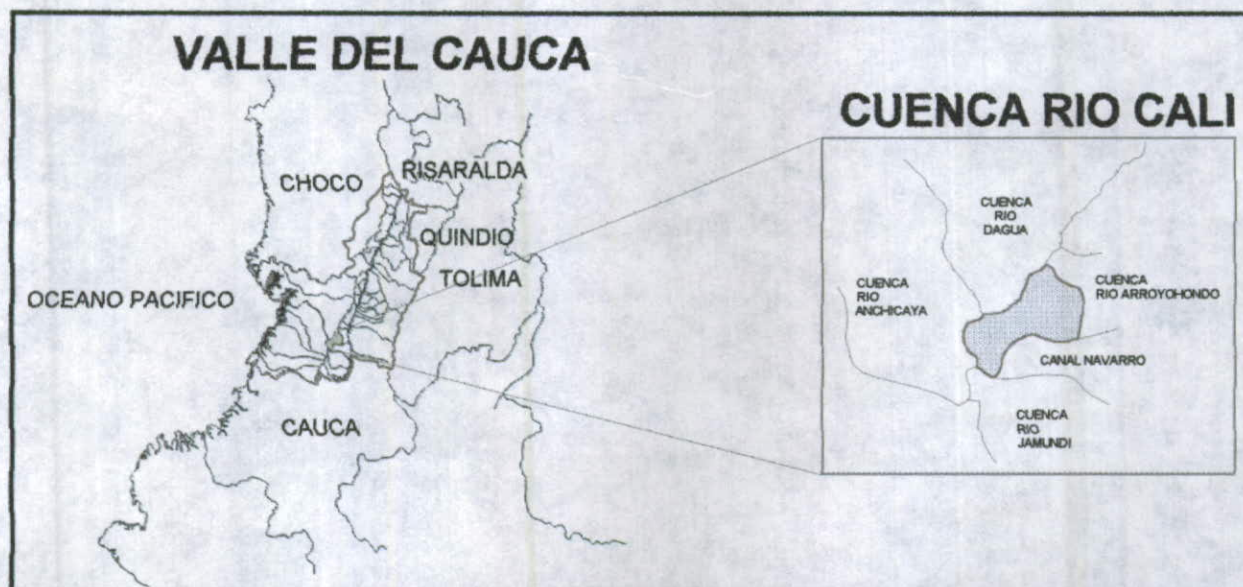


Figura 1 . Localización de la cuenca del Río Cali

2.2 COORDENADAS

La cuenca se encuentra comprendida entre las siguientes coordenadas.

Latitud Norte: 3°20' y 3°30'

Longitud Este (Meridiano de Greenwich): 76°34' y 76°46'

2.3 LIMITES

Al norte la cuenta del Río Aguacatal y la vertiente del Pacífico, al sur las cuencas de los ríos Pance y Meléndez, al oriente la cuenca del río Cañaveralejo y la Ciudad de Cali hasta la bocatoma del acueducto de San Antonio.

2.4 SUPERFICIE

Los límites descritos encierran una superficie total de 122.9 Km² con punto de cierre en la bocatoma del Río Cali.

2.5 CLIMA

El clima de la zona corresponde al clima cálido con régimen tropical o ecuatorial de montaña caracterizado por pequeñas variaciones de temperatura media y presencia de dos periodos de lluvia y dos de estiaje (régimen bimodal).

El régimen bimodal es el resultado de la actividad de la Zona de convergencia Intertropical; esta se localiza en el sur durante los meses de Enero y Febrero, concluyendo su recorrido a mediados del año. Durante el mes de Septiembre inicia su desplazamiento hacia el sur, el cual termina en el mes de Enero.

2.5.1 Precipitación

El clima regional esta controlado por la posición ecuatorial y la forma y disposición de las cordilleras. El paso sobre la región, dos veces al año, de la Zona de Convergencia

Intertropical, se traduce en dos períodos lluviosos entre marzo y mayo y entre septiembre y noviembre. Adicionalmente, la disposición de una enorme masa de aguas cálidas frente al Litoral Pacífico y fenómenos de carácter más global como El ENOS (un cambio cuasiperiódico en el nivel medio de temperatura del Océano Pacífico), en combinación con otros factores climáticos, hacen que las condiciones de pluviosidad varíen drásticamente en algunos años. Tal es el caso de los años 1982-1983 y 1991-1992, durante los cuales hubo déficit de precipitación en la región andina, lo que condujo a severos racionamientos de energía y parcialmente, del servicio de agua potable.

En la cuenca del río Cali, las curvas isoyetas tienden a seguir el contorno de la montañas, con alteraciones locales debido a la confluencia de cuencas de ríos tributarios al Cauca y a la altura y disposición de las montañas. Tal es el caso de los Farallones, sobre los cuales los promedios anuales llegan a ser de 4.000 mm. (Ver figura 2).

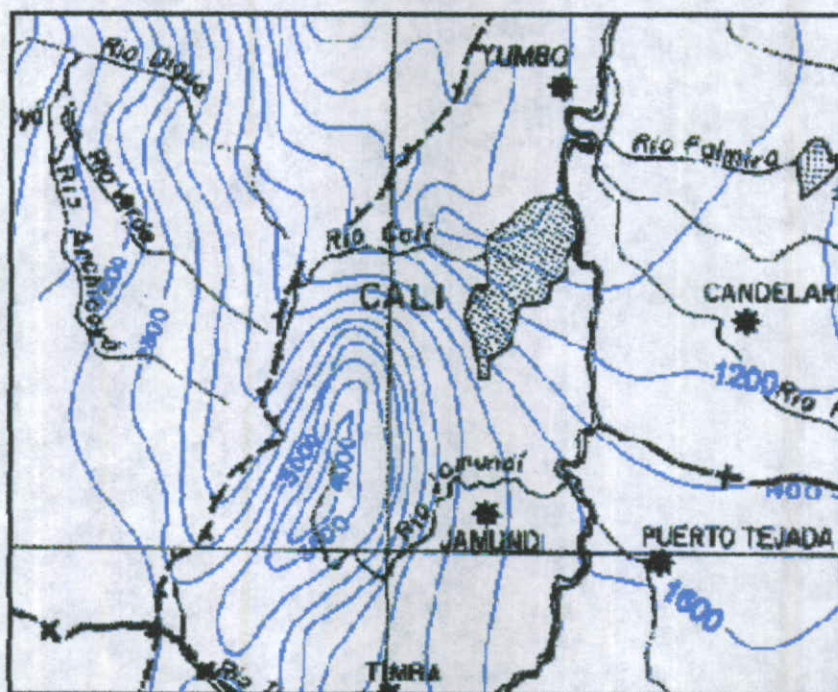


Figura 2. Isoyetas medias multianuales de la zona de estudio.

La precipitación media, escurrimiento y evapotranspiración potencial de las cuencas del Río Pinchindé y Cali se muestran en las figuras 3 y 4.

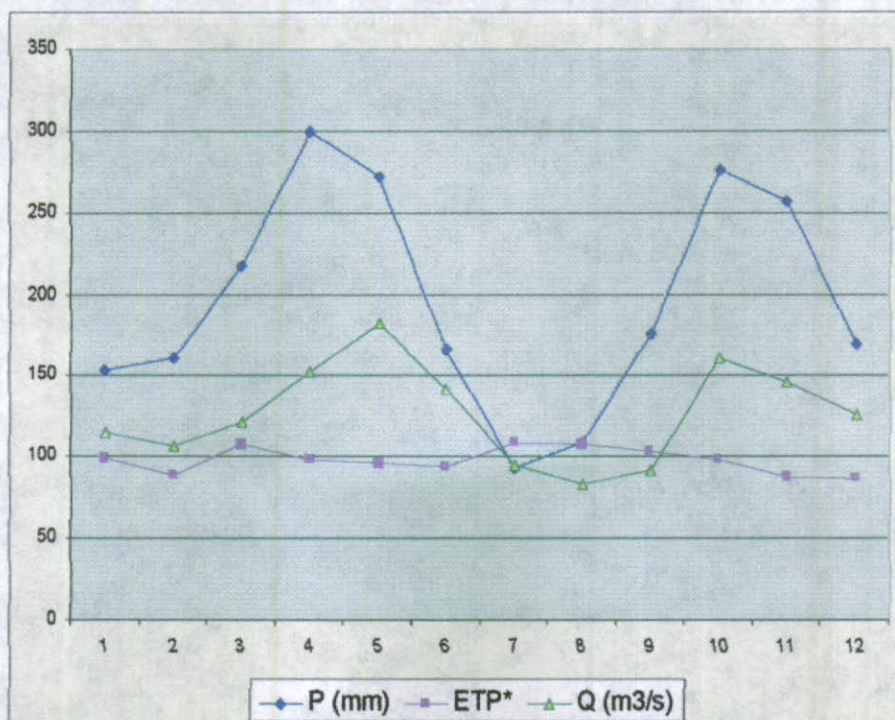


Figura 3. Precipitación , escurrimiento y EVT de la cuenca del río Pinchindé

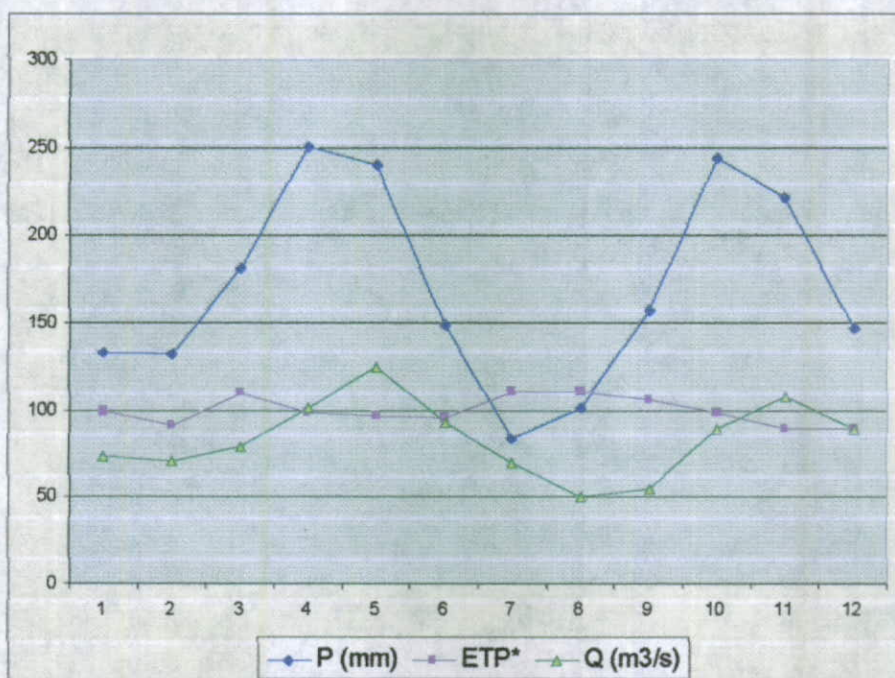


Figura 4. Precipitación , escurrimiento y EVT de la cuenca del río Cali

2.5.2 Temperatura

Varía con la altura sobre el nivel del mar y esta influenciada por los vientos que se dirigen del valle hacia la cordillera, y viceversa. Se puede decir que la cuenca posee temperaturas promedias anuales entre los 24°C en su costado oriental y 8°C en los farallones de Cali, caracterizándose por pequeñas fluctuaciones a lo largo del año.

2.5.3 Vientos

La cuenca del Río Cali se encuentra localizada en la zona ecuatorial, donde convergen las circulaciones atmosféricas de ambos hemisferios, que conducen a las corrientes predominantes de los alisios del NE y de los alisios del SE a distorsionarse, debido a la fuerza de coriolis. Sumando a esta condición la cercanía del Océano Pacífico, se presentan los característicos vientos locales del valle y de la montaña: la brisa del valle es un viento que asciende por las montañas durante el día; la brisa de la montaña, circula en sentido inverso ocasionando temperaturas bajas en el valle, durante la madrugada. En las capas atmosféricas inmediatamente por encima de las montañas hay evidencia de que los vientos vienen del este o suroeste durante la mayoría de los meses.

Los vientos que del océano Pacífico soplan hacia el continente, con cálidos con alto contenido de humedad; las masas de aire húmedo empujan fuerte hacia las montañas y en su viaje de ascenso, precipitan sobre la costa Pacífica parte de su humedad, al llegar a la cima de la cordillera han perdido calor y humedad y en forma de vientos fríos descienden sobre la parte plana de la cuenca.

En la zona de estudio se dan dos clases de corrientes adiabáticas:

La primera y más importante es la que se dirige de la parte alta de la cordillera hacia el valle geográfico y se da generalmente entre las 3 y las 6 de la tarde; tiene una dirección W - E y alcanza velocidades de 3 a 4 m/s.

La segunda corriente, de menor importancia, es la que en las horas de la mañana se dirige desde el valle hacia la cordillera teniendo un sentido inverso a la anterior y presenta menor intensidad y velocidad.

En la temporada seca entre julio y agosto se dan vientos fuertes que arrastran las nubes y permiten que una alta radiación llegue a la superficie.

2.5.4 Humedad relativa

La humedad relativa promedio durante el día es regular y típica del clima tropical y se hace mínima en las horas del mediodía. Presenta sus valores máximos en las dos temporadas invernales y los mínimos como es de esperarse en las épocas secas.

Sus valores oscilan entre 70% a 78%, tomando un promedio conservativo del 75%.

2.6 ZONAS DE VIDA

Las Zonas de Vida son una expresión de las condiciones climáticas en función de la precipitación promedio anual, la evapotranspiración potencial y la altura sobre el nivel del mar. Los límites de las Zonas de Vida deben tomarse como indicativos ya que evaluaciones más detalladas sobre la distribución de los factores climáticos y de las asociaciones vegetales, podrán identificar microzonas - como de hecho existen aún en las zonas más secas - a manera de relictos de bosques.

Las zonas de vida para encontradas en la cuenca del río Cali se describen a continuación, según la clasificación de Holdridge:

Bosque seco tropical (Bs-T): localizado en el costado oriental de la cuenca, en el valle formado por el río Cali hasta una altura de 1100 msnm con temperatura promedio de 24 °C y precipitación promedio anual de 1300 mm. La vegetación propia de esta zona, se encuentra situada en un valle estrecho del río, y se haya fuertemente intervenida por el hombre, principalmente por sus actividades recreativas.

Bosque húmedo sub-tropical (BH-ST): comprende desde los 1300 hasta 1650 msnm, aproximadamente, con temperatura promedio de 19 °C y precipitación promedio anual de 1600 mm. Esta área se encuentra en avanzado estado de erosión debido a las quemas, predominando pastizales y rastrojos en las pequeñas manchas boscosas, a orillas de los ríos y en los quiebres de montaña.

Bosque muy húmedo sub-tropical (Bm-ST): ubicado entre los 1650 y los 2000 msnm, con temperatura promedio de 18 °C y precipitación promedio anual de 1900 mm. La vegetación en su mayoría corresponde a cultivos de pancoger y pastos; los bosques se ubican en las orillas de las quebradas, el río y pliegues de la cordillera, e incluye la zona de La Leonera y Felidia.

Bosque muy húmedo montano bajo (Bmh-MB): se ubica entre los 2400 y 3000 msnm, con temperatura promedio de 15 °C y precipitación promedio anual de 2500 mm. La zona comprende bosques primarios altamente intervenidos y bosques secundarios.

2.7 RELIEVE

La cuenca del río Cali se extiende desde una altura de 1080 msnm, en su extremo oriental (punto de cierre), hasta alturas superiores a los 3850 msnm en la región de los Farallones de Cali, en su costado occidental.

2.8 TOPOGRAFÍA

Se presentan variaciones desde plana o casi plana, en un área reducida, hasta escarpada, ocurriendo estos cambios en forma drástica.

2.9 HIDROGRAFIA

La cuenca está conformada por tres subcuencas: los ríos Felidia y Pichindé (cuya confluencia forma el río Cali) y la quebrada El Cabuyal. Estas subcuencas están compuestas por un cauce principal y un gran número de afluentes, tanto permanentes como temporales. Ver Plano 2.

2.10 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Las características más importantes de cada uno de los grupos que constituyen el área de la cuenca son:

Grupo Dolerítico con intercalaciones sedimentarias, (Ks - Ds). A este grupo corresponde en su gran mayoría el área de la cuenca. Denominado también grupo Diabásico, tiene la particularidad de poseer muchos puntos de busamiento en todas las direcciones. Se entiende por grupo Dolerítico las rocas compuestas por labradorita, angita y óxidos de hierro, siendo ofítica la textura característica.

Sedimentos aluviales. En el costado oriental, en las márgenes del río Cali, se encuentra una franja estrecha de sedimentos aluviales, que son sedimentos transportados y depositados por el río; están compuestos por arenas, gravas y conglomerados dispuestos en forma de pequeñas terrazas.

Grupo Tonalítico. En el costado occidental del área existe un sector de rocas intrusivas que corresponde al grupo Tonalítico indiferenciado.

La cuenca del río Cali presenta tres paisajes:

Parte alta. Constituida por rocas ígneas diabásicas, parcialmente cubiertas de cenizas volcánicas. Estas rocas son duras y poco alteradas, garantizando una buena estabilidad de los suelos. Su morfología es abrupta. La intemperización mecánica actuó

directamente sobre la roca por los bruscos cambios de temperatura, causando un relieve desigual, no obstante la homogeneidad de la roca.

Parte media. Se encuentra la misma formación rocosa pero con intercalaciones de rocas sedimentarias; las condiciones microclimáticas tienen una marcada influencia en la conformación de las rocas erosionables. No se presentan deslizamientos en masa de gran extensión y se observan desgarres pequeños de suelo.

Parte baja. Predominan las rocas diabásicas con intrusiones de rocas sedimentarias, principalmente areniscas y limolitas. Las formas son más suaves, con ocasionales pendientes fuertes derivadas de los sistemas de fallamientos y fracturas. La vegetación es pobre, constituida principalmente por pastos y arbustos, debido al efecto antrópico y al poco suelo. La mayor parte de la erosión es inducida por el hombre.

Debido a la fuerte compresión a que fueron sometidas las rocas (fenómeno de subducción entre las placas oceánica y continental), la cuenca presenta una gran cantidad de fallas geológicas y pliegues de la cordillera Occidental, que han fracturado el material parental e inducen inestabilidad en los suelos. Estas fallas, con dirección S-N, son, entre otras, las siguientes: Cali, PanCe, Cascarillal, Pichindé y Pichindecito.

2.11 SUELOS

Han sido agrupados en tres asociaciones, cuyas principales características se describen a continuación:

Asociación Anguchas, Pichindé, Socorro (AN): los suelos de esta asociación predominan en la cuenca, ocupando aproximadamente el 60% del área total (7400 Ha). Presenta relieve fuertemente inclinado a fuertemente quebrado, con pendientes entre el 15 y 50%. El material parental de estos suelos se deriva de rocas ígneas, básicas, no diferenciadas (basaltos y diabasas), con manto arcilloso. Pueden presentar inclusiones de rocas en el perfil, especialmente de aquellas de posición coluvial. En

general, presentan erosión ligera a moderada y son suelos de fertilidad baja a moderada.

Asociación Palermo, Margarita, Pichindé (PM): Ocupa pequeñas áreas a lo largo de los ríos Pichindé, Pichindécito, en ambos márgenes y en áreas de baja pendiente, rodeadas de montaña. Presenta relieve fuertemente ondulado a inclinado, con pendientes entre el 12 y 50%. El material parental es derivado de rocas ígneas o sedimentarias (areniscas), o mezclas de las dos. La erosión es ligera a fuerte y, en su mayoría, han perdido el horizonte superficial o están en proceso de formación. En general, la fertilidad es baja a moderada.

Tierras misceláneas (MR): Estos suelos se encuentran como una unidad bien definida en el costado nor-oriental de la cuenca, sujeta a quemas periódicas durante el verano y cubierta por pajonales; otras áreas presentan afloramientos rocosos. El relieve es generalmente escarpado, con pendientes dominantes superiores al 50%. El material parental se deriva de rocas ígneas básicas (diabasas) y areniscas, pudiendo encontrarse rocas metamórficas no diferenciadas. Se presentan grados de erosión desde ligera hasta severa y la fertilidad es moderada.

2.12 COBERTURA VEGETAL

Los tipos de vegetación presentes en la cuenca se resumen a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de Vegetación presente en la cuenca del río Cali.

USO DEL SUELO	ÁREA (Km2)			PORCENTAJE (%)		
	PICHINDÉ	CALI	TOTAL	PICHINDÉ	CALI	TOTAL
Bosque natural	40,09	55,54	95,63	81,48	75,36	77,81
Bosque plantado	0,31	0,25	0,56	0,63	0,34	0,46
Vegetación de páramo	1,50	0,00	1,50	3,05	0,00	1,22
Rastrojo bajo	0,00	2,39	2,39	0,00	3,24	1,94
Rastrojo alto	0,12	1,11	1,23	0,24	1,51	1,00
Café	2,48	3,31	5,79	5,04	4,49	4,71
Pasto natural	3,05	7,91	10,96	6,20	10,73	8,92
Pasto natural enmalezado	0,55	0,00	0,55	1,12	0,00	0,45
Pajonales	0,00	1,99	1,99	0,00	2,70	1,62
Hortalizas	1,10	1,20	2,30	2,24	1,63	1,87
TOTAL	49,20	73,70	122,90	100,00	100,00	100,00

2.13 GENERACIÓN DE TORMENTAS

El 85% de las tormentas eléctricas, sobre la Cordillera Occidental provienen del SW (los Farallones de Cali). Las tormentas pueden estar acompañadas de lluvias torrenciales y vendavales, como aquellas ocurridas en julio de 1984 y de 1986 y en octubre de 1989, causando severos impactos en áreas rurales y urbanas. Las lluvias asociadas, según registros de estaciones operadas por la CVC, produjeron máximos de precipitación superiores a 100 mm, como consecuencia de las cuales hubo inundaciones y deslizamientos en las cuencas de los ríos Cali y Aguacatal.

Este tipo de fenómenos afecta de diversas maneras a la ciudad: apagones por sobrevoltajes en las redes de energía, daños en equipamiento urbano, industrial y doméstico, interrupciones en operaciones aéreas y de telecomunicaciones, inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos inducidos, ocasionales víctimas por descargas de eléctricas.

Debido a que no se dispone de estadísticas conocidas ni de sistemas de monitoreo de los niveles ceráunicos (descargas eléctricas atmosféricas) locales y regionales, estos

temas deben ser incorporados o reforzados en las agendas de investigación institucionales de entidades como EPSA, la CVC, la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle y el sector productivo, especialmente la industria de protecciones contra descargas atmosféricas.

3. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Carvajal (1995), presentó el "Estudio Probabilístico de Precipitación y Caudal en la cuenca del Río Cali" con el propósito de disponer de una herramienta técnica que permitiera conocer la probabilidad de ocurrencia de precipitación y caudal en la cuenca.

Montoya (1995) realizó la "Sistematización y actualización del balance de producción hídrica de la cuenca hidrográfica del río Cali", en este estudio se analizó la dinámica del comportamiento espacial y temporal de la producción hídrica de la cuenca, considerando el uso dado a sus recursos naturales por parte de los asentamientos humanos presentes en la zona.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DEL CICLO HIDROLOGICO

3.2.1 Ciclo hidrológico

Es la sucesión periódica de etapas por las que pasa el agua, tanto en la superficie terrestre como en la atmósfera. Empieza con la evaporación de los cuerpos de agua, le siguen la condensación, proceso por el cual se forman las nubes, la precipitación y por último la acumulación en la tierra o en cuerpos de agua

Los diversos procesos del ciclo hidrológico ocurren en forma continua: el agua se evapora desde los océanos y la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre y los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía

superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa.

3.2.2 Precipitación

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se eleva hacia arriba por una acción convectiva.

A medida que el aire sube y se enfría, el agua se condensa de un estado de vapor a líquido. Si la temperatura es inferior al punto de congelación, se forman cristales de hielo. La condensación requiere de una "semilla" llamada núcleo de condensación alrededor del cual las moléculas de agua se pueden unir o nuclear. Partículas de polvo que flotan en el aire, así como partículas de sal que se forman a partir la evaporación de espuma marina, y compuestos de sulfuro y nitrógeno resultantes de procesos de combustión pueden actuar como núcleos de condensación.

Las pequeñas gotas de agua crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes para que la fuerza de gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empiezan a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso. Sin embargo, a medida que la gota cae, el agua se evapora de su superficie y su tamaño disminuye, de tal manera que puede reducirse nuevamente al tamaño de un núcleo y desplazarse hacia arriba en la nube debido a la turbulencia.

Los cristales de hielo normalmente forman racimos mediante colisión y fusión y caen

como copos de nieve. Sin embargo, algunos cristales de hielo pueden crecer tanto, que caen directamente a la tierra como granizo o nevisca.

3.2.3 Intercepción

La cubierta forestal sobre un terreno constituye la primera barrera a la precipitación. La vegetación redistribuye la lluvia de tres maneras: una parte del agua queda en el follaje, de donde se evapora; otra, cae directamente a través de las copas, escurriendo por las hojas; y la tercera, desciende por las ramas del tronco.

3.2.4 Evaporación

Dos factores principales influyen en la evaporación desde una superficie abierta de agua: el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica. La habilidad de transporte del vapor depende de la velocidad del viento sobre la superficie de evaporación y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella.

3.2.5 Evapotranspiración

Es la combinación de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. La evaporación desde la superficie terrestre comprende la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde la superficie de la vegetación, y la transpiración a través de las hojas de las plantas, mediante la cual el agua es extraída por las raíces de éstas, transportada a lo largo de sus tallos y difundida a la atmósfera a través de pequeñas aberturas en las hojas, llamadas estomas. La evapotranspiración es influida por los factores descritos para la evaporación desde una superficie abierta de agua, y también por un tercer factor, el suministro de humedad hacia la superficie de evaporación. La evapotranspiración potencial es la que puede ocurrir desde una superficie bien cubierta de vegetación cuando el suministro de humedad es ilimitado, y se calcula de una forma similar a la evaporación sobre una superficie abierta de agua. La evapotranspiración real cae por debajo de su nivel potencial a medida que el suelo se seca.

3.2.6 Infiltración

Es el mecanismo por medio del cual el agua penetra en los horizontes de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. Los factores más importantes que afectan la tasa de infiltración son la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como porosidad y conductividad hidráulica, el contenido de humedad presente en el suelo y las características del agua, tales como temperatura y viscosidad. Los suelos presentan una gran variabilidad espacial en la tasa de infiltración, aún dentro de pequeñas áreas.

3.2.7 Escurrimiento

Comprende la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proveniente de diversas fuentes y con base en ellas, se considera el escurrimiento como superficial, subsuperficial y subterráneo. El escurrimiento superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que ocurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje, hasta salir de la cuenca. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, que se mueve lateralmente sobre el horizonte superior del mismo. El escurrimiento subterráneo proviene del agua subterránea, la cual se recarga mediante la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez éste se ha saturado.

3.2.8 Balance hídrico

El estudio del balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de la masa, también conocido como ecuación de continuidad. Este establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río) o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y

salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas del balance hídrico comprenden la precipitación, en forma de lluvia o nieve, realmente recibida en la superficie del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua. Las salidas de la ecuación incluyen la evapotranspiración desde el sistema y la salida de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada. Cuando las entradas superan a las salidas, el volumen de agua almacenada aumenta; y cuando ocurre lo contrario, disminuye.

En grandes cuencas de ríos el intercambio de aguas subterráneas con cuencas vecinas se supone igual a cero y, por tanto, se desprecia. Así mismo, en la cuenca de un río con una divisoria de aguas bien definida, las aportaciones superficiales son prácticamente despreciables (suponiendo que no haya trasvases artificiales desde otras cuencas). Por esto, la ecuación del balance para la cuenca de un río se expresa así:

$$P - EVT - Q - \sigma A - \phi = 0 \quad (1)$$

Donde:

P : precipitación

EVT : evapotranspiración

Q : escurrimiento

σA : cambio en el almacenamiento

ϕ : término residual o de diferencia

En la determinación del balance hídrico para un ciclo anual se puede despreciar la variación del volumen de agua almacenada en la cuenca, que es difícil de medir o calcular. Para un largo periodo, los incrementos del agua almacenada, positivos o negativos, a escala anual, tienden a equilibrarse y su valor neto al final puede considerarse igual a cero.

Para cerrar la ecuación del balance hídrico es esencial medir o calcular todos los elementos del balance, usando métodos independientes. Estas medidas y determinaciones siempre implican errores, debido a las limitaciones tecnológicas. Esta ecuación, por lo tanto, generalmente no establece un balance exacto, aunque todos sus componentes se midan y calculen por métodos independientes. La inexactitud viene representada en la ecuación por un término residual que incluye los errores en la determinación de los componentes considerados y los valores de los componentes que no se han tenido en cuenta en la ecuación utilizada. Un bajo valor de este término indica un ajuste aceptable de la mayoría de los componentes del balance.

Como el establecimiento de la ecuación del balance hídrico comienza, generalmente, con el cálculo de la precipitación media sobre la cuenca, los otros componentes también se expresan como lámina de agua.

3.3 CONCEPTOS BÁSICOS DE MODELACION HIDROLOGICA

3.3.1 Concepto de modelo

Un modelo es una representación simplificada de la realidad que puede ser manipulado para mejorar la visión de esta.

El objeto de un modelo es el análisis de un sistema complejo y real a menor costo y menor escala.

En la construcción de cualquier modelo es siempre preciso hacer hipótesis que simplifican la realidad. Estas hipótesis serán función de la finalidad del modelo y estarán generalmente muy relacionadas con los márgenes de error tolerados en los resultados. Para ello es preciso un conocimiento profundo de la realidad, lo que en la práctica desecha la figura del modelador de cualquier fenómeno.

Los modelos utilizados en Hidrología son aquellos que representan el funcionamiento de sistemas hidrológicos complejos.

3.3.2. Clasificación de los modelos matemáticos hidrológicos

Los modelos matemáticos pueden dividirse en 2 grandes grupos:

- **Determinísticos.** Las variables vienen determinadas por leyes físicas consideradas como exactas y que explican toda la variabilidad del fenómeno.
- **Estocásticos.** Las variables son regidas en todo o en parte por las leyes del azar, y por tanto vienen caracterizadas en términos de probabilidad.

El por qué de esta división se explica fácilmente si se comprende que hay un proceso básico aleatorio que es la precipitación y un proceso básico determinístico que es el ciclo hidrológico. La elección de un tipo de modelo u otro será función de la cercanía del problema en cuestión a la precipitación. Es por ello que modelos de hidráulica urbana, de calidad de las aguas o de flujo subterráneo son básicamente determinísticos mientras que aquellos que generan series de caudales o predicen hidrogramas de crecida a partir de la precipitación son en muchos casos estocásticos.

La utilización de modelos determinísticos cuando las variables que intervienen en el proceso están regidas por leyes de probabilidad se basa en la hipótesis de trabajar únicamente con una ecuación que representa los valores más probables de las variables y parámetros. Esta ecuación, en el caso concreto de los sistemas lineales, podría dividirse en las dos ecuaciones siguientes:

$$F_1(Y_t, X_t; Y_{t-1}, X_{t-1}; \dots, \varphi_1, \dots, \varphi_n) + \varepsilon_t = 0 \quad (2)$$

$$F_2(\text{Cov } y, \text{Cov } x, \text{Cov } \varphi, \text{Cov } \varepsilon) = 0 \quad (3)$$

donde la ecuación (2) representa los valores más probables de las variables y parámetros y la ecuación (3) representa las matrices de covarianza de variables, parámetros y del término de error del modelo planteado. La resolución conjunta de

ambas ecuaciones permitirá obtener no solo una estima de variables y parámetros, sino la incertidumbre asociada.

El que no se considere en muchos modelos la ecuación (3) es debido a los siguientes motivos:

- Las variables están poco sujetas a leyes de probabilidad
- La finalidad del modelo no lo exige
- El sistema es excesivamente complejo

Las expresiones utilizadas en los modelos estocásticos clásicos, como los AR, ARMA, ARMAX, etc, suelen ser lo suficientemente sencillas para que se pueda resolver esa ecuación. Dada su simplicidad son generalmente lineales con pocos términos.

Los modelos determinísticos admiten diferentes clasificaciones. Las más utilizadas son las siguientes:

- Teóricos, conceptuales y empíricos. En los primeros se plantean las ecuaciones diferenciales que rigen los procesos físicos que actúan sobre el sistema, los segundos utilizan formulaciones conceptuales que representan estos procesos físicos y los últimos plantean relaciones empíricas que generalmente no son válidas fuera del ámbito de la zona de experimentación.
- Lineales y no lineales. La existencia de linealidad se entiende generalmente en el sentido de la teoría de sistemas, en donde se considera que un modelo es lineal si se cumplen los principios de superposición y proporcionalidad. Por ejemplo, los modelos lluvia - escorrentía suelen ser altamente no lineales debido a la intervención del suelo.
- Agregados o distribuidos. Los primeros no consideran la distribución espacial de las variables y parámetros, mientras que los segundos, que generalmente

siempre la consideran en las variables, pueden ser de parámetros distribuidos o agregados, según la consideren o no en los parámetros.

3.3.3 Características generales de los modelos hidrológicos

Existen diversos modelos que permiten, desde diferentes metodologías, evaluar los recursos hídricos de una cuenca, y en particular, los caudales que en régimen natural circulan por cualquier punto del territorio. A grandes rasgos podría decirse que existen dos grandes tipos de aproximaciones a este problema, a saber, la de los modelos de base física, también llamados numéricos, y que se basan en la integración, con diferente grado de aproximación, de las ecuaciones diferenciales del flujo hidrológico. Y los modelos de tipo agregado-conceptual, que consideran los valores medios de las variables sobre la cuenca y que simplifican los procesos hidrológicos asimilándolos a una serie de ecuaciones sencillas de transferencia y de balance hídrico entre almacenamientos

Ambos tipos de modelos son útiles en la evaluación de recursos hídricos, pero aplicados a grandes cuencas hidrográficas presentan una serie de inconvenientes difíciles de superar en ambos casos. Los modelos numéricos precisan gran información y sólo han sido aplicados, por ello, en pequeñas cuencas experimentales en las que se poseía una gran cantidad de información fisiográfica y meteorológica a pequeña escala. En cambio, los modelos de tipo agregadoconceptual no pueden, en general, tratar la variabilidad espacial de los parámetros y de las variables implicadas en el ciclo hidrológico, por lo que no ofrecen buenos resultados enfrentados a grandes cuencas de cierta heterogeneidad.

Estos dos tipos de modelización son sin duda útiles en la planificación y evaluación de recursos hídricos y se seguirán utilizando en aquellos casos en los que alguna de las dificultades previamente apuntadas pudieran superarse. Por esta razón, y durante los últimos años, se vienen realizando esfuerzos por diseñar modelos hidrológicos que pudiendo considerar la variabilidad fisiográfica y por ende, que posean como

característica su carácter distribuido, no precisen excesiva información y por tanto, sean aplicables a casi cualquier situación por extensa que esta sea.

3.3.4 Utilización de los Modelos Matemáticos en hidrología

Si un modelo es capaz de reproducir el funcionamiento del sistema para un rango suficientemente amplio de situaciones que se han producido en la realidad será generalmente capaz de simular lo que sucedería bajo otra serie de condiciones. Cabe por tanto, reducir las utilidades básicas de los modelos a dos fundamentales:

- Comprender el funcionamiento de un sistema en situaciones que se producen en la realidad (fase de calibración).
- Posibilidad de conocer el funcionamiento de un sistema en situaciones que no se han producido en la realidad (imposibles en el prototipo por su coste y tamaño de escala), y que nos permitirán mejorar la visión de esta.

Algunas aplicaciones de los modelos en el campo de la Hidrología son las siguientes:

- Analizar los efectos que producen una serie de cambios en las características físicas del sistema (parámetros).
 - Sección del río en un tramo (al encauzar)
 - Coeficiente de escorrentía en una cuenca (al urbanizar)
 - Porosidad en un acuífero (al efectuar inyecciones)
 - Coeficiente de rugosidad de manning (al limpiar un cauce)
- Analizar los efectos que producen en los OUTPUTS modificaciones en los INPUTS.
 - Impacto de un posible cambio climático sobre los recursos hídricos.
 - Variaciones de los caudales máximos de una crecida para diferentes chubascos tipo.
 - Mejoras en la calidad de las aguas de un río tras la construcción de depuradoras.

- Modificaciones del perfil de la lámina de agua en un río para diferentes caudales punta.

3.3.5 Etapas en la implementación de los Modelos Matemáticos

Las fases en las que puede dividirse el proceso de implementación de un modelo matemático determinístico (Carrera, 1985) son:

- Formación del modelo conceptual
- Construcción del modelo
- Calibración de los parámetros del modelo
- Validación del modelo

Por formación del modelo conceptual se entiende la idea, fundamental cualitativa, que tiene el hidrólogo del funcionamiento del sistema. La etapa de construcción del modelo es aquella en la que se forman las ecuaciones que describen el modelo conceptual planteado, se establecen las relaciones entre ellas y se procede a su resolución. La calibración es la etapa del proceso de implementación que obliga a que el funcionamiento del modelo matemático reproduzca la historia del sistema real estudiado y es seguida, aunque en menos ocasiones de lo que sería deseable, por la validación, con la cual se comprueba el adecuado funcionamiento del modelo con una serie de observaciones no utilizadas en la calibración.

3.3.6 Limitaciones en la aplicación de los Modelos Matemáticos

Los modelos son una herramienta de trabajo muy valiosa pero no un fin por si mismos. No hay que perder nunca de vista el problema real con que se está enfrentando el hidrólogo, que en ocasiones no requerirá modelos sofisticados y bastará con simples fórmulas o incluso únicamente cierto sentido común.

Toda modelización precisa de una serie de hipótesis. El arte del modelador reside en saber que hipótesis se pueden hacer y cuales no. A veces no es necesario elaborar nuestro propio modelo y es suficiente con utilizar uno ya existente. En cualquier faceta

de la hidrología hay infinidad de modelos que resuelven problemas similares. Dependerá de la finalidad que se pretenda la elección de uno de ellos. Por ello debe siempre quedar muy claro las hipótesis en que se basan cada uno de los modelos disponibles.

En la fase de elección de un modelo hay que tener siempre presente la disponibilidad de datos que se tiene. Suele ser mejor un mal modelo con buenos datos que un buen modelo con malos datos.

Por otra parte no se debe olvidar que hay problemas reales que es mejor abordar su solución con otro tipo de modelos, como pueden ser los reducidos.

3.3.7 Modelos agregados con reducido número de parámetros

Este tipo de modelos reproducen el ciclo hidrológico de una forma simplificada (Figura 5). Utilizan pocos parámetros (entre 2 y 6 generalmente) dado que su escala temporal de simulación (semanas, meses, etc.) hace que no sea preciso considerar todos los procesos que constituyen el ciclo hidrológico.

En la práctica, han sido muy utilizados por las siguientes razones:

- a) No siempre la finalidad del estudio justifica simulaciones a escalas temporales inferiores al mes.
- b) La falta de disponibilidad de datos para la aplicación de modelos más complejos.
- c) La conveniencia de simular y contrastar los datos a una escala temporal superior antes de proceder a la evaluación de los recursos hídricos a otra inferior.

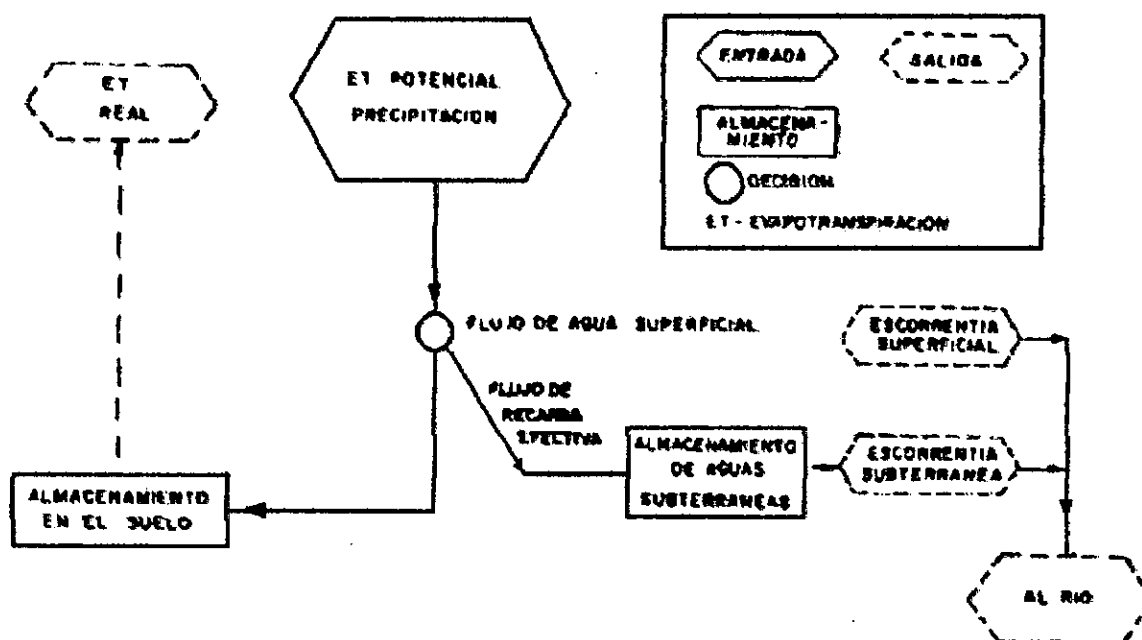


Figura 5. Diagrama de flujo de un modelo de un balance de humedad de pocos parámetros.

En ocasiones puede justificarse su utilización a escalas inferiores, por ejemplo la diaria, si los resultados son posteriormente agregados a una escala temporal superior, como puede ser el mes.

Entre los modelos mas conocidos cabe citar los siguientes (Alley, 1984):

Modelo THORNTHWAITE - T (Thornthwaite and Mather, 1955)

Es el mas sencillo de los existentes. Su origen se remonta al año 1955 en que fue creado por Thornthwaite. Considera el suelo como un único embalse en el que el excedente de agua se produce solamente cuando este se encuentra lleno. Ese excedente se reparte entre agua que escurre superficialmente y agua que se almacena en el acuífero para ser drenada al río en instantes posteriores.

Modelo PALMER - P (Palmer, 1965)

Fue creado por Palmer en el año 1965. Considera dos zonas de almacenamiento para reproducir el funcionamiento del suelo, la zona radicular o superior, donde la

evapotranspiración tiene lugar a la velocidad de la evapotranspiración potencial (ETP) y la inferior, en donde plantea una ley de evapotranspiración que tiene en cuenta la mayor dificultad para que la evapotranspiración se produzca a la velocidad de la potencial. El excedente de agua tiene lugar cuando ambos embalses se encuentran llenos.

Modelo ABCD (Thomas and Fiering, 1962)

Este modelo permite que se produzca excedente de agua aún cuando el suelo no se encuentre lleno. El reparto de ese excedente entre agua que escurre superficialmente y agua que recarga el acuífero lo hace mediante un coeficiente Constante en el tiempo, lo cual no es excesivamente realista. Establece un balance de agua en el almacenamiento subterráneo y considera su descarga como una fracción constante del mismo.

Thomas (1981) presentó un balance de agua alternativo, definiendo una variable de estado como:

$$W_i = P_i + S_{i-1}$$

y una segunda variable de estado que representa la suma de evaporación y almacenamiento de humedad del suelo:

$$Y_i = E_i + S_i$$

Esta variable de estado es computada como una función no lineal del agua disponible W_i , usando:

$$Y_i(W_i) = (W_i + b)/2a - \{[(W_i + b)/2a]^2 - W_i b/a\}^{0.5}$$

Esta función asegura que $Y_i < W_i$, $Y(0) = 1$, y $Y'(\alpha) = 0$. Un limite superior de Y es b . Thomas et al (1983) anotan que, además de estas propiedades, la función $Y(W)$ no tiene particular significancia.

Se asumió que la tasa de pérdida de humedad por evaporación es proporcional a la humedad del suelo. Asumiendo que la rata de humedad almacenada en el suelo al comienzo del mes es Y_i , se tiene:

1315

$$S_i = Y_i \exp (-PE_i/b)$$

La diferencia $W_i - Y_i$ es la suma de la escorrentía directa $(Dr)_i$ y de la recarga subterránea $(GR)_i$. Esto es asignado usando el parámetro c .

$$(GR)_i = c (W_i - Y_i)$$

$$(DR)_i = (1 - c) (W_i - Y_i)$$

La descarga del acuífero es:

$$G_i = [c(W_i - Y_i) + G_{i-1}] / (1+d)$$

Así el modelo tiene 4 parámetros , a , b , c , d y cada uno tiene un grado de interpretación física. El parámetro a ($0 < a \leq 1$) refleja la propensión a ocurrir, escorrentía antes que el suelo esté saturado, (Thomas et al, 1983). Valores del parámetro a menores que 1.0 resultan en escorrentía cuando $W_i < b$.

El parámetro b es el límite superior de la suma de humedad en suelo y evapotranspiración. c es la fracción de escorrentía media que proviene del acuífero y d es la inversa del tiempo de residencia en el acuífero.

Modelo TEMEZ(Témez, 1977)

Este modelo reproduce los procesos esenciales de transporte de agua que tienen lugar en las diferentes fases del ciclo hidrológico. El proceso esta presidido por el principio de continuidad o conservación de la masa y regulado por leyes específicas de reparto y transferencia entre los distintos términos del balance.

Considera el terreno dividido en dos zonas:

- La superior no saturada o de humedad del suelo, en cuyos poros coexisten el agua y el aire.
- La inferior o acuífero, que está saturada de agua, funcionando como un embalse subterráneo con desagüe a la red superficial de drenaje.

Una parte T del agua precipitada P , acaba siendo drenada y sale por el río, mientras el resto, después de almacenarse en la zona de humedad del suelo, alimenta la evapotranspiración en fechas posteriores.

El excedente T se descompone en una parte que discurre en superficie, E , y otra que infiltra hasta el acuífero. La primera evacua por el cauce dentro del período de tiempo presente mientras que el agua infiltrada se incorpora al acuífero, desaguando parte en el presente intervalo mientras que el resto permanecerá en el embalse subterráneo para salir en fechas posteriores.

La ley de excedentes se plantea según la siguiente expresión:

$$T_i = 0 \quad \text{si } P_i \leq P_0$$

$$T_i = (P_i - P_0)^2 / p_i + \delta - 2P_0 \quad \text{si } P_i > P_0$$

Siendo

$$\delta = H_{\max} - H_{i-1} + EP_i \quad P_0 = C. (H_{\max} - H_{i-1})$$

donde P_i es la precipitación en el período comprendido en el instante $i-1$ al instante i (mm), T_i es el excedente en el período comprendido desde el instante $i-1$ al instante i (mm), $H_{\max}$ es la capacidad máxima de humedad en el suelo (mm), H_{i-1} la humedad en el suelo en el instante $i-1$ (mm), EP_i la evapotranspiración potencial desde el instante $i-1$ al instante i (mm) y C es un parámetro de modelo.

Las hipótesis que se realizan sobre el funcionamiento del acuífero son las siguientes.

- Ley de descarga del acuífero exponencial

$$Q_i = Q_{i-1} \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Donde

Q_i es el caudal de descarga en el instante i , α es el coeficiente de la rama de descarga

1317

del acuífero y t el intervalo de tiempo entre los instantes $i-1$ e i .

La relación entre el caudal de descarga y el volumen almacenado en el acuífero es igual a:

$$Q_i = \alpha \cdot V_i$$

- La recarga por infiltración se supone concentrada en la mitad del período con lo cual la ley de los caudales subterráneos resulta:

$$Q_i = Q_{i-1} \cdot e^{-\alpha \cdot t} + \alpha \cdot R_i \cdot e^{-\alpha \cdot t/2}$$

Siendo R_i la recarga al acuífero en el período $i-1$ a i , coincidente con la infiltración I_i .

La aportación subterránea a lo largo del período A_i resulta:

$$A_i = V_{i-1} - V_i + R_i \cdot t$$

La aportación total de la suma de la escorrentía superficial (excedente menos infiltración) y la aportación subterránea

$$A_{Ti} = T_i - I_i + A_i$$

Los parámetros del modelo son H_{max} la capacidad máxima de humedad del suelo, C el parámetro excedente, I_{max} la capacidad máxima de infiltración y α el coeficiente de la rama de descarga.

Este modelo realiza un reparto del excedente más realista que el modelo ABCD, entre el agua que escurre superficialmente y el agua que infiltra al acuífero. Considera, al igual que el modelo Thornthwaite, una única zona de almacenamiento en el suelo.

Modelo IAHCRES.

Desarrollado por el Institute of Hydrology of the UK and the Centre for Resource and Environmental Studies In the Australian National University, y descrito por Jackeman et

1318

al (1990) y Jackeman y Hornberger (1993).

La lluvia de exceso es obtenida de la lluvia de cada período por una relación no lineal.

$$EX_i = z P_i S_i$$

Donde EX es la lluvia de exceso, z es un factor requerido para asegurar la equivalencia en volumen de lluvia de exceso y el caudal total medido en el período modelado.

S_i es un índice de humedad de la cuenca.

El índice, S, es calculado como una ponderación de la serie de tiempo de lluvias, los pesos decayendo exponencialmente hacia atrás en el tiempo.

$$S_i = P_i + (1 - T_i^{-1}) S_{i-1}$$

La tasa en que la humedad de la cuenca disminuye, T_i , es dependiente de la temperatura y el almacenamiento en el día previo

$$\tau_i = \tau \exp f(20 - T_i) (\exp(-p S_{i-1}))$$

Donde T es la temperatura y τ , f y p son parámetros del modelo. La esorrentía es relacionada a la lluvia de excesos por un ecuación lineal recursiva.

$$P_i = -a_1 P_{i-1} - a_2 P_{i-2} + B_0 EX_i + b_1 EX_{i-1}$$

Donde a_1 , a_2 , b_0 , y b_1 son parámetros del modelo. Hay así 7 parámetros (a_1 , a_2 , b_0 , b_1 , τ , f y p) en el modelo IHACRES, el uso de 4 parámetros describe un modelo lineal de dos componentes definiendo una respuesta de flujo rápido y flujo lento. IHACRES ha sido aplicado a varias cuencas en el mundo como describe Jakeman y Hornberger 1993.

3.3.8 Calibración de parámetros en Modelos Hidrológicos Determinísticos

La calibración es la etapa del proceso de implementación de un modelo matemático

determinístico en la cual se busca que éste reproduzca la historia del sistema real estudiado. Es seguida, aunque en menos ocasiones de lo que sería deseable, por la validación, con la cual se comprueba el adecuado funcionamiento del modelo con una serie de observaciones no utilizadas en la calibración.

La calibración es una de las etapas más controvertidas de éste proceso de implementación, ya que en muy pocas ocasiones se describen las propiedades de los residuos o diferencias entre los valores simulados por el modelo y los valores medidos. En la mayoría de los estudios únicamente se presentan gráficos comparando las series simuladas y observadas de caudales y alguna medida de la bondad del ajuste, tal como pueda ser el coeficiente de determinación múltiple.

Concepto de Calibración: Manual Y Automática. La calibración consiste en la determinación de los valores de los parámetros del modelo que conducen a una reproducción adecuada del funcionamiento observado del sistema y son compatibles con el rango de validez física de los mismos. Algunos parámetros se pueden estimar mediante el estudio de las características de la cuenca, pero otros, generalmente relacionados con los subprocesos internos que tienen lugar en la cuenca, no pueden ser determinados de esa manera y por tanto deben ser estimados indirectamente en la fase de calibración. Aún en la situación hipotética de tener informaciones sobre todos los parámetros, no sería conveniente proceder a la utilización del modelo sin haberse asegurado de que todos los datos disponibles (variables y parámetros) son cualitativa y cuantitativamente compatibles.

La calibración es "per se" un proceso iterativo, en el que se empieza con los valores medidos o supuestos de los parámetros, y se van modificando sucesivamente a fin de reducir las diferencias entre los valores simulados y observados de las variables de control (Fig. 6). Este proceso se puede hacer manual o automáticamente.

1320

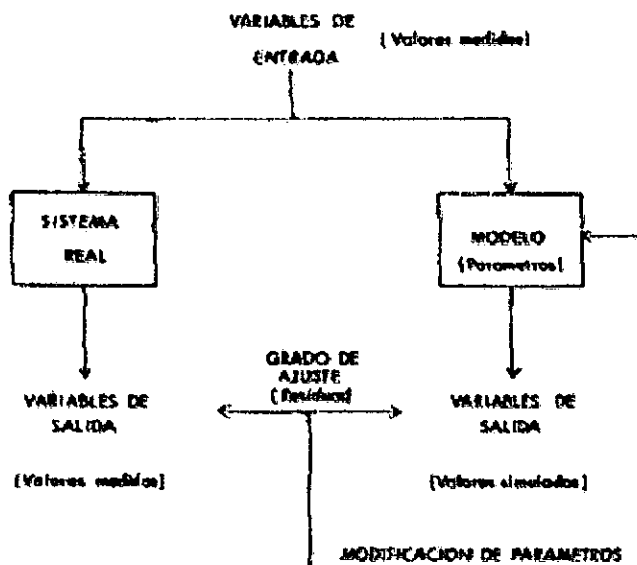


Figura 6. Proceso seguido en la calibración de un modelo determinístico

Cuando se calibra manualmente un modelo es habitual utilizar gráficos o mapas de los valores simulados y observados, para poder deducir a partir de ellos, cuales son los parámetros que deben modificarse y en que dirección deben hacerlo. Este procedimiento es muy subjetivo y dependiendo de quien sea el modelador conducirá a unos resultados u otros, aunque presenta la ventaja de que aquel durante ese proceso, consigue una gran familiaridad con el papel y sensibilidad de cada parámetro. Un inconveniente de la calibración manual es el esfuerzo de tiempo que requiere, sobre todo cuando el número de parámetros o variables de control es muy elevado.

Otra posibilidad es la calibración automática, donde mediante la utilización de métodos numéricos se obtienen los valores de los parámetros que minimizan los residuos o diferencias entre los valores simulados y observados. Cuando se utilizan este tipo de técnicas es conveniente, en cualquier caso, visualizar gráficamente los resultados y hacer un análisis de sensibilidad de los mismos respecto a los parámetros. Una simple inspección visual de los gráficos puede mostrar, por ejemplo, que unos residuos muy grandes pueden ser debidos a que no se ha considerado un efecto "timing" o desfase de flujos en la formación del modelo conceptual.

1321

La fase de calibración tiene como objetivo minimizar los errores del modelo. Antes de plantear la función de error, más comúnmente llamada función objetivo, es conveniente analizar los tipos de errores habituales en la modelación hidrológica.

Sea un modelo de transformación lluvia-caudal con K parámetros $\Theta_0, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_K$ que simula caudales sobre n periodos sucesivos de tiempo (ej: días, semanas, meses). La diferencia entre los valores simulados y observados es el residuo o término de error. Por tanto se puede escribir:

$$q_t = q_t(\Theta) + e_t(\Theta) \quad 1 \leq t \leq n \quad (1)$$

Donde q_t es el caudal observado para el período de tiempo t, $q_t(\Theta)$ es el simulado por el modelo con el conjunto de parámetros Θ y $e(\Theta)$ es el residuo.

Las fuentes posibles de error son las siguientes:

- La falta de adecuación del propio modelo, que al ser una simplificación de la realidad siempre tiene asociado un cierto error estructural; no hay nunca un modelo exacto.
- Los datos. Pueden existir errores en los datos de entrada (ej: estimas incorrectas de la precipitación arca sobre la cuenca), lo cual afectará a la salida del modelo. Por otra parte, los caudales observados con los cuales se compara los resultados del modelo tendrán también un cierto grado de error. Todas esas fuentes de error pueden ser grandes o pequeñas pero están siempre presentes.

Sería deseable que estos errores cumpliesen una serie de requisitos:

1. Que los errores $e_t(\Theta)$ sean estacionarios con media, $E(e_t) = 0$ y varianza constante $E(e_t^2) = \sigma^2$

2. Que los errores no presenten autocorrelación temporal.

$$E(e_t e_{t-1}) = 0 \text{ para todo } t > 0$$

3. Que los errores estén normalmente distribuidos.

$$e_t \in N(0, \sigma_e)$$

Estas hipótesis van usualmente asociadas al análisis de regresión lineal (Draper y Smith, 1981). Si los errores presentasen esa clase de estructura sería obvio que un simple número, σ^2 , resumiría que tan segura sería la predicción con el modelo. Desafortunadamente, en muchas situaciones los errores no obedecen esas hipótesis.

Un examen del gráfico de los errores como una función de las predicciones revela, en ocasiones, que estos muestran frente a las predicciones una dependencia en la media y que la variabilidad (varianza) no es la misma para cualquier magnitud del caudal predicho. Los cambios en la varianza suelen estar asociados a mayores errores de predicción en los caudales mayores. Ello se debe, entre otras causas: a) la falta de adecuación del modelo para representar eventos de cualquier magnitud, b) la forma de la curva de caudal; su concavidad hace que un cambio unitario en las lecturas de niveles altos se traduzca en desviaciones más grandes en los caudales que en el caso de lecturas más bajas. La dificultad en la estimación de la parte alta de esa curva y el hecho de que las mediciones de niveles altos posean habitualmente un mayor error, determinan este efecto, c) la propagación del error a partir de los datos de precipitación; un mismo porcentaje de error afecta menos a los caudales predichos cuando el valor de la precipitación es menor.

Un examen del gráfico de la evolución temporal de los residuos muestra que en los períodos de recesión suelen aparecer secuencias largas de residuos con el mismo signo. Aparte de la explicación obvia de la inadecuada modelación del proceso lluvia-caudal, un factor que también puede contribuir a ello es la correlación entre caudales, la cual se introduce automáticamente cuando estos son traducidos de una curva de gasto errónea (Clarke, 1973).

Tanto la falta de estacionariedad como la autocorrelación serial aumentan a medida que el intervalo entre medidas sucesivas se hace mas corto. A escalas temporales pequeñas (horas, días) estos efectos son mucho más apreciables que a escalas superiores (mes). Ello se debe a la suavización que tiene lugar cuando se agregan y promedian los datos temporalmente.

La hipótesis de normalidad es difícil de satisfacer. Los residuos suelen presentar distribuciones algo sesgadas, explicables en parte, por la propia distribución sesgada que siguen los caudales. En el caso de que se requieran regiones de confianza para las estimas de los parámetros (Clarke, 1973), será preciso hacer hipótesis sobre la distribución de probabilidad de los residuos.

Para garantizar el buen funcionamiento del modelo, Aitken (1973) recomienda aplicar otro tipo de contrastes a los residuos, complementarios de los anteriormente citados, como el test del signo y la curva de masa de los residuos.

Criterios o Funciones Objetivo

El análisis de los tipos de errores en la modelación lluvia-caudal ha propiciado la aparición de diversos tipos de funciones objetivo. Son expresiones matemáticas que miden el grado de ajuste entre los valores simulados y los observados, como una función de la secuencia temporal de los residuos.

Uno de los criterios mas simple y utilizado hasta la fecha ha sido el de mínimos cuadrados (SLS). Sea $q_1, q_2, \dots, q_n$ una secuencia de "n" caudales observados. Los valores del conjunto de parámetros Θ serán aquellos que minimizan la función objetivo $U_n(\Theta)$.

$$U_n(\Theta) = n^{-1} \sum e_t(\Theta)^2$$

1324

$$t=1$$

o lo que es lo mismo,

$$U_n(\Theta) = n^{-1} \sum_{t=1} (q_t - q_t(\Theta))^2$$

Una forma más general que las expresiones anteriores es:

$$U_n(\Theta, j) = n^{-1} \sum_{t=1} (q_t - q_t(\Theta))^j$$

donde j es cualquier número positivo. Cuando $j = 1$, se tiene una función objetivo de mínimos absolutos y cuando $j = 2$ coincide con la expresión anterior.

Un estudio de sensibilidad de la función objetivo respecto al exponente j , fue hecho por Johnston and Pilgrim (1976) con un modelo de balance de humedad simplificado, concluyendo que los valores estimados de los parámetros no dependían del exponente pero si que lo hacía la forma de la superficie de la función objetivo y por tanto la facilidad o dificultad para encontrar el mínimo.

Un valor del exponente $j = 2$ presentaba una superficie más fácil de optimizar.

Según la experiencia de algunos investigadores, el criterio de mínimos cuadrados da lugar a estimas insesgadas y de mínima varianza solo si se satisfacen las hipótesis siguientes: a) los errores son estacionarios en media y varianza; b) los errores no presentan autocorrelación. Si estos siguen además una distribución normal, entonces los parámetros serán estimas de máxima verosimilitud (ML).

Tradicionalmente, para manejar casos de error no estacionarios en varianza se han seguido dos caminos: a) usar transformaciones de los caudales que estabilicen la

1325

varianza (p.e: la logtransformación) y aplicar posteriormente el criterio SLS; b) utilizar directamente algún criterio de mínimos cuadrados ponderados (WLS).

Algoritmos de Optimización

La minimización de las funciones objetivo planteadas en el apartado anterior requiere la utilización de algoritmos numéricos de optimización. La elección de estos ha sido discutida por muchos investigadores (Ibitt and O'Donnell, 1971; Johnston and Pilgrim, 1976; Sorooshian and Dracup, 1980; entre otros). Prácticamente hay coincidencia entre todos ellos en que las técnicas de búsqueda directa se han mostrado superiores a las técnicas de gradiente. En estas últimas la optimización de la función objetivo requiere la evaluación de las derivadas de ésta respecto a los parámetros, realizándose la búsqueda según la dirección del gradiente. La forma de la superficie de respuesta de las funciones objetivo cuadráticas es generalmente compleja y la obtención de expresiones analíticas de las derivadas es tarea inabordable, requiriéndose la aplicación de métodos numéricos de perturbación para su obtención. Por otra parte, Johnston and Pilgrim (1976) señalan que los métodos basados en la evaluación de las derivadas se enfrentan con el problema de las discontinuidades, siempre presentes, en la superficie formada por la función objetivo, lo cual afecta adversamente al funcionamiento de este tipo de métodos. Mediante ejemplos sencillos analizan como los umbrales que definen las capacidades de almacenamiento en los distintos elementos considerados (ej: intercepción, almacenamiento en depresión, suelo etc) crean superficies discontinuas de la función objetivo.

El método de búsqueda directa más utilizado es el de búsqueda con rotación de ejes (Rosenbrock, 1960). Está basado en el de búsqueda univariada, en el cual se realiza la optimización sucesiva de la función objetivo dejando en movimiento cada vez uno de los parámetros y fijando el resto. Cuando todas las 'n' direcciones según los parámetros han sido investigadas sucesivamente, termina una iteración y la búsqueda

es repetida empezando desde los mejores valores encontrados para los parámetros. La mayor debilidad del método de búsqueda univariada es que no puede optimizar satisfactoriamente problemas donde las curvas de nivel de la superficie de la función objetivo presentan formas alargadas e inclinadas respecto a los ejes de los parámetros. Tales situaciones son normales cuando existe algún grado de dependencia o correlación entre parámetros. El proceso degenera entonces en una búsqueda en zigzag de progresión muy lenta hacia el óptimo. El método de búsqueda con rotación de ejes es similar en su primera fase pero cuando se producen estructuras como la anteriormente comentada recurre a rotaciones de los ejes de los parámetros, o a realizar la búsqueda del mínimo de la función según combinaciones lineales de los parámetros. Este método progresa muy rápidamente en esas estructuras evitando la debilidad del método de búsqueda univariada. En este trabajo se ha utilizado el algoritmo de optimización de Rosenhrock con pequeñas modificaciones operacionales relativas a los criterios de convergencia.

Problemática de la Optimización

Algunas de las dificultades que se encuentran los métodos de optimización en su búsqueda del mínimo de la función objetivo son:

a) Indiferencia de la función objetivo a los valores de los parámetros. Esto tiene lugar cuando las salidas del modelo, y por tanto el valor de la función objetivo no es afectada por cambios en el valor de un parámetro, bien porque este representa procesos que no son esenciales en la modelación, bien porque no es activado por la secuencia de datos utilizada en la calibración. Si al aumentar la secuencia de datos no se consigue activar el parámetro, ello revela que en la etapa de formación conceptual del modelo se han introducido procesos de escasa importancia. Para detectar este tipo de problemas y evitar interpretaciones físicas erróneas de los parámetros, es aconsejable utilizar técnicas de análisis de sensibilidad.

1327

b) Interdependencia entre los parámetros del modelo. Se produce cuando un cambio en el valor de un parámetro puede compensarse por cambios en uno o más del resto de parámetros. Un gran número de combinaciones de los valores de los parámetros dará valores similares en la función objetivo. Esta circunstancia es muy habitual en modelos de muchos parámetros donde se crean valles de fondo alargado en la forma de la superficie de la función objetivo incrementándose así la dificultad en la optimización. El algoritmo de Rosenbrock intenta facilitar la optimización en esos casos. Sin embargo, este hecho suele indicar una formulación no adecuada en la estructura del modelo. La obtención de la matriz de correlación de las estimas de los parámetros puede ser muy útil cuando el número de parámetros es superior a dos y el dibujo de gráficos de la superficie respuesta es una tarea dificultosa.

El efecto de interdependencia (o correlación) en la modelación lluvia-caudal es discutido por Johnston and Pilgrim (1976) y Mein and Brown (1978). Sorooshian and Arfi (1982) proponen varias medidas de interacción o interdependencia de los parámetros.

c) Optimos locales. Estos son puntos de la superficie de la función objetivo que tienen valores más bajos de ésta que cualquiera de los puntos que los rodea, pero más grandes que cualquier otro punto o puntos en otra región de la superficie respuesta. La búsqueda puede, por tanto, terminar en un punto que no es el óptimo absoluto. Este problema se presenta habitualmente en la modelación hidrológica y es más acusado a medida que crece el número de parámetros. La única solución para acercarse al mínimo absoluto es realizar un barrido repitiendo el proceso de optimización con 'm' conjuntos de valores iniciales de los parámetros, e incluso en ese caso no se sabrá si se ha alcanzado el óptimo. El no alcanzarlo no es problemático si el ajuste es satisfactorio y las propiedades de los residuos son aceptables.

Si los datos estuviesen libres de error y el modelo tuviese un único parámetro no se producirían mínimos locales. A medida que crece el número de parámetros y los

datos presentan mayor grado de error aumentan esos mínimos. Una mejor representación de la estructura estocástica de los residuos o errores mediante los criterios objetivo facilitará la identificación del fenómeno de interdependencia de parámetros (estrechamente relacionados con su número y representación conceptual realizada), como causa fundamental de aparición de mínimos locales.

d) Identificabilidad y unicidad de la solución. La cuestión de la identificabilidad y unicidad de parámetros es considerada en detalle por Gupta and Sorooshian (1983) y Sorooshian, Gupta and Fulton (1983). Ellos argumentan que los parámetros umbrales, técnicamente identificables para un período de calibración suficientemente largo, pueden en algunos casos no ser activados por series más pequeñas de datos, haciendo que estimas únicas no sean posibles de obtener. Este hecho, claramente intuitivo, no parece ser la única causa. Troutman (1985) señala que el problema de la identificación y unicidad está estrechamente ligado con el de la correlación entre parámetros. Un ejemplo de un conjunto de parámetros que no son identificables sería b_1 y b_2 , si estos dos parámetros apareciesen en el modelo solo como suma $b_1 + b_2$, o producto $b_1 b_2$. En ese caso, no serían identificables ya que se podrían modificar sus valores manteniendo la suma o el producto constante y no alterando, por tanto, los resultados de la predicción. Tal modelo se dice estar sobreparametrizado. En ocasiones, expresiones de los parámetros más complejas, que en principio no parecen mostrar interdependencia, pueden enmascarar relaciones como las arriba expuestas para ciertas secuencias de datos.

e) Estimaciones de parámetros fuera de rangos físicos aceptables. Este problema podría resolverse planteando algoritmos de optimización con restricciones, aunque ello no es aconsejable, pues suele producirse en los casos siguientes: a) la estructura del modelo es incorrecta, b) el criterio objetivo no es adecuado, c) los datos de calibración presentan fuertes incoherencias entre sí; no errores aleatorios o incluso sistemáticos, que pueden ser tratados con alguna de las funciones objetivo propuestas. Si los valores óptimos de los parámetros no estuviesen dentro del subespacio de los parámetros considerado como factible, habría que cuestionar y analizar las

1329

situaciones anteriores. Troutman (1985) indica que los errores en los datos de entrada parecen ser la causa más relevante de las estimas no realistas de los parámetros.

f) Escasez de datos de calibración. Muchos investigadores han sugerido utilizar series muy largas para mejorar los resultados de la calibración. Sin embargo, no es la longitud de las series de datos, sino la información contenida en ellas (variabilidad hidrológica) lo que es importante. Sorooshian, Gupta and Fulton (1983) encontraron que con su procedimiento de calibración obtenían estimas realistas de los parámetros con sólo un año de datos de calibración; el uso de series más largas sólo mejoraba marginalmente las estimas. Recomendaron que no se usara menos de un año hidrológico y si fuese posible se utilizaran años húmedos y secos, para así asegurar la activación de todos los parámetros del modelo durante la calibración.

Toda esta problemática, que no solo se plantea en la calibración automática, sino de igual modo cuando ésta se hace manualmente, puede propiciar errores importantes cuando se realiza la validación del modelo o lo que puede ser más grave, cuando se está inmerso en un proceso de regionalización, donde parámetros indiferentes o no identificables en unas cuencas se extrapolan a otras donde si lo son.

4. METODOLOGÍA

4.1 SELECCIÓN DEL PERIODO DE ESTUDIO

Se escogió un período homogéneo, iniciando en enero de 1970 y finalizando en diciembre de 1996; el cual se estableció debido a que los datos de la mayoría de las variables comienzan en este año y la longitud de registro (27 años) es recomendable para la modelación.

4.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROCLIMÁTICA

Se tomaron de los datos existentes en los trabajos realizados con anterioridad por Montoya (1995, 1997), Carvajal (1995). Que incluían registros de precipitación, evaporación y caudal.

4.3 SELECCIÓN DE LA RED DE MEDICIÓN

4.3.1 Estaciones pluviométricas

De acuerdo a criterios como ubicación, tiempo de registro y vigencia de funcionamiento, se escogieron las estaciones que integran la red pluviométrica. La Tabla 2 muestra las estaciones de precipitación seleccionadas, cuyos datos totales mensuales están en milímetros (mm).

Tabla 2. Estaciones pluviométricas

Estación	Categoría	Cuenca	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Periodo de registro (años)
Brasilia	PG	Cali	03°27'	76°38'	1864	32
Los Cristales	PG	Cañaveralejo	03°26'	76°35'	1312	28
Peñas Blancas	PG	Pichindé	03°25'	76°40'	2158	32
La Teresita	CO	Cali	03°27'	76°40'	1950	30
Yanaconas	PM	Pichindé	03°26'	76°36'	1730	43

Las estaciones seleccionadas cubren de manera homogénea las diferentes zonas de vida de las cuencas de los ríos Cali y Pichindé, es decir, parte alta media y baja.

4.3.2 Estaciones limnimétricas.

Los ríos escogidos del área de estudio tienen estaciones de aforo en pleno funcionamiento y disponen de información continua, Bocatoma (río Cali) y Pichindé (río Pichindé). La Tabla 3 muestra las estaciones limnimétricas, cuyos datos mensuales multianuales están en m³/s.

Tabla 3. Listado de las Estaciones Limnimétricas Seleccionadas.

Estación	Categoría	Cuenca	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Período de registro (años)
Bocatoma	LG	Cali	03°27'	76°34'	1050	51
Pichindé	LG	Pichindé	03°26'	76°37'	1500	28

4.3.3 Estaciones climatológicas.

En el área de estudio sólo existe una estación climatológica, ubicada en el bosque muy húmedo montano bajo de la cuenca hidrográfica del río Cali. Ver Tabla 4.

Tabla 4. Estación climatológica

Estación	Categoría	Cuenca	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Período de registro (años)
La Teresita	CO	Cali	03°27'	76°40'	1950	30

Tabla 5. Zona de influencia de las estaciones Climatológicas Cuencas Río Cali, Río Pichindé.

Estación	Rango de elevación (msnm)	Clasificación de Holdridge		Area (Km2)	
		Zona de Vida	Convención	Pichindé	Cali
La Teresita	> 1800	BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO BAJO	bmh-MB	42.13	84.95
El Topacio	1200- 1800	BOSQUE HUMEDO SUBTROPICAL	bh-ST	7.07	35.94
Univalle	1200 >	BOSQUE TROPICAL SECO	bs-T	0.00	2.01
TOTAL				49.20	122.90

4.4 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

4.4.1 Precipitación

Se aplicó la metodología de la curva de doubles acumulaciones, o doubles masas (Searcy (1983)):

Esta técnica se usa para verificar la consistencia de diversas clases de series hidrológicas, por medio de la comparación del dato acumulado de una estación, con el de otra, o una muestra obtenida de varias estaciones del área.

El gráfico de los datos acumulados de una de las variables, contra los datos acumulados de otra en estudio, es una línea recta tan extensa como la relación entre ellas se mantenga en proporción estable, la pendiente de la línea representa la constante de proporcionalidad entre las dos cantidades.

Un quiebre en la pendiente de la curva significa un cambio ocurrido en la constante de proporcionalidad entre las dos variables, o que la proporcionalidad no es constante para todos los valores acumulados.

Los quiebres en la curva de dobles masas son causados por cambios en la relación entre las variables, y pueden deberse a cambios en el método de toma de los datos o a cambios físicos que afectan la relación. Se supone que año a año los quiebres son debidos a cambios aleatorios y, por tanto, se ignora cualquier quiebre que persista por menos de cinco años.

Cuando la curva de dobles masas de los datos de precipitación para una estación en particular, tiene un cambio en la pendiente, la serie para un conjunto de condiciones puede ser ajustada a lo que hubiese sido de haberse registrado bajo el otro grupo de condiciones.

Se tomó como patrón el promedio aritmético de las cinco estaciones pluviométricas del área, las estaciones La Teresita y Yanaconas presentaron inconsistencias, se realizó entonces un ajuste lineal de estos datos. En el anexo 2.1 se muestran las curvas de dobles masas.

4.4.2 Caudal

Se utilizó el método de la curva de dobles acumulaciones, o dobles masas, basándose en los mismos fundamentos aplicados a la información pluviométrica.

Análogamente a las estaciones pluviométricas, se confrontaron los registros de Pichindé y Bocatoma con el promedio aritmético de la lluvia registrada en la región. El anexo 2.2 presenta las curvas de dobles masas.

4.4.3 Aplicación de parámetros estadísticos.

Una vez ajustados los registros hidroclimáticos, se aplicaron sobre ellos los siguientes parámetros estadísticos: valor medio, valor mínimo, valor máximo, desviación típica y coeficiente de variación. Estos parámetros estadísticos pueden constituirse en criterios de decisión relacionados con la confiabilidad y homogeneidad de la información, así como con los rangos de fluctuación que se presentan en sus registros.

4.5 CALCULO COMPONENTES DEL MODELO

4.5.1 Precipitación media

Partiendo de los datos de precipitación mensual de 5 estaciones pluviométricas, se calculó la precipitación media aplicando el método de los polígonos de Thiessen Ver Tabla 6.; este dato depende de la precipitación en cada pluviómetro cercano, del área de solape entre sus correspondientes polígonos con la cuenca, y de la precipitación calculada a partir de las isoyetas Ver Tabla 7.

Tabla 6. Polígonos de Thiessen

Estación	Area (Km ²)		Porcentaje (%)	
	PICHINDE	CALI	PICHIDE	CALI
BRASILIA	5.04	18.72	10.24	25.40
LOS CRISTALES	0.00	5.83	0.00	7.91
PEÑAS BLANCAS	32.93	12.44	66.93	16.88
LA TERESITA	3.05	25.69	6.20	34.86
YANACONAS	8.18	11.02	16.63	14.95
TOTAL	49.20	73.70	100.00	100.00

Tabla 7. De ajuste de la Precipitación Media.

CUENCA	FACTOR DE AJUSTE											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RIO CALI	1.220	1.039	1.197	1.184	1.146	1.096	1.091	1.010	1.106	1.130	1.405	1.140
RIO PICHINDE	1.305	1.158	1.321	1.316	1.220	1.145	1.163	1.058	1.173	1.190	1.539	1.241

Matemáticamente, el método puede describirse así:

$P_{j,k}$ = La precipitación registrada en el pluviómetro j , en el mes k .

A_{pj} = Área del polígono de la estación j que se incluye en la cuenca

A_t = Área total de la cuenca.

X = número de estaciones con polígonos incluidos total o parcialmente en la cuenca.

n = número de años de las series.

Entonces la precipitación para un mes k determinado, considerando el procedimiento de los polígonos de Thiessen, resultará

$$P_{apk} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{j,k} A_{pj} / A_t$$

La precipitación media para todo el período calculada mediante polígonos corresponde a:

$$P_{ap} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{12n} P_{apk}$$

Si se llama P_i a la precipitación media calculada mediante la isoyeta, el valor de la precipitación correspondiente a cada mes será:

$$P_{ap} = \frac{1}{n} \sum P_{apk} P_i / P_{ap}$$

Posteriormente, se procedió a la delimitación de los polígonos de Thiessen de las estaciones pluviométricas de interés, determinándose el factor de representación dentro de la cuenca de cada una de ellas, así como la precipitación media de toda la cuenca. De esta forma las series de precipitación mensual de las diferentes estaciones fueron afectadas por su correspondiente factor de representación, así como las correspondientes a las isoyetas.

4.5.2 Evaporación Total

Se calculo la evaporación total ponderada en cada una de las cuencas, cuenca río Cali y cuenca río Pichindé, tomando los registros de tres estaciones climatológicas (La Teresita, Univalle y Topacio) y ponderando de acuerdo al área de influencia de cada una de ellas sobre las cuencas Ver Tabla 8.

Tabla 8. Factor de ponderación de Estaciones Climatológicas

Estación	CUENCA	
	PICHINDE	CALI
UNIVALLE	0.00	0.02
EL TOPACIO	0.14	0.29
LA TERESITA	0.86	0.69

4.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DE SIMULACIÓN

Los parámetros de los modelos fueron optimizados mediante calibración automática tratando de hacer mínima la suma de los cuadrados de los residuos, entendiendo como tales la diferencia entre los caudales generados por el modelo y los aforados.

El período de calibración se consideró adecuado 1970-77.

Una vez estimados los parámetros de cada modelo se modificaron ligeramente de modo que se igualasen los volúmenes escurridos tanto en los observados como en los simulados.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tabla 9 presenta los resultados preliminares de la calibración de los modelos **Témez** y **abcd**, en las cuencas de los ríos Cali y Pichindé. Se aplicaron 2 variantes en el método de cálculo de la precipitación media (polígonos de Thiessen e Isoyetas). Al observar el ajuste gráfico, se puede apreciar que el modelo **abcd** y el método de las Isoyetas, presenta los mejores resultados para ambas cuencas, con sumas de error en la función objetivo (6.0 Cuenca de Río Cali, y 13.8 Cuenca del Río Pichindé).

Así mismo, la diferencia entre el volumen observado y el simulado en las cuencas de los ríos Cali y Pichindé (escorrentía total del periodo) es muy baja (7.3% y 27.2% respectivamente). Comparada con el método de Thiessen.

Esto indica que es recomendable, el método de las Isoyetas frente a Thiessen, ya que este último es una conceptualización matemática que no representa la realidad de la distribución espacial de lluvia.

Por otro lado, la precipitación en las cuencas está fuertemente influenciada por la topografía, incidiendo en su comportamiento, por lo que resulta lógico esperar que con este método se obtengan mejores resultados en la calibración.

Se trata de representar en la calibración del modelo, los picos de los meses de invierno, aunque es necesario tener en cuenta que durante los periodos extremos húmedos, no todos los fenómenos hidrológicos tienen la misma importancia. La mayor parte del hidrograma de una crecida esta generada por la escorrentía superficial, por lo que al modelar las crecidas, toma fuerza el análisis de producción y traslación de la escorrentía, despreciándose otros como el flujo base, evapotranspiración potencial, percolación, etc.

Los modelos de balance continuo como el **abcd** y el **Témez**, tratan de presentar un ajuste ponderando tanto en los periodos secos como húmedos, simplificando el proceso de las crecientes, como es la traslación hasta el punto de interés, que depende entre otros de la topografía, del sitio donde se generó la tormenta, etc.

Los modelos **abcd** y **Témez**, por ser agregados, consideran que la lluvia es uniforme sobre la cuenca obteniendo su magnitud por ponderación aerea, y los parámetros de los diferentes submodelos son globales y permanecen constantes a lo largo de un episodio. Adicionalmente, la simulación se realiza dentro de cada intervalo de tiempo. todo esto ocasiona limitaciones a la hora de simular en intervalos de tiempo más cortos, como horas o días. Surgen como alternativas los modelos distribuidos, que involucran la variabilidad de los parámetros de los submodelos; y la simulación dentro de cada intervalo de tiempo es simultanea. Se debe anotar que existen modelos distribuidos propiamente dichos, en los que los procesos hidrológicos se simulan en cada celda, y los seudodistribuidos, en los que la cuenca se divide en muchas pequeñas subáreas con precipitación y parámetros uniformes.

La tendencia actual se orienta a la modelación distribuida en perjuicio de la seudodistribuida; aunque en ambas el numero de parámetros crece proporcionalmente a la subdivisión de la cuenca, la primera refleja mejor la variabilidad del proceso físico (siempre y cuando el modelo sea aplicable a la escala de la celda elegida), puesto que la modelación seudodistribuida no deja de ser una modelación conceptual agregada aplicada en múltiples subáreas

REFERENCIAS

ALLEY, W.M. (1984). On the Treatment of Evapotranspiration, Soil Moisture Accounting and Aquifer. Recharge 'in Monthly Water Balance Models'. Water Resources Research. Vol 20. No. 8. Pages 1137- 1149. August 1984.

CARRERA, J. (1985). "La informática aplicada a la contaminación de las aguas". Aguas Subterráneas. Conferencia sobre Hidrología General y Aplicada. 3ª PONENCIA. Salón Internacional del Agua - SMAGUA/85 - ZARAGOZA. España.

CARVAJAL, Y. (1995). Estudio Probabilístico de Precipitación y Caudal en la Cuenca Hidrográfica del Río Cali. Tesis de Grado. Universidad Nacional. Magister en Suelos y Aguas. Colombia.

CARVAJAL, Y. JIMÉNEZ, H. (1997). Vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas de Cali. Aspectos hidrometeorológicos.

CARVAJAL, Y. MATERON, H. JIMÉNEZ, H. (1997). Propuesta técnico-económica determinación de áreas estratégicas en la cuenca del río Cali para optimizar el manejo de los recursos naturales. Universidad del valle. Grupo hidrología, riegos y drenajes.

GRUPO HIDROLOGÍA, RIEGOS Y DRENAJES. (1998). Determinación de modelos de predicción de lluvia y caudal en el municipio de Santiago de Cali utilizando variables macro climáticas asociadas al ENOS. Propuesta técnica. Universidad del valle.

INFORME CVC NO. 85-2 (GONZÁLEZ, 1984), "Distribución mensual y anual de la precipitación en las cuencas hidrográficas del Alto Cauca, Anchicayá, Dagua y Calima", obtenida a partir del procesamiento de datos de 294 estaciones de la CVC, del HIMAT, de CENICAFÉ y de CENICAÑA.

1340

JAKEMAN, A. J., HORNBERGER, G.M., How much complexity is warranted in a rainfall-Runoff model?. Water Resour. Res. , 29, 2637-2649, 1993.

MONTOYA, A. (1995). Sistematización y Actualización del Balance de Producción Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Río Cali. Trabajo de Grado. Universidad Nacional – Universidad del Valle. Ingeniería Agrícola. Colombia.

O.S.S.O (1996). Plan para la Mitigación de Riesgos en Cali. Alcaldía de Cali. Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres.

PALMER, W.C. (1965) "Meteorologic drought". Res Pap. U.S. Weather Bur., 45,58 pp., 1965.

SINGH, y. P. (1988). Hydrologic Systems. Volume 1. Rainfall - Runoff Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632

SOROOSHIAN, S. (1983). Surface Water Hydrology: On Line Estimation. Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol - 21.NO.3, Pages 706-721, April 1.983. National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1.979-1982.

TEMEZ, J.R. (1977) 'Modelo matemático de transformación-Aportación'. Asinel 1997.

THOMAS, H.A. and FIERING, M.B. (1962) "Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation". In Design of Water Resources System (A. Mass et al; eds), pp. 459-493, Cambridge, Massachusetts, Harward University Pless.

THORNTHWAITE, C.W. and MATHER, J.R. (1955) "The water balance". Publ. Climatol. Lab. Climatol. Drexel. Inst. Technol., 8 (1) 1-104, 1955.

ANEXOS

(Registros Modelo Iluvia –Caudal)

ANEXO 1. REGISTROS HIDROCLIMATOLOGICOS

ANEXO 1.1 PRECIPITACIÓN

Categoría: Pluviográfica
 Subcuenca: Río Cali
 Longitud: 76°38'
 Latitud: 03°27'
 Elevación: 1864 msnm

1344

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	42	89	116	232	221	125	132	106	71	160	126	80	1500
1971	113	151	310	192	233	133	68	132	136	238	163	133	2002
1972	165	84	75	169	206	189	94	105	90	100	92	111	1480
1973	33	20	147	124	239	132	100	197	205	151	250	127	1725
1974	91	248	217	197	208	118	44	90	167	159	152	53	1744
1975	82	134	58	105	235	167	223	191	120	288	120	181	1904
1976	108	88	171	173	156	81	1	32	52	156	61	96	1175
1977	36	36	111	100	157	51	67	150	152	184	131	96	1271
1978	63	105	173	277	163	58	125	29	116	81	93	150	1433
1979	88	42	103	259	222	219	54	174	92	67	63	118	1501
1980	77	89	73	166	125	101	64	83	53	307	90	154	1382
1981	56	67	80	136	269	155	85	164	83	138	131	130	1494
1982	83	140	137	256	219	77	77	10	184	119	92	61	1455
1983	21	7	203	144	206	140	65	34	73	83	104	160	1240
1984	169	223	87	236	187	147	89	125	158	178	164	77	1840
1985	127	68	171	75	153	71	52	79	145	181	123	58	1303
1986	208	102	143	161	153	132	8	61	62	286	226	12	1554
1987	46	81	83	229	110	106	77	81	148	187	154	155	1457
1988	16	105	49	175	172	159	126	144	75	117	202	169	1509
1989	179	128	84	88	243	158	13	69	75	149	97	47	1330
1990	84	133	95	138	64	27	19	24	87	229	121	92	1113
1991	30	41	173	190	148	96	44	57	140	38	77	66	1100
1992	54	59	47	121	110	15	54	70	90	118	112	77	928
1993	57	141	105	249	229	166	29	31	132	99	127	49	1414
1994	76	126	163	340	264	48	87	167	38	157	164	76	1706
1995	63	12	176	134	180	279	78	99	78	200	73	160	1532
1996	71	113	214	122	170	167	115	92	162	89	149	99	1563
MEDIO	82.9	97.5	132.0	177.3	186.7	122.9	73.7	96.1	110.5	157.7	128.0	103.2	1468.7
MÍNIMO	16.0	7.0	47.0	75.0	64.0	16.0	1.0	10.0	38.0	38.0	61.0	12.0	928.0
MÁXIMO	208.0	248.0	310.0	340.0	269.0	279.0	223.0	197.0	205.0	307.0	250.0	181.0	2002.0
DESV STD	49.88	57.25	61.94	64.96	50.73	59.52	46.40	54.29	41.82	68.59	46.83	44.63	250.03
COEF VAR	0.60	0.59	0.47	0.37	0.27	0.48	0.63	0.56	0.41	0.43	0.37	0.43	0.17

Estación: LOS CRISTALES
 Categoría: Pluviográfica
 Subcuenca: Cañaveralito
 Longitud: 76°35'
 Latitud: 03°26'
 Elevación: 1312 msnm

Código: 2622330105

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	25	123	116	231	251	110	65	121	105	168	205	100	1620
1971	170	148	487	174	270	88	36	194	165	270	80	45	2127
1972	282	138	218	208	142	185	24	25	12	79	190	33	1536
1973	0	58	116	224	260	126	157	305	200	256	335	218	2255
1974	91	436	314	186	194	165	71	107	143	190	299	72	2268
1975	109	226	232	144	282	166	174	230	166	389	229	283	2630
1976	64	25	226	101	233	93	0	43	60	190	107	105	1247
1977	57	5	121	157	109	75	120	109	197	214	131	108	1403
1978	58	72	213	340	268	41	120	60	64	94	102	301	1733
1979	34	58	148	305	197	113	121	129	58	174	121	177	1635
1980	115	119	64	166	174	65	29	45	65	365	96	172	1475
1981	82	68	149	373	286	114	75	95	37	198	265	204	1946
1982	124	160	195	270	244	108	20	6	127	229	151	138	1772
1983	17	5	228	186	159	145	61	14	84	62	70	246	1277
1984	242	334	139	299	222	208	24	151	286	227	293	110	2535
1985	152	24	196	57	146	113	56	55	170	248	181	98	1496
1986	271	135	127	338	165	140	5	56	58	386	208	37	1926
1987	114	122	148	271	140	106	104	90	102	345	206	165	1913
1988	73	67	152	216	280	234	84	125	123	237	270	289	2150
1989	166	146	79	123	242	147	7	50	143	353	135	103	1694
1990	92	118	97	225	135	72	15	43	33	309	129	131	1399
1991	19	123	104	111	231	93	71	9	179	90	132	58	1220
1992	72	160	54	163	182	9	34	25	157	132	163	129	1280
1993	105	151	297	336	277	40	60	20	132	105	167	41	1731
1994	124	134	211	607	282	36	62	34	83	223	342	170	2308
1995	94	20	210	190	158	218	171	117	68	207	124	221	1798
1996	80	103	269	158	315	233	169	71	232	264	173	197	2264
MEDIO	104.8	121.4	181.9	228.1	216.4	120.1	71.7	86.3	120.3	222.4	181.6	146.3	1801.4
MÍNIMO	0.0	5.0	54.0	57.0	109.0	9.0	0.0	6.0	12.0	62.0	70.0	33.0	1220.0
MÁXIMO	282.0	436.0	487.0	607.0	315.0	234.0	174.0	305.0	286.0	389.0	342.0	301.0	2630.0
DESV STD	72.40	94.81	91.54	110.80	58.56	60.67	53.62	71.43	66.41	94.27	77.19	79.17	404.83
COEF VAR	0.69	0.78	0.50	0.49	0.27	0.51	0.75	0.83	0.55	0.42	0.42	0.54	0.22

1345

Estación: PEÑAS BLANCAS
 Categoría: Pluviográfica
 Subcuenca: Pichindé
 Longitud: 76°40'
 Latitud: 03°25'
 Elevación: 2168 msnm

Código: 2822410104

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	104	40	90	210	135	224	85	51	148	267	243	161	1756
1971	182	321	422	215	258	141	56	180	224	344	135	217	2702
1972	209	69	172	259	264	211	113	102	112	185	179	161	2036
1973	52	19	144	205	269	214	171	239	232	224	264	228	2261
1974	168	190	183	267	134	132	83	88	191	302	152	81	1971
1975	98	326	212	137	334	178	199	225	158	278	324	330	2797
1976	119	262	296	302	172	91	2	91	78	318	98	103	1928
1977	55	74	78	137	208	138	149	125	233	242	184	146	1777
1978	62	89	210	325	243	98	48	37	183	367	122	115	1909
1979	89	85	138	298	213	27	152	183	88	173	90	188	1732
1980	87	127	31	220	155	172	89	44	63	316	108	131	1523
1981	121	158	181	183	278	180	20	184	101	258	110	161	1833
1982	223	224	308	304	323	74	134	8	151	282	228	112	2375
1983	37	26	425	253	246	183	44	21	62	165	102	169	1743
1984	188	285	114	374	353	182	118	84	278	308	222	145	2837
1985	229	107	237	300	213	97	80	168	198	259	144	87	2119
1986	237	181	38	184	147	178	6	109	147	386	239	36	1888
1987	111	104	177	142	228	83	134	132	229	241	108	127	1812
1988	96	94	82	317	155	340	121	102	177	184	260	142	2050
1989	183	169	71	142	206	220	34	153	145	230	112	72	1717
1990	100	185	155	225	172	105	60	39	128	232	155	176	1712
1991	46	142	159	258	287	145	61	22	189	146	121	102	1678
1992	108	158	75	119	239	183	38	65	97	63	178	84	1385
1993	169	178	270	345	295	145	63	32	195	161	163	69	2083
1994	179	163	220	238	365	49	88	39	43	141	230	89	1844
1995	71	32	170	178	275	208	180	126	145	260	104	139	1888
1996	138	145	369	224	341	198	133	76	134	255	197	273	2481
MEDIO	126.6	145.6	186.0	235.5	240.9	154.2	91.1	101.5	153.1	243.4	169.5	142.7	1990.2
MÍNIMO	37.0	18.0	31.0	119.0	134.0	27.0	2.0	6.0	43.0	63.0	90.0	36.0	1385.0
MÁXIMO	237.0	326.0	425.0	374.0	365.0	340.0	199.0	238.0	278.0	388.0	324.0	330.0	2797.0
DESV STD	60.24	84.71	107.37	89.87	88.88	66.64	53.75	65.40	60.25	75.80	63.42	85.38	351.85
COEF VAR	0.48	0.58	0.58	0.30	0.29	0.43	0.59	0.64	0.39	0.31	0.37	0.46	0.18

Estación: LA TERESITA
 Categoría: Climatológica
 Subcuenca: Cell
 Longitud: 76°40'
 Latitud: 03°27'
 Elevación: 1950 msnm

Código: 2822400201

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	57	84	101	217	185	173	42	80	86	183	102	48	1278
1971	96	115	180	115	158	105	91	109	131	139	83	109	1411
1972	123	86	71	99	113	150	41	101	162	75	57	87	1145
1973	39	24	105	132	88	193	105	91	29	161	237	144	1338
1974	312	208	187	215	258	213	163	191	308	348	210	89	2649
1975	50	256	97	175	354	50	224	248	208	273	202	237	2374
1976	162	167	193	213	147	80	3	55	90	173	40	180	1503
1977	29	49	117	149	352	100	99	103	177	237	123	123	1858
1978	66	82	271	336	251	144	179	29	183	173	78	238	1888
1979	85	37	95	131	250	67	108	250	297	475	80	167	2032
1980	209	205	183	260	165	223	70	55	85	320	270	215	2280
1981	45	159	185	315	27	187	89	137	160	238	122	126	1788
1982	140	170	233	381	262	108	121	36	209	217	143	122	2140
1983	38	11	258	46	170	102	49	25	86	130	113	132	1140
1984	150	265	69	271	308	188	70	178	150	238	205	94	2170
1985	202	87	192	97	257	109	71	124	191	248	225	67	1870
1986	224	119	80	180	156	89	10	103	112	378	219	32	1881
1987	72	125	78	196	104	115	79	78	245	235	236	141	1704
1988	63	125	38	283	148	248	157	203	129	186	227	142	1935
1989	104	138	78	122	181	184	15	81	75	158	113	75	1305
1990	94	153	131	165	112	38	44	28	101	162	195	114	1337
1991	23	43	188	185	182	138	40	57	127	68	129	102	1280
1992	60	58	80	181	142	57	82	89	118	84	134	103	1108
1993	78	176	113	285	198	161	27	23	189	231	178	88	1886
1994	128	176	159	300	382	61	86	84	75	238	184	84	1933
1995	78	13	153	134	165	221	132	151	112	308	78	186	1725
1996	91	151	285	169	364	198	116	59	233	195	198	191	2250
MEDIO	103.9	118.9	142.9	186.0	200.5	135.5	84.9	101.8	147.3	218.0	154.8	125.4	1727.8
MÍNIMO	23.0	11.0	36.0	45.0	27.0	38.0	3.0	23.0	29.0	68.0	40.0	32.0	1108.0
MÁXIMO	312.0	266.0	285.0	381.0	364.0	248.0	224.0	250.0	308.0	475.0	270.0	238.0	2649.0
DESV STD	69.18	71.15	87.98	82.07	90.51	60.14	53.95	65.03	70.03	93.28	64.74	55.74	420.42
COEF VAR	0.67	0.60	0.48	0.42	0.45	0.44	0.64	0.64	0.48	0.43	0.42	0.44	0.24

Estación: YANACONAS
 Categoría: Pluviométrica
 Subcuenca: Pichindé
 Longitud: 76°36'
 Latitud: 03°26'
 Elevación: 1730 msnm

Código: 2622410102

1346

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0	38	45	128	69	100	4	91	41	83	105	25	728
1971	157	135	397	205	541	158	82	238	282	348	237	183	2942
1972	211	92	69	201	261	238	20	97	66	113	263	97	1728
1973	21	39	98	317	347	153	106	332	232	157	291	126	2219
1974	75	247	198	225	187	134	47	100	190	217	128	12	1758
1975	12	140	92	126	272	155	136	224	173	328	214	335	2209
1976	109	165	118	285	294	80	1	28	64	184	69	99	1486
1977	19	33	130	102	95	85	112	127	178	128	63	85	1186
1978	99	116	228	260	190	86	115	19	109	82	81	132	1527
1979	72	31	120	111	226	215	71	149	109	178	120	158	1559
1980	82	183	82	188	149	85	37	74	79	489	137	131	1687
1981	25	131	151	348	448	181	73	168	31	205	234	154	2147
1982	117	103	170	333	238	108	47	39	168	185	130	108	1724
1983	28	13	188	207	173	125	41	20	67	82	49	135	1138
1984	307	287	82	251	238	181	81	152	215	262	267	73	2406
1985	183	42	185	113	171	120	54	119	196	210	167	71	1631
1986	278	152	123	185	142	130	3	68	25	363	123	42	1634
1987	77	85	125	326	213	124	120	62	108	289	197	268	1960
1988	27	57	105	168	190	183	100	120	113	231	255	229	1768
1989	148	164	111	122	312	238	40	222	190	499	131	139	2314
1990	219	345	138	248	98	55	38	28	74	304	110	122	1774
1991	43	38	160	354	158	89	86	11	220	68	138	87	1430
1992	57	99	51	78	136	22	17	25	149	127	164	118	1043
1993	78	135	155	358	244	14	9	5	113	103	138	17	1387
1994	40	57	81	227	173	17	58	48	44	149	174	68	1156
1995	53	0	166	159	177	235	136	50	56	241	152	135	1560
1996	28	84	244	128	208	241	87	55	121	172	127	182	1667
MEDIO	95.0	108.8	140.3	213.0	220.3	132.2	64.3	98.7	125.2	213.8	159.3	123.7	1895.5
MÍNIMO	0.0	0.0	45.0	78.0	88.0	14.0	1.0	5.0	25.0	66.0	49.0	12.0	728.0
MÁXIMO	307.0	345.0	397.0	358.0	541.0	241.0	138.4	332.0	282.0	499.0	291.0	335.0	2942.0
DESV STD	82.90	83.21	73.28	86.87	103.31	87.81	41.90	81.79	68.88	116.67	64.46	73.41	472.68
COEF VAR	0.87	0.76	0.52	0.41	0.47	0.51	0.65	0.83	0.55	0.55	0.40	0.58	0.28

ANEXO 1.2 CAUDAL

Estación : BOCATOMA
Categoría: Limnigráfica
Subcuenca: Río Cali
Longitud: 76°34'
Latitud: 03°27'
Elevación: 1150 msnm

Código: 2622400401

1348

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m³/s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	2.4	3.2	4.0	5.2	6.1	5.1	3.0	2.6	3.0	4.5	6.8	2.9	4.1
1971	3.4	3.6	3.6	4.8	5.7	4.4	3.2	2.3	2.6	4.1	5.1	4.1	3.9
1972	3.4	3.6	3.6	4.8	5.7	4.4	3.2	2.3	2.6	4.1	5.1	4.1	3.9
1973	3.4	3.6	2.1	2.8	3.2	4.2	3.5	3.0	4.3	3.7	6.3	5.9	3.8
1974	3.4	6.3	7.1	7.2	8.5	4.4	3.3	2.8	3.0	4.6	5.7	3.0	4.9
1975	3.0	4.7	5.5	4.3	6.4	4.7	5.2	4.7	5.0	5.6	7.9	8.6	5.5
1976	3.9	4.6	5.3	5.7	9.1	4.0	2.8	2.5	2.6	4.2	5.3	5.9	4.7
1977	3.1	2.2	2.3	3.0	3.5	3.3	3.0	3.0	3.0	4.4	6.4	4.0	3.4
1978	3.6	3.3	3.5	6.9	6.3	4.4	3.7	3.1	2.9	3.4	2.4	3.1	3.9
1979	2.1	2.2	3.6	4.6	4.8	6.5	3.2	2.7	4.1	3.7	2.8	2.3	3.6
1980	2.6	3.7	2.8	2.8	3.2	4.1	2.1	1.0	0.8	4.6	3.3	3.8	2.9
1981	2.6	3.6	3.8	8.2	9.7	6.7	5.0	2.2	2.8	3.9	5.1	3.8	4.8
1982	6.0	4.9	6.4	8.3	7.6	4.4	2.5	1.4	2.1	4.9	4.8	3.8	4.8
1983	2.1	1.4	3.8	6.5	6.4	5.3	2.2	1.2	1.3	1.3	1.7	3.1	3.0
1984	4.0	4.3	2.4	3.8	6.8	5.1	5.1	2.4	3.6	6.1	8.0	4.3	4.7
1985	5.8	2.9	3.2	4.5	4.8	4.4	6.8	2.8	2.8	4.8	5.4	3.9	4.3
1986	5.6	6.7	5.1	4.8	3.8	3.6	2.6	1.9	2.0	6.2	7.0	3.9	4.4
1987	2.8	2.7	2.3	3.7	4.6	2.9	2.0	2.7	2.6	5.1	5.0	6.1	3.5
1988	2.8	3.0	2.4	4.0	4.9	6.7	5.1	3.2	4.6	5.5	7.3	6.0	4.6
1989	4.1	4.2	3.2	2.4	5.0	5.1	2.0	1.6	1.7	3.8	4.4	3.2	3.4
1990	3.2	3.5	3.6	4.9	4.5	2.1	1.4	1.1	1.1	3.3	6.0	3.5	3.2
1991	2.6	1.8	2.7	4.4	5.6	4.1	2.5	1.6	1.7	2.0	3.3	2.5	2.9
1992	1.8	2.0	1.6	2.1	3.4	2.3	1.7	1.1	1.2	1.5	2.5	2.6	2.0
1993	3.2	3.8	3.7	6.9	7.8	5.0	2.2	1.4	1.8	3.1	5.3	2.7	3.9
1994	3.7	4.2	4.8	9.5	8.5	8.8	2.6	1.4	1.2	2.5	3.7	3.4	4.5
1995	2.0	1.4	1.7	1.5	2.8	4.7	1.3	0.9	6.1	5.2	3.2	4.8	3.0
1996	2.0	3.2	7.6	5.4	9.1	5.9	4.8	1.5	2.3	4.3	4.7	4.9	4.6
MEDIO	3.29	3.49	3.76	4.93	5.85	4.69	3.18	2.17	2.69	4.08	4.97	4.08	3.93
MÍNIMO	1.75	1.44	1.59	1.54	2.78	2.15	1.29	0.90	0.75	1.33	1.73	2.30	1.97
MÁXIMO	6.04	6.66	7.60	9.53	9.70	8.81	6.75	4.70	6.09	6.21	7.98	8.58	5.46
DESV STD	1.11	1.28	1.56	1.99	2.01	1.40	1.35	0.89	1.28	1.25	1.70	1.41	0.80
COEF VAR	0.34	0.37	0.41	0.40	0.34	0.30	0.43	0.41	0.47	0.31	0.34	0.34	0.20

Estación : PICHINDÉ
Categoría: Limnigráfica
Subcuenca: Río Pichindé
Longitud: 76°37'
Latitud: 03°26'
Elevación: 1501 msnm

Código: 2622410401

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m³/s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	1.2	1.7	2.5	3.1	3.6	3.2	1.3	0.7	1.2	3.3	3.9	1.7	2.3
1971	2.0	2.1	2.1	2.9	3.4	2.7	2.1	1.6	1.8	2.5	2.9	2.4	2.4
1972	2.0	2.1	2.1	2.9	3.4	2.7	2.1	1.6	1.8	2.5	2.9	2.4	2.4
1973	2.0	2.1	0.9	1.3	1.6	2.5	2.0	1.3	3.1	2.2	3.6	3.5	2.2
1974	2.0	4.4	5.1	4.6	5.3	2.6	1.7	0.9	1.2	3.5	3.2	1.7	3.0
1975	1.7	3.0	3.7	2.5	3.8	2.9	4.3	3.6	4.1	4.8	4.6	5.1	3.7
1976	2.3	3.0	3.6	3.5	5.7	2.4	1.0	0.6	0.7	2.9	3.0	3.5	2.7
1977	1.8	0.9	1.0	1.4	1.9	1.8	1.3	1.2	1.2	3.1	3.7	2.3	1.8
1978	2.1	1.8	2.0	4.4	3.8	2.7	2.2	1.4	1.1	1.8	2.2	2.7	2.3
1979	1.8	1.3	1.9	2.8	3.0	3.6	1.2	1.7	3.0	2.0	1.3	1.4	2.1
1980	1.9	2.7	1.6	1.3	1.4	2.2	1.1	0.7	0.7	2.2	2.1	2.1	1.7
1981	1.4	1.6	2.4	5.1	6.0	5.1	2.6	1.9	1.8	2.1	2.5	2.2	2.9
1982	3.6	3.2	3.8	5.3	4.7	2.8	1.5	1.0	1.3	2.9	3.1	2.3	3.0
1983	1.3	1.0	2.5	3.6	3.2	3.6	1.5	0.8	0.4	0.9	0.9	1.9	1.8
1984	3.1	3.2	2.4	3.4	4.2	3.1	1.7	1.1	2.4	3.8	4.4	2.7	3.0
1985	3.8	2.1	1.8	2.6	2.8	2.7	1.0	1.3	1.6	2.4	2.7	1.8	2.2
1986	3.0	4.0	3.0	2.7	2.5	2.4	1.7	1.1	1.0	3.9	4.3	1.9	2.6
1987	1.5	1.5	1.6	1.7	2.3	1.4	0.9	1.2	1.0	3.2	2.8	3.3	1.9
1988	1.4	1.3	1.2	2.1	3.0	4.0	3.0	1.7	2.8	2.8	4.0	3.1	2.5
1989	2.0	2.3	1.8	1.9	2.8	2.5	1.4	1.6	1.1	2.3	2.1	2.1	2.0
1990	1.8	1.6	1.6	2.8	2.9	1.3	0.6	0.7	0.7	2.4	3.2	2.0	1.8
1991	1.6	1.1	1.6	2.7	3.3	2.5	1.4	1.1	1.2	1.4	1.9	1.5	1.8
1992	1.1	1.2	1.0	1.2	1.9	1.4	0.8	0.6	0.7	0.7	1.2	1.4	1.1
1993	1.9	2.5	2.6	4.6	4.3	2.4	1.1	0.7	0.9	1.7	2.2	1.9	2.2
1994	2.0	2.6	2.5	4.9	3.5	1.9	1.0	0.7	0.6	1.3	1.6	1.3	2.0
1995	0.8	0.6	0.8	1.0	1.9	2.2	0.7	0.6	1.6	2.6	2.3	2.0	1.4
1996	1.3	2.1	3.8	3.2	4.0	3.2	2.5	0.8	1.0	2.2	2.2	2.3	2.4
MEDIO	1.94	2.11	2.25	2.94	3.34	2.67	1.61	1.19	1.47	2.50	2.76	2.31	2.26
MÍNIMO	0.80	0.60	0.80	1.00	1.42	1.30	0.60	0.57	0.38	0.67	0.87	1.29	1.10
MÁXIMO	3.80	4.35	5.08	5.26	6.02	5.09	4.28	3.62	4.06	4.84	4.55	5.14	3.67
DESV STD	0.71	0.93	1.04	1.26	1.19	0.82	0.81	0.63	0.89	0.93	0.98	0.83	0.55
COEF VAR	0.36	0.44	0.46	0.43	0.36	0.31	0.50	0.53	0.60	0.37	0.36	0.36	0.25

ANEXO 1.3 EVAPORACION TOTAL

Estación: LA TERESITA
 Categoría: Climatológica
 Subcuenca: Cali
 Longitud: 76°40'
 Latitud: 03°27'
 Elevación: 1950 msnm

Código: 2622400201

1350

EVAPORACION TOTAL MENSUAL (mm)															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL		
1970	86	108	96	90	67	85	82	104	74	103	58	55	1008		
1971	68	91	86	75	70	78	85	83	89	70	74	71	942		
1972	77	102	90	75	65	74	82	75	74	53	73	55	895		
1973	75	118	96	71	80	69	72	67	71	50	59	59	858		
1974	60	76	68	62	83	83	72	76	83	56	60	65	803		
1975	70	72	77	64	74	62	68	65	75	49	58	55	789		
1976	74	88	60	61	55	63	83	98	87	42	66	55	863		
1977	87	100	113	81	59	60	75	78	78	46	69	59	885		
1978	72	74	86	50	48	65	78	94	93	66	68	78	871		
1979	68	98	96	65	64	62	86	69	75	52	60	52	847		
1980	74	81	95	65	63	68	81	93	91	53	49	41	854		
1981	65	77	82	56	67	65	57	84	67	54	49	40	753		
1982	54	64	82	81	52	61	68	53	76	49	63	45	727		
1983	76	64	83	49	59	56	65	74	73	57	60	47	783		
1984	56	72	49	52	56	58	60	85	63	46	47	60	884		
1985	53	83	84	59	54	64	69	66	56	47	58	54	747		
1986	64	69	67	54	52	60	68	66	77	37	47	59	719		
1987	68	93	78	55	64	67	67	75	76	47	58	63	789		
1988	75	82	95	56	60	59	62	62	63	46	50	48	759		
1989	61	154	94	67	69	77	80	85	69	60	72	60	948		
1990	61	48	48	38	30	49	50	30	47	24	28	20	475		
1991	61	37	60	56	37	69	74	74	89	61	53	60	737		
1992	64	56	83	68	65	72	57	81	71	68	71	61	817		
1993	65	89	75	48	44	66	70	89	48	17	25	19	535		
1994	18	37	76	56	82	22	78	69	50	64	60	34	649		
1995	75	68	76	57	50	64	71	58	70	66	73	57	793		
1996	48	52	53	79	52	68	112	64	85	64	64	59	811		
MEDIO	65.8	80.6	80.5	61.2	58.1	63.6	73.0	73.9	73.7	53.6	57.4	53.0	784.6		
MÍNIMO	19.0	37.0	48.0	38.0	30.0	22.0	50.0	30.0	47.0	17.0	25.0	19.0	475.0		
MÁXIMO	87.0	154.0	113.0	90.0	82.0	85.0	112.0	104.0	97.0	103.0	74.0	78.0	1008.0		
DESV STD	13.20	24.80	15.25	10.77	10.79	11.14	12.86	15.34	13.64	15.80	12.01	13.33	109.33		
COEF VAR	0.20	0.31	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18	0.21	0.19	0.30	0.21	0.25	0.14		

Estación: EL TOPACIO
 Categoría: Climatológica
 Subcuenca: Cali
 Longitud: 76°39'
 Latitud: 03°18'
 Elevación: 1676 msnm

Código: 2622110201

EVAPORACION TOTAL MENSUAL (mm)															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL		
1970	91	97	103	122	106	119	133	166	103	176	73	63	1352		
1971	72	82	94	101	109	110	138	132	124	120	95	81	1258		
1972	81	91	97	101	102	103	133	120	103	90	83	63	1177		
1973	80	107	103	96	94	83	118	107	98	85	75	68	1112		
1974	83	68	73	84	98	89	116	120	115	94	76	75	1071		
1975	74	65	83	67	116	87	110	104	104	83	73	63	1049		
1976	78	80	86	83	86	89	151	156	136	72	71	63	1151		
1977	92	90	121	83	93	85	122	124	108	78	88	68	1152		
1978	76	67	92	68	77	92	127	149	129	113	84	90	1184		
1979	72	88	103	89	100	87	140	110	104	90	76	60	1119		
1980	70	64	82	83	77	96	132	147	128	90	63	47	1057		
1981	69	68	88	83	60	89	100	76	89	83	67	41	904		
1982	76	83	88	51	81	52	103	133	78	88	67	47	927		
1983	78	67	79	65	92	104	104	108	87	85	77	92	1036		
1984	63	80	71	73	78	81	99	87	67	77	60	63	897		
1985	53	89	93	65	87	65	109	110	104	77	71	40	983		
1986	65	58	70	95	101	89	113	123	111	87	74	59	1054		
1987	73	89	86	88	79	94	95	118	118	67	59	74	1047		
1988	60	73	93	84	10	72	122	88	89	75	76	52	974		
1989	59	58	72	77	87	88	118	104	103	99	66	73	1000		
1990	74	61	109	75	78	88	100	115	105	87	76	60	1008		
1991	75	79	72	84	76	85	94	122	91	82	53	57	960		
1992	72	83	91	83	81	111	100	131	96	89	77	52	1076		
1993	63	63	82	70	80	82	100	114	83	80	73	63	953.5652		
1994	72	75	88	83	90	92	116	120	103	89	73	63	1062.982		
1995	72	75	88	83	90	92	116	120	103	89	73	63	1062.982		
1996	72	75	88	83	90	92	116	120	103	89	73	63	1062.982		
MEDIO	72.0	75.5	88.0	82.5	89.8	91.5	115.5	119.8	102.8	89.0	73.5	63.1	1063.0		
MÍNIMO	53.0	58.0	62.0	51.0	60.0	52.0	94.0	78.0	67.0	67.0	53.0	40.0	897.0		
MÁXIMO	92.0	107.0	121.0	122.0	116.0	119.0	161.0	166.0	136.0	176.0	95.0	92.0	1352.0		
DESV STD	8.74	12.89	13.26	14.49	12.80	12.57	16.13	19.63	15.57	21.26	9.39	12.63	103.31		
COEF VAR	0.12	0.17	0.15	0.18	0.14	0.14	0.13	0.16	0.16	0.24	0.13	0.20	0.10		

Estación: UNIVALLE
 Categoría: Climatológica
 Subcuenca: Cati
 Longitud: 78°32'
 Latitud: 03°22'
 Elevación: 970 msnm

Código: 2622320201

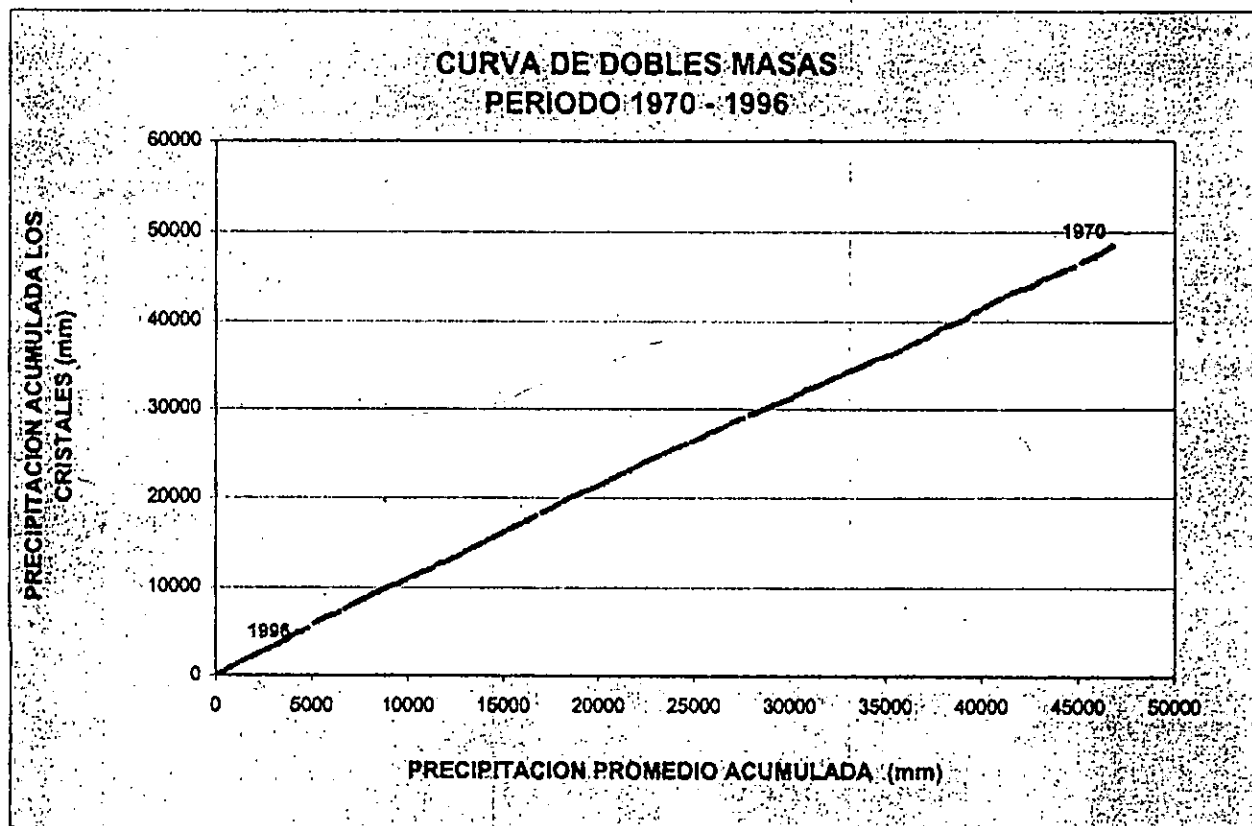
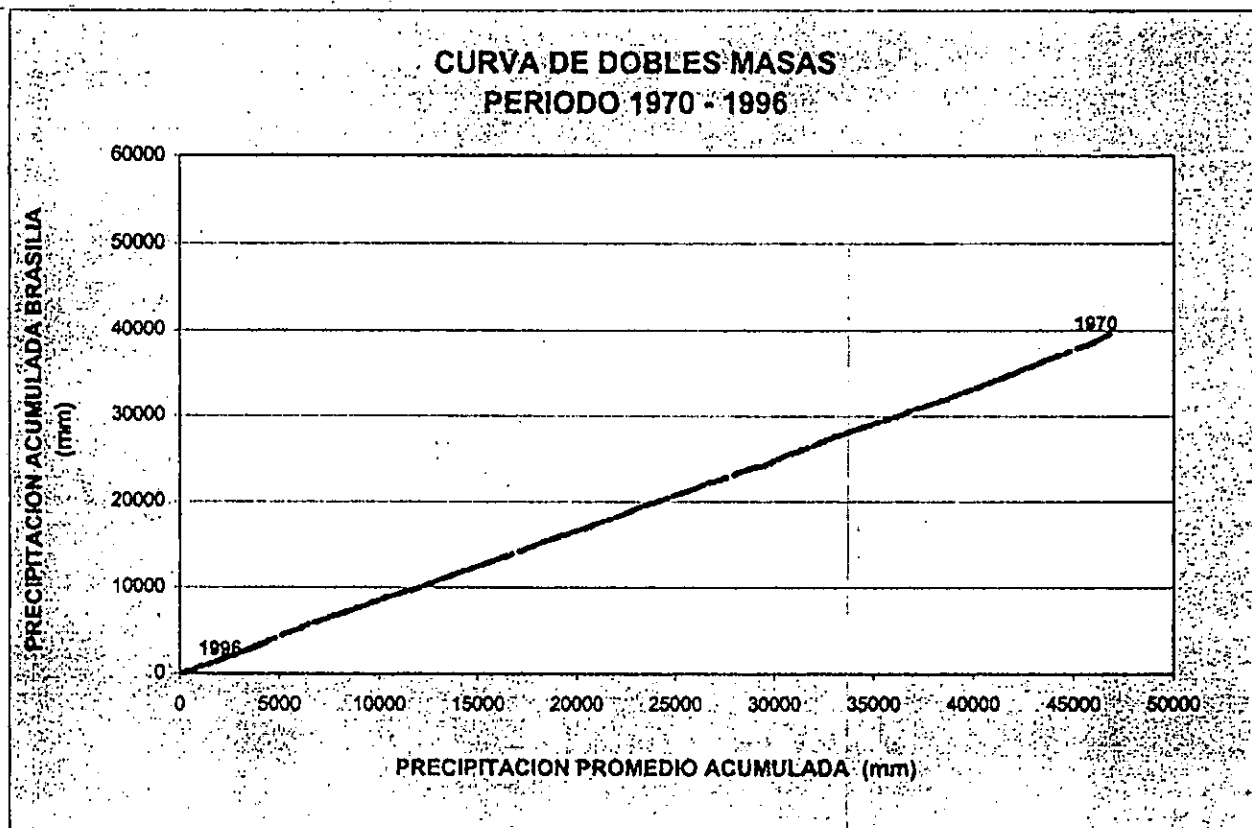
1351

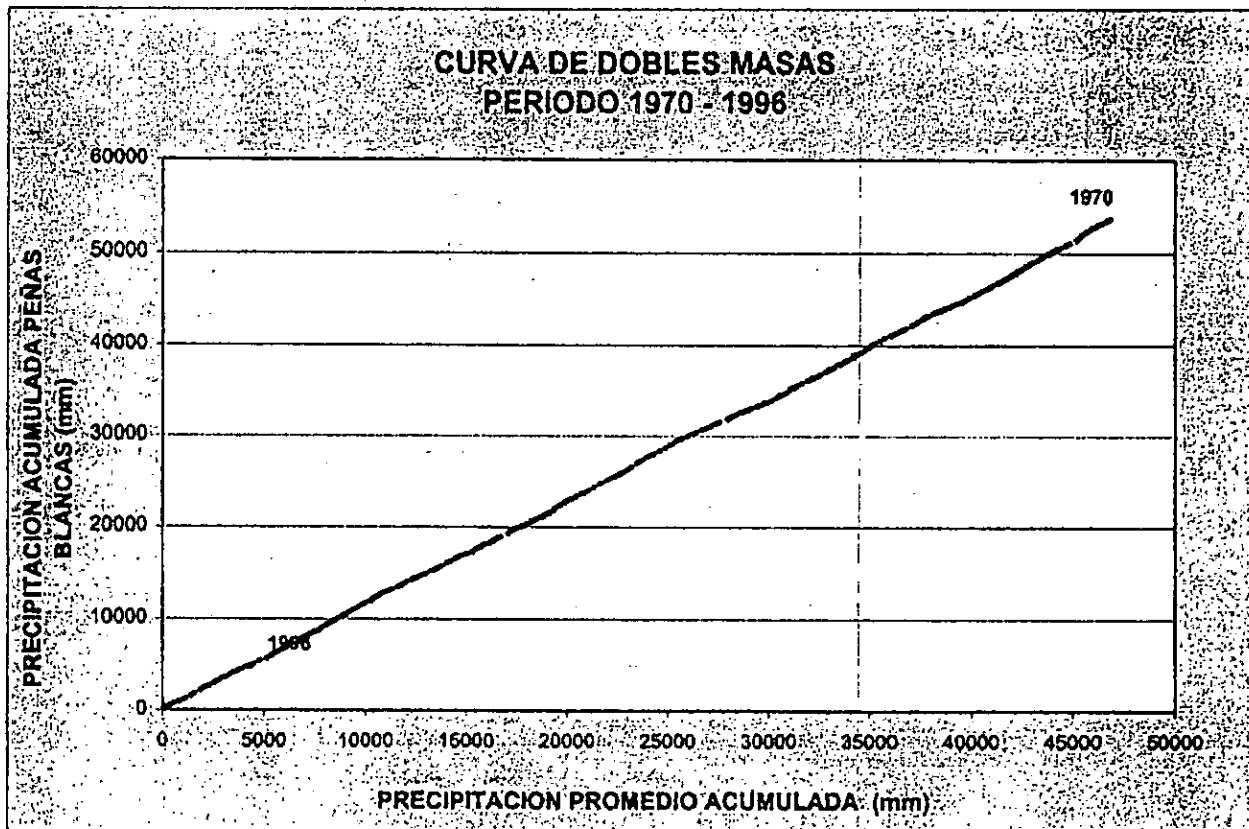
EVAPORACION TOTAL MENSUAL (mm)

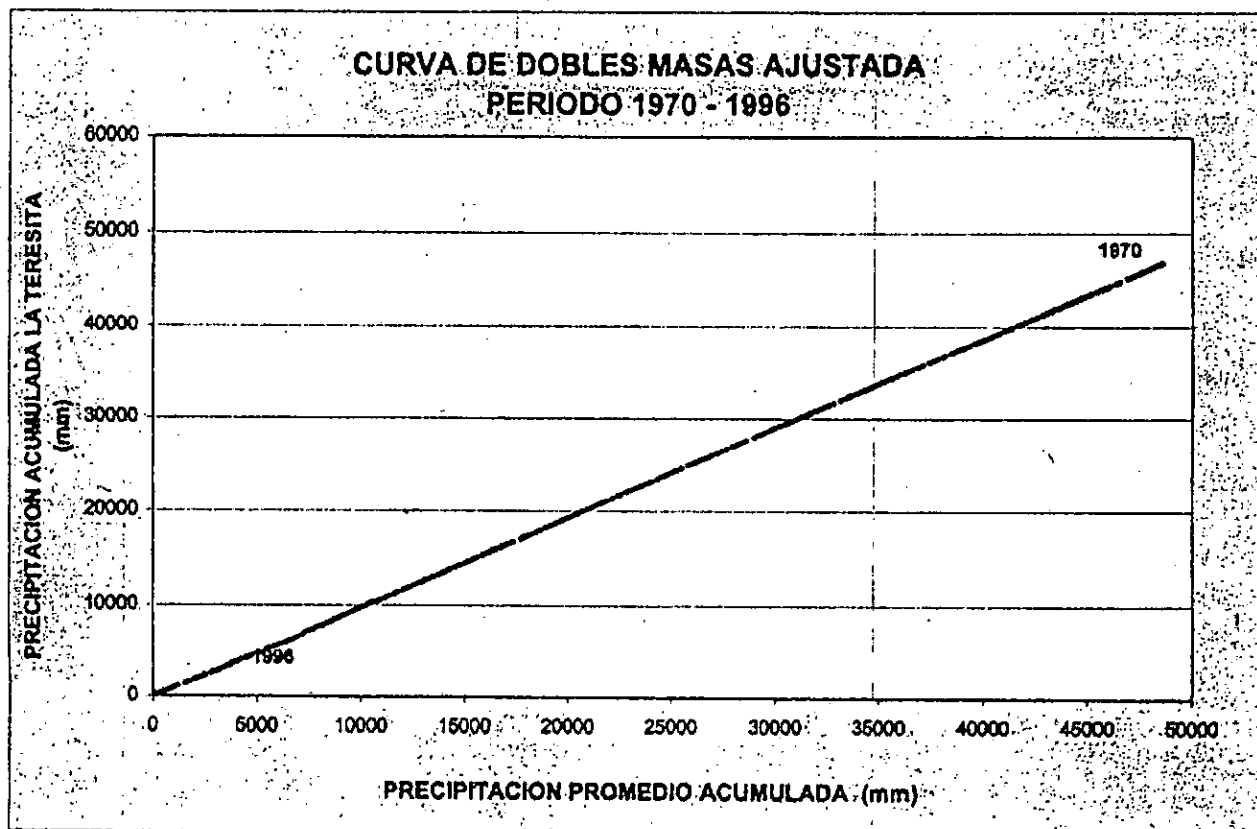
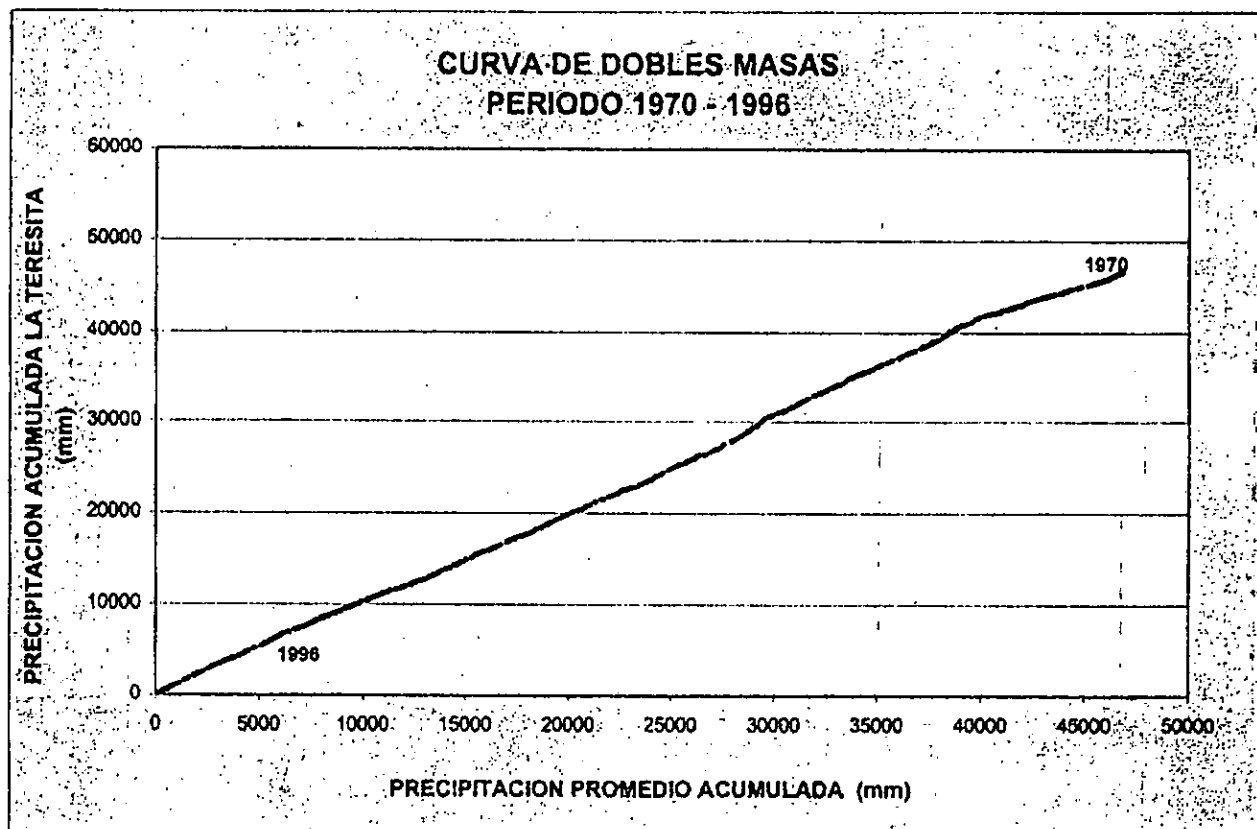
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	167	170	171	192	146	154	163	209	140	253	108	113	1988
1971	132	143	157	160	151	143	169	167	169	174	139	148	1850
1972	149	160	161	160	141	134	162	151	140	131	137	113	1739
1973	146	167	172	162	130	108	142	135	134	123	110	122	1661
1974	116	119	121	132	136	119	142	152	157	137	112	135	1574
1975	135	114	138	137	161	113	135	131	142	121	108	114	1549
1976	144	141	143	131	119	115	184	197	185	105	104	113	1661
1977	188	157	202	131	128	110	149	157	148	113	129	122	1714
1978	140	117	164	107	107	119	165	188	176	164	124	161	1712
1979	132	154	171	140	138	113	171	139	142	130	112	107	1649
1980	143	127	169	139	138	124	161	188	172	131	92	85	1666
1981	127	121	147	121	124	119	112	168	128	135	92	83	1477
1982	104	132	147	130	112	112	114	106	143	121	98	93	1412
1983	147	133	148	106	127	102	128	148	139	142	112	97	1529
1984	109	113	88	112	121	106	118	131	120	113	88	123	1342
1985	102	131	150	127	116	117	138	133	107	116	108	112	1465
1986	125	108	120	115	112	110	135	131	146	91	88	122	1403
1987	132	146	135	117	117	122	133	150	145	116	108	128	1550
1988	146	130	169	121	129	108	123	125	120	113	93	102	1479
1989	118	116	133	122	98	114	136	147	134	134	121	110	1483
1990	126	103	129	114	105	123	140	124	72	88	101	108	1313
1991	112	132	119	114	111	122	117	128	148	118	93	104	1418
1992	124	124	147	121	109	133	124	158	127	118	103	89	1477
1993	125	99	125	123	108	114	137	166	134	134	108	113	1486
1994	132	132	147	130	124	119	141	151	141	129	108	113	1567.413
1995	132	132	147	130	124	119	141	151	141	129	108	113	1567.413
1996	132	132	147	130	124	119	141	151	141	129	108	113	1567.413
MEDIO	132.0	132.4	148.5	130.2	124.3	118.8	141.1	151.1	140.4	129.2	107.8	113.2	1566.9
MÍNIMO	102.0	99.0	88.0	106.0	98.0	102.0	112.0	106.0	72.0	88.0	88.0	83.0	1313.0
MÁXIMO	168.0	187.0	202.0	192.0	161.0	154.0	184.0	209.0	185.0	255.0	139.0	161.0	1988.0
DESV STD	16.47	20.39	22.39	18.67	15.00	11.35	18.38	23.69	22.03	32.08	13.40	17.17	163.02
COEF VAR	0.12	0.15	0.15	0.14	0.12	0.10	0.13	0.16	0.16	0.25	0.12	0.16	0.10

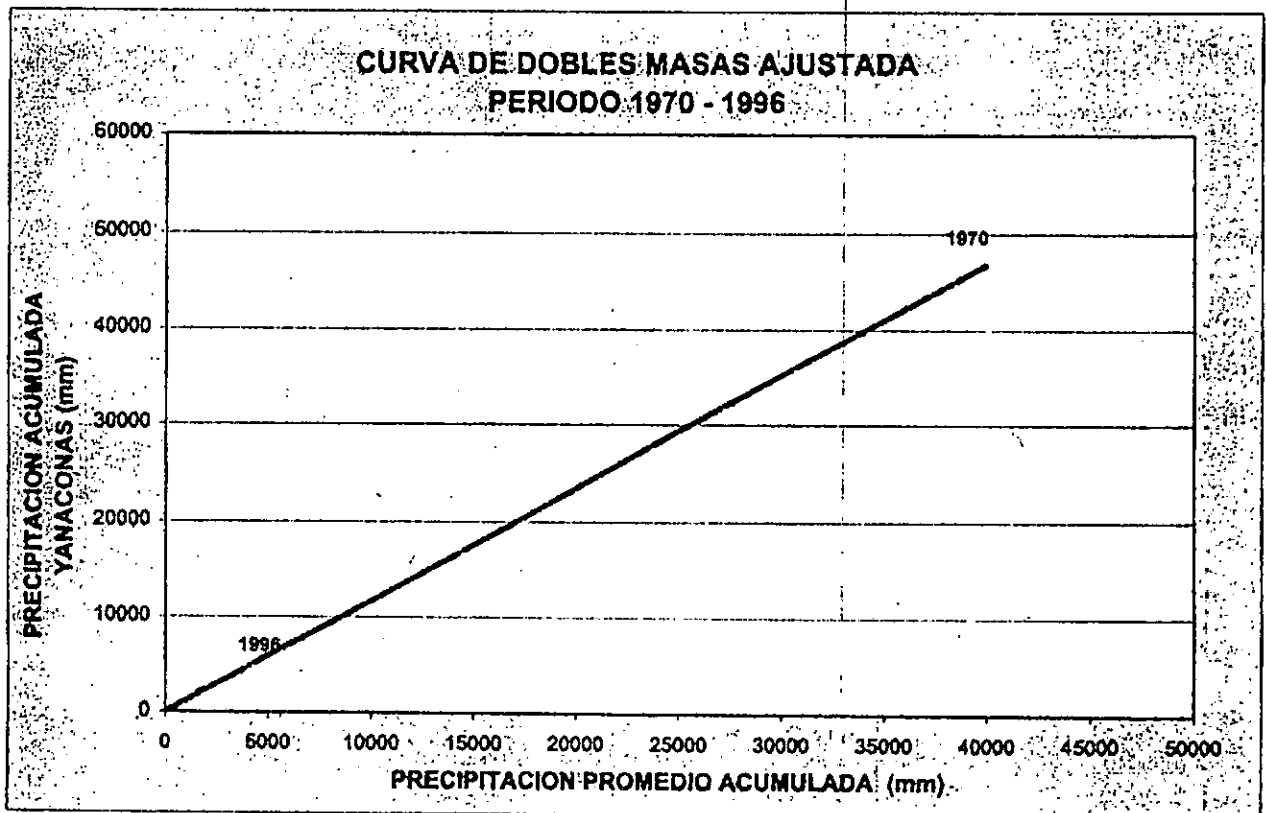
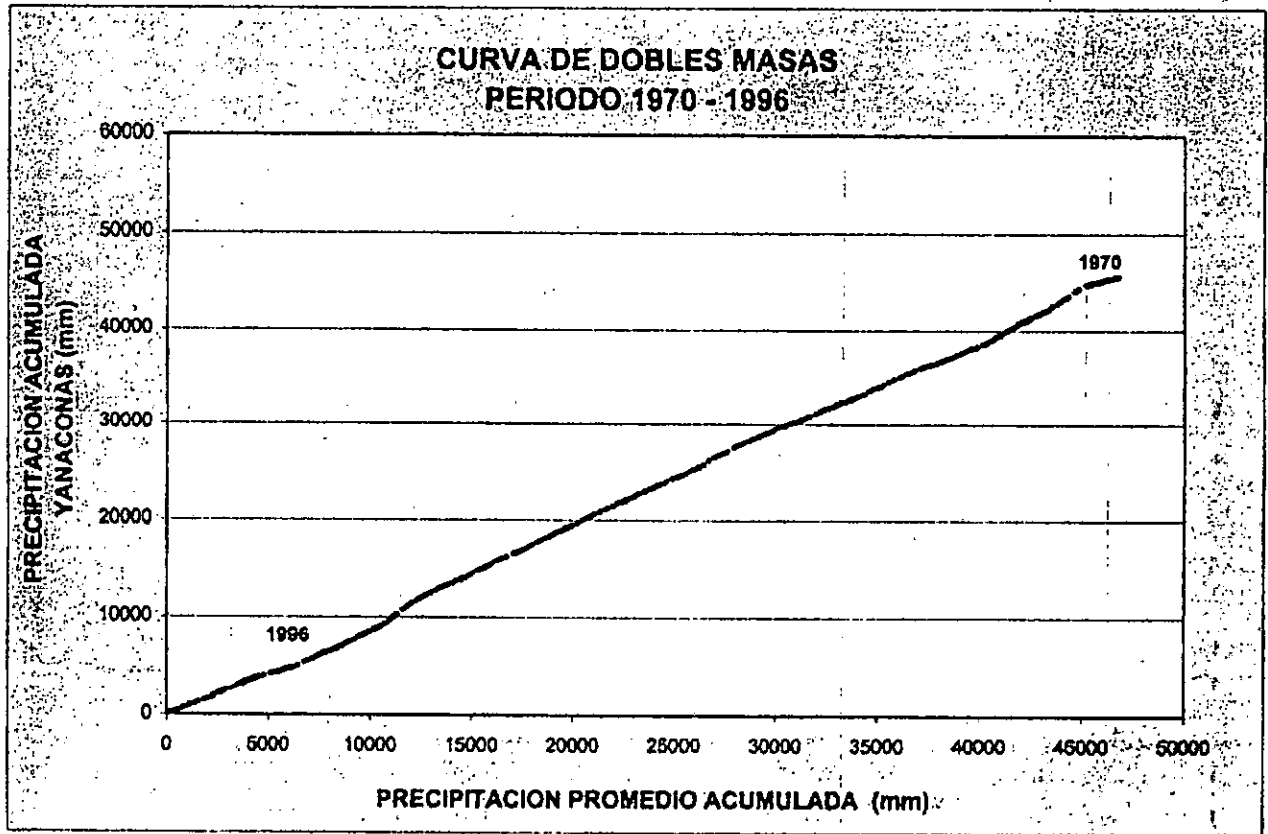
ANEXO 2. CURVAS DOBLES MASAS

ANEXO 2.1 PRECIPITACION

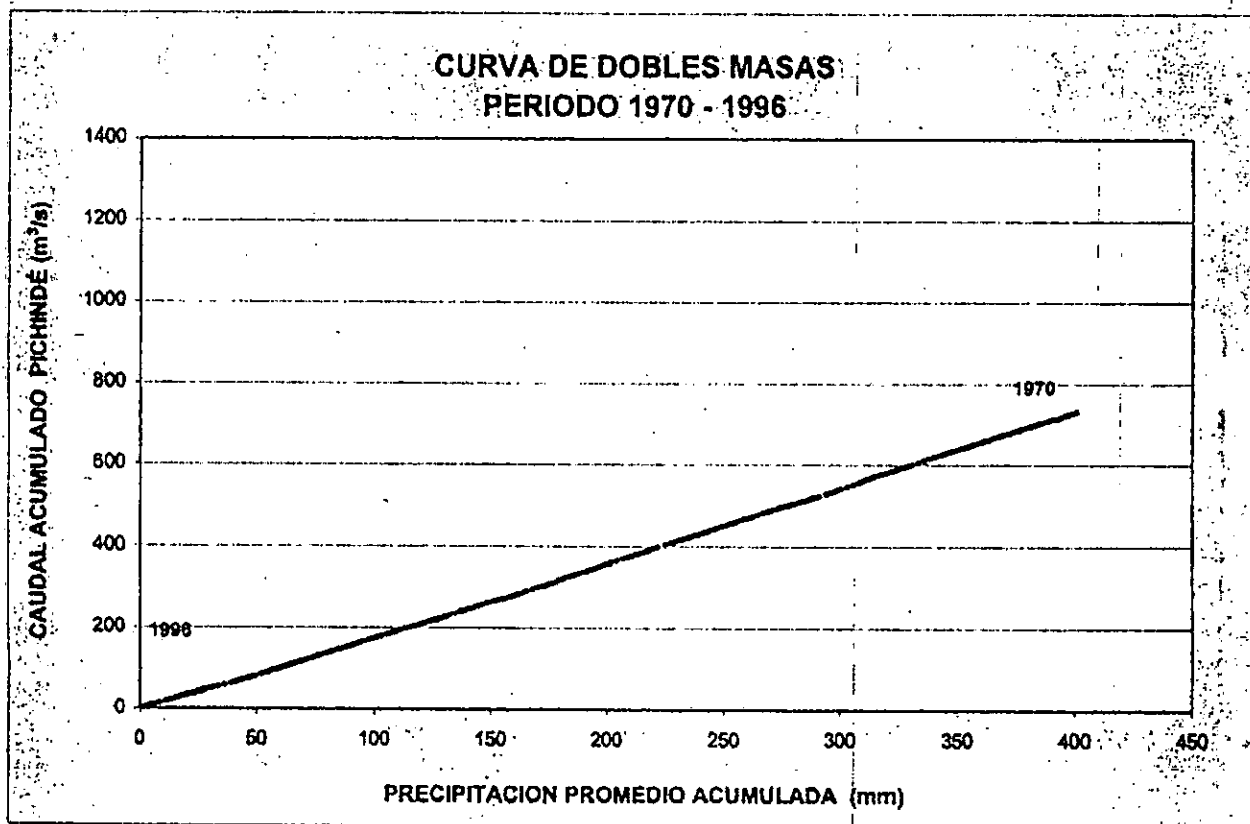
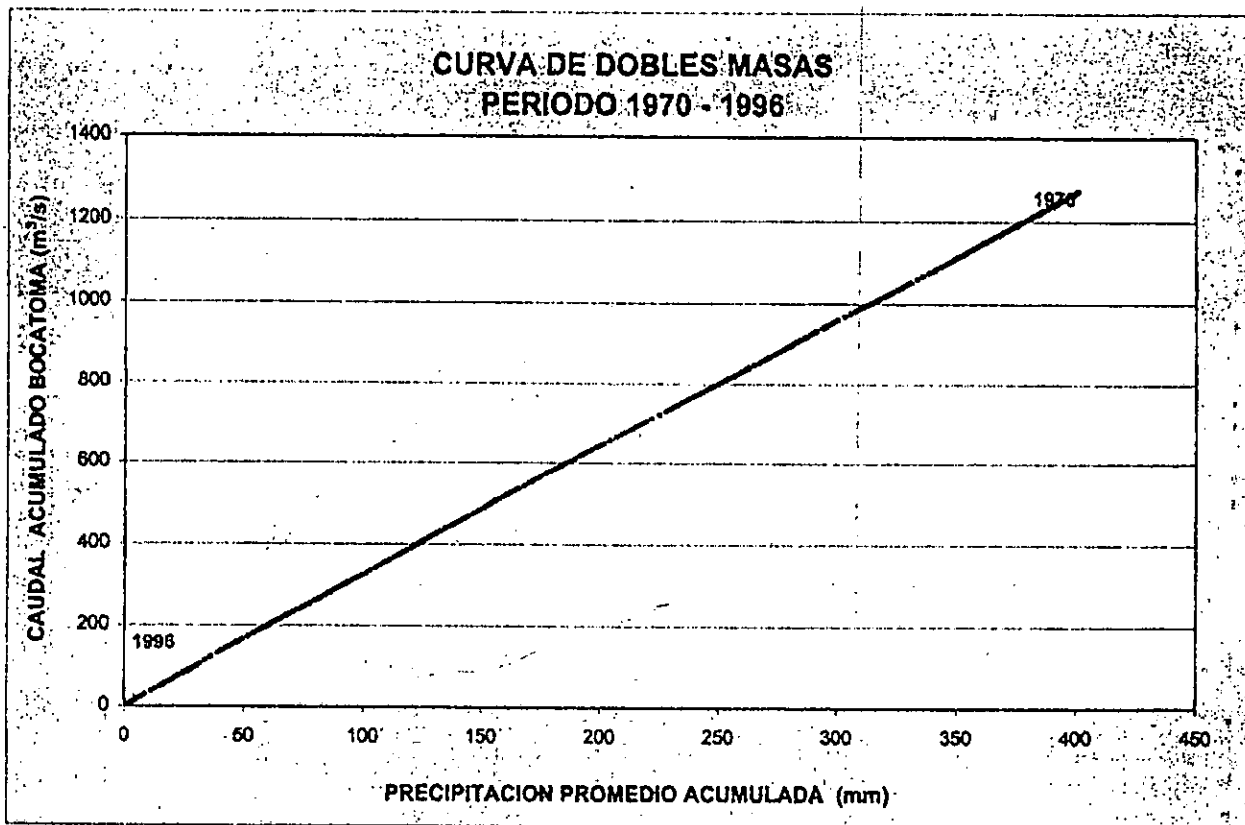








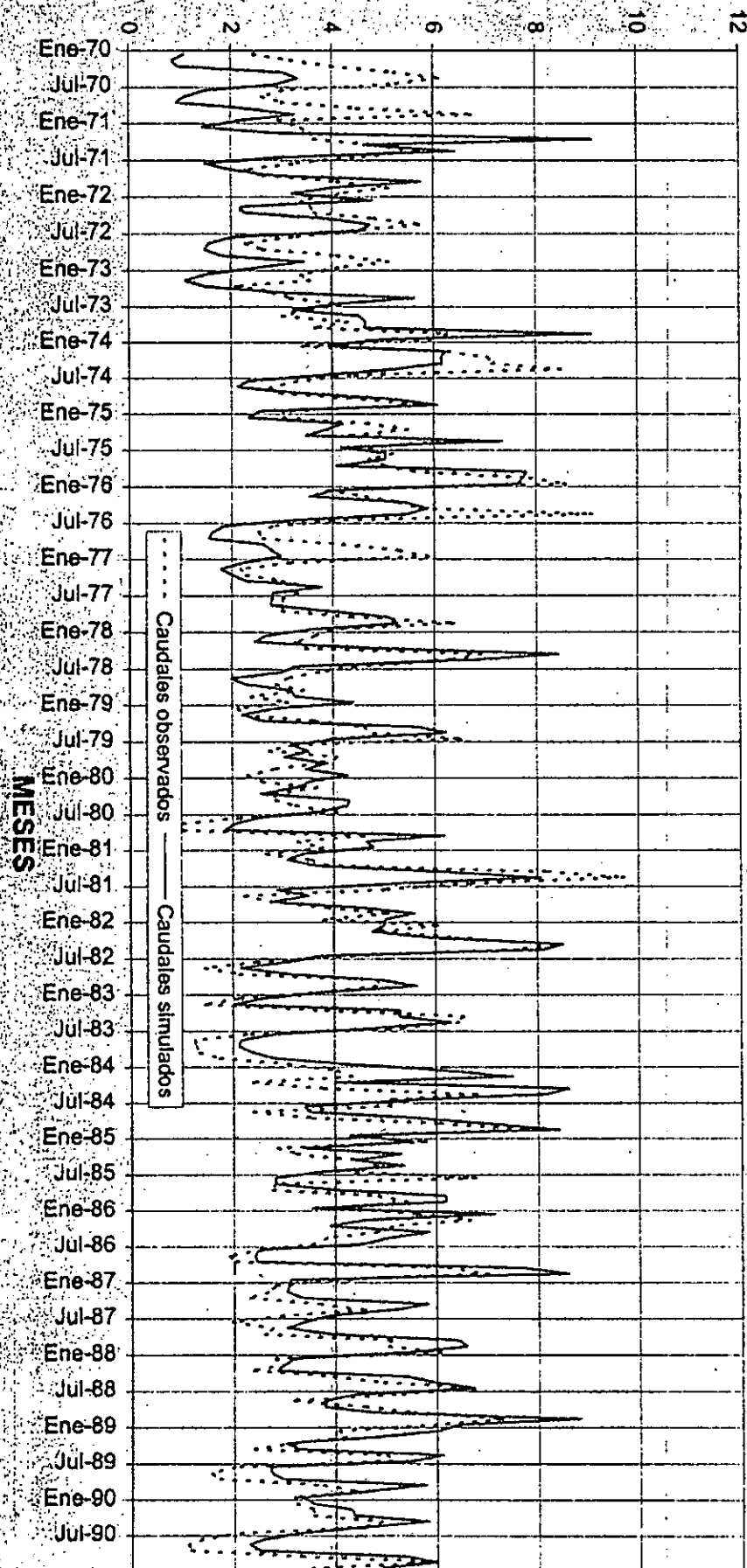
ANEXO 2.2 CAUDAL



**ANEXO 3. CALIBRACION Y VALIDACION DE MODELOS
LLUVIA. ESCORRENTIA**

1361

CAUDAL (m³/s)



CALIBRACIÓN MODELO ABCD RÍO CALI
PRECIPITACIÓN POR MÉTODO DE ISOYETAS
(ENE/70-DIC/90)

CALIBRACIÓN MODELO ABCD RIO CALI PRECIPITACION POR BOJETAS

MES	P	EP	Ro	W	S	Y	E	DR	GR	G	GD	DR	GD	R	ERROR
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene-78	78.31	74.5	3.63	533.3	422.2	481.2	59.0	31.3	20.9	2545.1	25.5	1.5	1.2	2.7	0.07
Feb-78	93.15	72.8	3.26	515.4	414.3	470.7	56.5	26.8	17.9	2537.6	25.4	1.3	1.2	2.4	0.06
Mar-78	240.00	89.1	3.45	854.3	430.4	526.6	76.2	76.6	51.1	2563.0	25.6	3.6	1.2	4.8	0.13
Abr-78	353.50	56.4	6.92	803.9	496.3	546.7	51.5	154.3	102.6	2638.5	26.4	7.2	1.2	8.5	0.06
May-78	240.84	58.3	6.32	736.1	487.7	640.2	52.5	117.5	78.4	2690.9	26.9	5.5	1.3	6.8	0.00
Jun-78	82.39	73.9	4.43	570.1	438.7	490.4	80.7	42.4	28.3	2692.3	26.9	2.0	1.3	3.2	0.07
Jul-78	114.82	93.8	3.71	533.5	417.1	491.7	74.8	37.1	24.7	2690.1	26.9	1.7	1.3	3.0	0.04
Ago-78	35.26	111.6	3.08	452.4	350.9	426.9	76.1	15.3	10.2	2673.5	26.7	0.7	1.3	2.0	0.13
Sep-78	142.14	105.1	2.87	493.0	379.5	456.4	78.8	22.0	14.7	2661.6	26.6	1.0	1.2	2.3	0.04
Oct-78	187.41	81.6	3.41	506.9	431.6	498.0	65.4	41.3	27.6	2662.5	26.6	1.9	1.2	3.2	0.00
Nov-78	138.21	72.4	2.37	669.8	439.9	499.3	59.5	42.3	28.2	2664.1	26.6	2.0	1.2	3.2	0.13
Dic-78	194.31	83.1	3.10	634.1	430.8	521.6	70.8	87.5	45.0	2682.2	26.8	3.2	1.3	4.4	0.18
Ene-79	91.63	70.4	2.10	542.4	429.5	496.1	58.5	33.8	22.5	2676.0	26.8	1.6	1.3	2.8	0.12
Feb-79	55.78	96.2	2.20	485.4	381.1	451.1	70.1	20.5	13.7	2665.0	26.7	1.0	1.2	2.2	0.00
Mar-79	141.42	98.6	3.63	522.6	398.9	475.0	78.1	28.5	19.0	2667.5	26.6	1.3	1.2	2.8	0.06
Abr-79	290.48	73.5	4.80	690.4	469.0	533.5	64.6	93.5	62.4	2692.9	26.9	4.4	1.3	5.8	0.05
May-79	245.02	75.9	4.78	714.0	470.3	537.3	67.0	108.0	70.7	2736.2	27.4	5.0	1.3	6.2	0.09
Jun-79	141.61	70.3	6.51	611.9	454.4	516.2	69.7	58.1	38.7	2747.4	27.5	2.7	1.3	4.0	0.15
Jul-79	106.98	103.4	3.19	561.4	413.3	495.5	82.2	39.5	26.4	2748.3	27.5	1.8	1.3	3.1	0.00
Ago-79	171.26	82.3	2.72	584.6	437.5	508.4	67.9	47.6	31.7	2750.5	27.5	2.2	1.3	3.5	0.08
Sep-79	115.20	84.8	4.06	552.7	423.4	491.3	67.9	36.8	24.5	2747.5	27.5	1.7	1.3	3.0	0.07
Oct-79	182.42	84.8	3.70	605.9	458.2	513.2	85.0	55.6	37.1	2757.0	27.6	2.6	1.3	3.9	0.00
Nov-79	120.87	85.7	2.82	578.9	446.4	502.1	54.8	45.4	30.3	2759.7	27.6	2.1	1.3	3.4	0.06
Dic-79	177.03	56.4	2.30	625.4	471.1	519.2	48.1	63.7	42.5	2774.8	27.7	3.0	1.3	4.3	0.74
Ene-80	112.62	74.2	2.56	583.7	443.4	505.1	61.7	47.2	31.6	2778.1	27.8	2.2	1.3	3.5	0.13
Feb-80	124.08	77.0	3.67	567.5	435.3	496.3	63.0	41.5	27.7	2778.1	27.8	1.9	1.3	3.2	0.01
Mar-80	80.45	86.9	2.82	515.8	404.4	471.0	66.8	26.9	17.9	2768.3	27.7	1.3	1.3	2.6	0.01
Abr-80	222.22	71.7	2.85	626.6	458.1	516.6	61.4	64.2	42.8	2783.3	27.8	3.0	1.3	4.3	0.26
May-80	166.21	68.5	3.24	624.4	460.1	516.9	58.8	63.3	42.2	2797.5	28.0	3.0	1.3	4.3	0.10
Jun-80	134.03	77.2	4.06	694.2	444.6	509.1	64.5	51.1	34.0	2803.8	28.0	2.4	1.3	3.7	0.01
Jul-80	96.69	97.4	2.13	511.3	394.7	468.2	73.5	25.6	17.2	2792.8	27.9	1.2	1.3	2.5	0.03
Ago-80	61.35	110.5	0.96	456.0	354.0	429.7	75.7	18.6	10.5	2775.5	27.6	0.7	1.3	2.0	1.18
Sep-80	68.67	102.8	0.75	422.6	336.6	403.1	88.5	11.7	7.8	2755.6	27.6	0.5	1.3	1.6	2.07
Oct-80	374.40	85.3	4.58	711.0	478.8	536.9	58.1	104.5	69.7	2797.5	28.0	4.9	1.3	6.2	0.12
Nov-80	162.22	53.9	3.28	641.0	478.2	523.4	47.2	70.6	47.0	2816.3	28.2	3.3	1.3	4.8	0.17
Dic-80	172.48	43.6	3.77	646.6	488.0	525.3	38.7	74.0	49.3	2837.3	28.4	3.5	1.3	4.8	0.07
Ene-81	88.40	67.4	2.05	575.0	445.6	501.5	55.9	44.1	29.4	2836.3	28.4	2.1	1.3	3.4	0.06
Feb-81	108.80	75.8	3.58	554.2	431.0	492.1	61.1	37.3	24.9	2834.8	28.3	1.7	1.3	3.1	0.02
Mar-81	180.01	85.0	3.83	591.0	437.5	507.9	70.4	49.6	33.2	2839.7	28.4	2.3	1.3	3.7	0.00
Abr-81	263.21	59.3	8.20	702.7	482.7	535.7	53.0	100.2	68.6	2877.7	28.6	4.7	1.3	6.0	0.07
May-81	301.21	58.2	9.70	783.9	491.3	545.1	53.8	143.3	95.5	2943.8	29.4	6.7	1.4	8.1	0.03
Jun-81	171.59	73.0	6.66	662.9	464.9	528.5	63.6	80.7	53.8	2967.9	29.7	3.8	1.4	5.2	0.06
Jul-81	89.27	70.6	4.96	634.2	426.6	481.7	56.1	31.5	21.0	2959.3	29.6	1.5	1.4	2.9	0.16
Ago-81	162.61	63.4	2.22	578.4	434.6	502.9	68.4	46.3	30.2	2969.9	29.6	2.1	1.4	3.6	0.34
Sep-81	86.90	74.6	2.78	523.3	417.1	473.5	58.3	26.7	18.1	2946.5	29.5	1.3	1.4	2.7	0.06
Oct-81	217.29	96.9	3.67	634.4	463.9	521.7	57.6	67.8	45.1	2966.0	29.6	3.2	1.4	4.6	0.00
Nov-81	217.61	55.1	5.06	681.5	483.1	532.1	49.0	69.7	59.6	2994.6	29.9	4.2	1.4	5.8	0.01
Dic-81	171.15	41.2	3.80	654.2	489.9	526.8	38.7	76.6	51.1	3015.7	30.2	3.6	1.4	6.0	0.10
Ene-82	183.42	61.4	6.04	663.3	472.8	526.4	53.7	78.2	50.8	3036.1	30.4	3.6	1.4	5.0	0.03
Feb-82	166.22	84.7	4.90	640.8	451.1	523.4	72.2	70.5	47.0	3052.6	30.5	3.3	1.4	4.7	0.00
Mar-82	240.60	85.0	6.39	691.7	459.9	533.9	74.0	94.7	63.1	3084.9	30.8	4.4	1.4	6.9	0.01
Abr-82	337.11	59.5	8.31	797.0	492.1	548.2	54.1	150.5	100.3	3153.6	31.5	7.0	1.5	8.5	0.00
May-82	288.97	61.6	7.61	781.0	489.0	544.9	55.8	141.7	94.5	3216.0	32.2	6.6	1.5	8.1	0.00
Jun-82	83.85	59.4	4.38	582.8	454.8	504.6	80.0	48.9	31.2	3215.1	32.2	2.2	1.5	3.7	0.02
Jul-82	89.19	72.2	2.45	544.0	429.0	486.9	57.9	34.2	22.8	3205.8	32.1	1.6	1.5	3.1	0.07
Ago-82	73.40	77.3	1.44	442.4	368.0	419.1	53.1	14.0	9.3	3183.3	31.8	0.7	1.5	2.1	0.24
Sep-82	179.35	77.2	2.12	545.3	425.8	487.6	61.8	34.6	23.1	3174.6	31.7	1.6	1.5	3.1	0.22
Oct-82	220.29	56.0	4.87	646.1	475.6	524.7	49.1	72.9	48.6	3191.3	31.9	3.4	1.5	4.9	0.00
Nov-82	202.48	58.0	4.81	678.1	480.1	531.5	51.4	88.0	58.6	3217.8	32.2	4.1	1.5	5.6	0.03
Dic-82	110.39	46.5	3.78	690.6	467.0	507.7	36.8	49.7	33.1	3216.7	32.2	2.3	1.5	3.8	0.00
Ene-83	32.15	77.4	2.09	500.0	402.5	461.0	58.6	23.4	10.0	3202.3	32.0	1.1	1.5	2.6	0.06
Feb-83	12.96	80.1	1.45	415.4	345.1	397.2	52.0	11.0	7.3	3177.8	31.8	0.5	1.5	2.0	0.15
Mar-83	318.63	63.1	3.83	664.0	456.9	526.7	71.6	81.2	54.1	3199.9	32.0	3.6	1.5	5.3	0.15
Abr-83	205.43	54.8	6.54	682.4	479.9	526.3	48.4	60.4	53.6	3221.3	32.2	3.8	1.5	6.3	0.04
May-83	226.66	68.8	6.43	706.4	474.3	536.2	61.9	102.1	68.1	3256.6	32.6	4.6	1.5	6.3	0.60
Jun-83	160.63	70.8	5.34	635.1	460.9	521.9	61.0	67.9	43.3	3289.4	32.7	3.2	1.5	4.7	0.01
Jul-83	66.39	77.8	2.25	519.3	412.9	473.1	60.2	27.7	18.5	3253.3	32.6	1.3	1.5	2.6	0.07
Ago-83	24.36	85.3	1.25	437.3	357.3	415.1	57.7	13.3	8.9	3231.9	32.3	0.6	1.5	2.1	0.51
Sep-83	76.50	78.4	1.27	433.8	359.3	412.3	63.0	12.9	8.6	3208.5	32.1	0.6	1.5	2.1	0.44
Oct-83	117.00	86.8	1.33	476.3	395.5	444.7	49.2	18.9	12.8	3188.2	31.9	0.9	1.5	2.4	0.62
Nov-83	127.68	66.0	1.73	523.2	423.6	475.4	62.0	26.7	19.1	3176.8	31.8	1.3	1.5	2.8	0.40
Dic-83	192.43	61.1	3.06	615.9	463.9	516.4	52.5	96.7	39.8	3184.5	31.8	2.8	1.5	4.3	0.15
Ene-84	237.11	60.1	4.06	701.1	482.7	535.4	62.7	98.4	66.3	3216.6	32.2	4.7	1.5	6.2	0.27
Feb-84	273.16	69.3	4.34	755.9	480.3	542.4	62.1	128.1	85.4	3271.3	32.7	6.0	1.5	7.5	0.64
Mar-84	118.61	56.2	2.37	598.9	462.9	510.8	47.9	62.9	35.2	3273.8	32.7	2.5	1.5	4.0	0.48
Abr-84	335.06	66.3	3.78	797.9	462.3	546.3	54.0	151.0	100.7	3341.0	33.4	7.1	1.6	8.6	1.65
May-84	285.85	63.1	6.79	778.2	467.5	544.6	67.1	140.1	93.4	3400.4	34.0	6.8	1.6	8.2	0.04
Jun-84	181.18	66.5	5.99	668.7	469.7	529.7	60.0	83.4	55.9	3421.6	34.2	3.9	1.6	5.5	0.01
Jul-84	89.19	72.5	5.10	558.8	435.3	494.3	69.0	38.7	25.8	3413.5	34.1	1.8	1.6		

CALIBRACIÓN MODELO ABCD RQ CALI PRECIPITACIÓN POR ISOTETAS

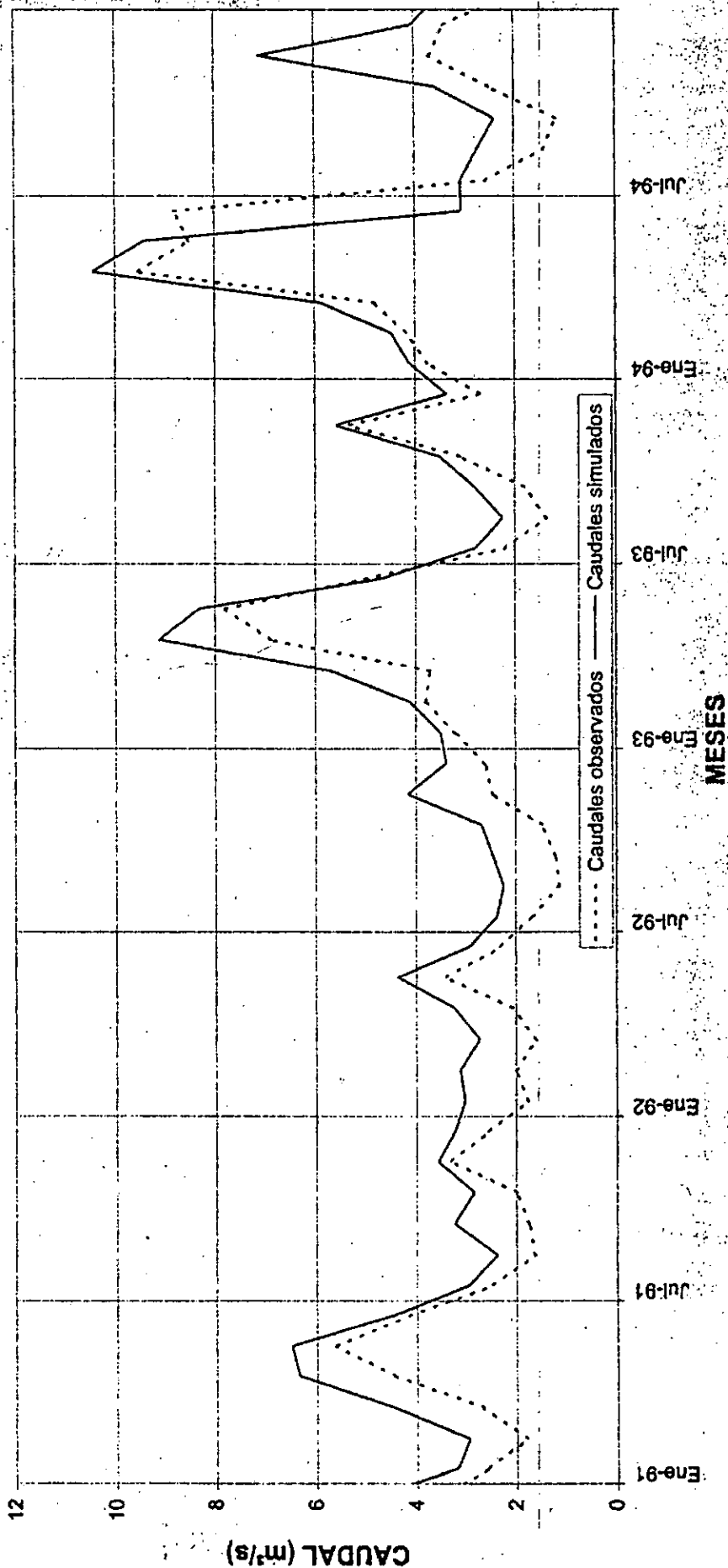
MES	P	P	EP	Ro	W	S	Y	E	DR	GR	Q	GO	DR	GO	R	ERROR
	(mm)	(m/s)	(mm)	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
Ene-70	63.33		88.1	2.44	488.3	393.4	439.9	66.5	23.1	15.4	25.1	0.3	1.1	0.0	1.1	0.31
Feb-70	75.83		108.1	3.17	489.0	364.8	439.4	74.8	17.7	11.8	36.6	0.4	0.8	0.0	0.8	0.54
Mar-70	117.78		90.6	3.08	482.6	377.2	449.2	72.0	20.0	13.4	49.6	0.5	0.9	0.0	1.0	0.58
Abr-70	248.15		101.3	5.21	625.4	434.7	519.2	84.8	63.7	42.8	91.0	0.9	3.0	0.0	3.0	0.18
May-70	205.33		79.9	5.11	540.0	454.7	523.2	68.4	70.1	46.7	136.4	1.4	3.3	0.1	3.3	0.20
Jun-70	182.17		98.2	5.14	616.9	436.4	518.7	80.3	80.1	40.1	174.7	1.7	2.8	0.1	2.9	0.19
Jul-70	91.82		98.4	3.03	528.3	402.5	478.4	75.9	30.0	20.0	162.8	1.9	1.4	0.1	1.5	0.28
Ago-70	88.74		124.1	2.62	481.3	388.1	458.2	89.0	21.7	14.4	206.1	2.1	1.0	0.1	1.1	0.33
Sep-70	101.57		83.7	3.00	487.7	378.6	438.8	89.9	17.5	11.7	214.7	2.1	0.8	0.1	0.9	0.48
Oct-70	202.36		127.2	4.49	580.9	403.2	504.0	100.8	48.2	30.8	243.0	2.4	2.2	0.1	2.3	0.24
Nov-70	229.86		63.4	6.75	633.0	468.5	521.3	84.8	67.0	44.7	284.9	2.8	3.1	0.1	3.3	0.27
Dic-70	108.10		58.5	2.94	574.8	452.5	501.4	48.9	43.9	29.3	311.1	3.1	2.1	0.1	2.2	0.08
Ene-71	83.33		70.4	3.40	515.8	418.2	471.0	54.8	28.9	17.8	325.7	3.3	1.3	0.2	1.4	0.34
Feb-71	194.36		89.4	3.56	610.6	440.0	514.7	74.7	57.5	38.3	380.5	3.6	2.7	0.2	2.9	0.04
Mar-71	428.08		91.1	3.84	688.0	469.5	550.8	81.4	190.3	126.9	482.5	4.8	8.9	0.2	8.1	2.28
Abr-71	218.59		84.2	4.82	688.1	480.0	533.3	73.3	92.8	61.9	539.1	5.4	4.3	0.3	4.8	0.00
May-71	302.05		82.9	6.72	782.1	469.5	543.1	73.5	131.4	87.6	620.4	6.2	6.2	0.3	6.4	0.02
Jun-71	135.97		88.6	4.43	805.5	438.2	513.1	73.8	55.5	37.0	650.9	6.3	2.8	0.3	2.9	0.12
Jul-71	86.57		102.1	3.21	505.8	388.8	464.7	78.2	24.6	18.4	680.7	6.6	1.2	0.3	1.5	0.30
Ago-71	164.03		98.9	2.28	552.8	413.0	491.3	78.2	36.8	24.6	678.5	6.8	1.7	0.3	2.0	0.01
Sep-71	191.14		100.8	2.83	604.2	429.8	512.6	83.0	54.9	36.8	708.0	7.1	2.8	0.3	2.9	0.01
Oct-71	302.24		86.6	4.10	731.8	463.6	539.7	78.1	115.3	78.8	777.1	7.8	8.4	0.4	8.8	0.16
Nov-71	182.45		81.4	6.10	656.1	456.9	527.0	70.1	77.5	51.8	820.5	8.2	3.6	0.4	4.0	0.06
Dic-71	158.90		75.4	4.13	615.8	452.4	518.4	64.0	89.8	39.8	851.8	8.5	2.8	0.4	3.2	0.06
Ene-72	236.39		79.8	3.40	666.8	463.9	533.4	69.5	93.2	62.2	904.9	9.0	4.4	0.4	4.8	0.17
Feb-72	90.02		100.0	3.56	633.9	412.8	481.9	79.1	37.2	24.8	920.5	9.2	1.7	0.4	2.2	0.15
Mar-72	147.15		93.5	3.84	559.9	420.0	494.8	74.8	38.1	28.0	937.1	9.4	1.8	0.4	2.3	0.14
Abr-72	227.59		84.2	4.82	847.8	452.9	525.0	72.1	73.8	49.0	978.4	9.8	3.4	0.5	3.9	0.04
May-72	231.90		77.3	5.72	684.8	465.2	532.7	67.8	91.3	60.8	1027.0	10.3	4.3	0.5	4.8	0.03
Jun-72	208.23		83.6	4.43	674.4	458.4	530.8	72.4	86.2	57.5	1073.7	10.7	4.0	0.5	4.5	0.00
Jul-72	78.26		96.4	3.21	637.8	406.9	483.8	78.7	32.3	21.8	1084.8	10.8	1.6	0.5	2.0	0.14
Ago-72	87.68		99.8	2.28	494.8	390.9	457.4	68.5	22.3	14.9	1088.4	10.9	1.0	0.5	1.8	0.10
Sep-72	83.79		83.7	2.83	484.7	398.1	450.9	61.8	20.4	13.6	1091.1	10.9	1.0	0.5	1.5	0.20
Oct-72	130.48		65.3	4.10	518.5	422.0	473.2	51.2	27.8	18.5	1088.7	11.0	1.3	0.5	1.8	0.31
Nov-72	200.89		80.1	5.10	622.9	450.5	518.6	68.0	62.6	41.8	1129.1	11.3	2.9	0.5	3.5	0.10
Dic-72	119.18		58.5	4.13	569.7	450.6	498.3	48.7	42.3	28.2	1145.9	11.5	2.0	0.5	2.5	0.15
Ene-73	37.78		77.9	3.40	488.4	385.3	453.2	57.9	21.1	14.1	1148.5	11.8	1.0	0.5	1.8	0.30
Feb-73	29.20		118.9	3.56	424.5	328.7	404.7	75.0	11.9	7.9	1144.9	11.4	0.8	0.5	1.1	0.48
Mar-73	154.30		98.8	2.09	484.0	378.0	450.2	72.1	20.3	13.5	1147.0	11.5	1.0	0.5	1.5	0.08
Abr-73	212.21		79.9	2.82	590.2	441.2	507.8	66.4	49.6	33.0	1168.4	11.7	2.3	0.5	2.9	0.00
May-73	278.90		71.3	3.17	718.2	474.7	537.8	63.2	108.2	72.1	1228.2	12.3	5.1	0.6	5.6	0.81
Jun-73	172.83		66.9	4.16	647.3	468.8	525.0	58.2	73.4	48.9	1284.5	12.6	3.4	0.6	4.0	0.09
Jul-73	139.13		88.2	3.51	806.9	441.2	513.2	72.0	56.6	37.1	1288.7	12.9	2.6	0.6	3.2	0.01
Ago-73	227.80		80.0	3.02	668.8	460.3	528.7	68.3	85.5	55.7	1331.0	13.3	3.9	0.6	4.5	0.25
Sep-73	212.87		80.1	4.30	673.3	461.0	530.8	68.5	85.7	57.1	1374.4	13.7	4.0	0.6	4.7	0.01
Oct-73	209.98		61.6	3.66	671.0	475.8	530.1	54.3	84.5	56.4	1418.6	14.2	4.0	0.7	4.8	0.07
Nov-73	373.28		64.7	6.25	849.1	490.8	549.8	59.0	179.8	119.7	1521.1	15.2	8.4	0.7	9.1	0.21
Dic-73	191.82		62.9	5.94	682.7	476.7	532.3	58.6	80.2	60.1	1565.6	15.7	4.2	0.7	5.0	0.03
Ene-74	167.19		62.0	3.40	633.9	487.8	521.8	53.7	87.4	44.9	1594.5	15.9	3.2	0.7	3.9	0.02
Feb-74	288.08		74.5	6.27	733.9	473.8	536.9	68.2	118.4	77.8	1655.8	16.6	5.4	0.8	6.2	0.00
Mar-74	256.44		70.5	7.05	729.2	478.6	539.4	62.8	113.9	75.9	1714.4	17.1	5.3	0.8	6.1	0.02
Abr-74	282.91		69.8	7.15	729.5	477.2	539.4	62.2	114.1	75.0	1772.7	17.7	5.3	0.8	6.2	0.02
May-74	211.52		74.6	8.50	688.8	487.9	533.4	65.4	80.2	62.2	1816.7	18.2	4.4	0.8	5.2	0.15
Jun-74	151.08		71.0	4.35	619.0	456.3	517.3	61.1	81.0	40.7	1838.9	18.4	2.9	0.9	3.7	0.02
Jul-74	76.99		88.2	3.30	532.3	413.2	480.6	67.4	31.0	20.7	1841.2	18.4	1.5	0.9	2.3	0.08
Ago-74	102.04		90.3	2.77	515.2	401.7	470.8	66.9	26.7	17.8	1840.6	18.4	1.3	0.9	2.1	0.06
Sep-74	200.29		93.8	3.86	602.0	434.2	511.9	77.8	54.1	36.1	1858.1	18.6	2.5	0.9	3.4	0.02
Oct-74	230.74		68.0	4.58	685.0	472.9	532.7	59.9	91.3	60.9	1900.0	19.0	4.3	0.9	5.2	0.02
Nov-74	245.42		65.7	5.85	722.3	479.9	538.5	58.6	110.3	73.5	1964.0	19.5	5.2	0.9	6.1	0.01
Dic-74	67.49		60.3	3.02	547.3	432.7	488.6	65.9	35.2	23.6	1957.9	19.8	1.8	0.9	2.8	0.02
Ene-75	96.89		72.5	3.03	529.8	421.9	479.1	67.2	30.3	20.2	1988.5	19.8	1.4	0.9	2.3	0.06
Feb-75	218.14		70.8	4.68	640.0	462.0	523.2	61.1	70.1	46.8	1986.4	19.9	3.3	0.9	4.2	0.01
Mar-75	161.20		80.0	8.47	623.2	450.7	518.8	67.9	82.8	41.9	2007.2	20.1	2.9	0.9	3.9	0.08
Abr-75	149.89		72.1	4.34	600.8	450.6	511.4	60.8	63.6	35.7	2022.7	20.2	2.8	0.9	3.5	0.04
May-75	230.28		87.9	6.36	770.9	468.2	543.9	77.7	136.2	90.8	2092.5	20.9	6.4	1.0	7.4	0.02
Jun-75	187.92		70.3	4.72	634.1	481.1	521.8	60.5	67.5	45.0	2118.3	21.2	3.2	1.0	4.2	0.01
Jul-75	213.00		81.5	5.17	674.1	480.0	530.7	70.7	88.1	57.4	2152.2	21.5	4.0	1.0	5.0	0.00
Ago-75	213.28		77.8	4.70	673.3	483.0	530.6	67.8	85.8	57.1	2187.4	21.9	4.0	1.0	5.0	0.01
Sep-75	164.62		84.8	5.01	627.8	448.0	518.8	71.8	84.7	43.1	2208.4	22.1	3.0	1.0	4.1	0.04
Oct-75	337.86		60.3	5.57	785.9	490.5	545.3	64.7	144.4	96.2	2281.8	22.8	6.8	1.1	7.8	0.16
Nov-75	290.81		63.4	7.87	781.4	487.8	544.9	57.3	141.9	94.6	2352.9	23.5	6.8	1.1	7.7	0.00
Dic-75	286.71		58.5	6.58	777.3	491.4	544.5	63.1	139.7	93.1	2421.8	24.2	6.5	1.1	7.7	0.01
Ene-76	128.44		76.8	3.88	620.8	452.6	517.9	65.1	61.8	41.2	2438.6	24.4	2.9	1.1	4.0	0.00
Feb-76	141.18		87.4	4.84	594.0	436.6	509.0	72.4	51.0	34.0	2448.1	24.5	2.4	1.1	3.5	0.08
Mar-76	247.63		83.0	5.29	684.3	480.3	532.8	72.2	81.0	60.7	2483.9	24.8	4.3	1.2	5.4	0.00
Abr-76	242.83		68.8	5.71	709.3	474.6	535.7	60.9	100.6	67.0	2523.7	25.3	4.7	1.2	6.9	0.00
May-76	209.51		65.3	9.10	684.4	475.0	532.6	57.8	91.0	60.7	2580.8	25.6	4.3	1.2	5.5	0.16
Jun-76	91.8															

CALIBRACIÓN MODELO ABCD RIO CALI PRECIPITACION POR ISOYETAS

CALIBRACION MODELO ABCD RIO CALI PRECIPITACION POR ISOTETAS																
MES	P	P	EP	Ro	W	S	Y	E	DR	GR	G	GO	DR	GO	R	ERROR
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene-86	280.01	65.5	5.82	734.3	481.4	540.0	58.8	118.8	77.7	3822.5	38.2	5.5	1.7	7.2	0.07	
Feb-86	137.91	66.6	6.66	619.3	480.4	517.4	57.1	81.1	40.7	3826.9	38.3	2.9	1.7	4.8	0.10	
Mar-86	121.42	68.9	5.11	581.8	446.9	504.3	57.4	48.5	31.0	3821.7	38.2	2.2	1.7	3.9	0.06	
Abr-86	232.75	67.1	4.82	678.6	472.7	531.8	60.1	88.7	59.2	3844.4	38.4	4.2	1.7	5.9	0.05	
May-86	171.38	67.4	3.83	844.1	485.7	524.2	58.5	71.9	48.0	3855.8	38.6	3.4	1.7	5.1	0.11	
Jun-86	151.63	72.0	3.57	617.3	455.5	518.8	61.3	60.3	40.2	3859.4	38.8	2.8	1.7	4.6	0.07	
Jul-86	7.06	82.4	2.55	462.6	378.2	434.7	58.5	18.8	11.2	3834.2	38.3	0.8	1.7	2.5	0.00	
Ago-86	78.89	83.1	1.81	453.0	369.4	427.4	58.0	15.4	10.3	3808.4	38.1	0.7	1.7	2.4	0.07	
Sep-86	82.48	88.2	2.09	481.9	371.9	434.1	62.3	18.6	11.1	3833.7	38.6	0.8	1.7	2.5	0.04	
Oct-86	383.78	52.6	6.21	755.7	494.6	542.4	47.8	128.0	85.3	3832.8	38.3	6.0	1.7	7.7	0.08	
Nov-86	298.24	55.7	6.99	790.9	494.9	545.7	50.8	147.1	98.1	3883.8	38.9	6.9	1.7	8.8	0.05	
Dic-86	31.00	60.3	3.80	525.9	429.2	477.0	47.8	29.4	18.6	3878.8	38.8	1.4	1.7	3.1	0.04	
Ene-87	96.91	70.7	2.79	526.1	421.4	477.1	65.7	29.4	19.8	3859.6	38.6	1.4	1.7	3.1	0.01	
Feb-87	100.78	92.9	2.66	522.2	403.4	474.6	71.4	28.4	18.9	3842.1	38.4	1.3	1.7	3.0	0.02	
Mar-87	144.85	80.1	2.31	548.1	424.0	489.0	64.1	36.4	23.8	3829.4	38.3	1.7	1.7	3.4	0.21	
Abr-87	253.88	68.7	3.88	678.8	471.2	531.6	60.4	88.3	58.9	3851.8	38.5	4.1	1.7	5.8	0.34	
May-87	175.27	62.8	4.67	848.6	470.3	524.8	54.6	73.0	48.7	3863.8	38.6	3.4	1.7	5.1	0.02	
Jun-87	108.78	75.9	2.95	590.0	440.8	503.6	62.8	45.9	30.6	3867.8	38.6	2.1	1.7	3.9	0.10	
Jul-87	106.39	76.4	1.98	549.2	428.1	489.8	61.4	35.8	23.8	3843.2	38.5	1.7	1.7	3.4	0.53	
Ago-87	93.08	89.0	2.74	521.2	405.7	474.2	68.6	28.2	18.8	3827.7	38.3	1.3	1.7	3.0	0.01	
Sep-87	180.88	88.7	2.60	588.4	433.2	506.1	72.9	48.1	32.1	3823.8	38.2	2.3	1.7	4.0	0.27	
Oct-87	270.04	84.2	3.10	700.2	487.2	535.7	48.8	100.5	67.0	3854.1	38.5	4.7	1.7	6.4	0.07	
Nov-87	223.27	59.3	6.04	710.4	483.8	538.8	53.0	104.2	69.4	3888.6	38.9	4.9	1.7	8.8	0.10	
Dic-87	178.90	67.5	6.06	660.7	469.0	528.0	69.0	79.8	53.1	3702.7	37.0	3.7	1.7	5.5	0.01	
Ene-88	62.56	72.1	2.81	531.6	423.2	480.2	57.0	30.8	20.5	3886.4	38.9	1.4	1.7	3.2	0.02	
Feb-88	94.02	80.4	2.98	617.2	409.8	471.8	62.0	27.2	18.1	3867.8	38.7	1.3	1.7	3.0	0.00	
Mar-88	94.30	85.9	2.38	504.1	391.9	483.7	71.8	24.3	19.2	3847.8	38.5	1.1	1.7	2.8	0.04	
Abr-88	266.88	59.8	3.98	658.7	475.2	527.8	52.4	78.7	62.5	3883.4	38.6	3.7	1.7	5.4	0.13	
May-88	206.70	75.9	4.94	683.9	486.1	532.6	68.4	80.8	60.5	3887.0	38.9	4.3	1.7	6.0	0.04	
Jun-88	249.97	63.8	6.89	716.1	480.7	537.6	58.9	107.1	71.4	3721.2	37.2	5.0	1.7	6.8	0.00	
Jul-88	125.53	80.6	6.13	606.3	445.6	513.3	67.7	55.6	37.2	3721.2	37.2	2.8	1.7	4.4	0.02	
Ago-88	131.06	70.8	3.18	578.7	443.6	502.2	58.7	44.7	29.8	3713.8	37.1	2.1	1.7	3.8	0.04	
Sep-88	129.85	71.7	4.58	573.4	441.7	500.9	69.2	43.5	29.0	3705.8	37.1	2.0	1.7	3.8	0.03	
Oct-88	186.85	55.8	5.50	628.3	471.8	520.0	48.5	66.0	43.3	3712.0	37.1	3.0	1.7	4.8	0.02	
Nov-88	326.17	58.4	7.28	797.8	493.1	546.3	53.2	150.9	100.8	3774.8	37.7	7.1	1.8	8.8	0.05	
Dic-88	207.73	50.9	5.97	706.8	489.6	535.4	45.8	99.3	68.2	3803.0	38.0	4.6	1.8	6.4	0.01	
Ene-89	183.34	61.8	4.08	682.9	477.9	532.4	54.5	90.3	60.2	3825.0	38.2	4.2	1.8	6.0	0.23	
Feb-89	149.11	125.4	4.18	627.0	417.0	518.7	102.8	84.4	42.9	3829.6	38.3	3.0	1.8	4.8	0.02	
Mar-89	95.58	88.4	3.21	512.6	401.7	469.0	67.4	28.1	17.4	3808.9	38.1	1.2	1.8	3.0	0.00	
Abr-89	133.87	71.0	2.38	535.3	425.8	482.3	58.5	31.8	21.2	3782.2	37.9	1.5	1.8	3.3	0.14	
May-89	282.18	74.8	4.99	688.0	487.7	533.2	65.6	92.8	61.9	3815.0	38.2	4.3	1.8	6.1	0.05	
Jun-89	180.98	80.4	5.09	681.6	458.7	528.2	69.4	80.1	53.4	3831.0	38.3	3.7	1.8	5.5	0.01	
Jul-89	21.79	91.8	2.00	480.5	381.3	447.7	66.4	19.7	13.1	3806.1	38.1	0.9	1.8	2.7	0.12	
Ago-89	103.08	91.8	1.56	484.4	383.5	450.4	87.0	20.4	13.6	3781.8	37.8	1.0	1.8	2.7	0.85	
Sep-89	126.78	80.2	1.70	510.3	406.2	467.8	81.3	25.8	17.1	3781.3	37.8	1.2	1.8	3.0	0.55	
Oct-89	287.75	72.8	3.78	674.0	487.1	530.7	63.6	88.0	57.3	3780.8	37.8	4.0	1.8	5.8	0.29	
Nov-89	154.85	71.2	4.37	621.9	457.3	518.2	60.9	62.2	41.5	3784.5	37.8	2.8	1.8	4.7	0.01	
Dic-89	84.08	84.8	3.18	541.4	433.4	485.6	52.2	33.5	22.1	3789.1	37.7	1.6	1.8	3.3	0.00	
Ene-90	123.93	68.1	3.22	557.3	439.6	493.8	54.0	38.3	25.5	3757.0	37.6	1.8	1.8	3.8	0.01	
Feb-90	184.15	63.8	3.55	603.7	468.5	512.4	48.0	54.8	36.5	3758.0	37.6	2.6	1.8	4.3	0.05	
Mar-90	139.37	67.3	3.66	605.9	458.0	513.2	57.2	56.6	37.1	3755.5	37.6	2.8	1.8	4.4	0.05	
Abr-90	220.17	50.3	4.88	678.2	486.3	531.1	44.8	67.0	58.0	3775.8	37.8	4.1	1.8	6.8	0.04	
May-90	127.76	45.4	4.55	614.1	478.3	515.8	39.6	68.9	39.3	3777.3	37.8	2.8	1.8	4.5	0.00	
Jun-90	64.18	61.8	2.18	540.5	435.2	488.1	49.6	33.3	22.2	3781.8	37.6	1.6	1.8	3.3	0.30	
Jul-90	38.00	68.3	1.36	471.2	382.8	441.1	48.4	18.1	12.1	3738.5	37.4	0.8	1.7	2.8	0.82	
Ago-90	31.63	56.5	1.09	424.3	386.3	404.5	38.2	11.9	7.9	3707.4	37.1	0.6	1.7	2.3	1.22	
Sep-90	85.77	64.3	1.15	482.1	387.9	434.3	48.3	18.7	11.1	3681.7	36.8	0.8	1.7	2.5	1.40	
Oct-90	270.59	37.4	3.32	656.5	494.1	527.5	33.5	78.8	52.4	3897.1	37.0	3.7	1.7	5.4	0.40	
Nov-90	186.27	44.1	5.97	683.3	482.8	532.4	39.8	90.5	60.4	3720.3	37.2	4.2	1.7	6.0	0.00	
Dic-90	141.25	33.4	3.83	634.1	492.0	521.8	29.7	67.5	45.0	3728.0	37.3	3.2	1.7	4.9	0.15	

1365

VALIDACIÓN MODELO ABCD RÍO CALI
PRECIPITACIÓN POR MÉTODO DE ISOYETAS
(ENE/91-DIC/94)

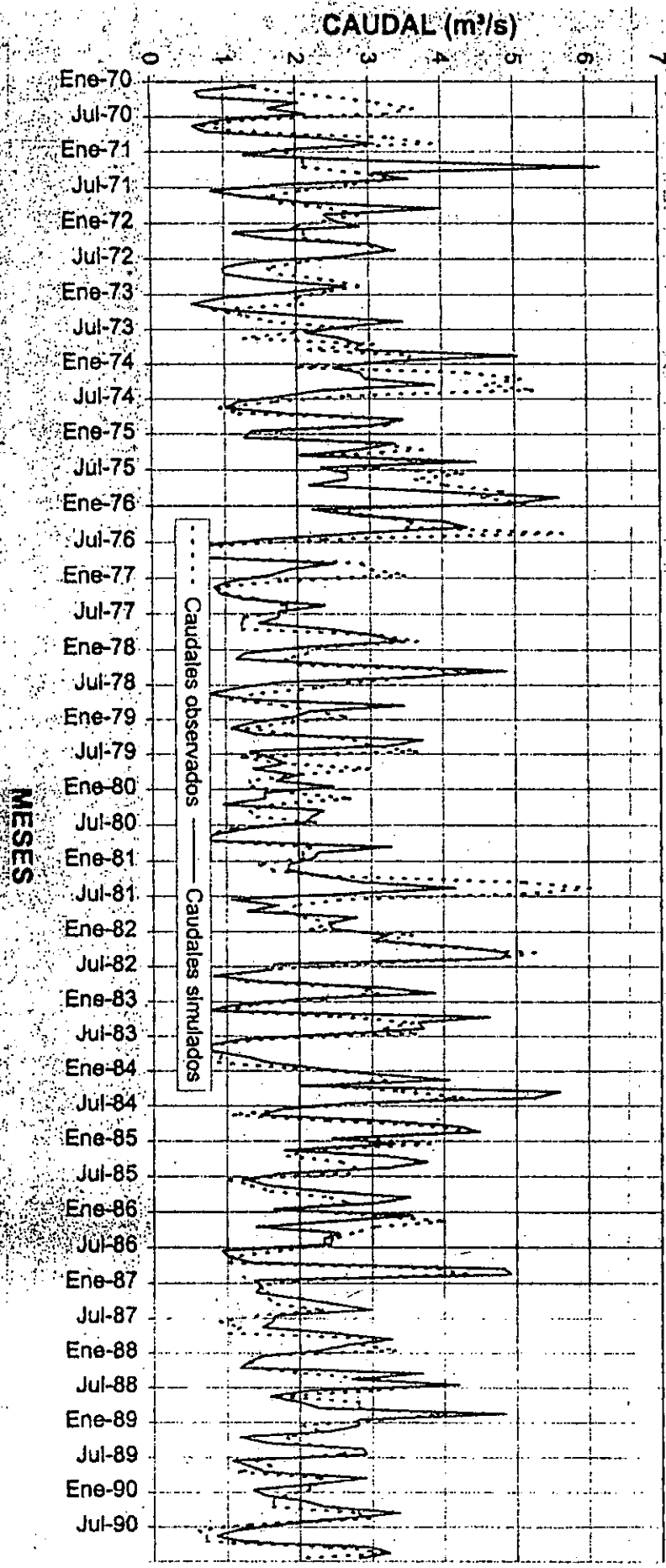


1366

VALIDACIÓN MODELO ABCD RIO CALI PRECIPITACION POR ISOYETAS

MES	P	P	EP	Ro	W	S	Y	E	DR	GR	G	GD	DR	GD	R	ERROR
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene-01	36.31	86.1	2.55	531.3	427.5	480.0	52.5	30.7	20.9	3711.5	37.1	1.4	1.7	3.2	0.06	
Feb-01	84.11	51.1	1.80	511.6	426.3	468.4	40.2	25.9	17.3	3691.7	36.9	1.2	1.7	2.9	0.40	
Mar-01	183.70	66.8	2.66	612.0	456.8	515.2	58.6	58.1	38.7	3660.5	36.6	2.7	1.7	4.4	0.45	
Abr-01	242.26	65.3	4.43	698.0	477.1	535.0	57.9	96.3	66.6	3721.8	37.2	4.6	1.7	6.3	0.19	
May-01	227.53	48.8	5.61	704.7	491.1	536.0	44.8	101.2	67.5	3751.8	37.5	4.7	1.8	6.5	0.03	
Jun-01	129.16	77.8	4.14	611.3	448.4	514.8	65.5	57.8	38.5	3752.8	37.5	2.7	1.8	4.8	0.01	
Jul-01	90.93	80.7	2.46	510.3	405.9	487.8	61.7	28.6	17.1	3732.5	37.3	1.2	1.7	2.9	0.04	
Ago-01	34.10	89.0	1.83	440.0	358.9	417.2	60.3	13.7	9.1	3704.8	37.0	0.6	1.7	2.4	0.21	
Sep-01	180.32	90.8	1.74	537.2	412.2	483.3	71.1	32.3	21.8	3689.3	36.8	1.5	1.7	3.2	0.74	
Oct-01	90.70	88.2	1.99	502.9	410.7	462.0	52.2	24.0	16.0	3688.8	36.7	1.1	1.7	2.8	0.18	
Nov-01	154.72	53.8	3.30	561.4	450.9	495.5	44.6	39.5	26.4	3658.4	36.6	1.9	1.7	3.6	0.01	
Dic-01	86.85	60.0	2.34	537.7	435.3	483.6	48.3	32.5	21.7	3643.6	36.4	1.5	1.7	3.2	0.07	
Ene-02	86.70	67.5	1.75	522.0	421.7	474.7	63.0	28.4	18.9	3626.2	36.3	1.3	1.7	3.0	0.23	
Feb-02	108.50	65.2	2.01	530.2	427.6	479.4	51.8	30.4	20.3	3610.4	36.1	1.4	1.7	3.1	0.31	
Mar-02	87.27	86.6	1.59	494.8	393.1	457.8	64.5	22.4	14.9	3599.4	35.9	1.0	1.7	2.7	0.51	
Abr-02	147.82	73.4	2.07	540.9	426.7	485.3	56.8	33.4	22.2	3575.9	35.8	1.6	1.7	3.2	0.32	
May-02	183.35	73.4	3.39	610.0	452.4	514.5	62.2	67.3	36.2	3578.3	35.8	2.7	1.7	4.4	0.08	
Jun-02	83.25	84.5	2.90	515.6	400.0	470.9	64.9	26.8	17.9	3560.6	35.6	1.3	1.7	2.9	0.07	
Jul-02	48.19	70.8	1.68	452.2	378.9	426.7	48.9	15.3	10.2	3535.4	35.4	0.7	1.7	2.4	0.17	
Ago-02	55.45	87.0	1.12	432.4	346.7	411.1	64.4	12.8	8.5	3508.8	35.1	0.8	1.6	2.2	1.00	
Sep-02	121.47	79.4	1.20	468.2	381.8	438.6	67.0	17.8	11.7	3485.7	34.9	0.8	1.6	2.5	1.10	
Oct-02	114.07	75.1	1.48	495.9	401.7	458.3	66.6	22.6	15.0	3468.1	34.7	1.1	1.6	2.7	0.86	
Nov-02	200.77	73.4	2.46	602.6	460.2	512.0	61.9	54.3	36.2	3467.6	34.7	2.5	1.6	4.2	0.48	
Dic-02	105.66	59.0	2.80	565.7	444.4	482.8	48.4	37.8	25.2	3458.2	34.6	1.8	1.6	3.4	0.09	
Ene-03	119.17	65.6	3.20	563.8	442.5	496.5	64.0	40.2	26.8	3450.5	34.5	1.9	1.6	3.5	0.01	
Feb-03	157.64	67.9	3.60	600.0	453.8	511.2	57.4	53.3	35.5	3451.6	34.5	2.3	1.6	4.1	0.01	
Mar-03	221.74	78.0	3.70	675.6	463.1	531.0	67.9	88.7	57.8	3474.6	34.7	4.1	1.6	6.7	0.29	
Abr-03	350.39	55.9	6.80	813.4	490.3	547.5	51.1	159.6	106.4	3545.6	35.5	7.5	1.7	9.1	0.10	
May-03	284.97	65.7	7.80	781.3	494.1	544.9	50.7	141.9	94.6	3604.1	36.0	6.6	1.7	8.3	0.00	
Jun-03	136.38	71.6	5.00	624.5	457.7	510.0	61.3	63.3	42.2	3610.2	36.1	3.0	1.7	4.7	0.00	
Jul-03	44.35	80.0	2.20	502.0	401.8	462.3	60.8	23.8	15.9	3590.2	35.9	1.1	1.7	2.8	0.07	
Ago-03	26.68	97.8	1.37	427.4	342.9	407.1	64.2	12.2	8.1	3582.7	35.8	0.6	1.7	2.2	0.40	
Sep-03	162.02	59.9	1.80	504.9	417.9	464.2	46.3	24.4	16.3	3543.6	35.4	1.1	1.7	2.8	0.31	
Oct-03	143.72	37.6	3.10	561.8	464.0	495.6	31.8	39.8	26.4	3534.6	35.3	1.9	1.7	3.5	0.02	
Nov-03	205.42	40.7	5.30	669.4	493.3	529.8	36.5	83.8	55.6	3554.9	35.5	3.9	1.7	5.6	0.00	
Dic-03	67.65	33.7	2.70	550.9	462.3	490.4	28.1	36.3	24.2	3543.7	35.4	1.7	1.7	3.4	0.08	
Ene-04	136.89	36.6	3.74	598.0	476.7	510.5	31.8	62.5	35.0	3543.3	35.4	2.5	1.7	4.1	0.01	
Feb-04	137.74	50.1	4.16	616.4	473.1	516.6	43.4	59.9	40.0	3547.7	35.5	2.8	1.7	4.5	0.00	
Mar-04	209.05	60.9	4.79	682.2	481.6	532.2	70.4	90.0	60.0	3672.0	36.7	4.2	1.7	5.9	0.05	
Abr-04	369.86	68.5	9.53	861.5	489.6	550.3	60.7	186.6	124.4	3698.8	36.9	8.7	1.7	10.5	0.01	
May-04	331.59	65.1	8.52	821.2	472.0	548.0	76.0	169.9	109.3	3731.8	37.3	7.7	1.7	9.4	0.01	
Jun-04	49.37	44.1	6.81	521.4	438.0	474.3	35.3	28.2	16.8	3713.4	37.1	1.3	1.7	3.1	0.43	
Jul-04	84.11	90.1	2.66	523.1	405.8	475.4	66.5	28.7	19.5	3695.6	37.0	1.3	1.7	3.1	0.04	
Ago-04	85.85	85.4	1.42	491.5	392.0	465.3	63.3	21.7	14.5	3673.3	36.7	1.0	1.7	2.7	0.86	
Sep-04	55.06	87.1	1.17	447.1	373.8	422.8	47.0	14.8	9.7	3648.8	36.5	0.7	1.7	2.4	1.10	
Oct-04	188.44	72.6	2.51	564.2	437.4	496.8	60.4	40.5	27.0	3637.2	36.4	1.9	1.7	3.6	0.19	
Nov-04	294.79	64.9	3.70	732.2	481.7	539.7	58.1	115.6	77.0	3677.4	36.8	5.4	1.7	7.1	0.86	
Dic-04	109.76	44.0	3.40	691.4	470.3	508.1	37.8	60.0	33.3	3674.0	36.7	2.3	1.7	4.1	0.04	
Ene-05	83.25	73.3	2.01	553.6	430.9	491.6	60.8	37.1	24.7	3662.1	36.6	1.7	1.7	3.5	0.51	
Feb-05	16.00	71.5	1.44	446.9	372.9	422.7	49.8	14.8	9.7	3635.4	36.4	0.7	1.7	2.4	0.43	
Mar-05	210.47	80.9	1.73	683.3	438.2	505.0	66.8	47.0	31.4	3630.5	36.3	2.2	1.7	3.9	1.58	
Abr-05	187.44	65.9	1.54	625.6	462.6	519.3	50.7	63.8	42.5	3636.7	36.4	3.0	1.7	4.7	4.15	
May-05	226.84	68.8	2.78	689.6	473.1	533.5	60.5	93.8	62.4	3662.4	36.6	4.4	1.7	6.1	1.43	
Jun-05	262.27	73.1	4.73	736.3	473.1	540.1	65.0	117.1	78.1	3703.6	37.0	5.5	1.7	7.2	0.28	
Jul-05	144.72	85.3	1.29	619.6	445.8	517.6	72.0	61.3	40.8	3707.3	37.1	2.9	1.7	4.6	6.55	
Ago-05	102.01	77.6	0.90	547.7	426.5	488.8	62.3	35.3	23.5	3693.9	36.9	1.7	1.7	3.4	7.66	
Sep-05	99.58	80.9	6.09	526.0	413.9	477.1	63.2	28.4	16.6	3678.7	36.8	1.4	1.7	3.1	0.24	
Oct-05	261.86	73.9	5.18	675.8	498.4	531.0	64.6	86.8	57.9	3697.7	37.0	4.1	1.7	5.8	0.01	
Nov-05	148.25	73.8	3.17	614.7	453.3	516.0	62.7	68.2	39.5	3700.1	37.0	2.8	1.7	4.5	0.18	
Dic-05	182.86	59.9	4.80	656.2	470.1	522.2	52.1	68.4	45.6	3708.6	37.1	3.2	1.7	4.9	0.00	
Ene-06	97.37	57.3	2.04	567.5	450.8	498.3	47.7	41.5	27.7	3699.3	37.0	1.9	1.7	3.7	0.84	
Feb-06	115.37	60.4	3.20	566.0	447.5	497.5	50.0	41.0	27.4	3698.8	36.9	1.9	1.7	3.6	0.82	
Mar-06	324.00	65.0	7.80	771.5	485.4	544.0	58.6	136.5	91.0	3743.4	37.4	6.4	1.6	8.1	0.01	
Abr-06	185.03	81.0	5.40	670.4	489.7	530.0	70.2	84.2	56.2	3761.9	37.6	3.9	1.6	5.7	0.00	
May-06	291.84	64.4	9.10	751.6	494.1	542.0	57.8	125.8	63.8	3807.7	38.1	5.9	1.6	7.7	0.02	
Jun-06	222.05	79.8	5.90	706.1	469.4	536.2	68.8	102.0	68.0	3837.3	38.4	4.8	1.6	8.6	0.01	
Jul-06	132.30	113.8	4.80	601.7	419.3	511.7	92.6	53.9	36.0	3834.9	38.3	2.8	1.6	4.3	0.01	
Ago-06	75.39	81.9	1.50	494.7	395.2	457.5	61.2	22.3	14.9	3811.7	38.1	1.0	1.6	2.8	0.79	
Sep-06	178.84	98.2	2.30	575.1	422.2	501.6	79.4	44.1	28.4	3803.0	38.0	2.1	1.6	3.8	0.48	
Oct-06	200.85	72.6	4.30	625.8	457.3	519.3	62.1	63.8	42.6	3807.8	38.1	3.0	1.6	4.8	0.01	
Nov-06	228.47	67.6	4.70	665.7	473.2	532.9	59.6	91.7	61.2	3830.4	38.3	4.3	1.6	6.1	0.09	
Dic-06	207.35	61.3	4.80	660.6	477.7	531.9	54.2	88.2	59.5	3851.4	38.5	4.2	1.6	6.0	0.00	

1367



CALIBRACIÓN MODELO ABCD RÍO PICHINDÉ
PRECIPITACIÓN POR MÉTODO DE ISOYETAS
(ENE/70-DIC/90)

CALIBRACIÓN MODELO ABCD RIO PICHINDE PRECIPITACION POR ISOYETAS

MEB	P	P	EP	Ro	W	S	Y	E	DR	GR	G	GD	DR	GD	R	ERROR
	(mm)	(m³/s)	(mm)	(m³/s)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
Ene-70	108.50		110.1	1.25	418.8	244.1	321.4	77.3	78.2	19.0	191.8	2.7	1.4	0.1	1.5	0.03
Feb-70	56.27		130.3	1.74	302.3	191.2	264.7	73.8	30.1	7.5	196.8	2.8	0.6	0.1	0.6	0.42
Mar-70	120.47		120.9	2.46	311.5	200.0	270.8	70.8	32.8	8.2	201.9	2.8	0.6	0.1	0.7	0.33
Abr-70	270.85		121.4	3.12	470.9	248.4	337.8	88.4	106.4	26.8	225.4	3.2	2.0	0.1	2.1	0.12
May-70	178.97		92.9	3.63	429.1	258.2	325.8	87.8	82.7	20.7	242.7	3.4	1.5	0.1	1.6	0.31
Jun-70	220.48		111.3	3.24	478.8	257.2	339.7	82.5	111.1	27.8	260.7	3.7	2.1	0.1	2.2	0.11
Jul-70	97.44		112.0	1.28	384.8	222.8	294.8	72.0	47.9	12.0	274.9	3.8	0.9	0.1	1.0	0.06
Ago-70	68.97		141.8	0.71	289.8	179.9	256.5	78.6	28.6	6.7	277.8	3.9	0.5	0.1	0.6	0.04
Sep-70	143.67		97.7	1.24	323.6	217.6	277.8	60.2	36.6	9.2	282.8	4.0	0.7	0.1	0.8	0.15
Oct-70	272.96		148.9	3.33	490.8	238.1	342.8	106.5	118.4	29.6	308.1	4.3	2.2	0.1	2.3	0.10
Nov-70	319.18		75.2	3.88	555.2	260.8	354.8	80.8	160.5	40.1	343.4	4.8	3.0	0.1	3.1	0.04
Dic-70	184.84		71.9	1.88	458.8	278.5	334.6	65.1	99.2	24.8	363.2	5.1	1.9	0.1	2.0	0.03
Ene-71	108.58		87.0	1.98	388.1	249.8	310.3	80.7	62.2	15.6	373.5	8.2	1.2	0.1	1.3	0.13
Feb-71	307.77		109.8	2.10	557.4	289.7	354.9	83.2	182.0	40.5	408.3	5.7	3.0	0.1	3.1	0.25
Mar-71	510.08		110.8	2.11	780.4	284.2	374.9	90.7	324.4	81.1	482.8	6.6	6.1	0.1	6.2	3.78
Abr-71	263.59		101.0	2.85	547.7	274.5	353.4	78.8	155.5	38.9	514.3	7.2	2.9	0.1	3.0	0.00
May-71	312.39		98.6	3.36	588.9	282.0	359.0	77.0	182.3	45.8	552.1	7.7	3.4	0.1	3.8	0.00
Jun-71	152.82		102.6	2.71	434.8	253.5	327.5	74.0	85.8	21.5	585.7	7.9	1.8	0.1	1.8	0.12
Jul-71	66.85		116.1	2.08	320.1	208.3	275.7	69.5	35.5	8.9	588.6	7.9	0.7	0.1	0.6	0.37
Ago-71	184.48		113.2	1.81	390.8	234.6	311.4	78.8	63.5	15.8	574.5	8.0	1.2	0.2	1.3	0.03
Sep-71	236.09		117.8	1.78	470.7	251.8	337.8	86.0	108.4	28.8	562.7	8.3	2.0	0.2	2.1	0.04
Oct-71	368.00		101.4	2.48	618.8	261.8	382.8	81.2	205.5	51.4	635.2	8.9	3.6	0.2	4.0	0.38
Nov-71	208.64		96.4	2.86	490.2	269.1	342.4	73.3	118.2	28.5	653.6	9.2	2.2	0.2	2.4	0.03
Dic-71	231.80		92.8	2.41	501.0	273.4	344.8	71.4	129.0	31.2	677.4	9.5	2.3	0.2	2.5	0.00
Ene-72	257.27		98.4	1.99	530.7	274.1	350.5	78.5	144.1	36.0	703.5	9.8	2.7	0.2	2.9	0.20
Feb-72	84.64		122.9	2.10	358.7	218.3	298.8	78.5	49.5	12.4	708.0	9.9	0.9	0.2	1.1	0.22
Mar-72	194.80		113.5	2.11	413.1	241.0	320.1	79.1	74.4	18.6	714.8	10.0	1.4	0.2	1.8	0.06
Abr-72	301.12		101.0	2.85	542.1	273.8	352.8	78.7	151.7	37.9	742.2	10.4	2.8	0.2	3.0	0.00
May-72	290.35		89.9	3.36	584.2	284.2	355.9	71.7	186.6	41.7	773.0	10.8	3.1	0.2	3.3	0.00
Jun-72	229.28		98.8	2.71	513.5	272.7	347.3	74.7	132.8	33.2	785.1	11.1	2.5	0.2	2.7	0.00
Jul-72	113.00		111.8	2.06	385.7	233.8	309.3	78.4	61.1	13.3	789.2	11.2	1.1	0.2	1.4	0.12
Ago-72	102.15		102.4	1.81	336.0	220.5	284.8	84.4	40.9	10.2	798.2	11.2	0.8	0.2	1.0	0.18
Sep-72	119.86		97.7	1.78	340.4	225.1	287.3	82.2	42.5	10.8	787.7	11.2	0.8	0.2	1.0	0.19
Oct-72	186.31		76.5	2.48	411.4	263.8	319.5	55.6	73.5	18.4	804.8	11.3	1.4	0.2	1.8	0.13
Nov-72	247.88		86.0	2.86	611.7	273.7	347.0	73.3	131.8	32.9	828.2	11.6	2.5	0.2	2.7	0.00
Dic-72	172.57		71.9	2.41	448.2	278.5	331.0	64.5	92.2	23.0	837.5	11.7	1.7	0.2	1.9	0.04
Ene-73	57.54		86.1	1.99	334.1	223.2	283.8	60.6	40.2	10.1	835.8	11.7	0.8	0.2	1.0	0.26
Feb-73	24.85		143.5	2.10	247.8	158.2	228.4	88.3	17.1	4.3	828.5	11.8	0.8	0.2	0.8	0.53
Mar-73	180.05		121.1	0.85	338.2	211.4	288.1	74.7	41.7	10.4	827.4	11.8	0.8	0.2	1.0	0.03
Abr-73	281.03		95.8	1.30	482.4	284.1	335.8	71.5	101.5	25.4	841.0	11.8	1.8	0.2	2.1	0.39
May-73	309.34		83.0	1.63	573.5	290.3	357.2	68.9	173.0	43.3	872.0	12.2	3.2	0.2	3.5	1.28
Jun-73	217.86		77.5	2.50	508.0	285.3	348.2	61.0	129.4	32.3	891.9	12.5	2.4	0.2	2.7	0.00
Jul-73	175.31		88.0	1.86	460.6	282.3	333.1	72.8	100.4	25.1	904.3	12.7	1.9	0.2	2.1	0.01
Ago-73	240.78		91.5	1.27	503.1	274.8	345.2	70.6	128.3	31.8	922.9	12.9	2.4	0.2	2.6	1.10
Sep-73	249.71		93.5	3.08	524.4	278.5	349.4	72.9	140.0	35.0	944.7	13.2	2.6	0.2	2.9	0.00
Oct-73	242.36		72.1	2.17	518.9	290.9	348.4	57.5	136.4	34.1	968.3	13.5	2.6	0.3	2.8	0.08
Nov-73	307.73		78.8	3.58	688.8	304.7	369.1	64.4	255.6	63.9	1018.0	14.2	4.8	0.3	5.1	0.17
Dic-73	248.17		77.3	3.62	552.9	291.9	354.2	62.3	159.0	39.7	1040.2	14.8	3.0	0.3	3.3	0.01
Ene-74	186.11		78.7	1.99	490.0	282.7	342.4	59.7	118.1	28.5	1054.9	14.8	2.2	0.3	2.5	0.08
Feb-74	238.41		81.5	4.35	522.1	277.8	349.0	71.4	138.5	34.8	1074.5	15.0	2.6	0.3	2.9	0.11
Mar-74	249.15		85.6	5.08	526.8	282.4	349.8	67.4	141.8	35.4	1094.8	15.3	2.7	0.3	2.9	0.18
Abr-74	320.20		83.6	4.60	602.8	282.9	360.9	68.0	183.4	48.3	1127.1	15.8	3.6	0.3	3.9	0.02
May-74	184.21		86.9	5.25	477.1	273.1	339.4	66.3	110.2	27.5	1138.7	15.9	2.1	0.3	2.4	0.30
Jun-74	150.55		82.7	2.84	423.6	283.3	323.8	60.5	78.8	20.0	1142.7	16.0	1.5	0.3	1.8	0.10
Jul-74	89.19		98.0	1.88	352.5	228.8	283.7	63.8	47.1	11.8	1138.5	15.9	0.9	0.3	1.2	0.08
Ago-74	96.91		103.4	0.82	328.7	215.9	279.6	63.7	37.7	9.4	1132.1	15.8	0.7	0.3	1.0	0.01
Sep-74	217.78		109.5	1.19	433.7	248.8	327.2	78.3	89.2	21.3	1137.5	15.9	1.6	0.3	1.9	0.38
Oct-74	318.75		79.8	3.45	667.0	292.0	356.4	64.3	180.0	42.2	1163.4	16.3	3.2	0.3	3.5	0.00
Nov-74	239.56		77.8	3.22	531.8	288.6	350.7	62.1	144.7	36.2	1183.0	16.6	2.7	0.3	3.0	0.00
Dic-74	86.03		85.3	1.73	378.7	248.7	305.3	58.8	57.1	14.3	1180.8	16.5	1.1	0.3	1.4	0.04
Ene-75	115.23		89.6	1.89	381.9	238.8	298.4	69.8	50.8	12.7	1177.0	16.5	1.0	0.3	1.3	0.08
Feb-75	319.83		87.0	3.00	558.2	289.8	353.0	69.4	182.8	49.8	1200.8	16.8	3.0	0.3	3.4	0.01
Mar-75	232.50		97.2	3.73	518.1	273.1	348.2	75.1	133.9	34.0	1217.8	17.0	2.5	0.3	2.8	0.06
Abr-75	171.67		86.4	2.46	444.8	288.4	330.6	64.2	91.4	22.6	1223.5	17.1	1.7	0.3	2.0	0.03
May-75	375.52		102.4	3.80	641.8	282.8	365.1	62.5	221.5	55.4	1261.2	17.7	4.1	0.3	4.8	0.03
Jun-75	187.77		81.3	2.82	470.4	278.8	337.7	62.1	106.2	28.5	1270.0	17.8	2.0	0.3	2.3	0.04
Jul-75	228.80		92.8	4.28	502.5	273.7	345.1	71.4	125.9	31.5	1283.5	18.0	2.4	0.3	2.7	0.14
Ago-75	225.24		88.8	3.62	501.9	278.3	345.0	68.7	125.5	31.4	1286.7	18.2	2.4	0.3	2.7	0.07
Sep-75	177.91		96.9	4.08	454.2	280.3	333.3	73.0	86.7	24.2	1302.8	18.2	1.8	0.3	2.2	0.22
Oct-75	322.00		70.7	4.84	582.3	301.4	389.7	58.3	188.1	48.5	1330.5	18.6	3.8	0.3	3.8	0.04
Nov-75	420.97		78.2	4.63	722.4	307.8	371.5	63.7	280.7	70.2	1381.4	19.3	5.3	0.4	5.6	0.08
Dic-75	388.21		72.1	5.14	674.0	307.3	387.9	60.7	244.9	81.2	1422.7	19.9	4.6	0.4	5.0	0.00
Ene-76	148.27		94.7	2.32	455.5	283.3	333.7	70.4	97.5	24.4	1427.0	20.0	1.8	0.4	2.2	0.00
Feb-76	248.87		107.5	2.98	510.2	285.0	348.7	81.7	130.8	32.7	1438.8	20.2	2.5	0.4	2.8	0.00
Mar-76	338.91		100.9	3.58	603.9	288.6	361.1	80.5	194.3	48.8	1467.5	20.5	3.8	0.4	4.0	0.02
Abr-76	248.94		82.4	3.80	627.5	295.9	363.7	87.7	211.1	52.8	1488.4	21.0	4.0	0.4	4.3	0.06
May-76	209.77		76.0	5.68	608.7	285.9	345.8	59.8	127.9	32.0	1510.2	21.				

1369

CALIBRACIÓN MODELO ABCD RIO PICHINDE PRECIPITACION POR BOYETAS

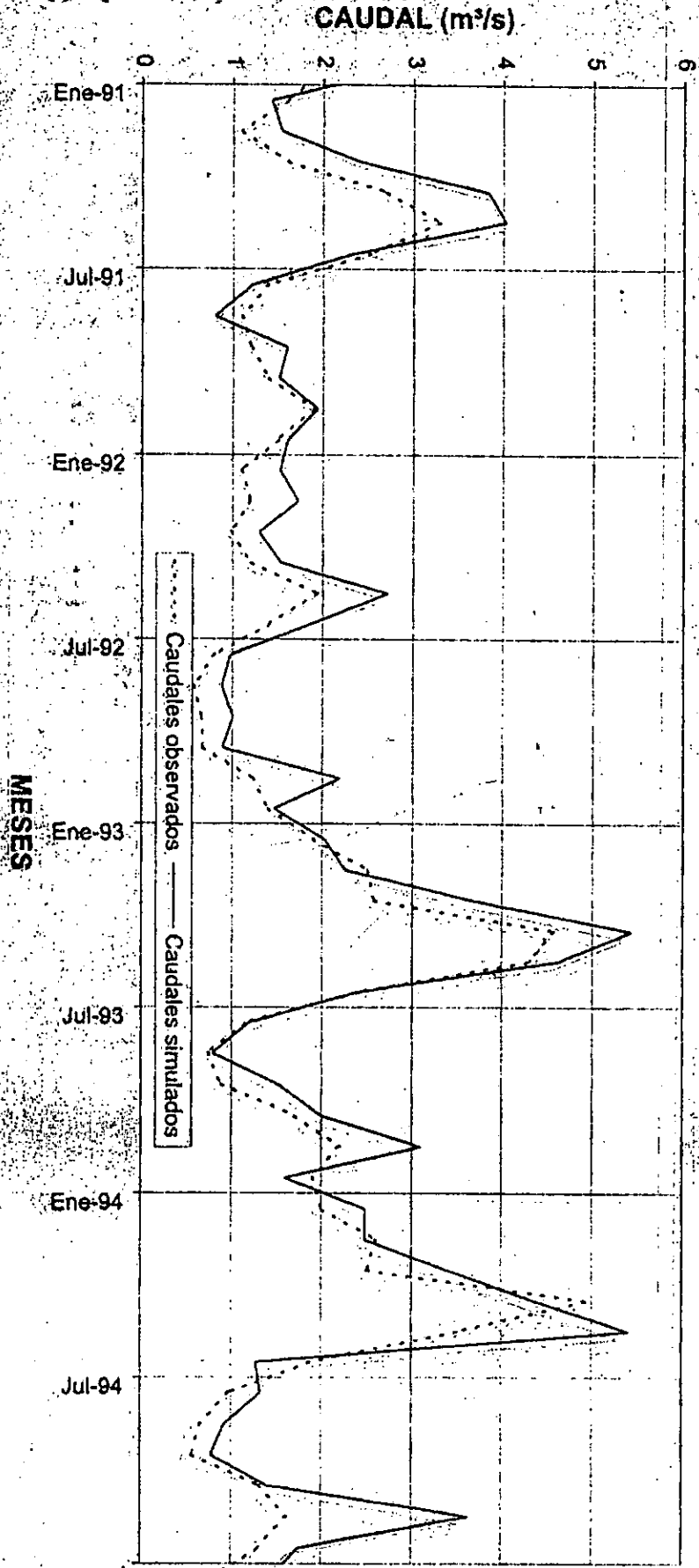
MES	P	P	EP	Ro	W	S	Y	S	DR	GR	Q	GO	DR	GO	R	ERROR
	(mm)	(m/s)	(mm)	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)
Oct-77	263.83		68.3	3.14	528.9	298.4	348.9	53.4	141.8	35.4	1435.7	20.1	2.7	0.4	3.0	0.00
Nov-77	262.64		68.7	3.85	559.1	283.6	355.1	71.4	183.1	40.8	1456.1	20.4	3.1	0.4	3.4	0.00
Dic-77	161.70		77.3	2.30	445.5	272.6	330.8	58.2	91.7	22.9	1458.7	20.4	1.7	0.4	2.1	0.01
Ene-78	81.06		92.2	2.13	353.7	233.7	294.3	60.6	47.5	11.8	1450.2	20.3	0.8	0.4	1.3	0.16
Feb-78	102.39		89.4	1.83	336.1	227.9	285.0	67.1	40.9	10.2	1440.3	20.2	0.8	0.4	1.1	0.14
Mar-78	268.04		108.4	2.01	495.9	282.1	343.7	81.8	121.8	30.4	1450.4	20.3	2.3	0.4	2.7	0.11
Abr-78	406.10		67.5	4.42	688.2	310.4	387.4	57.1	240.6	60.2	1480.7	20.8	4.5	0.4	4.8	0.01
May-78	274.24		67.9	3.77	584.6	302.7	358.7	68.0	180.7	45.2	1513.7	21.2	3.4	0.4	3.8	0.00
Jun-78	101.83		85.4	2.70	404.5	236.0	316.9	60.9	70.1	17.5	1510.1	21.1	1.3	0.4	1.7	0.13
Jul-78	80.06		106.8	2.24	336.0	218.3	284.9	66.6	40.9	10.2	1489.4	21.0	0.8	0.4	1.2	0.23
Ago-78	36.85		128.0	1.36	256.1	168.4	231.9	63.5	18.8	4.6	1483.2	20.8	0.3	0.4	0.7	0.21
Sep-78	198.30		122.7	1.06	364.7	220.8	299.7	79.2	52.0	13.0	1475.8	20.7	1.0	0.4	1.4	0.08
Oct-78	340.84		95.3	1.82	561.4	280.0	355.5	78.5	164.7	41.2	1495.8	20.9	3.1	0.4	3.5	0.84
Nov-78	170.89		85.9	2.21	450.7	268.1	332.3	64.2	94.7	23.7	1496.5	21.0	1.8	0.4	2.2	0.00
Dic-78	161.93		102.2	2.65	430.0	252.5	328.0	73.5	83.3	20.8	1496.3	21.0	1.8	0.4	2.0	0.07
Ene-79	109.08		87.0	1.81	361.5	239.9	298.2	58.3	50.7	12.7	1490.1	20.9	0.9	0.4	1.3	0.07
Feb-79	82.80		118.2	1.28	322.7	208.4	277.3	70.8	30.3	6.1	1478.5	20.7	0.7	0.4	1.1	0.03
Mar-79	166.80		120.9	1.87	372.9	234.4	303.6	79.2	85.5	13.9	1471.8	20.6	1.0	0.4	1.4	0.08
Abr-79	356.61		88.0	2.73	581.0	287.5	358.2	70.7	178.2	44.8	1486.4	20.9	3.3	0.4	3.7	0.13
May-79	256.77		68.4	2.68	544.3	282.9	352.8	69.9	153.2	38.3	1512.5	21.2	2.9	0.4	3.3	0.01
Jun-79	75.83		81.3	3.63	358.7	242.2	298.8	54.8	40.5	12.4	1503.8	21.1	0.9	0.4	1.3	0.40
Jul-79	148.74		117.5	1.22	391.0	232.2	311.5	78.3	63.6	15.9	1498.8	21.0	1.2	0.4	1.6	0.09
Ago-79	188.61		94.2	1.74	418.8	254.6	322.1	67.6	77.3	19.3	1497.1	21.0	1.4	0.4	1.8	0.00
Sep-79	110.95		98.9	2.98	383.5	234.3	300.1	65.8	52.3	13.1	1489.4	20.9	1.0	0.4	1.4	0.29
Oct-79	197.83		73.5	1.99	432.0	270.4	326.6	58.2	64.3	21.1	1489.6	20.9	1.8	0.4	2.0	0.00
Nov-79	132.38		77.9	1.32	402.8	260.2	318.2	58.0	68.2	17.3	1486.1	20.8	1.3	0.4	1.7	0.08
Dic-79	229.84		68.1	1.35	481.1	287.1	340.3	53.3	112.6	28.2	1493.3	20.9	2.1	0.4	2.5	0.72
Ene-80	98.05		93.5	1.89	385.1	244.6	308.0	64.4	60.9	15.2	1487.7	20.8	1.1	0.4	1.5	0.04
Feb-80	141.89		96.4	2.71	388.3	243.2	309.5	68.3	61.4	15.4	1482.3	20.8	1.2	0.4	1.5	0.19
Mar-80	58.69		114.0	1.84	302.2	199.0	264.7	63.7	30.0	7.5	1489.3	20.8	0.8	0.4	0.9	0.18
Abr-80	269.82		87.0	1.33	468.8	271.4	337.3	65.9	105.2	28.3	1474.9	20.6	2.0	0.4	2.4	0.59
May-80	180.36		84.0	1.42	451.7	268.6	332.6	63.0	95.3	23.8	1478.1	20.7	1.8	0.4	2.2	0.26
Jun-80	174.26		89.3	2.24	443.9	264.2	330.3	66.1	90.8	22.7	1490.0	20.7	1.7	0.4	2.1	0.00
Jul-80	90.82		110.7	1.08	354.9	223.8	294.9	71.3	48.0	12.0	1471.4	20.6	0.9	0.4	1.3	0.04
Ago-80	53.14		128.6	0.74	276.7	180.4	247.8	67.2	23.3	5.8	1456.9	20.4	0.4	0.4	0.8	0.01
Sep-80	72.32		120.0	0.67	252.7	170.5	220.1	59.8	18.1	4.5	1441.2	20.2	0.3	0.4	0.7	0.00
Oct-80	378.28		76.5	2.16	546.8	291.7	333.2	61.5	154.8	38.7	1459.5	20.4	2.9	0.4	3.3	0.27
Nov-80	189.42		63.8	2.06	481.2	285.8	335.3	49.5	100.7	25.2	1484.2	20.5	1.9	0.4	2.3	0.01
Dic-80	169.01		53.7	2.06	454.8	281.6	333.5	41.9	97.0	24.3	1467.9	20.6	1.8	0.4	2.2	0.00
Ene-81	130.67		63.3	1.45	422.3	262.5	323.3	60.6	78.1	19.8	1467.1	20.5	1.5	0.4	1.9	0.08
Feb-81	157.60		92.8	1.83	420.4	253.9	322.7	68.8	78.2	19.5	1466.2	20.5	1.5	0.4	1.8	0.02
Mar-81	211.02		103.4	2.36	486.9	280.1	336.8	78.7	104.1	26.0	1471.8	20.8	1.9	0.4	2.3	0.00
Abr-81	282.22		73.9	3.11	512.3	288.5	347.1	68.6	132.1	33.0	1483.8	20.8	2.5	0.4	2.9	0.19
May-81	328.84		74.8	6.02	614.2	300.3	362.2	61.8	201.6	50.4	1513.0	21.2	3.8	0.4	4.2	0.09
Jun-81	194.25		85.0	5.09	494.7	277.7	343.5	65.8	121.0	30.3	1522.0	21.3	2.3	0.4	2.7	0.23
Jul-81	41.92		78.7	2.58	319.8	228.2	275.4	48.2	35.3	8.8	1506.7	21.1	0.7	0.4	1.1	0.34
Ago-81	180.25		106.4	1.84	406.5	243.5	317.6	74.2	71.1	17.8	1506.4	21.1	1.3	0.4	1.7	0.01
Sep-81	106.97		88.0	1.81	352.4	235.7	293.8	68.0	47.0	11.8	1497.2	21.0	0.9	0.4	1.3	0.09
Oct-81	270.82		76.4	3.06	506.6	284.4	345.9	61.5	128.4	32.1	1508.2	21.1	2.4	0.4	2.8	0.13
Nov-81	188.03		64.4	2.48	472.4	287.9	338.2	50.3	107.4	28.8	1513.8	21.2	2.0	0.4	2.4	0.00
Dic-81	169.48		51.8	2.16	477.4	298.2	339.4	41.2	110.3	27.8	1520.1	21.3	2.1	0.4	2.5	0.02
Ene-82	242.42		71.6	3.86	640.6	294.5	352.2	57.8	150.7	37.7	1536.3	21.5	2.8	0.4	3.2	0.01
Feb-82	227.84		102.3	3.16	522.3	270.2	349.0	78.8	138.6	34.7	1549.3	21.7	2.6	0.4	3.0	0.00
Mar-82	345.14		103.4	3.78	615.4	278.8	362.4	82.8	202.4	60.6	1577.8	22.1	3.8	0.4	4.2	0.01
Abr-82	368.10		77.8	5.26	684.9	302.3	367.2	64.9	236.2	59.5	1614.7	22.6	4.5	0.4	4.9	0.01
May-82	354.87		71.7	4.73	657.2	306.3	368.5	60.2	232.6	58.1	1649.8	23.1	4.4	0.4	4.8	0.00
Jun-82	87.82		75.4	2.83	394.1	269.0	312.8	53.7	65.1	18.3	1643.0	23.0	1.2	0.4	1.6	0.17
Jul-82	132.39		80.5	1.54	391.4	265.0	311.7	66.7	63.8	18.0	1636.1	22.9	1.2	0.4	1.6	0.00
Ago-82	9.52		79.0	0.86	264.5	196.0	238.9	42.8	20.5	5.1	1618.5	22.7	0.4	0.4	0.8	0.03
Sep-82	180.77		95.4	1.26	378.8	240.5	305.4	64.8	57.2	14.3	1610.3	22.5	1.1	0.4	1.5	0.04
Oct-82	296.63		68.6	2.94	537.2	296.2	351.7	55.4	148.4	37.1	1624.7	22.7	2.8	0.4	3.2	0.01
Nov-82	203.84		63.7	3.08	590.1	302.7	359.4	56.7	184.5	48.1	1647.7	23.1	3.5	0.4	3.9	0.07
Dic-82	126.15		56.3	2.33	430.8	282.0	326.2	44.2	83.7	20.9	1645.6	23.0	1.6	0.4	2.0	0.02
Ene-83	42.62		96.8	1.54	324.8	216.7	278.4	69.7	37.0	9.2	1632.0	22.8	0.7	0.4	1.1	0.03
Feb-83	23.91		100.2	0.86	242.6	172.1	222.4	49.3	16.2	4.0	1613.5	22.6	0.3	0.4	0.7	0.08
Mar-83	473.93		103.2	2.83	647.0	282.8	368.8	83.1	225.2	58.3	1646.7	23.1	4.2	0.4	4.6	0.70
Abr-83	287.08		66.1	3.87	599.8	302.4	358.7	54.3	170.3	42.8	1669.9	23.3	3.2	0.4	3.6	0.00
May-83	274.08		81.4	3.17	576.4	291.8	357.8	63.8	175.0	43.8	1686.1	23.6	3.3	0.4	3.7	0.03
Jun-83	197.23		77.0	3.80	489.0	282.3	342.2	69.9	117.5	29.4	1691.8	23.7	2.2	0.4	2.6	0.07
Jul-83	54.32		88.4	1.48	338.6	228.7	285.2	68.5	41.1	10.3	1678.6	23.5	0.8	0.4	1.2	0.03
Ago-83	23.47		99.5	0.77	252.1	179.1	229.7	60.6	18.0	4.5	1659.8	23.2	0.3	0.4	0.8	0.00
Sep-83	74.28		84.4	0.38	263.4	182.1	230.8	48.8	18.2	4.6	1644.4	23.0	0.3	0.4	0.8	0.11
Oct-83	186.86		80.8	0.92	349.0	238.5	291.9	53.4	46.7	11.4	1630.0	22.8	0.9	0.4	1.3	0.18
Nov-83	148.94		78.1	0.87	387.4	256.0	310.0	58.0	61.9	15.5	1622.7	22.7	1.2	0.4	1.6	0.67
Dic-83	203.30		68.9	1.92	458.3	283.0	334.5	51.5	99.1	24.8	1624.8	22.7	1.9	0.4	2.3	0.04
Ene-84	242.87		72.2	3.10	528.0	291.9	348.7	67.8	141.0	35.3	1637.1	22.9	2.6	0.4	3.1	0.00
Feb-84	312.87		65.1	3.19	604.8	291.2	361.1	70.0	194.7							

1370

CALIBRACIÓN MODELO ABCD RIO PICHINDE PRECIPITACION POR ISOTETAS

MEB	P	P	EP	Ro	W	S	Y	E	DR	GR	O	GO	DR	GD	R	ERROR
	(mm)	(mm/s)	(mm)	(mm/s)	(mm)	(mm/s)	(mm)	(mm)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)
Jul-85	83.30		83.8	1.03	337.5	228.1	245.7	59.6	41.4	10.4	1817.9	25.5	0.8	0.5	1.3	0.05
Ago-85	151.03		80.8	1.33	377.1	243.5	305.5	62.0	57.3	14.3	1807.0	25.3	1.1	0.5	1.5	0.00
Sep-85	215.90		77.7	1.80	459.4	279.7	334.8	98.1	99.7	24.9	1806.8	25.3	1.8	-0.5	2.3	0.21
Oct-85	283.94		67.4	2.42	559.8	300.1	355.2	55.1	103.5	40.9	1822.0	25.5	3.1	-0.5	3.5	0.21
Nov-85	220.41		74.9	2.68	520.5	285.1	348.7	58.6	137.5	34.4	1830.7	25.8	2.6	0.5	3.1	0.02
Dic-85	98.91		67.7	1.77	388.0	281.9	310.3	48.3	62.2	15.8	1820.8	25.5	1.2	-0.5	1.8	0.01
Ene-86	209.80		61.6	3.00	561.8	289.9	335.5	65.6	184.5	41.2	1838.3	25.7	3.1	0.5	3.8	0.04
Feb-86	184.81		82.6	4.00	474.8	275.6	338.8	63.2	106.8	27.2	1837.7	25.7	2.0	-0.5	2.5	0.14
Mar-86	80.46		64.2	3.02	358.1	238.4	285.6	58.1	48.5	12.1	1824.3	25.6	0.9	-0.8	1.4	0.28
Abr-86	238.91		75.8	2.72	478.3	281.0	339.7	58.7	110.9	27.7	1826.5	25.8	2.1	-0.5	2.6	0.00
May-86	177.05		74.5	2.45	458.0	277.6	334.4	56.9	98.0	24.7	1825.6	25.6	1.9	-0.5	2.3	0.00
Jun-86	183.12		80.7	2.43	480.7	273.9	335.1	61.2	100.4	25.1	1825.2	25.6	1.9	0.5	2.4	0.00
Jul-86	7.14		93.2	1.74	281.0	198.5	250.6	52.1	24.4	6.1	1806.0	25.3	0.5	0.5	0.9	0.22
Ago-86	100.92		91.5	1.07	299.4	208.1	282.9	63.7	29.2	7.3	1788.9	25.0	0.5	0.5	1.0	0.00
Sep-86	142.17		102.2	1.03	351.3	227.0	289.1	66.1	46.6	11.6	1778.1	24.9	0.9	0.5	1.3	0.09
Oct-86	428.56		86.7	3.91	656.6	318.0	366.4	48.5	232.1	58.0	1807.8	25.3	4.3	-0.5	4.8	0.05
Nov-86	345.48		63.1	4.31	683.5	313.5	367.0	53.8	237.1	59.3	1841.3	25.8	4.4	0.5	4.8	0.02
Dic-86	39.47		78.1	1.95	352.9	243.0	293.8	50.8	47.2	11.8	1827.8	25.8	0.8	0.5	1.4	0.09
Ene-87	125.44		87.2	1.46	368.4	242.5	301.5	59.0	93.5	13.4	1815.5	25.4	1.0	0.5	1.5	0.00
Feb-87	114.62		112.9	1.55	357.1	223.2	286.0	72.8	48.9	12.2	1802.5	25.2	0.9	0.5	1.4	0.01
Mar-87	200.63		86.3	1.57	423.8	254.6	323.9	69.3	60.0	20.0	1787.3	25.2	1.5	0.5	2.0	0.08
Abr-87	218.38		77.4	1.68	473.0	278.8	338.3	59.5	107.7	26.9	1799.0	25.2	2.0	0.5	2.5	0.23
May-87	237.72		73.9	2.31	516.6	288.3	347.9	58.7	134.9	33.7	1807.4	25.3	2.5	0.5	3.0	0.09
Jun-87	100.98		67.9	1.42	390.2	249.8	311.2	61.4	63.2	15.6	1798.1	25.2	1.2	0.5	1.7	0.03
Jul-87	137.84		89.5	0.89	387.7	247.9	310.1	62.2	62.0	15.5	1788.6	25.0	1.2	0.5	1.6	0.99
Ago-87	121.36		102.0	1.17	369.3	233.9	301.9	68.0	33.9	13.5	1777.1	24.9	1.0	0.5	1.5	0.07
Sep-87	237.25		101.8	1.02	471.2	262.0	337.9	75.9	108.6	28.7	1778.9	24.9	2.0	0.5	2.5	2.00
Oct-87	277.86		88.0	3.22	539.8	288.5	352.1	63.6	190.1	37.0	1791.3	25.1	2.8	0.5	3.3	0.00
Nov-87	189.86		73.3	2.85	488.4	284.8	342.0	67.2	117.1	29.3	1795.5	25.1	2.2	0.5	2.7	0.00
Dic-87	168.39		82.6	3.31	453.2	270.9	333.0	62.1	96.1	24.0	1794.4	25.1	1.8	0.5	2.3	0.10
Ene-88	100.09		80.3	1.43	371.0	238.7	302.7	63.0	54.8	13.7	1783.1	25.0	1.0	0.5	1.5	0.00
Feb-88	106.46		98.9	1.34	346.2	228.7	290.4	63.6	44.6	11.2	1789.4	24.8	0.8	0.5	1.3	0.00
Mar-88	102.01		118.4	1.19	328.6	208.9	280.6	71.9	38.4	9.6	1754.5	24.6	0.7	0.5	1.2	0.00
Abr-88	364.98		74.1	2.06	573.8	296.9	367.3	60.4	173.3	43.3	1773.0	24.8	3.2	0.5	3.7	0.04
May-88	194.85		85.1	3.04	491.8	277.1	342.8	65.7	119.2	29.8	1777.9	24.9	2.2	0.5	2.7	0.01
Jun-88	334.00		75.9	3.99	611.1	289.3	381.9	62.6	199.4	48.8	1802.3	25.2	3.7	0.5	4.2	0.00
Jul-88	137.07		87.6	2.99	438.4	263.5	328.0	84.5	86.7	21.7	1799.0	25.2	1.6	0.5	2.1	0.09
Ago-88	117.78		83.1	1.76	381.2	248.7	307.3	57.7	59.1	14.8	1788.7	25.0	1.1	0.5	1.6	0.00
Sep-88	177.47		83.4	2.81	427.1	263.8	325.0	61.2	81.7	20.4	1764.2	25.0	1.5	0.5	2.0	0.08
Oct-88	190.24		85.9	2.81	454.0	282.7	333.3	50.6	96.6	24.2	1783.4	25.0	1.8	0.5	2.3	0.04
Nov-88	375.82		66.7	4.01	698.5	310.3	366.6	56.3	233.5	58.4	1818.3	25.4	4.4	0.5	4.9	0.04
Dic-88	188.55		63.7	3.12	498.9	293.7	344.4	50.7	123.6	30.9	1821.7	25.5	2.3	0.5	2.8	0.01
Ene-89	206.73		77.2	2.04	500.4	284.1	344.7	60.5	124.8	31.1	1827.3	25.8	2.3	0.5	2.8	0.14
Feb-89	181.33		156.8	2.29	465.5	227.3	338.4	109.1	103.3	25.8	1827.5	25.8	1.9	0.5	2.4	0.00
Mar-89	98.62		109.5	1.82	324.2	211.6	278.2	66.6	36.8	9.2	1811.4	25.4	0.7	0.5	1.2	0.13
Abr-89	168.99		85.5	1.93	380.5	247.9	307.0	59.1	58.8	14.7	1800.8	25.2	1.1	0.5	1.6	0.03
May-89	257.16		85.2	2.78	506.4	279.4	345.7	66.4	127.7	31.9	1807.5	25.3	2.4	0.5	2.9	0.00
Jun-89	230.30		84.2	2.54	509.7	273.9	348.6	72.7	130.6	32.8	1814.7	25.4	2.4	0.5	2.9	0.02
Jul-89	33.18		104.1	1.38	307.0	206.4	287.7	61.3	31.4	7.9	1797.4	25.2	0.8	0.5	1.1	0.05
Ago-89	140.82		106.2	1.80	347.0	221.9	290.8	68.9	44.9	11.2	1783.6	25.0	0.8	0.5	1.3	0.03
Sep-89	152.88		92.5	1.14	374.8	241.6	304.4	62.9	58.2	14.1	1772.9	24.8	1.1	0.5	1.5	0.11
Oct-89	288.77		84.2	2.29	510.3	280.9	346.7	65.8	130.9	32.7	1780.7	24.9	2.6	0.5	2.9	0.07
Nov-89	167.84		88.1	2.13	448.4	266.1	331.7	65.6	93.4	23.4	1779.1	24.9	1.7	0.5	2.2	0.00
Dic-89	87.63		77.2	2.13	353.8	242.7	294.4	61.7	47.8	11.9	1788.5	24.7	0.9	0.5	1.4	0.13
Ene-90	129.90		80.5	1.80	372.6	248.2	303.6	55.3	65.3	13.8	1755.8	24.6	1.0	0.5	1.5	0.03
Feb-90	186.80		65.1	1.63	435.0	278.4	327.8	49.2	85.9	21.5	1752.5	24.5	1.6	0.5	2.1	0.07
Mar-90	182.96		74.6	1.82	461.3	278.3	335.3	57.0	100.8	25.2	1753.2	24.5	1.9	0.5	2.3	0.20
Abr-90	270.37		66.1	2.80	548.6	304.9	353.5	48.6	168.1	39.0	1787.4	24.7	2.9	0.5	3.4	0.04
May-90	177.34		51.4	2.65	482.3	299.5	340.8	41.1	113.3	28.3	1771.0	24.6	2.1	0.5	2.6	0.01
Jun-90	97.80		71.7	1.30	397.0	262.4	314.0	51.5	68.6	16.8	1762.9	24.7	1.2	0.5	1.7	0.10
Jul-90	57.36		78.8	0.80	319.8	227.5	275.8	46.0	35.4	8.8	1747.5	24.5	0.7	0.5	1.1	0.75
Ago-90	37.12		58.3	0.70	284.7	209.0	238.8	32.9	20.6	5.1	1728.2	24.2	0.4	0.5	0.8	0.04
Sep-90	131.17		65.2	0.70	337.2	242.6	285.8	42.9	41.3	10.3	1714.6	24.0	0.6	0.4	1.2	0.56
Oct-90	272.85		59.5	2.40	515.2	319.0	347.7	32.7	134.1	33.5	1723.9	24.1	2.5	0.5	3.0	0.08
Nov-90	223.27		49.7	3.20	538.2	310.7	351.8	41.1	149.1	37.5	1738.9	24.5	2.8	0.5	3.2	0.00
Dic-90	180.00		40.7	2.00	500.7	311.4	344.7	33.4	124.8	31.2	1743.7	24.4	2.3	0.5	2.8	0.16

1371



VALIDACIÓN MODELO ABCD RÍO PICHINDE
PRECIPITACIÓN POR MÉTODO DE ISOYETAS
(ENE/91-DIC/94)

VALIDACIÓN MODELO ABCD RIO PICHINDÉ PRECIPITACION POR ISOYETAS

MES	P (mm)	EP (mm)	Ro (mm)	W (mm)	S (mm)	Y (mm)	E (mm)	DR (mm)	OR (mm)	D (mm)	GD (mm)	DR (mm)	GD (mm)	R (mm)	ERROR (mm)
Ene-01	52.75	78.6	1.00	364.1	248.0	299.5	53.4	51.7	12.9	1732.3	24.3	1.0	0.5	1.4	0.01
Feb-01	133.19	61.4	1.10	379.2	262.6	308.4	43.6	58.2	14.6	1722.8	24.1	1.1	0.5	1.5	0.19
Mar-01	206.10	63.5	1.61	468.0	273.6	337.3	63.6	105.3	26.3	1725.0	24.1	2.0	0.5	2.4	0.26
Abr-01	509.89	75.9	2.70	583.7	296.6	358.6	82.0	180.1	45.0	1745.8	24.4	3.4	0.5	3.5	0.18
May-01	301.88	58.0	2.29	598.5	311.8	360.4	48.6	100.6	47.6	1788.4	24.8	3.8	0.5	4.0	0.05
Jun-01	146.56	66.7	2.52	490.3	267.7	335.0	67.3	100.2	25.1	1768.7	24.8	1.9	0.5	2.3	0.01
Jul-01	67.04	63.2	1.40	334.8	225.1	284.2	59.1	40.5	10.1	1754.3	24.6	0.8	0.5	1.2	0.02
Ago-01	28.48	66.6	1.10	253.6	180.4	230.8	50.4	18.3	4.6	1734.6	24.3	0.3	0.5	0.8	0.04
Sep-01	208.08	110.0	1.20	366.4	235.1	308.6	74.4	61.5	15.4	1725.8	24.2	1.2	0.5	1.6	0.18
Oct-01	140.71	80.2	1.40	375.9	249.5	304.9	55.4	66.7	14.2	1715.6	24.0	1.1	0.4	1.8	0.01
Nov-01	174.23	66.0	1.39	423.6	274.6	323.9	49.3	79.0	20.0	1711.6	24.0	1.5	0.4	1.9	0.69
Dic-01	113.06	74.1	1.30	387.7	287.6	316.1	52.5	82.1	15.5	1703.6	23.6	1.2	0.4	1.9	0.01
Ene-02	120.22	62.5	1.10	377.9	246.8	305.6	57.0	57.6	14.4	1694.3	23.7	1.1	0.4	1.8	0.18
Feb-02	152.82	77.1	1.20	401.8	260.4	315.8	53.4	68.8	17.2	1687.5	23.6	1.3	0.4	1.7	0.20
Mar-02	88.12	104.7	0.98	348.6	224.6	291.8	67.2	45.6	11.4	1675.8	23.5	0.9	0.4	1.3	0.16
Abr-02	156.56	87.0	1.20	380.0	246.8	306.8	60.0	58.6	14.6	1667.1	23.3	1.1	0.4	1.5	0.08
May-02	249.13	63.9	1.93	495.9	278.7	343.7	65.0	121.8	30.4	1674.1	23.4	2.3	0.4	2.7	0.17
Jun-02	139.25	66.1	1.41	417.9	253.1	321.8	68.7	78.9	19.2	1699.8	23.4	1.4	0.4	1.9	0.11
Jul-02	45.73	80.4	0.81	298.8	214.7	262.5	47.8	29.1	7.3	1654.6	23.2	0.5	0.4	1.0	0.04
Ago-02	64.57	110.1	0.57	279.3	189.3	249.4	60.0	23.9	6.0	1637.1	22.9	0.4	0.4	0.9	0.26
Sep-02	116.16	127.0	0.66	305.6	194.2	266.8	72.6	31.0	7.7	1622.1	22.7	0.6	0.4	1.0	0.28
Oct-02	98.98	67.5	0.67	264.2	200.1	252.7	49.6	25.2	6.3	1606.0	22.5	0.5	0.4	0.9	0.11
Nov-02	248.12	66.3	1.22	451.2	288.0	332.5	64.5	65.0	23.7	1607.2	22.5	1.6	0.4	2.2	0.64
Dic-02	105.41	78.2	1.40	373.4	253.6	303.8	50.2	55.7	13.9	1596.7	22.4	1.0	0.4	1.5	0.00
Ene-03	161.14	82.2	1.90	434.8	266.6	327.5	60.8	85.6	21.5	1597.8	22.4	1.8	0.4	2.0	0.00
Feb-03	189.90	82.0	2.30	456.6	272.1	334.0	61.9	98.0	24.5	1598.6	22.4	1.8	0.4	2.0	0.01
Mar-03	303.54	63.5	2.57	575.6	283.0	357.5	74.5	174.9	43.8	1620.9	22.7	3.3	0.4	3.7	0.19
Abr-03	420.75	66.3	4.58	703.6	312.1	370.2	58.1	266.8	66.7	1664.3	23.3	5.0	0.4	5.4	0.03
May-03	331.31	64.2	4.28	643.4	311.1	368.2	54.1	222.5	55.6	1696.2	23.7	4.2	0.4	4.6	0.01
Jun-03	154.67	64.2	2.40	485.6	272.6	338.5	63.9	103.4	23.9	1696.2	23.8	1.9	0.4	2.4	0.00
Jul-03	61.41	93.4	1.14	334.0	224.7	283.8	59.1	40.2	10.0	1664.7	23.5	0.8	0.4	1.2	0.00
Ago-03	30.81	115.7	0.73	255.5	173.9	232.2	58.3	18.6	4.7	1668.0	23.3	0.3	0.4	0.8	0.01
Sep-03	203.90	71.7	0.88	377.8	256.8	305.6	50.2	67.6	14.4	1657.3	23.2	1.1	0.4	1.5	0.82
Oct-03	174.21	44.6	1.70	429.8	291.5	325.9	34.4	83.2	20.8	1654.9	23.2	1.8	0.4	2.0	0.03
Nov-03	236.16	46.9	2.20	627.7	311.3	350.0	38.7	142.1	35.6	1667.1	23.3	2.7	0.4	3.1	0.17
Dic-03	75.86	41.0	1.30	387.2	279.7	308.9	30.2	61.8	15.5	1659.3	23.2	1.2	0.4	1.6	0.05
Ene-04	190.50	44.9	2.00	475.2	302.9	336.9	36.0	106.0	27.3	1663.2	23.3	2.0	0.4	2.5	0.08
Feb-04	172.24	60.9	2.60	475.2	291.0	338.9	47.9	100.0	27.3	1667.2	23.3	2.0	0.4	2.5	0.00
Mar-04	261.46	68.2	2.50	552.6	277.1	354.1	77.1	158.7	36.7	1683.3	23.8	3.0	0.4	3.4	0.13
Abr-04	347.30	79.7	4.33	624.4	297.7	363.3	65.6	208.8	52.2	1711.5	24.0	3.9	0.4	4.4	0.01
May-04	402.94	100.5	3.51	700.7	287.8	370.0	82.2	264.5	66.1	1733.1	24.5	5.8	0.5	5.4	0.30
Jun-04	55.12	48.4	1.87	342.9	255.8	286.8	32.9	43.4	10.9	1736.6	24.4	0.8	0.5	1.3	0.10
Jul-04	95.67	103.0	0.97	351.4	226.5	263.1	66.5	48.6	11.7	1727.1	24.2	0.9	0.5	1.3	0.13
Ago-04	58.04	97.3	0.86	265.6	196.9	253.7	54.8	25.9	6.4	1708.1	23.9	0.5	0.4	0.9	0.17
Sep-04	51.02	77.1	0.86	250.0	186.0	228.0	40.0	17.6	4.4	1690.2	23.7	0.3	0.4	0.8	0.14
Oct-04	174.29	65.6	1.30	362.3	241.1	296.6	57.5	51.0	12.7	1678.8	23.6	1.0	0.4	1.4	0.01
Nov-04	328.17	77.0	1.52	669.2	294.2	356.6	62.4	170.1	42.5	1686.2	23.8	3.2	0.4	3.6	1.84
Dic-04	108.64	53.9	1.29	403.7	278.7	318.6	39.9	66.7	17.4	1692.0	23.7	1.3	0.4	1.7	0.13

1372

VALIDACIÓN MODELO ABCD RIO PICHINDÉ PRECIPITACIÓN POR ISOYETAS

MES	P	P	EP	Ro	W	Y	E	DR	GR	G	GD	DR	GD	R	ERROR
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene-01	52.75	78.6	1.80	304.1	348.0	388.5	43.6	51.7	42.8	1732.4	24.3	1.0	0.5	1.4	0.01
Feb-01	133.19	61.4	1.10	379.2	282.8	308.4	43.6	58.2	14.8	1722.8	24.1	2.0	0.5	2.4	0.26
Mar-01	206.16	83.5	1.61	468.9	273.8	337.3	63.6	106.3	26.3	1726.0	24.1	2.0	0.5	2.4	0.05
Abr-01	306.89	75.9	2.70	583.7	296.6	358.6	62.6	180.1	45.0	1745.6	24.4	3.4	0.5	3.6	0.18
May-01	301.88	58.0	1.29	598.5	311.6	380.7	48.6	190.5	47.8	1788.4	24.8	3.6	0.5	4.0	0.05
Jun-01	148.56	89.7	2.52	490.3	267.7	335.0	67.3	100.2	25.1	1768.7	24.6	1.9	0.5	2.1	0.01
Jul-01	67.04	83.2	1.40	354.6	225.1	284.2	59.1	40.5	10.1	1754.3	24.8	0.8	0.5	1.2	0.02
Ago-01	28.48	89.6	1.10	253.8	180.4	230.8	90.4	18.3	4.6	1734.6	24.3	0.8	0.5	0.8	0.08
Sep-01	206.08	110.0	1.20	386.4	235.1	308.6	74.4	61.5	15.4	1725.8	24.2	1.2	0.5	1.6	0.01
Oct-01	140.74	80.2	1.40	375.9	249.5	304.9	53.4	56.7	14.2	1715.9	24.0	1.1	0.4	1.6	0.01
Nov-01	174.23	68.0	1.89	423.8	274.8	323.9	48.3	79.9	20.0	1711.9	24.0	1.5	0.4	1.9	0.00
Dic-01	113.09	74.1	1.50	387.7	257.8	310.1	52.5	82.4	15.5	1703.6	23.8	1.2	0.4	1.6	0.01
Ene-02	120.22	82.5	1.10	377.9	248.8	305.8	57.0	57.8	14.4	1694.3	23.7	1.1	0.4	1.5	0.15
Feb-02	152.82	77.0	1.20	401.8	260.4	315.8	55.4	68.8	17.2	1687.8	23.8	1.3	0.4	1.7	0.20
Mar-02	68.12	104.7	0.98	348.8	224.5	281.8	87.2	45.5	14.4	1675.8	23.5	0.9	0.4	1.3	0.10
Abr-02	155.56	67.0	1.20	380.0	248.8	308.6	60.0	58.6	14.8	1667.1	23.3	1.1	0.4	1.5	0.08
May-02	249.13	83.8	1.83	485.9	278.7	343.7	65.0	82.8	30.4	1674.1	23.4	2.3	0.4	2.7	0.17
Jun-02	139.25	80.1	1.41	417.9	253.1	321.8	68.7	78.8	19.2	1669.9	23.4	1.4	0.4	1.9	0.11
Jul-02	145.73	80.4	0.81	298.8	214.7	282.5	47.8	29.1	7.3	1654.0	23.2	0.5	0.4	1.0	0.04
Ago-02	64.57	110.1	0.57	278.3	189.3	248.4	60.0	23.9	8.0	1637.1	22.9	0.4	0.4	0.8	0.29
Sep-02	118.18	127.0	0.66	305.5	184.2	268.8	72.6	31.0	7.7	1622.1	22.7	0.6	0.4	1.0	0.28
Oct-02	89.98	67.5	0.87	284.2	203.1	282.7	49.8	25.2	8.3	1606.0	22.5	0.5	0.4	0.9	0.11
Nov-02	248.12	88.3	1.22	431.2	268.0	332.5	64.5	95.0	23.7	1607.2	22.5	1.8	0.4	2.2	0.84
Dic-02	105.41	72.2	1.40	375.4	253.8	303.8	50.2	55.7	13.9	1598.7	22.4	1.0	0.4	1.6	0.00
Ene-03	181.14	82.2	1.90	434.8	286.6	327.5	60.8	85.8	21.5	1597.8	22.4	1.6	0.4	2.0	0.00
Feb-03	189.90	82.0	2.50	456.6	272.1	334.0	61.9	98.0	24.5	1599.0	22.4	1.8	0.4	2.3	0.01
Mar-03	303.54	83.5	2.57	575.6	283.0	357.5	74.5	174.5	43.8	1620.9	22.7	3.3	0.4	3.7	0.19
Abr-03	420.75	88.3	4.58	703.8	312.1	370.2	58.1	268.8	66.7	1684.3	23.3	5.0	0.4	5.4	0.03
May-03	331.31	84.2	4.28	843.4	311.1	385.2	54.1	222.5	55.8	1698.2	23.7	4.2	0.4	4.6	0.01
Jun-03	154.67	84.2	2.40	485.8	272.6	336.5	63.9	103.4	25.9	1698.2	23.8	1.9	0.4	2.4	0.00
Jul-03	61.41	93.4	1.14	334.0	224.7	283.8	59.1	40.2	10.0	1684.7	23.6	0.8	0.4	1.2	0.00
Ago-03	30.81	115.7	0.73	255.5	173.8	232.2	58.3	184.8	14.7	1666.0	23.3	0.3	0.4	0.8	0.01
Sep-03	203.90	71.7	0.88	377.8	255.8	305.8	50.2	57.8	14.4	1657.2	23.2	1.1	0.4	1.5	0.52
Oct-03	174.21	44.6	1.70	429.8	291.5	325.9	34.4	83.2	20.8	1654.9	23.2	1.8	0.4	2.0	0.03
Nov-03	238.16	46.8	2.20	527.7	311.3	350.0	38.7	142.1	35.5	1667.1	23.3	2.7	0.4	3.1	0.17
Dic-03	75.88	41.0	1.90	387.2	279.7	309.9	30.2	61.8	15.5	1659.3	23.2	1.2	0.4	1.6	0.03
Ene-04	195.50	44.8	2.00	475.2	302.9	338.9	36.0	109.0	27.3	1663.3	23.3	2.0	0.4	2.5	0.06
Feb-04	172.24	60.9	2.60	475.2	291.0	338.9	47.9	108.0	27.3	1667.2	23.3	2.0	0.4	2.5	0.00
Mar-04	281.48	68.2	2.50	552.5	277.1	354.1	77.1	158.7	39.7	1683.3	23.8	3.0	0.4	3.4	0.13
Abr-04	347.30	78.7	4.83	624.4	297.7	383.3	65.6	208.8	52.2	1711.5	24.0	3.9	0.4	4.4	0.01
May-04	402.94	100.5	3.51	700.7	287.8	370.0	62.2	264.5	68.1	1753.1	24.5	5.0	0.5	5.4	0.30
Jun-04	55.12	48.4	1.87	342.9	255.6	288.6	32.9	43.4	10.9	1739.6	24.4	0.8	0.5	1.3	0.10
Jul-04	95.57	103.0	0.97	351.4	226.5	283.1	66.5	46.6	11.7	1727.1	24.2	0.9	0.5	1.3	0.13
Ago-04	59.04	97.3	0.86	285.8	198.9	253.7	54.8	25.5	8.4	1709.5	23.9	0.5	0.4	0.9	0.17
Sep-04	51.02	77.1	0.56	250.0	188.0	228.0	40.0	17.5	7.4	1690.2	23.7	0.3	0.4	0.8	0.14
Oct-04	174.29	85.6	1.30	362.3	241.1	268.6	57.5	51.0	12.7	1679.5	23.5	1.0	0.4	1.4	0.01
Nov-04	328.17	77.0	1.62	569.2	284.2	356.6	62.4	170.1	42.5	1698.2	23.8	3.2	0.4	3.8	0.54
Dic-04	109.54	53.9	1.29	403.7	276.7	316.6	39.9	69.7	17.4	1682.0	23.7	1.3	0.4	1.7	0.13