



Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES
IDEAM

Contrato 214 de 2010

**AJUSTE DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA
DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN
RESPONDIENDO A LOS INDICADORES AMBIENTALES DE SEGUIMIENTO DEL RECURSO
HÍDRICO Y UN ESTUDIO DE REINGENIERÍA DE LA RED, EL CUAL DEBE DEFINIR LA RED
BÁSICA NACIONAL PARA EL MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LAS
NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA PARA LLEVAR A CABO SU IMPLEMENTACIÓN**

INFORME FINAL
**PROTOCOLOS Y PROCEDIMIENTOS
MONITOREO DE LA EVAPORACIÓN**

Presentado por:

epam s.a. esp

Bogotá D.C., junio de 2011

  Libertad y Orden Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ASPECTOS GENERALES	2
1.1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	2
1.2. MARCO CONCEPTUAL	3
1.2.1. El ciclo hidrológico	3
2. LA EVAPORACIÓN	4
3. ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE MONITOREO	8
3.1. TIPOS DE ESTACIONES	8
3.2. TIPOS DE REDES	8
3.3. FRECUENCIAS Y HORARIOS DE LECTURA	10
4. MEDICIÓN	12
4.1. PARÁMETROS A MEDIR Y UNIDADES DE MEDIDA	12
4.2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA	12
4.3. INSTALACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL INSTRUMENTAL	16
4.4. POSIBLES FALLAS Y CAUSAS DE ERRORES EN LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA EVAPORACIÓN	17
4.5. MÉTODOS DE OBSERVACIÓN	18
4.5.1. Medición con tanque clase A	18
4.5.2. Medición en lisímetros	20
4.5.3. Procedimientos para operación y mantenimiento	21
4.6. REGISTRO DE DATOS	21
4.6.1. Registro de datos en campo	21
4.6.2. Estaciones con telemetría y automáticas	22
4.7. VALIDACIÓN DE DATOS: CONTROL DE CALIDAD	23
4.7.1. Preverificación de los datos en la estación	23
4.7.2. Verificación de la información sobre el formato de lectura o Diario de Observaciones, en la oficina regional	24
4.7.3. Validación de los datos	25
4.8. PROCESAMIENTO DE DATOS	29
4.8.1. Entrada de datos al sistema	29
4.8.2. Cálculos y procesamiento	29
4.8.3. Salidas	29
4.8.4. Procesamiento secundario	30
4.9. ALMACENAMIENTO	31
4.10. DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN	31
ANEXOS	33
ANEXO No. 1. FORMATOS TIPO	35
BIBLIOGRAFÍA	39



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

**AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA
ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN**

PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA EVAPORACIÓN

INTRODUCCIÓN

En el marco del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, la evaporación es una de las seis variables básicas a monitorear, junto con las aguas superficiales, los caudales sólidos, las aguas subterráneas, la precipitación y la calidad del agua.

El Protocolo que se propone ha sido elaborado con base en la actualización, simplificación y, en algunos casos, ampliación de documentos previamente elaborados por el IDEAM, en especial el Manual para la operación, inspección y mantenimiento de estaciones meteorológicas (Apcytel, 2008) y el Manual del Observador Meteorológico (2001). Asimismo contiene elementos tomados de las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial, de manera especial los contenidos en la Guía de Prácticas Hidrológicas (versiones 1994 y 2008).

Se pretende que el Protocolo sea la base alrededor del cual las distintas entidades que ejecutan monitoreo de evaporación homologuen o unifiquen sus procedimientos básicos.

El Protocolo se ha organizado en dos partes principales:

- Aspectos generales, que contienen los objetivos y el marco conceptual general.
- El método de monitoreo, o conjunto de procedimientos técnicos para la medición, el muestreo, el procesamiento, la validación, el almacenamiento y la difusión de los datos del monitoreo

El Protocolo va hasta el nivel de generación y procesamiento de la información básica que el IDEAM debe generar para conocer la oferta hídrica nacional y para uso del usuario general que requiere conocer los totales horarios, diarios, mensuales y anuales de evaporación, así como sus promedios, máximos y mínimos para diferentes períodos de observación, que permitan elaborar mapas de distribución espacial y promedios regionales de este parámetro. Procedimientos específicos para monitoreos más especializados sobre la evaporación y/o para procesamiento especializado de los datos para distintos fines, salen del alcance de este Protocolo.

El monitoreo y seguimiento del recurso hídrico es una función legal del IDEAM a nivel nacional, de las corporaciones autónomas regionales (CARs) a nivel regional, y de las autoridades ambientales urbanas y organismos de prevención y atención de desastres a nivel local. Estas funciones derivan de las siguientes normas, entre otras: Decreto-Ley 2811 de 1974, Ley 99 de 1993, Ley 373 de 1997 (ahorro y uso eficiente del agua), Ley 715 de 2001 (vigilancia de municipios), decretos 1541 de 1978, 1594 de 1984, 1276 de 1994 (INVEMAR), 1277 de 1994 (IDEAM), 1600 de 1994 (SINA), 1603 de 1994 (Institutos HUMBOLDT, SINCHI Y NEUMANN), 155 de 2004, 3100 de 2003, 1200 de 2004, 3440 de 2004, 1323 de 2007 (SIRH), 1324 de 2007, 1575 de 2007, 2370 de 2009, 3930 de 2010, y resoluciones 0643 de 2004, 1433 de 2004, 941 de 2009 (SIUR y RUA) del MAVDT.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

Objetivo general

De acuerdo con las estrategias para el logro de los objetivos de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico establecidos por el Gobierno Nacional¹, el objetivo general para el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) puede establecerse así:

“Formular y ejecutar un plan integrado de monitoreo del recurso hídrico que permita conocer la cantidad y calidad del mismo a nivel nacional, regional y local, con la participación y responsabilidad de las autoridades ambientales de estos niveles, con protocolos compartidos y bajo la vigilancia de la autoridad nacional, con el fin de garantizar la calidad de la información generada”.

Objetivos específicos

De acuerdo con los componentes de este objetivo general y de las líneas estratégicas definidas por el Gobierno Nacional, los objetivos específicos del PNMRH en materia de evaporación pueden desglosarse así:

Objetivos técnicos a nivel nacional:

1. Homologar, consolidar y compartir los sistemas de monitoreo de la cantidad de evaporación a nivel nacional, tomando como referencia las 41 zonas hidrográficas definidas por el IDEAM.

Objetivos técnicos a nivel regional y local:

2. Incrementar y/o mejorar los sistemas de monitoreo, seguimiento y evaluación de la cantidad y distribución espacio-temporal de la evaporación a nivel de cuenca hidrográfica, de acuerdo con prioridades fijadas en el Plan Hídrico Nacional, y con la finalidad de apoyar la planeación de proyectos de aprovechamiento y control del recurso hídrico.

Líneas propedéuticas:

3. Integrar en un sistema jerarquizado las redes y programas de monitoreo regional y local de la evaporación, y establecer protocolos comunes de instalación, operación, procesamiento y control de calidad.

¹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente. Política Nacional para la gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá. 2010.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Justificación de las mediciones

Las mediciones de evaporación se justifican por su uso para los siguientes fines, entre otros:

- Diseño de obras civiles (alcantarillados, presas, carreteras, etc)
- Estimación de la evapotranspiración, para el establecimiento de balances hídricos.
- Diseño y operación de centrales hidroeléctricas
- Planificación y control de riego y drenaje en actividades como agricultura, ganadería y silvicultura.
- Prevención y atención de desastres naturales y estudios de riesgo.
- Planeación municipal, departamental y nacional.
- Sector académico, investigación, programas internacionales de intercambio de datos, programas internacionales de investigación (Estudio Regional del Fenómeno El Niño, ERFEN, etc.)

1.2. MARCO CONCEPTUAL

1.2.1. El ciclo hidrológico

El agua es un recurso natural renovable, es decir, en continua transformación. Una vez que el agua lluvia cae sobre el suelo, parte de ella corre sobre la superficie y llega en forma más o menos rápida a los ríos, lagos y finalmente al mar; otra parte se infiltra en el suelo, alcanzando a veces profundidades grandes, pero finalmente resurge a través de manantiales y llega también a los ríos y al mar. En este recorrido, parte del agua es absorbida por las plantas y luego transpirada a través de sus órganos aéreos, de donde se evapora a la atmósfera, y otra parte se evapora directamente desde el suelo, los ríos, los lagos y el propio mar².

Una vez en la atmósfera, el vapor de agua es transportado por los vientos y forzado a ascender, procesos en el cual se condensa y cae nuevamente en forma de lluvia. Este proceso es conocido como el “ciclo hidrológico” (figura 1).

² De Pérez Preciado, A., op. cit.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

2. LA EVAPORACIÓN

La *evaporación* se define como el proceso físico por el cual una sustancia en estado líquido pasa al estado gaseoso, tras haber adquirido la energía suficiente para vencer la tensión superficial del agua.

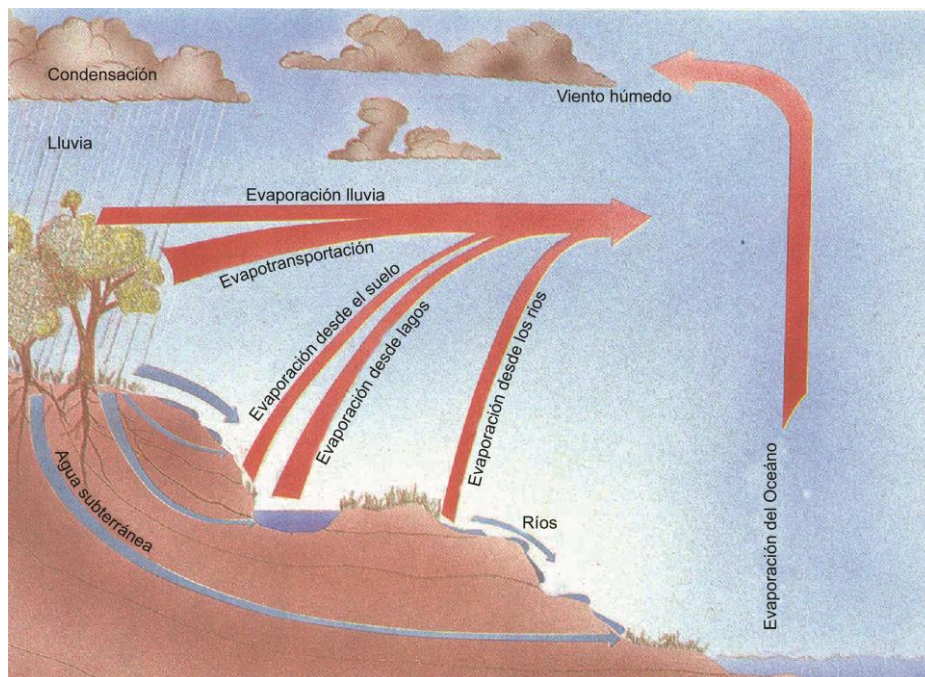
Bajo condiciones naturales, la evaporación se produce a partir de superficies de agua o de superficies húmedas que son transportadas a la atmósfera en forma de vapor de agua, a una temperatura inferior a la del punto de ebullición.

Se distingue la evaporación efectiva o real y la evaporación potencial.

La *evaporación efectiva o real (EVR)* es la cantidad de agua proveniente de una superficie dada de agua o del suelo, devuelta a la atmósfera durante un período determinado.

La *evaporación potencial (EVP)*, también denominada evaporatividad, es la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida por una superficie de agua por unidad de superficie y de tiempo, bajo las condiciones existentes.

Figura 1. El ciclo hidrológico



Fuente: Pérez Preciado, 1989

La evaporación está determinada principalmente por la temperatura del aire: mientras mayor sea la temperatura mayor será la evaporación. Pero también influyen otros parámetros tales como el déficit higrométrico, la radiación solar, los vientos y la presión atmosférica.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Estrechamente relacionada con la evaporación está la *evapotranspiración*, o proceso combinado por el cual el agua es transportada de la superficie terrestre a la atmósfera, a partir de la evaporación de los líquidos y sólidos y de la transpiración de las plantas. Como la evaporación, la evapotranspiración también puede ser real y potencial.

La *evapotranspiración real (ETR)* o efectiva es la cantidad de vapor de agua efectivamente evaporada por el suelo y por las plantas cuando el suelo está a una humedad específica natural.

La *evapotranspiración potencial (ETP)* es la cantidad máxima de agua susceptible de pasar a la atmósfera en estado de vapor, en un clima dado, a partir de una cubierta vegetal continua bien alimentada en agua. Por tanto, la ETP comprende la evaporación del suelo y la transpiración de la vegetación durante un período de tiempo dado.

El *déficit de escurrimiento (D)* de una cuenca es la diferencia, en altura de lámina de agua, entre las precipitaciones P caídas en la cuenca y el volumen (Q) de agua escurrido en la estación de aforo localizada al final de dicha cuenca ($D=P-Q$). Por tanto, el déficit de escurrimiento expresa el total de las pérdidas del balance hidrológico. Asumiendo que no haya pérdidas por infiltración profunda, que alimente acuíferos confinados, este déficit equivale a la evaporación total (evaporación + transpiración).

El *déficit higrométrico o déficit de saturación* en un momento dado y a una temperatura dada T , es la diferencia entre la tensión de vapor que sería saturante a la temperatura T y la tensión de vapor del momento.

La *tensión de vapor* de una muestra de aire húmedo está definida por el producto del título molar del vapor de agua N_v por la presión total p del aire húmedo:

$$e' = N_v p = (r / (0,62197 + r)) * p$$

Donde r es la relación de la mezcla m_v/m_a

La *temperatura del aire* es el estado térmico del aire desde el punto de vista de su influencia sobre los seres vivos. Para los fines de este Protocolo, se mide en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

La *irradiancia* se define como el flujo de energía radiante recibido sobre una superficie por unidad de área y tiempo. Se da en unidades de potencia (Watio/m^2) y su símbolo es G . Un Watio es igual a un Julio por segundo (J/s). Y un Julio o Joule es la energía cinética de un cuerpo de masa de 2 kg que se mueve a una velocidad de 1 m/s en el vacío ($E = 1/2mv^2$). El Julio también se define como el trabajo necesario para producir continuamente 1 watio de potencia durante un segundo.

La *radiación solar global* es la energía dirigida hacia abajo, resultante de la integración de la irradiancia durante un período dado de tiempo, por lo general 1 hora o un día (H). Está compuesta por radiación directa (b), difusa (d) y reflejada (r). La radiación solar directa es la radiación hacia abajo sin dispersión atmosférica; la radiación solar difusa es la radiación proveniente de todo el cielo excepto del ángulo sólido del disco solar; la radiación solar reflejada es la radiación dirigida hacia abajo después de ser reflejada por las moléculas de aire de la atmósfera. La radiación solar se da en J/m^2 , kWh/m^2 , u otra unidad derivada.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

La radiación solar también suele expresarse en forma de *brillo solar*, o tiempo durante el cual la irradiancia supera los 120 w/m^2 en un período dado, y se da normalmente en horas/día, horas/mes u horas/año.

La *velocidad del viento* es la distancia recorrida por el viento en un tiempo dado. Se da normalmente en metros por segundo (m/s). Puede ser instantánea (en un intervalo de tiempo muy pequeño) o media (en un tiempo de tiempo definido). Se puede definir igualmente la velocidad de turbulencia como la desviación entre la velocidad instantánea y la velocidad media del viento en un punto determinado.

La *presión atmosférica* es la fuerza ejercida por la atmósfera debida a su peso sobre una superficie dada, y se define como el peso de la columna vertical de la atmósfera sobre una superficie unitaria. Se mide en atmósferas o milibares. A nivel medio del mar, una (1) atmósfera es igual a 1,01325 bares, o 1.013 milibares. Para fines prácticos, un (1) bar es aproximadamente igual a una (1) atmósfera. A su vez, un bar es igual a 100.000 pascuales (Pa), o 100 kPa. Y un pascal es igual a 1 Newton por metro cuadrado (N/m^2). Y como un (1) Newton es igual a un (1) kg.m/s^2 , entonces un (1) Pa es igual a un (1) kg.m/s^2 . Otra forma de medir la presión atmosférica es mediante barómetros de mercurio. Una (1) atmósfera es igual a 760 mmHg.

Génesis de la evaporación

El papel de la radiación solar

La radiación solar o energía emitida por el sol, al llegar a la parte superior de la atmósfera terrestre, es absorbida en parte por los gases, el vapor de agua y las partículas presentes en las diversas capas atmosféricas; en parte es difundida en todas las direcciones al chocar con las partículas de gases, vapor de agua y partículas; y en parte atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre en forma directa. Por tanto, la energía incidente sobre la superficie terrestre, conocida como *radiación global*, está conformada por rayos provenientes del sol sin cambios de dirección (radiación directa), y por rayos que han sufrido cambios en su trayectoria debido a la difusión (radiación difusa). La radiación global incidente en un sitio y momento dados depende de la altura del sol sobre el horizonte (hora del día), y de las condiciones atmosféricas reinantes, como la nubosidad, la altitud y la presencia de partículas (contaminación). A mayor nubosidad y partículas, mayor será la difusión y menor la cantidad de radiación neta recibida. A mayor altitud, menor el espesor de la atmósfera y menor la difusión.

La energía solar incidente sobre la tierra es absorbida en parte por las capas superficiales del suelo y del agua, transformándose en calor, y en parte es reflejada hacia la atmósfera. La parte de la energía incidente que es reflejada recibe el nombre de *albedo* y se expresa en %. Las zonas quebradas y/u oscuras reflejan menos que las claras y planas. Un suelo húmedo absorbe más energía que un suelo seco. El albedo del suelo está comprendido en general entre 10 y 30%, el del barro húmedo es del 5%, el de la arena llega al 40%, el de los cultivos y bosques se sitúa entre 10 y 25% y el de la nieve reciente entre 80 y 90%. El albedo del agua es inferior al del suelo debido a que los rayos del sol penetran más que en la tierra, aunque el grado de turbidez lo incrementa. Por estas razones, las zonas costeras y los bordes de lagos y ciénagas presentan una menor variabilidad térmica, debido al papel amortiguador de las masas de agua.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

La radiación solar es el motor del clima, ya que la misma determina el calentamiento diferencial de la superficie terrestre y, por consiguiente, las corrientes de aire, que son, a su vez, responsables del régimen de lluvias. El calentamiento y los vientos son igualmente los agentes principales de la evaporación: a mayor temperatura y mayor velocidad del viento, mayor es la tasa de evaporación. Por las anteriores razones, las zonas de menor radiación solar de Colombia corresponden, en general, con zonas lluviosas y de baja evaporación, mientras que las zonas de más alta radiación corresponden con zonas secas y de alta evaporación.

Factores de la evaporación

Además de los agentes de la evaporación (la temperatura y los vientos, que, como se dijo, dependen de la radiación solar), la cantidad de evaporación es condicionada por factores tales como: la nubosidad, la precipitación, el déficit higrométrico, la presión atmosférica y el relieve. La nubosidad reduce la radiación solar incidente y, por tanto, el calentamiento de la superficie del suelo, del agua y de las plantas, donde se origina la evaporación. A su vez, la lluvia pone a disposición de los procesos térmicos el agua a evaporar y, por lo tanto, reduce el déficit higrométrico de la atmósfera y, por consiguiente, la tasa de evaporación. Al contrario, atmósferas secas propias de zonas de baja precipitación presentan un alto déficit higrométrico, lo que origina altas tasas de evaporación. El relieve influye sobre la evaporación de una manera similar a la nubosidad. Según su orientación con respecto a la luz solar, los relieves quebrados generan sombras a ciertas horas del día que reducen la radiación solar incidente, mientras que las laderas inclinadas reciben menor radiación solar por unidad de superficie que una zona plana. Por tanto, la evaporación global tiene a ser menor en zonas quebradas que en zonas planas.

De lo anterior se deduce que la cantidad y el régimen de evaporación están íntimamente ligados a los regímenes de temperatura y de lluvia y, por tanto, depende la circulación de los vientos, tanto a nivel general como local (ver protocolo de precipitación).

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

3. ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE MONITOREO

3.1. TIPOS DE ESTACIONES

La medición de la evaporación se hace en los siguientes tipos de estaciones:

Estaciones climatológicas. Son aquellas en las cuales se obtienen datos meteorológicos de una calidad y duración tales que permitan describir o explicar el clima de una región. En función del objetivo que se persiga, las estaciones se dividen en dos grandes tipos: principales y ordinarias.

Estación climatológica principal (CP). Miden visibilidad, tiempo atmosférico presente, cantidad, tipo y altura de las nubes, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros, humedad, viento, radiación, brillo solar, evaporación, temperaturas extremas del tanque de evaporación y fenómenos especiales. Gran parte de estos parámetros se obtienen de instrumentos registradores. Por lo general se efectúan tres observaciones diarias.

Estación climatológica ordinaria (CO). Miden precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros y humedad primordialmente. Poseen muy poco instrumental registrador. Algunas llevan instrumentos adicionales tales como tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro.

Estaciones agrometeorológicas (AM). Hacen observaciones meteorológicas y biológicas, incluyendo fenológicas y otras observaciones que ayudan a determinar las relaciones entre el tiempo y el clima, por una parte y las plantas y animales, por la otra. Incluye el mismo programa de observaciones de la estación CP, más registros de temperatura a varias profundidades (hasta un metro) y en la capa cercana al suelo (5, 10 y 20 cm sobre el suelo)

Estaciones meteorológicas automáticas. Miden la mayoría de las variables requeridas para fines sinópticos, climatológicos o aeronáuticos, pero con instrumentos automáticos. A medida que aumentan las capacidades de los sistemas automáticos, también lo hace constantemente la relación entre las estaciones meteorológicas meramente automáticas y las estaciones meteorológicas dotadas de observadores (con instrumentos automáticos o sin ellos). Los requisitos exigidos sobre el emplazamiento y la exposición, los cambios de instrumentos y la inspección y el mantenimiento son los mismos que para las estaciones convencionales.

Existen otros tipos de estaciones, como las *sinópticas (SP y SS)*, las *pluviométricas (PM y PG)*, de *radiosonda (RS)*, y las *mareográficas (MM)*, en las que no se mide la evaporación. Como referencia, la tabla 1 muestra los instrumentos meteorológicos que se instalan en los diferentes tipos de estaciones consideradas anteriormente:

3.2. TIPOS DE REDES

Una red meteorológica es un conjunto de estaciones, convenientemente distribuidas, en las que se observan, miden y/o registran los diferentes fenómenos y elementos atmosféricos que son necesarios en la determinación del estado del tiempo y el clima en una región, para su posterior aplicación a diversos usos y objetivos. De acuerdo con los tipos de estaciones que la

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

conforman, puede haber los siguientes tipos de redes de interés para la medición de la evaporación:

Tabla 1. Instrumentos empleados en las estaciones meteorológicas

	SP	SS	CP	CO	AM	PG	PM
Pluviómetro	x	x	X	x	x	x	X
Pluviógrafo	x	x	X	x	x	x	
Sicrómetro y T. Extremas	x	x	X	x	x		
Higrógrafo	x		X		x		
Termógrafo	x		X		x		
Anemógrafo	x	x	X		x		
Anemómetro			X		x		
Heliógrafo	x		X		x		
Actinógrafo	x		X		x		
Tanque de evaporación			X		x		
Barómetro	x	x					
Microbarógrafo	x	x					
Rociógrafo					x		
Extremas 5 y 10 cms.					x		
Geotermómetro 5 cms.					x		
Geotermómetro 10 cms.					x		
Geotermómetro 20 cms.					x		
Geotermómetro 30 cms.					x		
Geotermómetro 50 cms.					x		
Geotermómetro 100 cms.					x		
Lisímetro					x		

Fuente: IDEAM, 2008.

- *Red climatológica*: está conformada por estaciones climatológicas principales y ordinarias, en las cuales se toman datos tres veces al día y/o mediante registro continuo.
- *Red agrometeorológica*: compuesta por estaciones agrometeorológicas, cubre especialmente zonas agrícolas y se localizan dentro de granjas experimentales o institutos de investigación aplicada, dedicados a la agricultura, horticultura, ganadería, silvicultura y edafología.

De acuerdo con el espaciamiento o densidad de las estaciones, se pueden distinguir los siguientes tipos de redes (según OMM, en IDEAM, 2008):

- De pequeña escala (menos de 100 km de distancia.): útiles para el estudio y seguimiento de tormentas, vientos locales y tomados.
- De mesoescala (100 a 1.000 km de distancia.), útiles para el seguimiento de frentes y formaciones de nubes.
- De gran escala (1.000 a 5.000 km.), útiles para el seguimiento de depresiones y anticiclones.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- De escala planetaria (más de 5.000 km de distancia), útiles para el seguimiento y estudio de ondas largas en la troposfera superior, entre otras.

No obstante, para el diseño de una red se deben tener en cuenta, además:

- Los costos de instalación y operación, que, a su vez, dependen del objetivo para el cual serán utilizados los datos.
- La topografía de la región a servir por la red: una estación situada en terreno accidentado o en la costa, probablemente no sea representativa en gran escala o mesoescala. Sin embargo, incluso en estaciones no representativas, la homogeneidad de las observaciones en el tiempo puede permitir a los usuarios emplear eficazmente los datos.

3.3. FRECUENCIAS Y HORARIOS DE LECTURA

Frecuencia de medición de tanques de evaporación

La lectura del tanque de evaporación es diaria y se realiza a las 07:00 Hora Local Colombiana (HLC), pues el día pluviométrico se cuenta desde la 07:00 de un día hasta las 07:00 del día siguiente. Las observaciones deben ser hechas, en lo posible, dentro de los primeros 10 minutos de la hora de observación prevista. Sin embargo, aunque la observación se realice a la hora prevista o no, es importante registrar con cuidado el tiempo real de la observación.

No obstante, la frecuencia de lectura de los evaporímetros puede variar según el tipo de estación y según el uso que se vaya a dar al dato. Por ejemplo, en estaciones automáticas las observaciones meteorológicas se pueden hacer a intervalos menores, de tres a doce horas (0000, 0300, 0600, 0900, 1200, 1500, 1800, y 2100 UTC).

Frecuencia de lectura de evaporígrafos

Los evaporígrafos tienen registro continuo de evaporación, y están dotados de un sistema de relojería acoplado a un sistema de giro y a una plumilla de registro. Por tanto, la frecuencia se refiere en este caso al cambio de bandas registradoras, la cual está determinada por el tiempo en que la estación pueda estar funcionando sin mantenimiento. En general, hay dos tipos de banda: la de tambor, colocada sobre un tambor que hace un giro diario, semanal o en el período que se desee; y la banda de rodillos, que hace pasar la banda por delante de la plumilla. La velocidad de arrastre de la banda puede ser alterada para que sirva para períodos de una semana, un mes o más largos.

El IDEAM no tiene evaporígrafos en operación, pero cuenta con estaciones automáticas donde se mide el registro de la evaporación, mediante un sistema de ultrasonido.

Frecuencia de lectura de lisímetros

La frecuencia de lectura de los lisímetros) puede ser la misma señalada para los tanques de evaporación. No obstante, dicha frecuencia depende del objetivo de la medición. Para fines de planeación de suministro de riego, por ejemplo, puede ser necesaria una lectura horaria. De todas maneras, este tipo de estaciones y objetivos salen del alcance de la red nacional.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Frecuencia de inspecciones a las estaciones

La frecuencia de visitas de inspección a las estaciones con tanque de evaporación depende de las condiciones presupuestales. No obstante se recomienda que cada estación sea visitada en promedio cada tres meses (4 veces al año). Estas visitas tienen por objeto recoger los formatos de registro diario, revisar el estado del equipo, hacer las reparaciones que sean del caso, pagar al observador, dar instrucciones para corregir errores que se presenten en el registro de los datos, etc. Las visitas estarán a cargo del inspector a cargo de la zona, con su ayudante. En las estaciones registradoras automáticas, las observaciones son anotadas en forma gráfica o digital, de acuerdo con el manual de operación de la estación.

Frecuencia de transmisión de los datos de evaporación de campo a oficina

La frecuencia de transmisión del dato de campo a oficina está en relación con el objetivo de la red de monitoreo:

- Para los fines de la red nacional, la frecuencia de transmisión puede ser la misma de inspección (cada tres meses).
- En los casos de redes regionales o locales con otros fines, la frecuencia de transmisión puede ser diferente:
 - Así por ejemplo, para proyectos específicos como operación de embalses, la transmisión también debiera ser diaria, como mínimo.
 - En todo caso, en estos casos, la frecuencia la define el usuario o propietario de la estación.

Previo el envío de los datos a la oficina central de la entidad, los mismos deben ser objeto de un control de calidad por parte del Área Operativa o entidad involucrada, tal como se describe más adelante, en la sección 2.3.

4. MEDICIÓN

4.1. PARÁMETROS A MEDIR Y UNIDADES DE MEDIDA

Los principales *parámetros* de la evaporación son:

- Evaporación total diaria: evaporación acumulada, observada o registrada durante las 24 horas del día.
- Evaporación total mensual: suma de los valores diarios del mes.
- Evaporación total anual: suma de los valores totales mensuales.
- Evaporación media mensual multianual: promedio de los totales mensuales durante el número de años considerado.
- Evaporación media anual multianual: media aritmética de los respectivos totales anuales durante los años considerados.

En relación con la evaporación, para el balance hídrico es necesario medir y/o estimar los siguientes parámetros de la evapotranspiración potencial y real:

- Evapotranspiración total diaria: evapotranspiración acumulada, observada, registrada o estimada para las 24 horas del día.
- Evapotranspiración total mensual: suma de los valores diarios del mes.
- Evapotranspiración total anual: suma de los valores totales mensuales.
- Evapotranspiración media mensual multianual: promedio de los totales mensuales durante el número de años considerado.
- Evapotranspiración media anual multianual: media aritmética de los respectivos totales anuales durante los años considerados.

Unidades de medida. La cantidad de evaporación y/o evapotranspiración se mide y/o estima en milímetros (mm). Un milímetro corresponde a un litro por metro cuadrado de terreno (l/m²).

4.2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

La evaporación se mide directamente en evaporímetros y la evapotranspiración en lisímetros y sondas de neutrones. Hay dos tipos básicos de evaporímetros: de tanque y Piche. También existen evapógrafos, aunque no se utilizan en la red del IDEAM.

Tanques de evaporación

Hay varios tipos de tanques, aunque el más utilizado en Colombia es el **Tanque Clase "A"**. Este es un tanque cilíndrico de lámina galvanizada o en fibra de vidrio, de 1,21 m de diámetro y 25,5 cm de profundidad. Se coloca al aire libre sobre una plataforma de madera de 10 cm de alto, perfectamente horizontal, en forma tal que el aire pueda circular por debajo del tanque. En el interior del tanque se pintan dos líneas amarillas, una a 5 centímetros y la otra a 7,5 centímetros debajo del borde, las cuales sirven para mantener correcto el nivel del agua (figura 2).

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

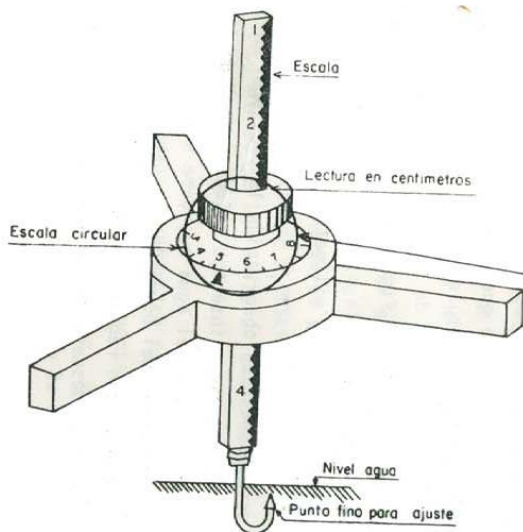
El equipo permite medir el volumen de agua necesario para mantener el nivel constante, en un período dado de tiempo, que por lo general es de 6, 12 ó 24 horas. El volumen de agua consumido se transforma en mm de agua evaporada por unidad de tiempo.

Existen fórmulas empíricas que relacionan la evaporación medida en tanque con la evapotranspiración de diversos cultivos.

Para poder medir la evaporación, una estación evaporimétrica tiene:

- Tanque de evaporación
- Tornillo micrométrico
- Cilindro tranquilizador
- Conjunto de termómetros para la observación de las temperaturas extremas del agua y del aire.

Figura 2. Componentes de una estación evaporimétrica corriente: tanque, tornillo micrométrico y cilindro tranquilizador. Paralelamente con la lectura del tanque, se debe hacer lectura del pluviómetro y del anemómetro (recorrido del viento)



ELE MES AÑO		
Día	HLC	LECTURAS A LAS 07 DE LA MAÑANA
9	07	PRECIPITACION: mm
	07	EVAPORACION: mm
	07	RECORRIDO: km
10	07	PRECIPITACION mm
	07	EVAPORACION mm → 26.53
	07	RECORRIDO: km

Fuentes: Fotos del IDEAM, 2010; Tornillo micrométrico: Manual del Observador Meteorológico del IDEAM, 2001.

El tornillo micrométrico con gancho se usa para indicar los cambios del nivel del agua en el

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

tanque de evaporación. Como lo muestra la figura 2, consiste en una escala móvil, graduada en milímetros con un gancho en su extremo. El conjunto está en un soporte de tres patas y una tuerca de ajuste sostiene el gancho cuando el medidor está instalado en el cilindro tranquilizador.

La posición correcta del medidor con relación a la superficie del agua está indicada por la punta del gancho que debe regularse en forma que toque exactamente esta superficie.

El cilindro tranquilizador consiste en un cilindro de Eternit con un pequeño orificio en el fondo para evitar que la lectura sea afectada por el oleaje del agua en el tanque. Tiene tres ranuras sobre las cuales están encajadas las patas del tornillo micrométrico. Tiene como finalidad proporcionar una superficie de agua tranquila alrededor del tornillo micrométrico con gancho, y también sirve para colocar el medidor durante las observaciones.

Una variante del tanque clase A es el medidor automático de evaporación de agua que se muestra en la figura 3, el cual se basa en el tanque patrón, y tiene acoplado un sistema de microprocesadores que controlan permanentemente el nivel del agua en el tanque, aportando la cantidad de agua necesaria para mantener el nivel o extrayendo la que sobre. De esta manera, el volumen de agua vertido al tanque es medido mediante una bomba y con el resultado se calcula la altura de agua evaporada en micrones. El sistema permite además almacenar los datos de las demás variables como precipitación, velocidad del viento, temperatura o radiación solar, en memorias extraíbles, y puede alimentarse mediante una batería de panel solar.

Figura 3. Medidor automático de evaporación



Fuente: WWW.iginstrumentos.com.ar

También hay tanques enterrados, tipo “Colorado”, de sección cuadrada de 0,914 m de lado y 0,462 m de profundidad, con un borde de 0,10 m por encima del suelo, en los que el agua se mantiene más o menos a nivel del suelo. Y tanques flotantes, utilizados especialmente en lagos y grandes ríos, de operación difícil debido al oleaje.

En general, los tanques clase A son más sensibles a los cambios de temperatura y radiación solar que los tanques enterrados y flotantes, mientras que éstos pueden presentar errores a veces apreciables debido al salpiqueo de la lluvia sobre el suelo vecino y al aporte de detritos; además la altura de la vegetación vecina influye más en los resultados de éstos últimos. Por estas razones, la evaporación en tanque A tiende a ser mayor que en los tanques enterrados o

	INFORME FINAL	epam s.a. esp
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

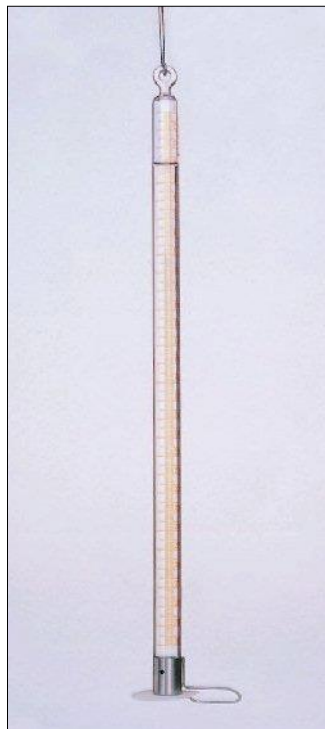
flotantes. En los resultados también influye el material y el color de las paredes del tanque, por su influencia sobre la absorción del calor. Otra causa de error es la estimación de la lluvia sobre el tanque, la cual puede diferir ligeramente de la lluvia medida en el pluviómetro vecino.

Evaporímetro Piche

Se utiliza para medir la evaporación potencial. Aunque en Colombia ya no se usa, se puede obtener abundante información del mismo en Internet y en muchos textos de hidrología y meteorología (ver figura 4)

Existen otros tipos de evaporímetros, como el evaporímetro Wild, basado en el peso del agua, y atmómetros de esfera de porcelana porosa tipo Livingstone, los cuales no son de uso corriente en meteorología.

Figura 4. Evaporímetro Piche



Fuente: www.rumtor.com

Lisímetros

Un lisímetro es un volumen (parcela) de tierra enterrado y aislado lateralmente, de manera que toda el agua de drenaje, es decir, la que hubiera escurrido superficial o subterráneamente, pueda ser recogida y medida. La parcela se rellena con el mismo suelo del lugar y con la vegetación que se quiera experimentar. La figura 5 muestra el esquema más sencillo de un lisímetro. Existen, no obstante, lisímetros más complejos y de alto costo. En Colombia se construyeron algunos en granjas experimentales del antiguo ICA, pero están abandonados o se

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

usan muy poco. El IDEAM no posee este tipo de estaciones, que, por lo demás, no forman parte de la red nacional.

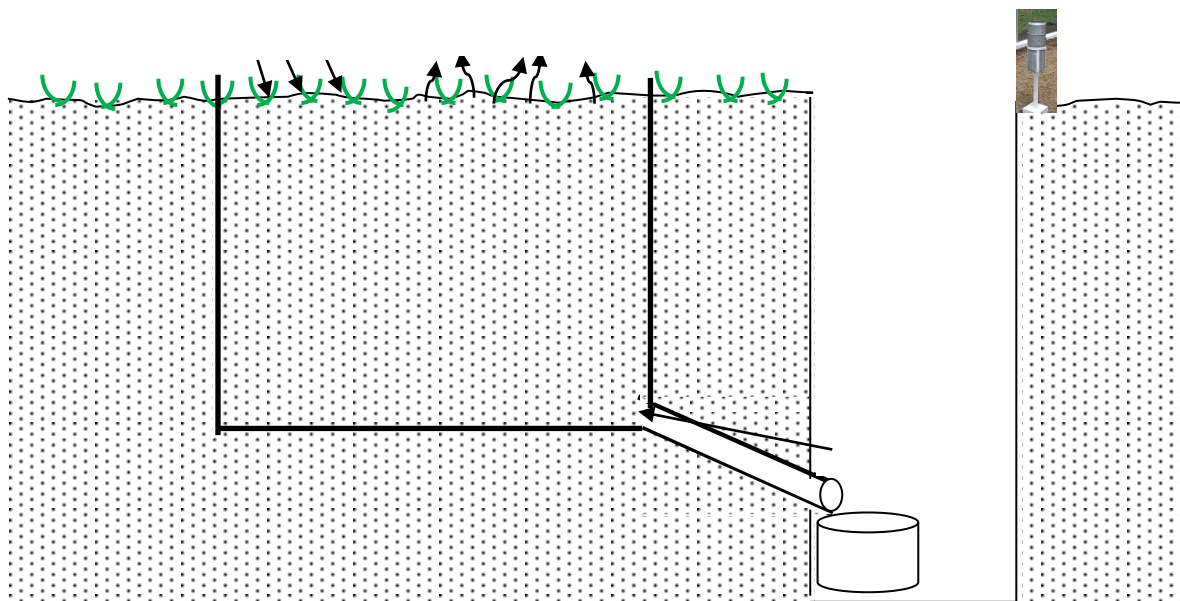
Otros equipos complementarios de la estación evaporimétrica

Para el establecimiento de relaciones explicativas de las variaciones en la evaporación, es recomendable instalar algunos equipos adicionales en la estación, a saber:

- Un anemógrafo integrado o anemómetro, situado a uno o dos metros por encima del tanque, para determinar la velocidad del viento sobre el mismo.
- Un pluviómetro no registrador.
- Termómetros o termógrafos que proporcionen las temperaturas máxima, mínima y media del agua en el tanque.
- Termómetros o termógrafos de máxima y mínima para medir las temperaturas del aire, o un higrotermógrafo o psicrómetro si se desea conocer la temperatura y la humedad del aire.

Estos equipos deben instalarse en forma tal que no arrojen sombra sobre el tanque.

Figura 5. Esquema de un lisímetro



4.3. INSTALACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL INSTRUMENTAL

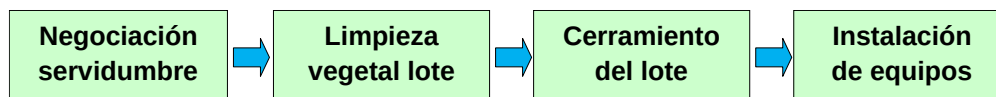
Según recomendaciones de la OMM, el emplazamiento del tanque debe ser un terreno nivelado y libre de obstrucciones. Si las condiciones climáticas y del terreno no permiten mantener una capa herbácea, debe hacerse lo posible para que la superficie del suelo sea similar a la de los alrededores. Salvo en el caso de lisímetros, los obstáculos, como árboles, edificios, arbustos o garitas meteorológicas, deben estar a una distancia igual o superior a 4 veces la altura del objeto por encima del tanque de evaporación.

La instalación procede cuando se trata de una estación nueva, caso en el cual se debe

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

adelantar las actividades indicadas en la figura 6:

Figura 6. Proceso para instalación de una estación



- La negociación de la servidumbre puede ser por contrato de arrendamiento, cesión temporal, comodato u otro que se acuerde con el propietario.
- El lote debe limpiarse de la vegetación arbórea, arbustiva o maleza alta que pudiese tener.
- Ni el tanque ni la garita de instrumentos podrán colocarse sobre losa o pedestal de concreto ni sobre asfalto ni capas de grava.
- Dado que normalmente el tanque de evaporación forma parte de estaciones climatológicas principales y/o agrometeorológicas, se recomienda colocar viga lateral de amarre en concreto en la base de la malla (el tamaño de la estación CP es de 14 x 10,5 metros).
- El cerramiento del lote debe ser en malla metálica, preferiblemente plastificada, con postes de acero en las esquinas, empotrados en una base de concreto.
- Una vez acondicionado y cercado el lote se podrá proceder a la instalación de los equipos de la estación.

La figura 7 muestra una estación climatológica con tanque de evaporación.

Figura 7. Vista general de una estación climatológica. Obsérvese, en el centro, el tanque de evaporación



4.4. POSIBLES FALLAS Y CAUSAS DE ERRORES EN LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA EVAPORACIÓN

La tabla 2 muestra una relación de las fallas y/o errores más frecuentes en la instalación, operación y mantenimiento de los tanques de evaporación, de acuerdo con la experiencia del IDEAM.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Tabla 2. Errores y vicios en la instalación, operación y mantenimiento.

Errores de instalación del tanque de evaporación	Errores de operación del tanque de evaporación	Errores de mantenimiento del tanque de evaporación
• Instrumento desnivelado • Soportes sin firmeza • Plataforma en material diferente a madera • Tanque con fisuras o abollado • Obstáculos proyectan sombra sobre el tanque • Pintura de las paredes laterales (exterior e interior), distinta del color blanco • Pintura del fondo del tanque, distinta al color negro.	• Tornillo micrométrico en mal estado, ilegible o engrasado • Tanque desnivelado • Tanque abollado o perforado • Observaciones mal realizadas • No anotación de las lecturas del tanque antes y después de efectuar el respectivo mantenimiento • Lecturas mal anotadas • Anotaciones ilegibles o dudosas • Anotaciones falsas • Falta anotación de las 07 horas del día primero del mes siguiente • Meses con número diferente de días en la libreta	• Terreno con obstáculos • Instrumento desnivelado • Agua del TEV sucia (hojas, bichos) • Pintura en mal estado • Plataforma deteriorada

Fallas del tanque de evaporación	Errores y vicios en la observación de la evaporación
• Errores por amplitud: valores diarios no se ajustan a los históricamente registrados en la estación • Elemento sensible deteriorado (tornillo micrométrico) • Instrumentos sin mantenimiento o mantenimiento defectuoso	• Error de paralaje • Observaciones a deshoras (antes o después)

(Fuente: IDEAM-Rangel y Torres, 2005)

4.5. MÉTODOS DE OBSERVACIÓN

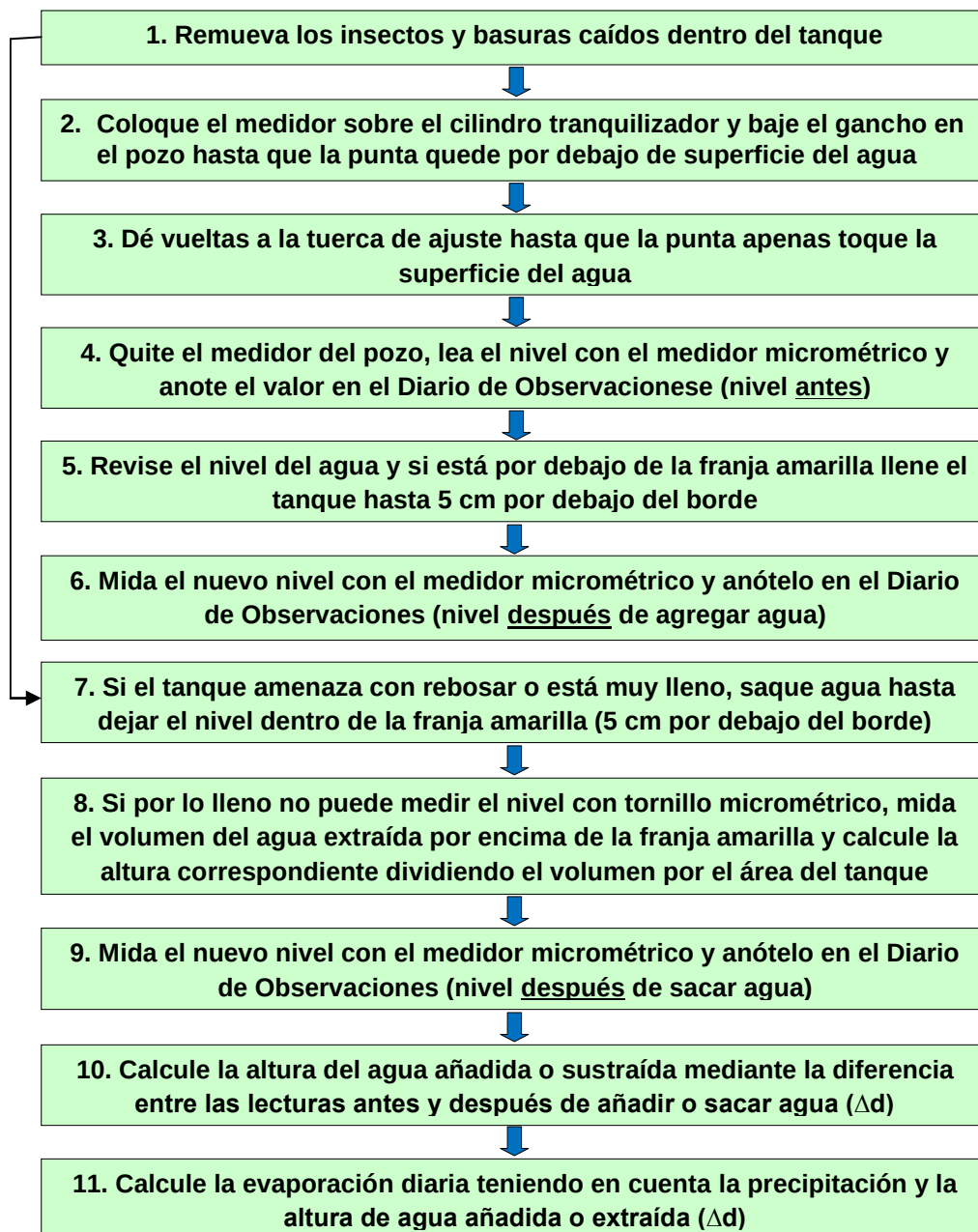
4.5.1. Medición con tanque clase A

La figura 8 muestra los pasos a seguir para la lectura del tanque. Para la lectura (paso 3), se debe tener en cuenta que los números que aparecen sobre la varilla representan las decenas de milímetros y las graduaciones intermedias representan unidades milímetros. Los números sobre la escala circular representan décimas de milímetro y las graduaciones intermedias centésimas de milímetro. Siempre que se hace una observación, en la escala de la varilla se leen los milímetros, como lo indica la primera graduación encima de la parte superior de la tuerca estriada de ajuste. En la figura 2 se ve que en la varilla se lee 26 y sobre la escala circular 53. Por lo tanto la lectura del medidor será 26,53 milímetros.

Alternativamente, la OMM sugiere emplear el siguiente procedimiento para determinar el nivel del agua en el tanque:

- i) Se coloca encima de una señal de referencia, hecha en el tanque por debajo de la superficie del agua, un recipiente de diámetro pequeño dotado de una válvula.
- ii) Se abre la válvula hasta que el nivel del agua contenida en el recipiente sea igual con el nivel del agua del tanque.

Figura 8. Procedimiento para la lectura del evaporímetro de tanque clase A



	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- iii) Se cierra la válvula y se determina con exactitud el volumen de agua contenido en el recipiente mediante una probeta de medida.
- iv) La altura del nivel del agua por encima de la señal de referencia se determina a partir del volumen de agua contenida en el recipiente y de las dimensiones del mismo.

La evaporación diaria se calcula evaluando la diferencia entre los niveles del agua en el tanque en días sucesivos, teniendo en cuenta las precipitaciones durante el período considerado. El volumen de evaporación entre dos observaciones del nivel del agua en el tanque se determina mediante la fórmula:

$$E = P \pm \Delta d$$

Donde P es la altura de las precipitaciones producidas durante el período entre las dos mediciones y Δd la altura del agua añadida (+) o sustraída (-) del tanque, calculada como se indicó anteriormente.

Para medir la temperatura del agua, el IDEAM utiliza un sistema que consta de una montura que tiene agarraderas y sobre las cuales se colocan el termómetro de máxima y el termómetro de mínima. Para proteger los depósitos de la radiación se coloca un disco protector. Los termómetros se leen tal como se indica en el Manual de Observador Meteorológico del IDEAM - Lectura y puesta a punto del termómetro de máxima y Lectura y puesta a punto de] termómetro de mínima.

Se debe procurar leer el termómetro cuando esté sumergido, es decir, antes de sacarlo del tanque, para ajustar los índices. Se anotan las lecturas de la temperatura máxima y mínima en la casilla destinada para el efecto en la respectiva libreta. La mínima se lee a las 07 de la mañana y la máxima a las 07 de la noche.

Después de colocados los termómetros a punto se ponen las agarraderas, teniendo en cuenta que los bulbos queden bien cubiertos por el disco protector. Es de suma importancia mantener los termómetros, incluyendo la montura y el disco protector, libres de polvo y suciedad.

4.5.2. Medición en lisímetros

Los procedimientos de medición en lisímetros varían de acuerdo con el tipo de lisímetro y sus objetivos. Si el objetivo es sólo la determinación de la evapotranspiración, los procedimientos deben incluir como mínimo:

- Medir diariamente el volumen de agua de infiltración recolectada en el recipiente
- Medir la precipitación diaria
- Determinar el cambio en el volumen de agua almacenada en el lisímetro.
- Calcular la evapotranspiración real (ETR), mediante el balance de masas:

$$P = ETR + Di \pm \Delta a$$

Donde:

P: precipitación durante las 24 horas previas a la hora de medición

  Libertad y Orden Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

ETR: evapotranspiración real

Di: agua de drenaje por infiltración durante las 24 horas previas a la hora de medición

Δ_a : cambio en el almacenamiento de agua en el lisímetro

Para determinar el cambio en el almacenamiento, el procedimiento más simple es medir la humedad del suelo cada día y comparar el contenido de humedad a la hora de la medición y a la hora de medición del día anterior. El cambio correspondiente en la concentración se transforma a volumen de agua y luego a lámina de agua en mm, para poder utilizar el dato en la ecuación anterior.

Para medir el contenido de humedad es posible utilizar *sondas de neutrones*, las cuales se basan en la absorción de neutrones por el agua, lo que permite evaluar el contenido de humedad. Es, además, un método no destructivo y que no altera las condiciones hidráulicas del suelo ni del cultivo.

De igual forma, para determinar la evapotranspiración potencial (ETP), se mantiene el suelo en óptimas condiciones de humedad mediante la aplicación de riego, y se aplica el siguiente balance de masas, del cual desaparece el Δ_a por cuanto el almacenamiento está siempre completo (suelo saturado):

$$P + \text{Riego} = \text{ETR} + \text{Di}$$

Evidentemente, si se utiliza otro tipo de lisímetro, el procedimiento será diferente.

4.5.3. Procedimientos para operación y mantenimiento

La figura 9 muestra el procedimiento general de operación y mantenimiento del tanque de evaporación.

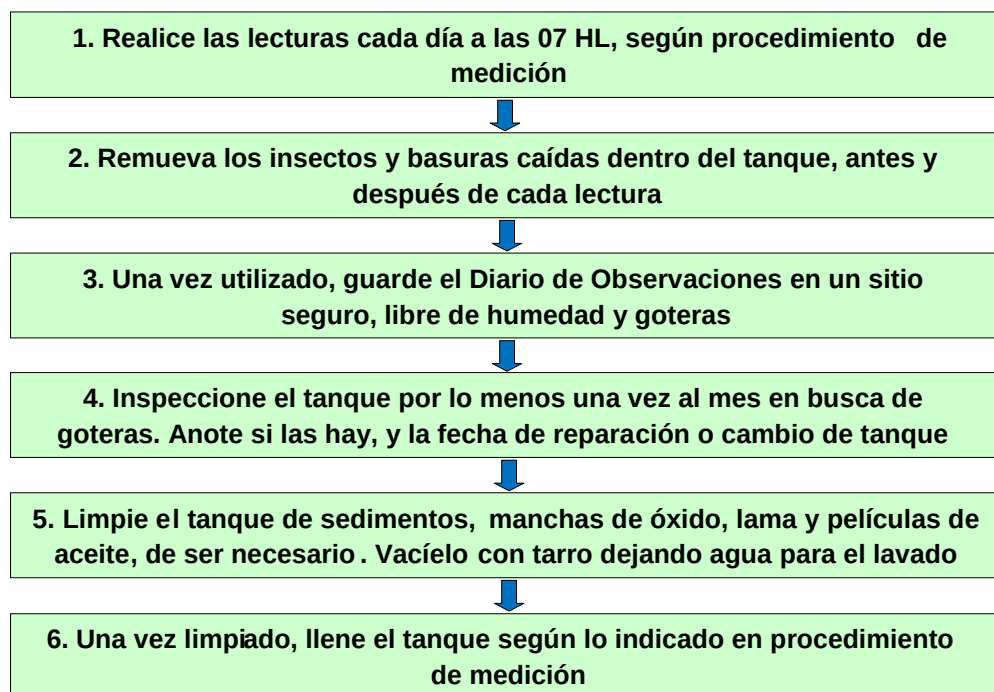
4.6. REGISTRO DE DATOS

4.6.1. Registro de datos en campo

La captura o registro de los datos en campo se debe hacer en los formatos de campo normalizados por la entidad. En todo caso, los formularios deben ser de forma que el observador pueda registrar las observaciones diaria, semanal, quincenal, o mensualmente, según proceda. Copia del formato de captura o diario de la estación debe permanecer en poder del observador, en caso de que se pierda en la transmisión a un centro de proceso de datos.

En el caso de un proceso automático de datos, los formularios de informes pueden también estar en formatos codificados apropiados para la conversión directa a un medio informático. Los datos pueden ser directamente insertados en una computadora portátil o fija, ubicada en el sitio de recolección. Los avances recientes que minimizan errores en el proceso de datos (lectores ópticos y computadoras portátiles) permiten la entrada directa de las observaciones en la memoria de la computadora y facilitan un control automático de la calidad de los datos.

Figura 9. Procedimiento para la operación y mantenimiento del tanque



4.6.2. Estaciones con telemetría y automáticas

4.6.2.1. Estaciones manuales que utilizan la telemetría

Aunque no es común para evaporación, en algunas estaciones los datos son recolectados manualmente, pero son transferidos por telemetría. Dicha recolección de datos semiautomática es usada con frecuencia en sistemas de proceso en tiempo real. Los sistemas más sencillos de teletransmisión son el teléfono, el télex, las conexiones radiales y los satélites. Estos sistemas requieren:

- Suficiente capacidad en el centro de proceso de datos como para poder recibir los niveles pico de entrada de mensajes y la disponibilidad de terminales en línea por donde se pueda ingresar manualmente la información a la computadora.
- Un programa de ingreso de datos que permita el ingreso de conjuntos aleatorios de datos observados en distintos lugares, y el uso de estos valores para actualizar los respectivos archivos de series de tiempo.
- Hoy en día existen técnicas que permiten que el observador codifique la información en un formato compatible con la computadora, que pueda ser recibido y procesado automáticamente en la oficina central. Este método utiliza un teclado pequeño parecido a una calculadora de bolsillo. La transmisión se realiza por teléfono o por radio y puede incluir conexiones vía satélite. Estas unidades son relativamente baratas (incluido el transmisor de radio) y eliminan la necesidad de tener operaciones manuales centralizadas.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

4.6.2.2. Estaciones automatizadas

Se trata de estaciones equipadas con sensores automáticos de evaporación, desde donde se pueden grabar datos en medios compatibles con la computadora y/o transmitirlos por telemetría a un centro de recolección de datos.

Los sensores se dividen en dos grupos: los que proveen señales analógicas y los que producen salidas digitales. Las señales analógicas generalmente deben ser convertidas en formatos digitales para cualquier operación posterior. Muchos sensores producen señales que necesitan una conversión de datos a unidades estándar para su análisis. Los datos registrados *in situ* en general, no son convertidos; esto se hace en el centro de procesamiento. Sin embargo, los datos transmitidos son convertidos antes de la transmisión. Existen dos bases de tiempo para la recolección de datos: la frecuencia del muestreo y la frecuencia de la grabación de datos. En el caso de las lecturas de evaporación, las dos bases de tiempo son idénticas. No así para otros parámetros como el viento. Los datos deben ser grabados en medios informáticos compatibles. Como en el caso anterior, los procesos de entrada de datos y de actualización deben incluir un grado elemental de validación de datos, por ejemplo el control de los intervalos de variación, o de valores repetitivos indicadores de funcionamiento defectuoso del sensor.

4.7. VALIDACIÓN DE DATOS: CONTROL DE CALIDAD

4.7.1. Preverificación de los datos en la estación.

Esta se lleva a cabo en la propia estación, durante la visita de inspección y recolección de la información, así:

- Se revisan las copias u originales de las libretas de meses anteriores y se comprueba:
 - Que las libretas estén al día, es decir, que no estén adelantadas ni atrasadas. Si se hallan adelantadas, se revisan los días hacia atrás hasta encontrar desde cuándo se presentó la anomalía.
 - Que los datos que identifican a la estación (código, nombre, etc) y las fechas (día, mes, año) estén correctos.
 - Que el número de días de cada mes sea el correcto (28, 29, 30 o 31).
 - Que la lectura de las 07:00 horas del primer día del mes siguiente corresponda a ese día, pues algunos observadores llenan esa casilla con el valor anotado para el día primero del mes en curso.
 - Que las lecturas de las 07:00 HLC del primero del mes siguiente se anoten cuando se retira la información o la envía por correo.
 - Que las copias de la libreta sean legibles, y que los números de las lecturas anotadas sean legibles y estén colocados en las casillas que corresponda.
 - Que se aclaren las lecturas ilegibles con el observador.
 - Que el tanque de evaporación no tengan agujeros en ninguna de sus partes, que estén libre de tierra o basuras y que estén firme y bien nivelado.

Para evaporación, se tiene en cuenta, además:

- Que las lecturas del tornillo micrométrico estén anotadas en el formato de campo diseñado para el efecto con dos cifras enteras y dos decimales.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Que, en ausencia de lluvia, la secuencia de la lectura del nivel del tanque sea decreciente.
- Que, cuando se presente lluvia, la secuencia de valores del tornillo micrométrico refleje si se agregó o sacó agua al tanque o éste se rebozó.

Como resultado, se analizan con el observador los errores encontrados y se le reinstruye en caso necesario.

- En las estaciones registradoras automáticas, las observaciones son anotadas en forma gráfica o digital, de acuerdo con el manual de operación de la estación.

4.7.2. Verificación de la información sobre el formato de lectura o Diario de Observaciones, en la oficina regional

Una vez en la oficina del Área Operativa, el proceso de control de calidad de la información de nubosidad, fenómenos, precipitación, evaporación, recorrido comprende los siguientes pasos:

- Se diligencia el formato de radicación de datos meteorológicos (31-31-79 en el caso del IDEAM).
- Se revisa la identificación de la estación y el mes y el año a procesar.
- Se verifica las lecturas del pluviómetro con las del tanque de evaporación, si no existe información de PVG
- Se comprueba el número de días de cada mes.
- Se compara los datos de la estación con datos simultáneos de estaciones vecinas.

La validación de los datos de evaporación debe realizarse simultáneamente con la información disponible de radiación solar (actinógrafo), insolación (brillo solar), humedad relativa, recorrido del viento, precipitación y cantidad de nubosidad. La validación de datos de la libreta comprende los siguientes pasos:

- En ausencia de lluvia y cuando no se ha agregado ni sacado agua al tanque de evaporación, los valores leídos en el tornillo micrométrico, consignados por el observador en el Diario de Observaciones, deben presentar, día a día, una secuencia decreciente, ya que la evaporación es un proceso continuo. En este caso (ausencia de lluvia) el total diario de evaporación para el día “i” (hoy) es la diferencia entre el nivel del TEV tomado a las 07 horas del día i+1 (mañana) menos la lectura a las 07 horas del día “i” (hoy).
- Cuando se presenta lluvia, la evaporación para el día “ i ” se obtiene mediante la siguiente relación:

$$(EVAP)_i = (NIVEL)_i + (PT)_i - (NIVEL)_{i+1}$$

Donde:

$(EVAP)_i$: cantidad de evaporación para el día pluviométrico “ i ” (hoy)

$(NIVEL)_i$: lectura del tornillo micrométrico a las 07 horas del día “ i ” (hoy)

$(PT)_i$: cantidad de precipitación medida a las 07 horas del día “ i + 1 ” (mañana)

$(NIVEL)_{i+1}$: lectura del tornillo micrométrico a las 07 horas del día “ i + 1 ” (mañana)

- Cuando se le agrega o quita agua al tanque, la secuencia se interrumpe. La nueva secuencia debe iniciarse a partir del nuevo valor suministrado por el observador.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Analizar la consistencia interna con las otras variables.

Consistencia interna de las observaciones

Para realizar el análisis de consistencia interna, el inspector selecciona los valores altos y bajos de evaporación, analiza las lecturas de la libreta y las gráficas disponibles (PVG, EVP, ACG, HLG, TEG, HIG). Con base en estos datos, se comprueba que, en general:

- Valores altos de evaporación corresponden con alta radiación, alta insolación y altas temperaturas, cielo ligeramente cubierto o despejado (categoría nubosidad 1), ausencia de lluvia, humedad relativa baja y viento (recorrido 07-07) moderado o fuerte (> 18km/h, en promedio).
- Valores bajos de evaporación corresponden con baja radiación, baja insolación y bajas temperaturas, cielo mayormente cubierto (categoría nubosidad 3), ocurrencia de lluvia, humedad relativa alta y viento débil (< 18 km/h, en promedio, en el período 07-07), o en calma.

Los fenómenos atmosféricos anotados por el observador en la libreta (lluvia, tormentas, viento fuerte, niebla, neblina, granizo, helada, bruma) son una herramienta fundamental para verificar la consistencia interna de la información.

Por último, se depura la información rechazando solamente los valores inconsistentes detectados en las etapas anteriores.

4.7.3. Validación de los datos

El objetivo principal de la verificación y validación es la detección y corrección de fallas de los equipos y errores de observación y procesamiento. Los errores pueden ser de tres tipos: absolutos, relativos y físico-estadísticos

- Los errores absolutos son datos o códigos que exceden los valores preestablecidos, por ejemplo, una fecha o una coordenada fuera de límites. Una vez detectados los datos erróneos, ya sea visualmente o automáticamente (en las libretas o la base de datos), se deben corregir.
- Los errores relativos incluyen:
 - Dato por fuera del rango de variación. En caso de estaciones nuevas o en sitios cuyas condiciones hidrometeorológicas no sean bien conocidos, se pueden adoptar rangos amplios, los cuales se pueden reducir una vez se tenga un buen conocimiento sobre la variación del parámetro en consideración. Estos rangos pueden variar según el intervalo de tiempo (diario, mensual, anual o plurianual).
 - Dato por fuera del cambio máximo esperado en un parámetro entre observaciones sucesivas o de las tendencias temporales.
 - Dato por fuera de las tendencias espaciales, para lo cual se compara con datos de estaciones vecinas, localizadas en la misma zona geográfica y/o vertiente topográfica, para determinar si el dato corresponde o no a una variación generalizada en la zona.
 - El análisis en conjunto de estos errores pueden llevar al Inspector a eliminar el dato, desde la fase de verificación, o a realizar un análisis geoestadístico sobre el mismo, lo cual se puede lograr por pruebas de homogeneidad.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

El sistema de control de calidad contempla tres etapas como mínimo: preverificación en la estación, validación en las oficinas regionales sobre libretas y validación final post-proceso, en el sistema.

Detección y corrección de errores en estaciones telemétricas

En los casos de estaciones manuales con transmisión telemétrica:

- Los procesos de entrada de datos y de actualización deben incluir un grado elemental de validación de datos, por ejemplo el control de los intervalos o rangos de variación y otros indicados anteriormente
- Si los datos telemedidos son usados para llevar inventarios, se recomienda que el observador envíe la planilla usual del Diario de Observaciones al final de cada período de observación. Aunque los datos no necesiten ser reingresados, la planilla puede ser usada para revisar los registros digitales.

En los casos de estaciones automáticas satelitales:

- Los procesos de entrada de datos y de actualización deben incluir igualmente un grado elemental de validación de datos, por ejemplo la detección de datos seguidos repetitivos, indicadores de mal funcionamiento del sensor, u otros propios del sistema.

Una vez cumplidas las actividades de prevalidación y validación sobre la libreta o Diario de Observaciones, según los procedimientos indicados, y una vez procesado el programa de computador utilizado en la grabación, se lleva a cabo el Control Final de Calidad en la oficina regional o local, con el fin de garantizar que la información a almacenar en el banco de datos regional posea calidad controlada. Este control final conlleva los siguientes pasos:

- Se revisa el código y nombre de la estación, el mes y el año procesados.
- Se revisa, por pantalla, la grabación de los datos diarios de entrada, comparándolos con los de la libreta o Diario de Observaciones, y se rechaza las inconsistencias detectadas.
- Se verifica la nubosidad, precipitación, evaporación y recorrido del viento:
 - Se revisa en forma simultánea los valores diarios de nubosidad, precipitación, evaporación y recorrido.
 - Se revisa, en columna, los valores diarios de evaporación. Se identifica los valores muy altos y se busca justificación de los mismos con información del pluviógrafo y otros registradores (heliógrafo, termógrafo, higrógrafo), o se rechazan en caso de que no haya soporte.
- Segundos procesos
 - Los valores rechazados en el paso anterior, se borran interactivamente, por pantalla, grabando nuevos (9). Una vez borrados, se corre un segundo proceso, el cual se vuelve a verificar por pantalla.
 - En el caso de detectar alguna nueva anomalía, se corrige en la grabación y se corre un tercer proceso.

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

- Cuando se haya corrido más de un proceso, sólo se envía a las oficinas centrales los resultados del último de los procesos, con el fin de que los bancos de datos regional y central sean idénticos.

Una vez validada la información, se debe proceder a constatar que ésta quede correctamente almacenada en el banco de datos regional, para lo cual se entra en el programa de grabación y se consulta la información diaria y mensual, según corresponda.

Finalmente se transmite la información a las oficinas centrales del IDEAM, para lo cual se siguen los pasos indicados en el protocolo de almacenamiento que se utilice. Del envío se remite copia a la Subdirección de Meteorología.

Determinación de la homogeneidad de las series de datos

Datos diarios

Es muy frecuente que en las estadísticas diarias se presenten días en que no se tiene dato de evaporación, por razones tales como falta de observador, daño del equipo u otros, o porque los datos hayan sido eliminados debido a los errores detectados en los mismos, según lo anotado anteriormente. En este caso se recomienda estimar los datos faltantes, con el fin de tener homogeneizada la serie diaria del año que corresponda. Esta actividad puede ser llevada a cabo en la sede operativa por el ingeniero hidrólogo o meteorólogo de planta. Para el efecto pueden utilizarse diferentes métodos, siendo los más conocidos los siguientes, siempre y cuando que los datos faltantes no sean superiores al 10% del tiempo o según criterio del ingeniero:

- Mediante correlación de valores diarios con la estación o estaciones más cercanas, buscando que, en lo posible, se localice (n) sobre la misma vertiente o presenten similares condiciones de relieve y piso térmico. Por ejemplo, si la estación está a sotavento no de debiera correlacionar con otra estación a barlovento, sobre todo en zonas donde se presenten condiciones de abrigo. En caso de contarse con varias estaciones cercanas potencialmente utilizables, se podrá utilizar aquella con la que presente un mayor coeficiente de correlación.
- Para el establecimiento de correlaciones se puede emplear cualquier método o software disponible tipo Office, que permita organizar los datos en una hoja de cálculo y calcular y dibujar las curvas y ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación característicos. Se sugiere seleccionar el tipo de curva de regresión que más se ajuste a los datos o que mejor coeficiente de correlación presente (exponencial, lineal, logarítmico, polinómica, potencial u otra).

Los datos estimados deben ser identificados en la Base de Datos con un código específico.

Series mensuales y anuales

Los procesos hidrometeorológicos, así como otros tipos de procesos naturales, pueden presentar dos tipos de variaciones: variaciones naturales o aleatorias y variaciones causadas por la acción humana. Estos tipos de variabilidad se reflejan en las mediciones, esto es, en las estadísticas del comportamiento de las variables hidrometeorológicas. Para determinar si las

variaciones que se presentan en una serie de información son aleatorias o se deben a causas “asignables”, como errores de medición u otros, se llevan a cabo análisis de homogeneidad, cuyo objeto es detectar no estacionalidades en las series. Este análisis puede enfocarse a determinar cambios en la media o en la variabilidad. También se puede realizar sobre los cambios en variables, como por ejemplo en la altura de evaporación, o en los atributos de una variable, como sería el caso de determinar en qué casos se alcanza o sobrepasa un nivel dado.

Existen distintos métodos y niveles de profundidad en los análisis de homogeneidad. En los textos y estudios de hidrología se pueden encontrar diferentes métodos, tales como gráficas de series de tiempo, gráficas de simple y doble masa, gráficas de cuartiles, gráficos S-S, gráficos suavizados y otros. Los métodos también varían si se trata de detectar cambios en la media, en la tendencia, en la varianza o en la independencia de una serie. No obstante, para los fines del Programa Nacional de Monitoreo se propone utilizar un método sencillo que permita detectar si una serie presenta cambios no aleatorios, para proceder luego a corregirlos o eliminar los datos defectuosos, de ser el caso. Para este efecto se propone el método de las cartas de control, también llamado de la media móvil, cuya descripción se puede encontrar en textos de estadística. En cualquier caso, la aplicación de estos métodos debe integrarse al procesamiento automático de la información en el Banco de Datos central.

Otros procesos de validación de la información se llevan a cabo durante el proceso de almacenamiento. La figura 10 muestra el flujograma general de la validación

Figura 10. Flujograma general de la validación de la información



	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

4.8 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.8.1 Entrada de datos al sistema

Para la captura y procesamiento de la información de evaporación, se debe adoptar un programa o software especializado, que permita grabar interactivamente por pantalla:

- Los datos de identificación de la estación, mes y año a procesar.
- La información diaria previamente depurada en la libreta o Diario de Observaciones, a saber:
 - Cantidad de nubosidad (07, 13 y 19 horas), en categorías (1, 2, 3 o 4).
 - Fenómeno atmosférico más significativo para cada día.
 - Totales diarios de precipitación, en milímetros y décimas, sin punto decimal.
 - Lecturas del tanque de evaporación, en milímetros y décimas, sin punto decimal.
 - Lecturas del anemómetro de recorrido, en kilómetros y metros, sin punto decimal.

Los datos se deben grabar en las casillas respectivas con sus las características y sus correspondientes símbolos, de acuerdo con las instrucciones del formato.

No se debe olvidar que los valores diarios de precipitación corresponden al día pluviométrico, o sea el día consignado en la libreta o Diario de Observaciones. El programa debe estar en capacidad de desplazar la información “hacia arriba”. Por esta razón, se requiere grabar los valores de esta variable a las 07 horas del día 1 del mes siguiente

4.8.2 Cálculos y procesamiento

Con base en los datos diarios, el programa debe calcular:

- Precipitación: total mensual (sumatoria de los valores diarios), número de días con lluvia mayor o igual ($\geq$) a 0,1, 1,0, 5,0, 10,0, 20,0, 25,0 y 50,0 mm y precipitación máxima en 24 horas (mayor valor diario).
- Evaporación y recorrido: totales mensuales (sumatoria de los valores diarios correspondientes).

4.8.3 Salidas

El formato de salida debe estar en capacidad de mostrar la siguiente información.

- Cantidad de nubosidad, en categorías, para las 07, 13 y 19 horas y sus correspondientes valores medios mensuales para esas horas.
- Cantidades diarias de precipitación, evaporación y recorrido del viento, y sus correspondientes totales mensuales.

Con base en los datos de evaporación total diaria se calcula la evaporación total mensual y el promedio, máximo y mínimos de los valores diarios de cada mes, así como el total anual, máximo y mínimos de los valores mensuales del año.

A partir de los totales mensuales se calcula igualmente la evaporación total anual para cada año con observación, la evaporación media mensual multianual, la media anual multianual y la máxima y mínima mensual y anual multianuales.

4.8.4 Procesamiento secundario

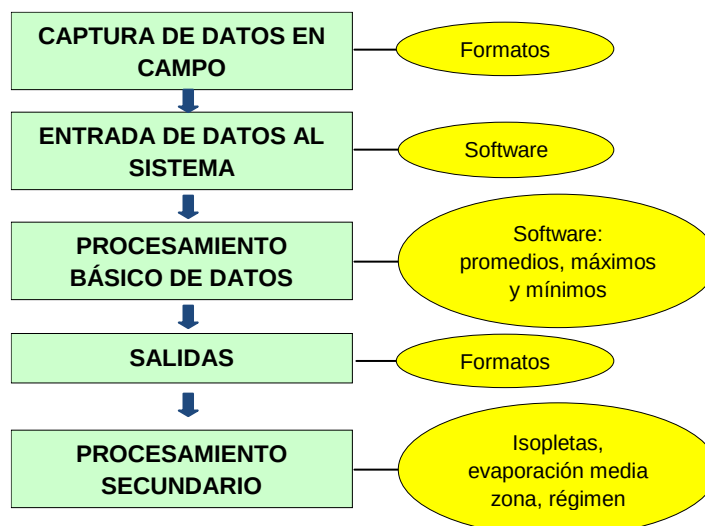
Los datos de resúmenes diarios, mensuales, anuales y multianuales de evaporación son los datos básicos para el usuario general, que deben estar disponibles en el Banco de Datos.

No obstante, a nivel general, y desde el punto de vista de la determinación de la oferta hídrica, el siguiente paso en el procesamiento de datos es la determinación de la evaporación media de cada zona y/o subzona hidrográfica y de la distribución espacial de la misma. Para este efecto existen varios métodos, siendo los más conocidos el método aritmético y las isocurvas de evaporación. Una vez se conoce la distribución espacial de la evaporación es posible determinar la evaporación media. La descripción de estos métodos se encuentra en libros de hidrología y meteorología.

El procesamiento secundario se puede completar mediante la elaboración de histogramas de evaporación media mensual multianual, indicadores del régimen de evaporación, los cuales deben actualizarse cada año. Estos histogramas pueden elaborarse con datos absolutos (valores de evaporación en mm) o con porcentajes con respecto a la evaporación total anual. De igual manera, para caracterizar el régimen de evaporación se pueden calcular la desviación estándar, el coeficiente de variación y el índice de irregularidad interanual para los valores mensuales y anuales de la serie, una vez validados los datos, cuyas fórmulas y procedimientos de cálculo pueden encontrarse en libros de hidrología, meteorología y estadística. Adicionalmente, en zonas y/o subzonas donde no haya datos medidos de evaporación y evapotranspiración, es posible su estimación mediante métodos cuantitativos y semicuantitativos, los cuales pueden consultarse en la literatura especializada.

La figura 11 muestra el flujograma general del procesamiento.

Figura 11. Flujograma general del procesamiento básico de la información



4.9 ALMACENAMIENTO³

Con el almacenamiento de datos se ubica toda la información procesada, validada y consistente en el banco de datos, en donde podrá ser utilizada por los diferentes usuarios. En la práctica, se siguen procedimientos similares a la captura y, frecuentemente, estas dos labores no se diferencian. El sistema debe tener la capacidad para mostrar por pantalla todos los archivos disponibles para procesamiento, así como para bajarlos a CD, imprimirlos, consultarlos vía web o enviarlos vía correo electrónico.

Como se anotó en la sección 4.6, el ingreso de los datos al sistema de almacenamiento se hace por primera vez, en las oficinas de las áreas operativas y esta operación está a cargo de los mismos inspectores de campo, los cuales recogen la información en terreno. La digitación de la información al disco duro del sistema de almacenamiento y operativo consiste en la grabación de los datos contenidos en los formatos o carteras diligenciadas en terreno y en ella se cumple el primer control de calidad, como ya se anotó (ver sección 4.7).

El ingreso de datos al sistema puede variar en función del programa de que se disponga para el efecto, adoptado por la Oficina de Sistemas del IDEAM o de cada entidad operativa. La figura 12 muestra el flujograma general del almacenamiento.

4.10 DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN

La difusión de los datos de evaporación se realizará conforme a las políticas de gestión de información que defina el Consejo Directivo de cada entidad, definiendo la disponibilidad de los diferentes tipos de datos asociados al monitoreo de evaporación, las estrategias de entrega de información a usuarios particulares, la disponibilidad para usuarios internos y la divulgación de información en el portal web institucional de cada entidad, de información consolidada de acuerdo con la condición misional de la información.

El Decreto 1277 de 1994 indica que le corresponde al IDEAM dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las Entidades Científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones autoridades ambientales y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental - SINA. En este sentido las entidades mencionadas anteriormente, deberán coordinar con el IDEAM la estrategia de transmisión de la información o consolidados del monitoreo del recurso hídrico en Colombia para su divulgación en el Sistema de Información Ambiental de Colombia, particularmente en el subsistema de información del recurso hídrico SIRH.

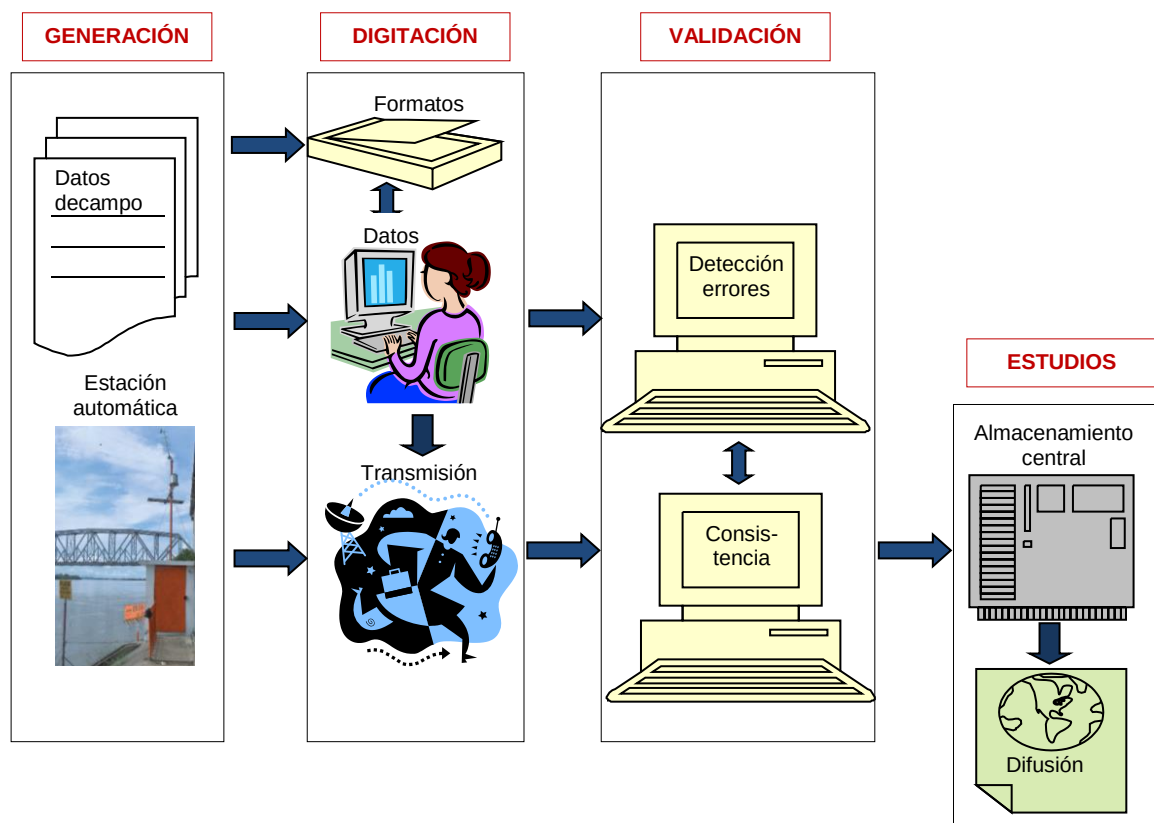
Como referente se cita la resolución 2367 de 2009 sobre Gestión de Datos e Información del IDEAM y donde se adopta el proceso genérico de Gestión de Datos e Información Misional del IDEAM.

La información a divulgar por cada entidad tendrá como prerequisite el cumplimiento del protocolo de monitoreo, que garanticen que la información cumpla con los requisitos de gestión

³ Con base en Pedraza C. E. y Franco J. C., Procedimiento para la actualización del Banco de datos central con la información de las áreas operativas. IDEAM. Bogotá. 2005.

de información en los aspectos de calidad de la información en su carácter de información misional, oportunidad, restricciones de ley, observación de estándares, y documentación.

Figura 12. Flujograma general del almacenamiento de la información



 Libertad y Orden Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	epam s.a. esp
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

ANEXOS

 Libertad y Orden Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	epam s.a. esp
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

  Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Formato 1 B. Instructivo para formato de captura de observaciones meteorológicas

SICROMETRO (TERMOMETRO SECO Y HUMEDO) Lecturas a las 07–13 y 19 HLC OBSERVACION DEL SICROMETRO CON VENTILACION ARTIFICIAL - Humedecer bien la muselina. - Dar 9 medias vueltas a la llave del aspirador - Entrecerrar la puerta de la caseta. - Esperar 1 minuto, hacer varios chequeos para observar el descenso de la columna de mercurio del termómetro húmedo, hasta cuando la columna descienda hasta su punto más bajo y se estabilice por unos segundos. - Anotar la temperatura más baja a que haya llegado el termómetro húmedo e inmediatamente la temperatura del termómetro seco. OBSERVACION DEL SICROMETRO CON VENTILACION NATURAL - Cuando se dañe el aspirador se debe retirar. - Después quitar los dos tubos o caperuzas que protegen los depósitos de mercurio de los termómetros. - Colocar al depósito de mercurio del termómetro húmedo 15 cm de muselina, la cual llegará a un recipiente de boca ancha, permanentemente lleno de agua. De la punta inferior del depósito de mercurio al nivel del agua habrá una distancia de 4 cm. - Para la observación a la hora reglamentaria, anote las temperaturas que indiquen los termómetros seco y húmedo. - En la página donde finaliza el mes, en la casilla de observaciones anote la fecha en que ocurrió el daño del aspirador. - La muselina debe cambiarse cada 15 días o cuando se note sucia. TERMOMETRO DE MAXIMA: CASETA – 5 y 10 cm S/S – T. EVAPORACION - Lectura a las 19 HLC. - Puesta a punto inmediatamente después de efectuar y anotar la lectura, sacudiendo el termómetro varias veces, describiendo con el brazo un cuarto de círculo para que el mercurio regrese al depósito de mercurio del termómetro y quede indicando una temperatura igual a la del termómetro seco. TERMOMETRO DE MINIMA: CASETA – 5 y 10 cm S/S – T. EVAPORACION - Lectura a las 07 HLC. - Anotar la cantidad que indica el extremo derecho del índice. Efectúe la lectura sin retirar el termómetro del soporte. - Puesta a punto inmediatamente después de efectuar y anotar la lectura, inclinando el termómetro hacia el lado derecho o sea con el depósito de alcohol hacia arriba, de modo que el índice se desplace hasta detenerse. TERMOGRAFO °C – HIGROGRAFO 0/0 - Lectura a las 07–13 y 19 HLC - Después de efectuar y anotar la lectura haga la marca de tiempo sólo al Termógrafo. - Cambiar la gráfica los lunes a las 07 HLC cuando el instrumento sea de registro semanal. Además efectuar el cambio de la gráfica el día primero de cada mes a las 07 HLC.	HELIOGRAFO - Cambiar la gráfica a las 19 HLC, anotar la fecha del día siguiente. - Utilizar la gráfica correspondiente según la marca del instrumento y del período del año. PLUVIOGRAFO - Cambiar la gráfica a las 07 HLC si hubo precipitación el día anterior. Si no hubo precipitación puede utilizar la misma gráfica durante 4 días, agregando agua para que varíe el nivel de registro. - El primer día del mes cambiar la gráfica a las 07 HLC. PLUVIOMETRO - Lectura a las 07 HLC. - Utilizar la probeta para precipitaciones menores de 30.0 mm y la reglilla cuando la medida sea mayor. ANEMOMETRO - Lectura a las 07 HLC. - Anotar todos los números que aparecen en el tablero. TANQUE DE EVAPORACION - Lectura a las 07 HLC. - Girar el nonio del tornillo micrométrico para conseguir que la punta del anzuelo quede a nivel de la superficie del agua. - Los milímetros enteros se leen en los números y líneas grabados en el tornillo o eje central. - Las centésimas de milímetro se leen en la escala del nonio, su valor lo señala la línea grabada en el círculo exterior. Cuando sea indispensable agregar o sacar agua se procede así: - Efectuar y anotar la lectura a la hora de observación reglamentaria. - Agregar o sacar agua según el caso. - Hacer una segunda lectura, la cual se anota en la misma casilla frente al día y hora de observación. Es necesario mantener el nivel del agua dentro de las franjas pintadas en el tanque de evaporación. Para una limpieza adecuada es conveniente cambiar el agua cada mes. NUBOSIDAD <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1010 1300 1213 1360">  </td> <td data-bbox="1234 1300 1438 1360">  </td> <td data-bbox="1459 1300 1663 1360">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1010 1360 1213 1430"> CATEGORIA 1 = DESPEJADO Cielo completamente despejado o con pequeñas nubes aisladas. </td> <td data-bbox="1234 1360 1438 1430"> CATEGORIA 2 = SEMICUBIERTO Cielo con nubes aisladas o en desarrollo que cubren parcialmente el cielo. </td> <td data-bbox="1459 1360 1663 1430"> CATEGORIA 3 = CUBIERTO Cielo completamente cubierto o con pequeños espacios despejados. </td> </tr> </table> Anotar 9 cuando el cielo está obscurcido y no se puede calcular la cantidad de nubes.				CATEGORIA 1 = DESPEJADO Cielo completamente despejado o con pequeñas nubes aisladas.	CATEGORIA 2 = SEMICUBIERTO Cielo con nubes aisladas o en desarrollo que cubren parcialmente el cielo.	CATEGORIA 3 = CUBIERTO Cielo completamente cubierto o con pequeños espacios despejados.
							
CATEGORIA 1 = DESPEJADO Cielo completamente despejado o con pequeñas nubes aisladas.	CATEGORIA 2 = SEMICUBIERTO Cielo con nubes aisladas o en desarrollo que cubren parcialmente el cielo.	CATEGORIA 3 = CUBIERTO Cielo completamente cubierto o con pequeños espacios despejados.					



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 2. Formato de inspección de estaciones meteorológicas

INSPECCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS															VISITA DE (SEÑALE UNA) OPERACION Y MANT. ☐ SUPERVISION ☐ RECOLECCION ☐			REGIONAL N°															
1 CATEGORIA		RS	SP	SS	AM	CP	2 ESTACION					3 MUNICIPIO			4 CODIGO		5 CONTRATO CONVENIO ☐																
6 OBSERVADOR		CO	ME	PG	PM	7 INFORMACION RETIRADA					8 INFORMACION PAGADA			9 VALOR MES		10 VALOR TOTAL		11 SE DEBE DESDE															
12 MATERIALES		N°	HASTA		GRAFICAS		FORMA		CANTIDAD		HASTA		GRAFICAS		FORMA		CANTIDAD		HASTA														
LIBRETA																																	
LAPIZ																																	
MUSELINA cm.																																	
TINTA																																	
PILAS																																	
13 INSTRUMENTAL		MARCA Y NUMERO		HORA		ANTES DE INSPEC.					LABOR EFECTUADA		INSTRUMENTAL		MARCA Y NUMERO		HORA		ANTES DE INSPEC.					LABOR EFECTUADA									
				LECTURA		LECT. REGIST.					REP		RET		INST				LECTURA		LECT. REGIST.					REP		RET		INST			
T. SECO																	TANQUE E VAPOR.																
T. HUMEDO																	T. MAXIMA																
ASPIRADOR																	T. MINIMA																
T. MAXIMA																	ACTINOGRFO																
T. MINIMA																	HELIOGRFO																
HIDROGRAFO																	PIRANOMETRO																
TERMOGRAFO																	BAROMETRO																
TERMOHIGROGR.																	MICROBAROGRFO																
PLUVIOGRAFO																																	
PLUVIOMETRO																	PROBETA																
PM TOTALIZADOR																	REGILILLA																
ROCIÓGRAFO																	LINTERNA																
ANEMOGRFO																	LCANDADO																
ANEMOMETRO																	VALLA																
T. MAXIMA		5															T. MINIMA		5														
10																	10																
20																	20																
30																	30																
50																	50																
100																	100																
SOBRE SUELO		5															SOBRE SUELO		5														
10																	10																
MOVIMIENTO DE INSTRUMENTAL Y ELEMENTOS DEVOLUTIVOS																																	
INSTALO		RETIRO		DESCRIPCION		MARCA		NUMERO		A CARGO DE		N° COMPROBANTE - FECHA		M O T I V O																			
15 EXPLICACION SOBRE INSTRUMENTAL REPARADO																																	
16 EXPLICACION SOBRE FALLAS EN LECTURAS																																	
17 REPARACION Y MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS																																	
18 TRABAJOS NECESARIOS																																	
19 NOTAS SOBRE EL OBSERVADOR																																	
22 HORA (S) DE INSPECCION DE A FECHA (S)																																	
23 INTEGRANTES COMISION																																	
24 FIRMA OBSERVADOR																																	
25 DISTRIBUCION APELLIDO REVISOR FECHA																																	
ORIGINAL REDES																																	
COPIA REGIONAL																																	
21 PRADO TOTAL ☐ PARCIAL ☐ ALTURA ENCONTRADA ☐ cm																																	

 IDEAM Libertad y Orden Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

  Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

BIBLIOGRAFÍA

ARDILA H., G. A. Guía de construcciones hidrometeorológicas. IDEAM. Bogotá. 1997.

BERNAL G., G. Manual sobre análisis, detección de errores y guías para la verificación y cálculo en los registros de brillo solar. 72 p. HIMAT. Bogotá. 1984.

DOMÍNGUEZ E, VERDUGO N. Y NIÑO R. Optimización de la red hidrológica nacional de referencia. IDEAM. Bogotá, 2002.

EPAM-CPT, Plan de ordenación y manejo de la microcuenca de la quebrada Santa Elena (Medellín), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Bogotá-Medellín. 2008.

IDEAM – APCYTEL. Manual para la operación, inspección y mantenimiento de estaciones meteorológicas. Bogotá. 2008.

IDEAM, Manual del Observador Meteorológico, Medellín, 2001.

IDEAM, Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá. 2007.

LOPEZ J., V. Manual sobre manejo, codificación, análisis y verificación de la información meteorológica. HIMAT. 106 p. Bogotá. 1988.

MAYORGA M, R. Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. U. N. de Colombia. Tesis título de Magister en Meteorología. Bogotá. 2003.

OMM (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL), Guía de prácticas hidrológicas. Publ. OMM No 168. Ginebra (Suiza). 1994.

NARVÁEZ, G., & G. LEÓN. Caracterización y zonificación climática de la región Andina. Meteorol. Colomb. 4:1-8. ISSN 0124-6984. Bogotá. 2001

RANGEL M., E. y TORRES G., A. Protocolo para el control de calidad de la información Meteorológica en las etapas de obtención, evaluación, verificación, cálculo y procesamiento. Subdirección de Meteorología Área Operativa No 1 (Medellín). IDEAM. Bogotá. 2005

REMENIERAS G. Tratado de hidrología aplicada. Ed. Técnicos Asociados SA. Barcelona, España. 1971.

SÁNCHEZ LANCHEROS F. D., Guía y protocolos de monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM. Bogotá. 2006.

SÁNCHEZ SAN ROMÁN F., Evapotranspiración, 2006, <http://ausma.uncoma.edu.ar>.

SARTORI, E. "A mathematical model for predicting heat and mass transfer from a free water surface". Proc. ISES Solar World Congress, Germany (1987).

  Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

SARTORI, E. "Solar still versus solar evaporator: a comparative study between their thermal behaviors". Solar Energy, 56/2 (1996).

SARTORI, E. "A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from a free water surface". Solar Energy, 68/1 (2000).

SARTORI, E. "Letter to the Editor", Solar Energy Journal, 73/6, 2003.

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, Evaporación y evapotranspiración, Salamanca, 2010, html.rincondelvago.com.

VÉLEZ, POVEDA Y MESA, Balances hidrológicos de Colombia. Universidad Nacional de Medellín. Ed. Universidad del Valle. Cali. 2000.

WALPOLE, R. E. & MYERS, R. H., Probabilidad y estadística. Cuarta edición. McGrawHill. México D.F. (Mex.).1999.

WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION), Guide to Hydrological Practices. WMO No 168. Vol. I-II. Sixth Ed. Geneve (Switzerland). 2008.