

Sistema de Información de Aguas Superficiales para obtener el Cálculo Hidrométrico (SIASv2)

Yolanda Solís Alvarado¹
Miguel Medina García²
Alejandro García Ruíz³

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. CP 62550.
ysolis@tlaloc.imta.mx

² Context Group, S.A. de C.V.
Compositores 102, Col. Analco, Cuernavaca, Morelos. México. CP 62166
context@prodigy.net.mx

³ Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur 2416 Col. Copilco El Bajo, Delegación Coyoacán. México D.F. C.P. 04340.
alejandro.garcia@conagua.gob.mx

Abstract. The Information System Of Surface Water (SIAS v2) aims to support the development of the hydrometric estimate made by specialists of the National Water Commission (Conagua) for updating the national database called BANDAS (*Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales*). BANDAS has registered all the not automatic hydrometric stations in Mexico; it has historical information about average daily flow, average monthly flow, and average annual flow. This hydrometric database includes a descriptive sheet of all the stations; in most of the cases there exist the geographic coordinates of the station. The hydrometric calculation means to quantify the volume of water flowing through a river over a period of time, through observations of measurements carried out at the gauging stations of the national hydrometric network. Field data necessary in SIAS v2 to calculate water content are: (1) Gauging field, (2) Level scale graph, (3) Summary of scales, (4) Summary of Gauging and (5) Sediment, its volume and weight. Its data review during the process of calculation has some graphical tools as an important help to identify mistakes in the data source. The first test SIAS v2 has had was in 2010, with 30 stations from *Rio Santiago's* basin corresponding to the year 2009; later SIAS v2 was used in the calculation process for the years: 2007 – 2009 as a massive national calculus registered in BANDAS.

Palabras clave: Hydrometric calculus, Gauging, National Hydrometric Network, Cálculo hidrométrico, Gasto, Red Hidrométrica Nacional.

1. Introducción

La Comisión Nacional del Agua en México, tiene como una de sus responsabilidades mantener actualizadas las mediciones de la Red Hidrométrica Nacional. Para ello cuenta con un gran grupo de aforadores distribuidos a lo largo del territorio nacional, que registran cotidianamente los niveles de agua en los ríos y posteriormente, después de un proceso analítico, actualizan el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) para hacerlo accesible al público en general. Las estaciones en este banco registradas son las denominadas convencionales, es decir, no incluye mediciones automáticas.

2. Metodología del trabajo

En cada río principal de la red, existen aforadores que registran diariamente niveles de agua en el cauce (lecturas de escala) y cantidad de agua que pasa en un momento determinado (aforos), para generar expedientes por estación, por mes y por año; una parte de expedientes es procesado de manera local y otra cantidad de expedientes se envía a cálculo masivo a oficinas centrales de Conagua.

Cada expediente esta organizado para que su información sea capturada, analizada e inventariada para proceder al cálculo hidrométrico. En la Figura 1, se observa el flujo y proceso que sigue la información hasta llegar ya con el cálculo hidrométrico hecho a las bases de datos históricas consultables en el BANDAS. Los datos de campo necesarios para el cálculo hidrométrico son: (1) Aforos de campo, (2) Limnigrama, (3) Resumen de escalas, (4) Resumen de Aforos y (5) Sedimentos, su volumen y peso. Los pasos para el cálculo hidrométrico son: Captura de lecturas de escala y aforos; Análisis y depuración de las mediciones; Identificación de periodos de tiempo; Determinación de relación Escala – Gasto; Cálculo del gasto; Análisis integral; Cálculo de los gastos diarios, mensuales y anuales.

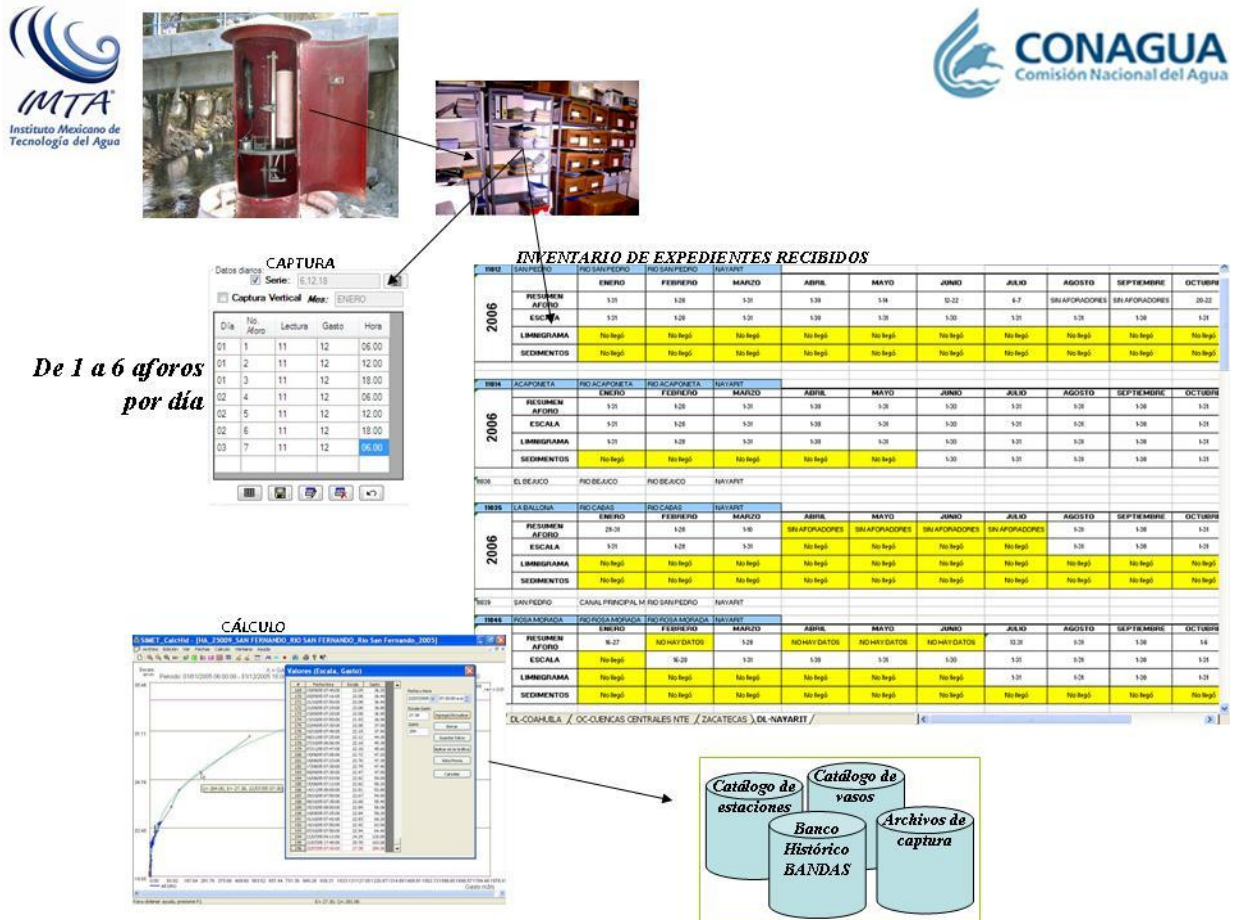


Figura 1. Proceso general de la información para llegar al cálculo hidrométrico.

SIAS v2 básicamente permite: (1) Analizar las mediciones efectuadas en las estaciones (lectura de escala, aforos y sedimentos), (2) Calcular el gasto diario por método QE o LE y los conceptos considerados en la base de datos hidrométrica (BANDAS), y (3) Actualizar la base de datos (cálculo hidrométrico diario, mensual y anual).

2.1 Análisis de las mediciones efectuadas en las estaciones (lectura de escala, aforos y sedimentos)

El análisis de mediciones se hace mediante despliegue gráfico del hidrograma. Los pasos necesarios para este análisis son:

- ◆ Leer tanto las lecturas de escala como la relación escala-gasto. Esta información se puede ingresar a SIAS v2 tanto por archivos de Visual Fox Pro (.dbf), por compatibilidad con SIAS 1994, como por archivos de Microsoft Access (.mdb).

◆ Generar gráficas de revisión de datos por cada año. Una donde se grafican los datos de escala-gasto a lo largo del año; y otra donde se grafica la escala y el gasto como gráficas independientes. En la gráfica de escala, SIAS v2, resalta con un círculo rojo los periodos de tiempo sin datos cuando éstos son de cinco o más días consecutivos.

Así mismo SIAS v2 permite en la gráfica de escala, mostrar los datos registrados 15 días antes y 15 días después del punto seleccionado para análisis. Estos datos se presentan en forma tabular para que el calculista pueda revisar los valores y editarlos si lo considera pertinente, con posibilidad de modificar directamente el archivo de datos. En ambos tipos de gráficas SIAS v2 permite seleccionar otro periodo de tiempo para continuar el análisis a lo largo del año.

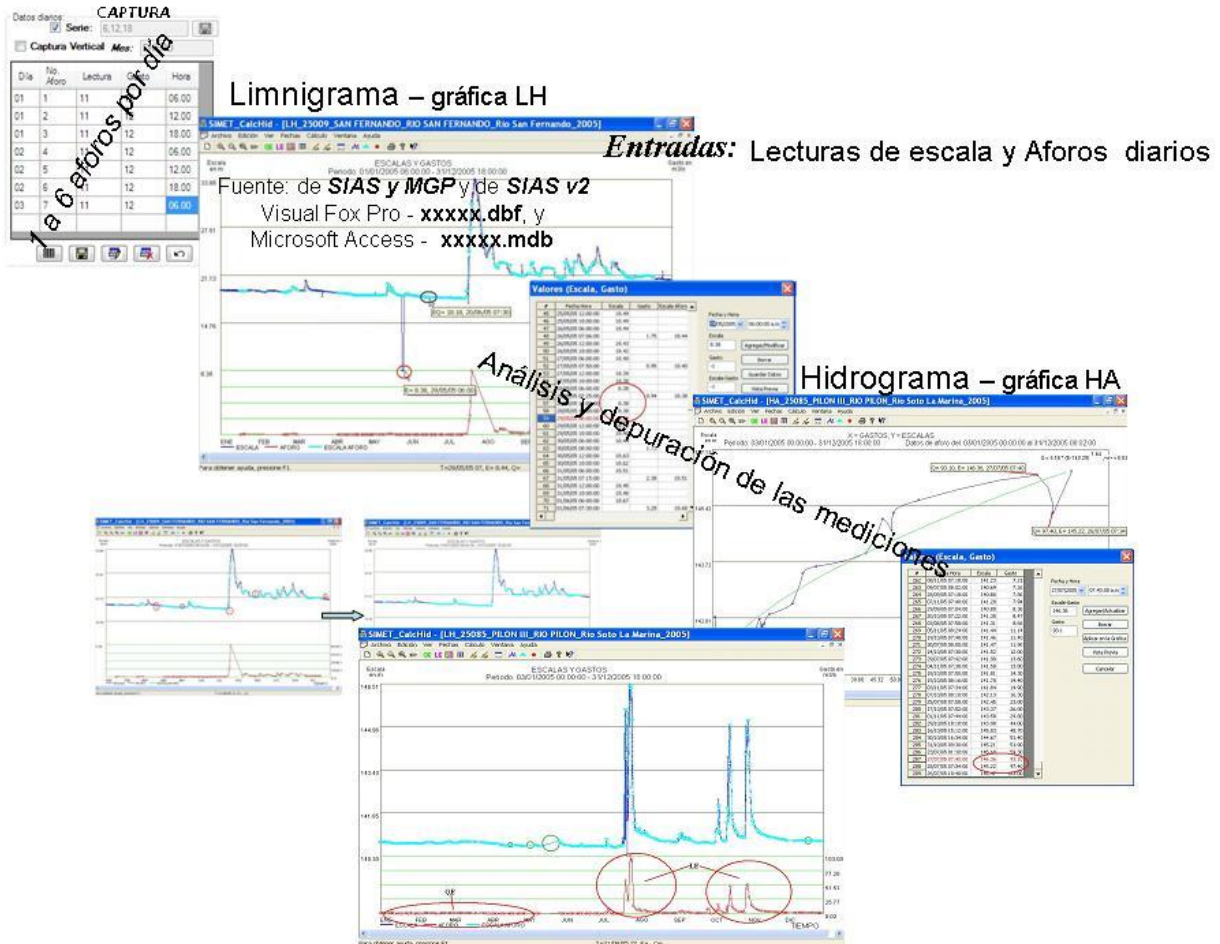


Figura 2. Análisis y depuración de mediciones.

2.2 Cálculo del gasto

Una vez hecho en análisis y depuración de mediciones, se identifican los periodos de tiempo de estiaje o de presencia de avenidas para determinar el método de cálculo a usar. En la Figura 2 en la última gráfica, se observa un óvalo rojo denotando gastos que mantiene un flujo más o menos constante y que de julio a agosto ya aparecen registros de avenidas, dichos periodos son aptos para aplicar diferentes métodos de cálculo.

Cálculo del gasto por el método QE

El método QE se utiliza cuando no existe mucho movimiento en el cauce, para cálculo de gasto nulo; para cuando no existe relación Escala-Gasto o cuando no existe velocidad en el cauce (agua estancada). Es responsabilidad del calculista diferenciar gasto nulo de falta de

datos. El método QE es un cálculo basado directamente en aforos en estaciones donde no es posible obtener una relación bien definida entre las alturas de la escala y los gastos, el cálculo en los volúmenes tiene que basarse directamente en los valores obtenidos de los aforos.

El método consiste en efectuar una interpolación lineal a partir de los datos de los aforos. Si tenemos una lectura de escala E a una hora en la que no se efectuó un aforo, la fórmula mediante la cual se realiza el cálculo es la siguiente:

$$Q = \frac{Q2 - Q1}{E2 - E1} (E - E1) + Q1 \quad (1)$$

Donde

Q = Gasto a calcular.

Q1 = Gasto inicial, del aforo previo a la lectura de escala.

E1 = Escala del gasto inicial, del aforo previo a la lectura de escala.

Q2 = Gasto final, del aforo posterior a la lectura de escala.

E2 = Escala del gasto final, del aforo posterior a la lectura de escala.

E = Es la lectura de escala registrada entre los aforos.

El método usa el gasto medido previo y posterior a la lectura de escala, y si el tiempo entre aforos es muy grande es mejor usar aforos previos (o posteriores) a la lectura de escala.

Dos variantes del método QE son los denominados QEP→ (QE previo) y QES← (QE siguiente). El primero es aquel en donde se realiza el cálculo por medio de QE, pero usando los datos de los aforos previos más próximos a la lectura de escala; y, el segundo es la misma lógica que el anterior, sólo que en este caso se toman los dos aforos siguientes más próximos a la lectura de escala.

Cálculo del gasto por el método LE

El método LE se aplica cuando existe mucho movimiento y presencia de avenidas. Las curvas pueden contener desde 3 hasta n aforos en un periodo.

Relación Escala-Gasto: Se presenta en corrientes donde para cada lectura de escala corresponde un gasto. El primer paso para hacer cálculo de gastos escurridos por una estación, consiste en la determinación de la relación Escala-Gasto. También se recurre al trazo de curvas, cuando se tiene insuficiencia de aforos para calcular meses con aforos faltantes o que solo se cuentan con lecturas de escalas.

Experimentalmente se ha observado que el nivel del agua E y el gasto Q están relacionados por una expresión del tipo:

$$Q = A * E^b \quad (2)$$

donde A y b son constantes particulares para cada cauce, A es un factor de escalamiento que relaciona las unidades de medición y b está relacionada con la rapidez de cambio la velocidad del agua en el cauce. Si se conocen A y b el cálculo del gasto para cualquier lectura de escala es inmediato.

En principio hay una única relación para cada estación, siempre y cuando la sección de donde se encuentra la estación no se modifica con el paso del tiempo. Por lo general esto no se mantiene, así, es necesario determinar la relación apropiada para periodos de tiempo particulares. SIAS v2 efectúa el cálculo de las constantes A y b a partir de los datos aforados en el periodo de tiempo seleccionado. El cálculo se realiza por medio un ajuste de mínimos cuadrados pesado, asignando un peso proporcional al gasto medido, de esta forma se logra que la relación se ajuste mejor a las avenidas mayores en el periodo de tiempo analizado.



Figura 3. Ejemplo de parámetros de ajuste.

Parámetros de ajuste

La curva de ajuste muestra la gráfica de la relación Escala – Gasto ajustada por mínimos cuadrados a una curva del tipo $Q = A \cdot (E - E_0)^b$, de los datos de la estación en cuestión para el periodo de tiempo específico. En cada ajuste de la curva se calcula un nuevo juego de parámetros de ajuste, donde además de la gráfica de los aforos y de la curva ajustada, se exhiben los parámetros A, b, E0 (que es la escala donde el gasto vale cero) y el error cuadrático medio $\langle e \rangle$ obtenido del ajuste, Figura 3 a) y b), marcados en ovalo rojo. Adicionalmente se traza con una línea en color magenta la lectura de escala máxima registrada en el periodo de tiempo, lo que facilita la identificación del valor máximo de gasto que se obtendrá si se aplica la curva obtenida a los datos del periodo de tiempo dado. Estos parámetros de ajuste, posteriormente se utilizan en el proceso de cálculo de gastos por el método LE.

Actualización de la base de datos (del cálculo hidrométrico diario, mensual y anual)

Una vez integrados los resultados de cada uno de los periodos con sus respectivos métodos de cálculo y parámetros de ajuste se procede a la actualización de la base de datos.

Cálculo y actualización de datos diarios

La actualización de los gastos medios diarios históricos se realiza a partir de los gastos calculados para cada lectura de escala, ya sea por el método QE o LE (Figura 4). El área bajo el hidrograma para un periodo de tiempo dado es el volumen que escurre en ese intervalo de tiempo. El gasto medio diario es: $Q_m = \text{Volumen} / t_d$.

Donde t_d es el número de segundos en un día: $3600 \cdot 24$. El volumen se determina calculando el área bajo la curva:

$$A = \sum_i (Q_i + Q_{i+1}) \cdot (t_{i+1} - t_i) / 2 \quad (3)$$

Cálculo y actualización de datos mensuales y anuales

La actualización de los datos mensuales se realiza a partir de los datos de entrada y de los datos diarios históricos. Los datos de entrada se emplean para determinar el gasto máximo y mínimo registrado en los aforos del mes, así como el día, la hora y la escala correspondiente. También a partir de estos datos y de los datos calculados, se determina la escala máxima y mínima registrada en el mes, y el día y la hora de cuando se presentaron. De los datos diarios se calcula el volumen mensual de escurrimiento, que es la suma de los volúmenes escurridos diarios. Como el volumen diario es el gasto medio por el número de segundos en un día ($3600 \cdot 24 = 86400$), entonces:

$$V_{\text{mensual}} = \sum_i Q_i \cdot 86400 \quad (4)$$

El gasto medio mensual se calcula dividiendo el volumen mensual escurrido entre el número de días del mes:

$$Q_{\text{mensual}} = V_{\text{mensual}} / n_{\text{Dias}} \quad (5)$$

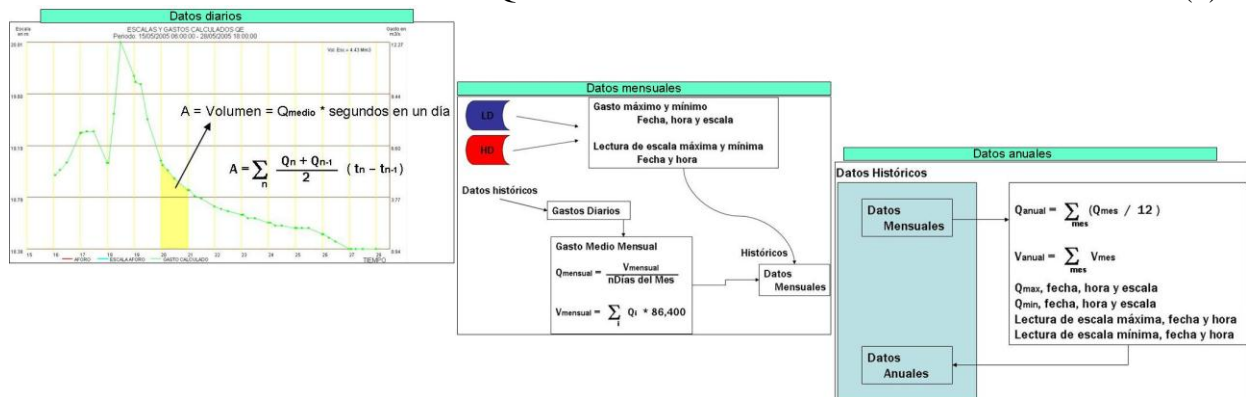


Figura 4. Cálculo de gasto DIARIO, MENSUAL y ANUAL.

La actualización de los datos anuales se realiza a partir de los datos mensuales históricos. Se determinan los gastos y lecturas máximos y mínimos registrados en el año, la fecha en que se presentaron, así como la escala correspondiente. Adicionalmente se calcula el volumen anual de escurrimiento, que es la suma de los escurrimientos mensuales y el gasto medio anual, que es la suma de los gastos medios mensuales.

La actualización de los gastos medios diarios históricos se realiza a partir de los gastos calculados para cada lectura de escala y es: $Q_m = \text{Volumen} / t_d$. El volumen se determina calculando el área bajo la curva y t_d es el número de segundos en un día. A partir de los gastos y volúmenes diarios se calculan los valores mensuales y anuales.

3. Resultados y discusión

Una vez hecho el cálculo hidrométrico la base de datos BANDAS almacena:

1. Valores diarios: Gasto medio diario (m³/s) día 1 a día 29-31
2. Valores mensuales: Gasto máximo en el mes (m³/s), Día en que ocurre el gasto máximo, Hora en que ocurre el gasto máximo, Lectura de escala para gasto máximo (m), Gasto mínimo en el mes (m³/s), Día en que ocurre el gasto mínimo, Hora en que ocurre el gasto mínimo, Lectura de escala para gasto mínimo (m), Lectura de escala máxima en el mes, Día de lectura de escala máxima, Hora de lectura de escala máxima, Lectura de escala mínima en el mes (m), Día de lectura de escala mínima, Hora de lectura de escala mínima, Volumen mensual de escurrimiento (miles de m³), Gasto medio mensual (m³/s) y Volumen mensual de sedimentos (miles de m³).
3. Valores anuales: Gasto máximo en el año (m³/s), Mes, día, hora en que ocurre el gasto máximo, Lectura de escala para gasto máximo (m), Gasto mínimo en el año (m³/s), Mes, día, hora en que ocurre el gasto mínimo, Lectura de escala para gasto mínimo (m), Lectura de escala máxima en el año (m), Mes, día, hora en que ocurre escala máxima, Lectura de escala mínima en el año (m), Mes, día, hora en que ocurre escala mínima, Volumen anual de escurrimiento (miles de m³), Gasto medio anual (m³/s) y Volumen anual de sedimentos (miles de m³).
4. Hidrograma: Fecha en que ocurre el gasto, Hora en que ocurre el gasto y Gasto instantáneo (m³/s).
5. Limnigrama: Fecha de lectura, Hora de lectura y Lectura de escala (m).
6. Sedimentos: Fecha de lectura, Hora de lectura y Porcentaje de sedimento. Cuando hay.

En 2010 se usó SIAS v2 para el cálculo de 30 estaciones hidrométricas de la cuenca del Río Santiago para datos de 2009, dichos resultados se usaron para el cálculo de disponibilidad superficial de dicha cuenca, y también para cálculo masivo de los años 2007-2009.

4. Conclusiones

El cálculo hidrométrico es un proceso laborioso que implica mucha experiencia del personal calculista para primero, ingresar la cantidad de información necesaria y suficiente, y segundo, interpretar de manera adecuada los resultados, así como el análisis numérico de las variaciones de la curva de ajuste. El SIAS v2 integra un proceso transparente para los usuarios BANDAS externos a la Conagua, quienes únicamente usan los datos históricos de cada estación. Por otro lado, el SIAS v2, es una herramienta que convive con los nuevos sistemas operativos y apoya la elaboración del cálculo hidrométrico.

Agradecimientos

Se reconoce ampliamente el esfuerzo del personal de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos así como de aforadores y calculistas que aportaron mucho conocimiento y experiencia al desarrollo del SIAS v2.

Referencias bibliográficas

Palomino, G. Sistema de Información de Aguas Superficiales SIAS, Manual de usuario y Administrador. Jiutepec, Morelos, 1994.

Solís, A.Y.; Medina G.M.; Báez O.D.; Sistema de Información de Aguas Superficiales SIAS v2, Manual de usuario. Jiutepec, Morelos, 2010.