

24 25

09/06/25



BICENTENARIO DE
BOLIVIA



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y AGUA



senamhi

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

MANUAL PARA REALIZAR ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y
PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA
EMPLEANDO SOFTWARE HYDRACCESS

Gestión 2025

La Paz - Bolivia



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y AGUA

MATPIHI - SOFHY



senamhi
SERVICIO NACIONAL DE
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

MANUAL PARA REALIZAR ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA EMPLEANDO SOFTWARE HYDRACCESS (MATPIHI – SOFHY) DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Lic. Hugo Cristóbal Mamani Ticona
DIRECTOR GENERAL a.i.

Revisado por:

Ing. Hugo Cutile Copa
DIRECTOR DE HIDROLOGÍA

Hugo Cutile Copa
Ing. Hugo Cutile Copa
DIRECTOR DE HIDROLOGÍA
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

En Conformidad:

Ing. Luis Carlos Chávez Torrico
UNIDAD PLANIFICACIÓN

Luis C. Chávez Torrico
Ing. Luis C. Chávez Torrico
RESPONSABLE DE PLANIFICACIÓN
Y DESARROLLO ORGANIZACIONAL
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Elaborado por:

Ing. Jhon Martín Chura Churata
UNIDAD DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA

Jhon Martín Chura Churata
Ing. Jhon Martín Chura Churata
JEFE DE UNIDAD DE ESTUDIOS
E INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA
SENAMHI - BOLIVIA



senamhi
SERVICIO NACIONAL DE
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

RESOLUCION ADMINISTRATIVA N° 14/2025
La Paz, 06 de junio de 2025

VISTOS:

Que, a solicitud de la Directora Administrativo Financiero del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, quien hace conocer Informe Técnico SENAMHI/HIDRO/N°016/2025 de fecha 30 de mayo de 2025 emitido por el Director de Hidrología – SENAMHI e Informe Técnico DIR.GRAL./PLANF/N°014/2025 con sello de recepción de fecha 04 de junio de 2025 emitido por el Responsable de Planificación y Desarrollo Organizacional - SENAMHI, documentos sobre los cuales se emite la presente resolución.

CONSIDERANDO:

Que, mediante HR N° 2313, el Director de Hidrología, mediante Informe Técnico SENAMHI/HIDRO/N°016/2025 de fecha 30 de mayo de 2025 hace conocer que la Unidad de Estudios e Investigación Hidrológica del SENAMHI, elaboro el “Manual para realizar análisis, tratamiento y procesamiento de información hidrométrica empleando el software Hydraccess”, con la finalidad de estandarizar los procedimientos de manejo de datos hidrométricos y facilitar el uso del software Hydraccess, señala que la entidad no cuenta con un manual específico hecho que limita la eficiencia en el manejo de la información, realiza una justificación técnica sobre el alcance institucional, beneficios operativos, cumplimiento normativo, fortalecimiento de capacidades, optimización de gestión institucional, realizando la descripción técnica del documento, en sus conclusiones señala que este manual se constituirá en una herramienta para todas las unidades dependientes de la Dirección de Hidrología.

Que, por Informe Técnico DIR.GRAL./PLANF/N°014/2025 con sello de recepción de fecha 02 de junio de 2025 emitido por el Responsable de Planificación y Desarrollo Organizacional - SENAMHI, quien en la parte conclusiva establece que la propuesta de manual cuenta con toda la información como el marco normativo, marco conceptual, procesos y procedimiento de forma clara y concreta constituyéndose en una herramienta muy útil y necesaria, para la entidad, principalmente para la Unidad de Hidrometría Operativa, recomendando la elaboración del Informe Legal y posterior emisión de la Resolución Administrativa.

Que, por Informe con DIR.GRAL./UAL/INF N°055/2025 de fecha 06 de junio del 2025 emitido por el Jefe de Unidad de Asesoría Legal de SENAMHI, quien en la parte conclusiva establece que en función a la documentación proporcionada y a la justificación técnica contenida en el Informe Técnico SENAMHI/HIDRO/N°016/2025 de fecha 30 de mayo de 2025 emitido por la Dirección de Hidrología, así como la validación del Responsable de Planificación y Desarrollo Organizacional – SENAMHI, no se advierte observaciones de carácter legal para la aprobación del “Manual para realizar análisis, tratamiento y procesamiento de información hidrométrica empleando el software Hydraccess del SENAMHI”, recomendando emitir el acto administrativo correspondiente, para su aprobación mediante la emisión de la respectiva Resolución Administrativa.

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 232 del Texto Constitucional, determina que la Administración Pública se rige por los principios de legitimidad, legalidad, imparcialidad, publicidad,

2025 BICENTENARIO DE BOLIVIA

compromiso e interés social, ética, transparencia, igualdad, competencia, eficiencia, calidad, calidez, honestidad, responsabilidad y resultados.

Que, los Numerales 1 y 2 del Artículo 235 de la Norma Suprema, señalan que los servidores públicos, tienen la obligación de cumplir la Constitución y las Leyes, así como asumir sus responsabilidades de acuerdo a los principios de la Función Pública.

Que el Artículo 3 de la Ley N° 1178, de 20 de julio de 1990, de Administración y Control Gubernamentales, establece que los Sistemas de Administración y de Control se aplicarán en todas las entidades del Sector Público, sin excepción

Que el Artículo 27 de la citada Ley N° 1178 indica que cada entidad del Sector Público elaborará en el marco de las normas básicas dictadas por los órganos rectores, los reglamentos específicos para el funcionamiento de los sistemas de administración y Control Interno regulados por la presente Ley y los sistemas de Planificación e Inversión Pública.

Que, mediante Decreto Supremo N° 8465 de fecha 4 de septiembre de 1968, se crea del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, como entidad descentralizada, con autonomía técnica y administrativa con sede en La Paz y jurisdicción en todo el territorio de Bolivia, constituyéndose en el órgano rector del sistema de meteorología e hidrología en Bolivia.

Que, el artículo 13 del Decreto Supremo de creación del SENAMHI establece que las entidades oficiales y semi-oficiales que realicen observaciones meteorológicas e hidrológica, están obligadas a *unificar el instrumental, los procedimientos, los formularios y los métodos de observación, de acuerdo a las directivas y normas que emanen de la Dirección General del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*, el artículo 14 prevé que el SENAMHI, podrá realizar inspecciones técnicas.

Que el Artículo 4 inciso r) del Manual de Funciones y Cargos aprobado mediante Resolución Administrativa N°026/2022 de fecha 30 de noviembre de 2022, establece como funciones del Director General el emitir Resoluciones Administrativas en el marco de sus competencias.

POR TANTO:

El Director General a.i. del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en uso de sus funciones, atribuciones legales establecidas en el Decreto Supremo N° 08465 de fecha 4 de septiembre de 1968 y demás normativa conexas.

RESUELVE:

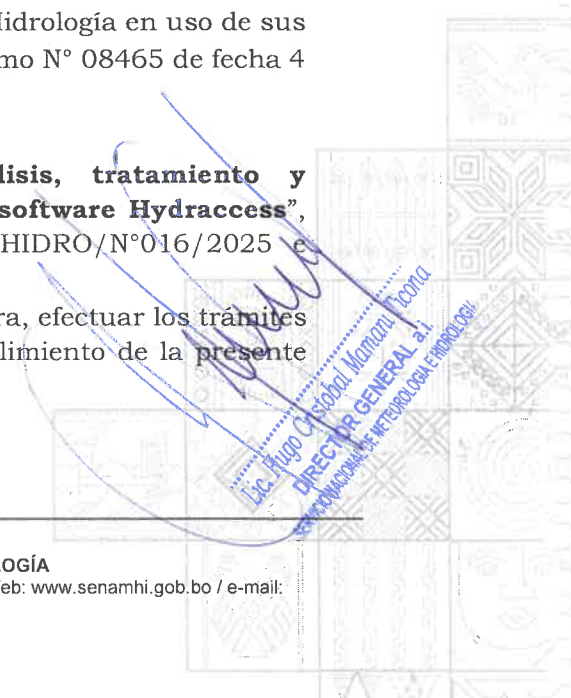
PRIMERO. – APROBAR el “Manual para realizar análisis, tratamiento y procesamiento de información hidrométrica empleando el software Hydraccess”, sustentado técnicamente en el Informe Técnico SENAMHI/HIDRO/N°016/2025 e Informe Técnico DIR.GRAL./PLANF/N°014/2025.

SEGUNDO. - Se instruye a la Dirección Administrativa Financiera, efectuar los trámites necesarios para la publicación, ejecución, seguimiento y cumplimiento de la presente Resolución Administrativa.

Regístrese, comuníquese y cúmplase.

Cc/ Archivo
HCMT
UAL.

2025 BICENTENARIO DE BOLIVIA



Contenido

1. GENERALIDADES 1

1.1. Introducción 1

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO 1

2.1. Inventario de la información hidrométrica disponible 2

2.1.1. Procesamiento de Aforos a una base de datos (.mdb) 2

2.1.2. Digitalización de niveles de agua o cotas observadas a una base de datos (.mdb) 5

2.2. Primer análisis y eliminación de errores evidentes en series de cotas y aforos 6

2.3. Elaboración, ajuste y validación de Curvas de Descarga H-Q 7

2.3.1. Identificación de periodos de calibración homogénea 8

2.3.2. Trazado de curvas de descarga 9

2.3.3. Primera traducción de series de caudales instantáneos y diarios 11

2.3.4. Análisis complementarios para la validación de la extrapolación de las Curvas de Descarga 13

2.4. Tratamiento final en series de cotas instantáneas 24

2.4.1. Identificación de cotas dudosas por comparación 24

2.4.2. Identificación de cotas dudosas por un análisis de regresión lineal 25

2.4.3. Relleno de lagunas por regresión lineal 25

2.5. Cálculo de series de caudales diarios, medios mensuales y medios anuales 26

2.6. Relleno de caudales medios mensuales 28

2.7. Análisis del Vector Regional 29

2.7.1. Presentación del formulario Vector Regional 29

2.7.2. Vector Regional Anual y Mensual 31

3. BIBIOGRAFÍA 36



Índice de figuras

Figura 1. Interfaz del software Hydraccess v. 4.5	1
Figura 2. Ubicación del módulo Procesamiento de Aforos dentro del Hydraccess.....	2
Figura 3. Ventana externa de Formulario Hydraccess del Aforo	3
Figura 4. Módulo Procesamiento de Aforos del programa Hydraccess	4
Figura 5. Ventana externa de Formulario Hydraccess del Aforo con el caudal calculado	4
Figura 6. Ubicación del módulo Edición (Continua) dentro del Hydraccess	5
Figura 7. Módulo Edición continua de la Tabla: Cotes del programa Hydraccess.....	5
Figura 8. Formato del archivo para importar cotas observadas nuevas.....	6
Figura 9. Comando (Pegar el porta-papeles en la tabla) para pegar los datos copiados de cotas observadas	6
Figura 10. Ubicación del módulo CALIBRA dentro del Hydraccess	7
Figura 11. Formulario Trazado de curvas de calibración (CALIBRA)	8
Figura 12. Ubicación del botón Calib + para la separación de periodos de calibración homogénea	9
Figura 13. Ventana Ajustes a la calibración dentro de CALIBRA	10
Figura 14. Ajuste de Curva de Descarga con el tipo de ajuste Polinomial 2 en CALIBRA	10
Figura 15. Ubicación del botón Traducción Cotas a Caudales	12
Figura 16. Ventana Traducción Cotas a Caudales	12
Figura 17. Ubicación del botón Cálculo Caudales Diarios	12
Figura 18. Ubicación del botón Procesamiento Multi-Estaciones (izq. para Q instantáneos y der. para Q diarios).....	13
Figura 19. Ubicación del utilitario CORMUL dentro la carpeta Hydraccess creada por defecto en el disco C	14
Figura 20. Ventana externa Régressions Linéaires Multiples (utilitario Cormul)	14
Figura 21. Formato de archivo (.txt) para el análisis en el utilitario CORMUL	15
Figura 22. Vista de Cormul para importar el archivo (.txt)	15
Figura 23. Ejemplo de regresión lineal simple en Cormul.....	16
Figura 24. Vista de Cormul para realizar el análisis de Regresión Lineal.....	16
Figura 25. Ventana que muestra el valor del coeficiente de correlación entre las estaciones de análisis.....	17
Figura 26. Ventana Graphes del Cormul para el análisis de comparación entre valores estimados y observados.....	17
Figura 27. Gráfico comparativo entre las variables de su elección en Cormul	18
Figura 28. Ventana para la definición de escalas gráficas	18
Figura 29. Comparación gráfica entre caudales estimados y observados en Graphes de CORMUL	19
Figura 30. Ventana Graphes de Valores estación A Vs. Estación B	19





Figura 31. Ventana que muestra el valor del coeficiente de correlación más cercano a la unidad..... 20

Figura 32. Perfiles o Secciones transversales dentro del módulo Calibra 22

Figura 33. Ubicación de la opción Rugosidades de Manning (n) dentro de Calibra 23

Figura 34. Trazado de las curvas Cotas vs. Rugosidades de Manning en Calibra..... 23

Figura 35. Ajuste de la curva de descarga por Manning-Strickler (Quisbert, 2021) 24

Figura 36. Relleno de laguna existente en la serie de cotas instantáneas de la estación Tumusla por regresión lineal simple (Quisbert, 2021) 25

Figura 37. Ubicación del botón Cálculo Caudales Mensuales en Hydraccess 26

Figura 38. Ventana Traducción Caudales diarios a Caudales mensuales 26

Figura 39. Ubicación del botón Procesamientos Multi-Estaciones en Hydraccess 27

Figura 40. Ventana Procesamientos Multi-Estaciones para exportar caudales medios mensuales y anuales 28

Figura 41. Ubicación del formulario Vector Regional dentro del programa Hydraccess..... 29

Figura 42. Presentación del formulario Vector Regional 31

Figura 43. Encabezado que debe tener el archivo Excel para la obtención del Vector Regional..... 32

Figura 44. Parámetros llenados en el formulario Vector Regional..... 33



Índice de gráficos

Gráfica 1. Error de lectura – estación Tumusla (Quisbert, 2021)	7
Gráfica 2. Identificación de los periodos de calibración homogénea (fecha de descalibración probable) (Aguilar, 2007).....	9
Gráfica 3. Caudales en Chuquiago observados (naranja) y estimados (azul) por regresión lineal simple con su estación vecina El Puente SJDO (Quisbert, 2021).....	20
Gráfica 4. Ejemplo de relleno mensual por regresión lineal, en la estación Chuquiago con su estación vecina El Puente.....	28
Gráfica 5. Ejemplo de Vector Regional anual inicial – Cuenca alta del río Pilcomayo (Quisbert, 2021).....	33
Gráfica 6. Ejemplo de Vector Regional anual final – Cuenca alta del río Pilcomayo (Quisbert, 2021)	34
Gráfica 7. Vectores regionales mensuales (ene-feb) finales del juego de estaciones cabecera de la cuenca alta del río Pilcomayo (Quisbert, 2021)	35



MANUAL PARA REALIZAR ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA EMPLEANDO SOFTWARE HYDRACCESS (MATPIHI – SOFHY)

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Hydraccess es un software completo, homogéneo y amigable al usuario, que permite importar y guardar varios tipos de datos hidrológicos en una base de datos (.mdb), y realizar los procesamientos básicos que un hidrólogo pueda necesitar. Su autor es Philippe Vauchel, hidrólogo del IRD (Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo), por lo que el software pertenece al IRD.



Figura 1. Interfaz del software Hydraccess v. 4.5

Notamos que Hydraccess comprende tres paneles, accesibles por los botones de comando situados arriba del formulario del menú principal. Los paneles son: HIDRO, PLUVIO-METEO y UTILITARIOS. En cada uno de estos paneles, se encuentran pestañas que permiten seleccionar tipos de operaciones a efectuar.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El proceso metodológico planteado por Aguilar y Vauchel en el año 2007, para realizar un análisis y tratamiento de la información hidrométrica aplicando el software Hydraccess, consta de los puntos descritos a continuación, empezando desde las estaciones hidrométricas que se encuentran aguas abajo, hasta las ubicadas aguas arriba dentro de la cuenca de estudio:

- 1) Inventario de la Información hidrométrica disponible.



- 2) Primer análisis y eliminación de errores evidentes en series de cotas y aforos.
- 3) Elaboración, ajuste y validación de Curvas de Descarga H-Q.
- 4) Tratamiento final de las series de cotas instantáneas.
- 5) Cálculo de las series de caudales diarios, medios mensuales y medios anuales.
- 6) Relleno de caudales medios mensuales.
- 7) Análisis del Vector Regional Anual y Mensual.

Los siguientes apartados, describen cada uno de estos pasos a realizarse para el análisis y tratamiento de información hidrométrica, aplicando el programa Hydraccess.

2.1. Inventario de la información hidrométrica disponible

Como primer paso de la metodología, recopile toda la información hidrométrica disponible en las estaciones de análisis, ya sea en formato físico o digital. Esta información hidrométrica recolectada debe encontrarse almacenada en una base de datos (.mdb) del programa Hydraccess.

La institución SENAMHI La Paz recopila y archiva los datos hidrométricos observados de toda Bolivia por cuencas (Cuencas del Plata, Cerrada o Altiplánica y Amazónica) en un sistema o base de datos (.mdb) Hydraccess, por lo cual, si la información hidrométrica recolectada no se encuentra dentro de una de estas bases de datos, esta deberá ser digitalizada o procesada a la misma para su almacenamiento y posterior análisis.

Esta base de datos (.mdb) almacena para cada estación datos instantáneos, diarios, medios mensuales de cotas (nivel de agua), aforos y caudales, codificados en captores, los cuales representan un nombre atribuido a un tipo de serie de datos cronológicos. Los captores presentan una codificación donde la primera letra del código es impuesta por Hydraccess e indica la frecuencia de los datos: *I* indica datos **Instantáneos**, *D* indica datos **Diarios** y *M* indica datos **Mensuales**.

2.1.1. Procesamiento de Aforos a una base de datos (.mdb)

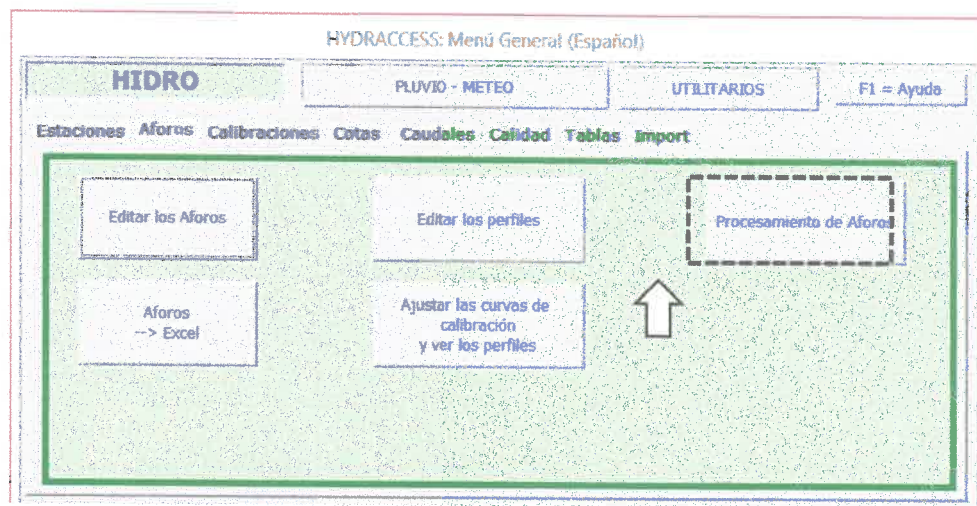


Figura 2. Ubicación del módulo Procesamiento de Aforos dentro del Hydraccess

Para la digitalización de los datos de aforo no procesados, debe cargar los mismos en el módulo **Procesamiento de Aforos**, el cual se encuentra dentro de la pestaña Aforos del panel HIDRO, como se observa en la figura 2.

Para digitalizar un nuevo dato de aforo en el módulo **Procesamiento de Aforos**, despliegue la opción **Id Estación** para elegir la estación para la cual se procesará el aforo, así como el Captor donde se trabajará. Luego, haga clic en la opción **Nuevo Aforo** que se encuentra en la parte inferior. Le aparecerá una nueva ventana del **Formulario Hydraccess del Aforo**. Dentro de esta ventana llene los campos:

- Fecha/Hora Escogida,
- Cota escogida (la cual es el promedio de Cota Inicial y Cota Final),
- Fecha/Hora Inicial,
- Fecha/Hora Final, Cota Inicial,
- Cota Final y
- Modo Operativo,
- los demás campos son opcionales.



Figura 3. Ventana externa de Formulario Hydraccess del Aforo

Una vez introducidos todos los campos obligatorios dentro del **Formulario Hydraccess del Aforo**, haga clic en **Guardar**, para continuar con el procesamiento del nuevo aforo en el módulo **Procesamiento de Aforos**. Dentro de la tabla de este módulo introduzca los datos de: **Margen** (0=Izquierda o 1=Derecha), **Distancia al origen (m)**, **Profundidad (m)**, **Número de Revoluciones**, **Duración (seg.)**, **Hélice** (elegir la ecuación del molinete utilizado), **Montaje** (0=Escandallo, 1=Varilla) y **Método** (0=General), como se puede observar en la siguiente figura.



Przco	Margen	Dist. (m)	Perit. (cm)	No nivel	Duració	Hélice	Montaje	Cote (o)	Módulo	Correcc
1		0,00	2		80	L-15415	S-Escandalo	0-General		
2		1,00	17							
3			7	75						
4		2,00	29							
5			12	120						
6		3,00	39							
7			16	180						
8		4,00	43							
9			9	180						
10			34	225						
11		5,00	38							
12			16	200						
13		6,00	42							
14			8	187						
15			32	207						
16		7,00	41							
17			8	185						
18			23	188						
19		8,00	35							
20			14	119						
21		9,00	18							
22			7	101						
23		10,00	20							
24			8	70						
25	0=izquierda	10,40	7							

Figura 4. Módulo Procesamiento de Aforos del programa Hydraccess

Una vez introducidos todos los datos, haga clic en *Calcular* para procesar el aforo, le aparecerán varias ventanas que mostrarán los gráficos *Velocidad Vs. Profundidad* de cada una de las verticales, haga clic en *Continuar* hasta encontrarse nuevamente con el **Formulario Hydraccess del Aforo**, donde ya se contará con los datos calculados de: *Caudal*, *Ancho*, *Profundidad Maxi*, *Sección Mojada*, *Perímetro Mojado* y *Velocidad Media Sup.*, en la parte superior derecha del formulario (ver la figura siguiente). Para terminar con el procesamiento del nuevo aforo, haga clic en la opción *Guardar* ubicada en la parte inferior del formulario.

Figura 5. Ventana externa de Formulario Hydraccess del Aforo con el caudal calculado

2.1.2. Digitalización de niveles de agua o cotas observadas a una base de datos (.mdb)

Para introducir datos de niveles de agua o cotas observadas a una base de datos Hydraccess, debe abrir el módulo *Edición continua de la Tabla: Cotas* que se encuentra dentro de la pestaña Cotas del panel HIDRO (ver la figura siguiente).

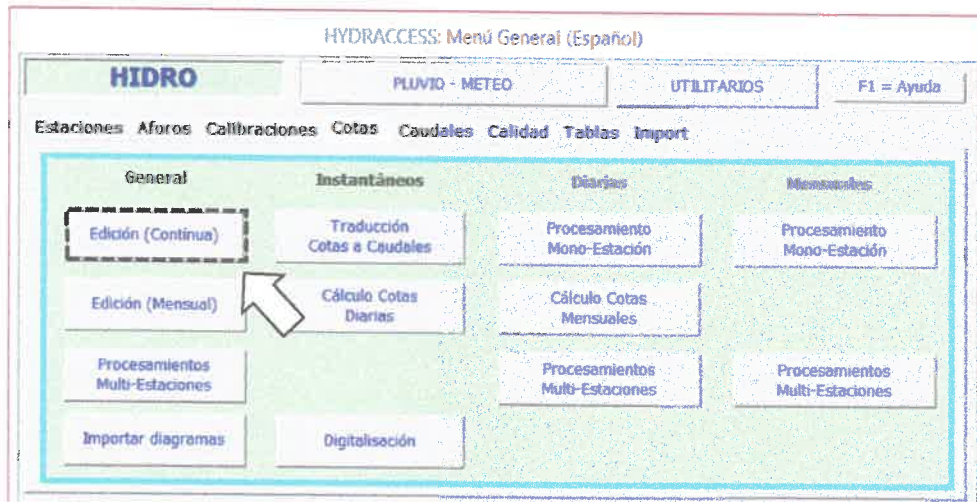


Figura 6. Ubicación del módulo Edición (Continua) dentro del Hydraccess

Dentro del módulo *Edición continua de la Tabla: Cotes*, despliegue la lista de las estaciones frente a la etiqueta *Id Estación*, con el fin de seleccionar la estación de su interés, así como el Captor en el cual se almacenarán los datos de nivel (ver figura 7).

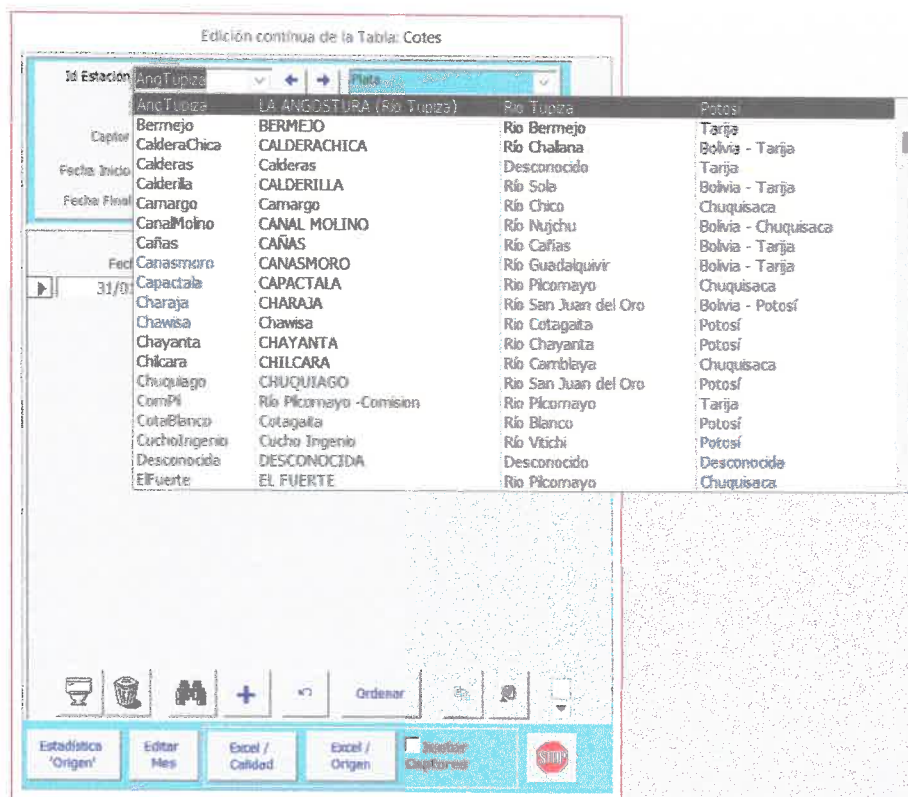


Figura 7. Módulo Edición continua de la Tabla: Cotes del programa Hydraccess

Para introducir o importar datos nuevos de niveles o cotas observadas, prepare un archivo Excel que contenga una columna de *Date* (fecha/hora), una columna de *Valeur* (valor) y una columna de *Origine* (origen), como se muestra a continuación. Seleccione y copie (ctrl+C) los datos de las tres columnas, y dentro del módulo *Edición (continua)* haga clic en el botón inferior izquierdo (*Pegar el porta-papeles en la tabla*) como se observa en la figura 9.

	A	B	C
1	Date	Valeur	Origine
2	31/12/1972 08:00	50 L	
3	31/12/1972 18:00	50 L	
4	1/1/1972 12:00	45 L	
5	2/1/1972 12:00	36 L	
6	3/1/1972 12:00	31 L	
7	4/1/1972 12:00	27 L	
8	5/1/1972 08:00	24 L	
9	5/1/1972 18:00	22 L	
10	6/1/1972 08:00	70 L	



Figura 8. Formato del archivo para importar cotas observadas nuevas

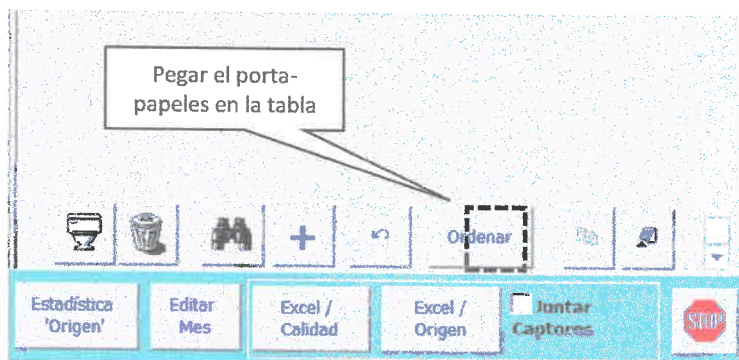


Figura 9. Comando (*Pegar el porta-papeles en la tabla*) para pegar los datos copiados de cotas observadas

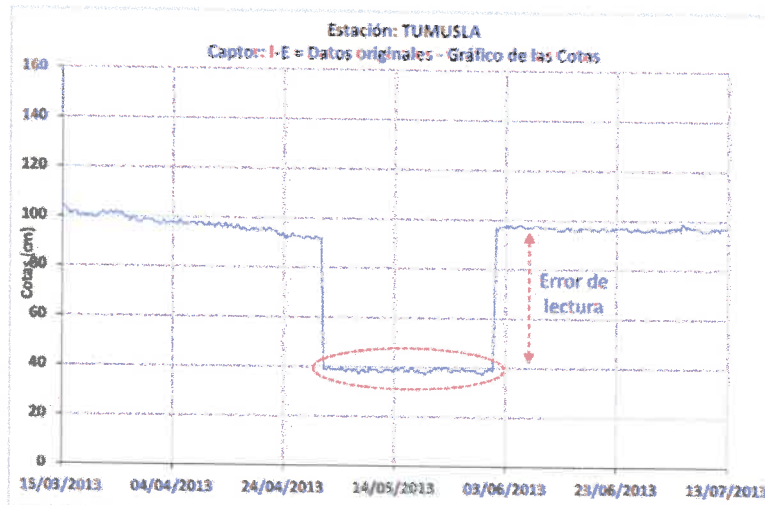
Cumplidos estos puntos, tendrá información hidrométrica (aforos y cotas observadas) recopilada, procesada y almacenada en una base de datos (.mdb), en sus captores y estaciones correspondientes.

2.2. Primer análisis y eliminación de errores evidentes en series de cotas y aforos

El siguiente paso consta en identificar y eliminar los errores más evidentes o groseros que se pueden presentar en las series de aforos y cotas observadas. Para el caso de los aforos, estos errores pueden presentarse o identificarse al momento de digitalizar el aforo a la base de datos, por lo que se debe prestar mucha atención al momento de procesar esta información.

Sin embargo, para identificar estos errores evidentes en las series de cotas observadas, puede emplearse los limnigramas en Excel que exporta el programa Hydraccess. Estos limnigramas nos permitirán identificar fácilmente errores como ser: error por inestabilidad (por problema en escala limnimétrica), error de lectura, error de tecleo, error por repetición de valores, lagunas no consideradas, entre otros. El siguiente gráfico muestra un ejemplo del error de lectura de la estación Tumusla que pertenece a la cuenca alta del río Pilcomayo.





Gráfica 1. Error de lectura – estación Tumusla (Quisbert, 2021)

Todos los errores evidentes o groseros identificados, deben ser corregidos de la mejor manera en base al criterio del hidrólogo que se encuentre realizando este análisis, por ejemplo, para el caso del error de lectura (ver gráfico anterior), una alternativa para corregir el periodo desplazado podría ser sumando a estos valores el delta Δh (cm) que parece ser constante.

2.3. Elaboración, ajuste y validación de Curvas de Descarga H-Q

Las Curvas de Descarga o de Calibración permiten calibrar la estación, de tal manera de obtener caudales instantáneos a partir de las cotas observadas a lo largo de un periodo de registro continuo de datos.

La realización de las curvas de descarga (caudal en función de cotas) es uno de los pasos más importantes y difíciles del análisis. Importante por lo que las series de caudales producidos dependen totalmente de la calidad de estas curvas, y difícil porque muy frecuentemente no se tienen bastantes aforos para poder definir estas curvas de manera segura (Aguilar, 2007).

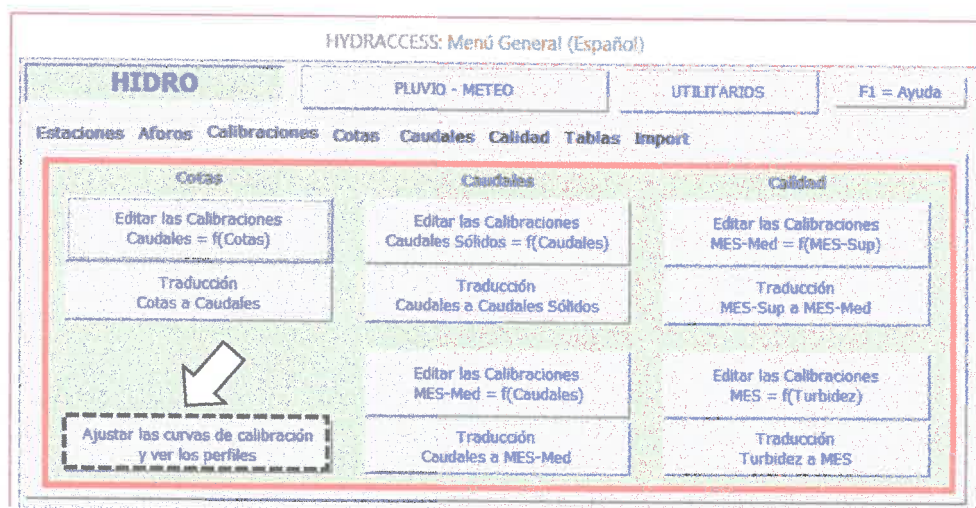


Figura 10. Ubicación del módulo CALIBRA dentro del Hydraccess



Para la elaboración de Curvas de Descarga, el software Hydraccess cuenta con el módulo CALIBRA, el cual puede abrirse desde las pestañas Aforos y Calibraciones del panel HIDRO, haciendo clic en la opción **Ajustar las curvas de calibración y ver los perfiles** (ver figura 10). Este formulario siempre apunta sobre la calibración en curso, y permite construir las curvas de ajuste acorde a varias fórmulas matemáticas.

Una vez ya teniendo los aforos procesados en la base de datos, estos podrán visualizarse dentro del gráfico Cotas (cm) Vs. Caudal Q (m³/s) como se observa en la siguiente figura, eligiendo la Estación de su interés.

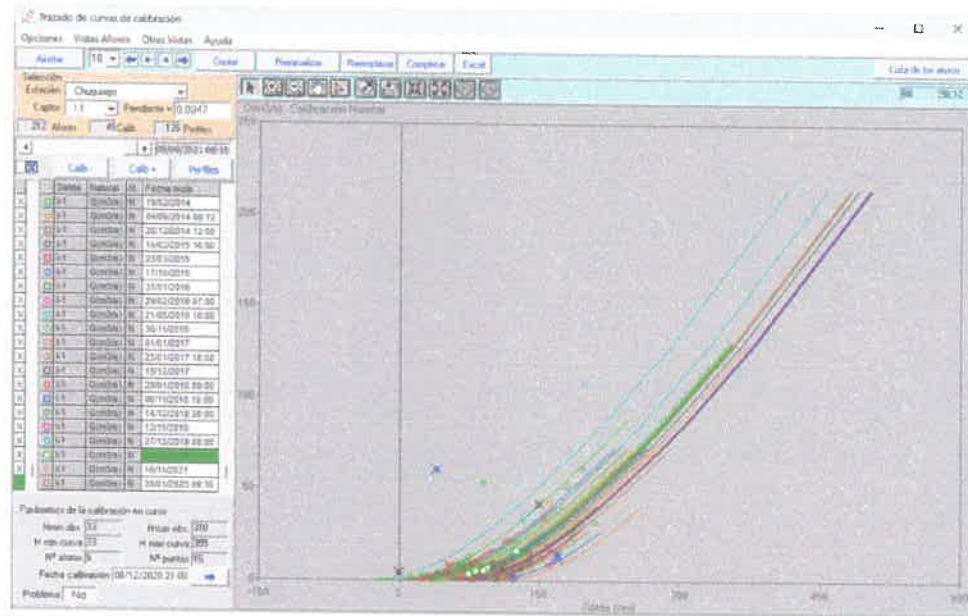


Figura 11. Formulario Trazado de curvas de calibración (CALIBRA)

A continuación, se presentan los diferentes pasos para la elaboración de curvas de descarga (H-Q) aplicando el módulo CALIBRA.

2.3.1. Identificación de periodos de calibración homogénea

CALIBRA permite visualizar los aforos en orden cronológico, para ello haga clic en las flechas que se encuentran en la parte superior izquierda, al lado de la fecha/hora del aforo. Esta herramienta ayuda en la identificación de los periodos de calibración al visualizar, dentro del gráfico Cota Vs. Caudal, el comportamiento de los aforos a lo largo del periodo de estudio. Es importante mencionar, que una descalibración se produce normalmente durante una crecida.

Para separar periodos de calibración homogénea, haga clic en el botón Calib +, situado en la parte superior izquierda del módulo. Esta fecha de descalibración no es la definitiva, la misma podrá ser modificada más adelante en los posteriores análisis que forman parte de la metodología.



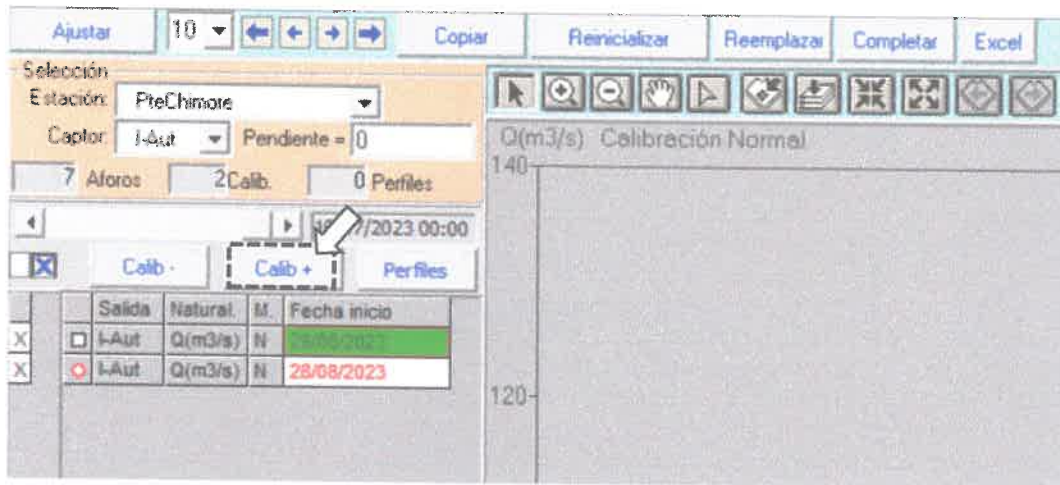
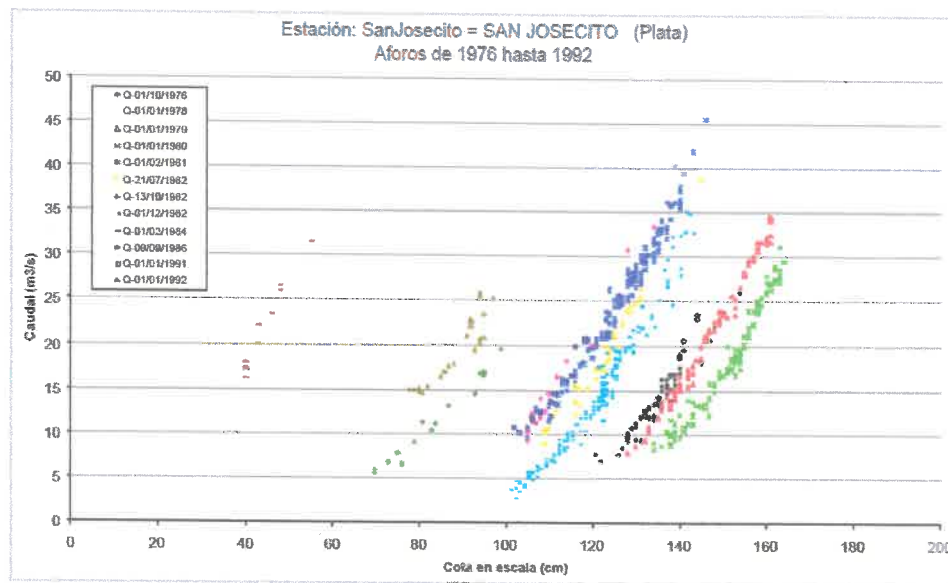


Figura 12. Ubicación del botón Calib + para la separación de periodos de calibración homogénea

El gráfico siguiente muestra un ejemplo de la identificación de los periodos de calibración homogénea de la estación San Josecito ubicada sobre el río Pilaya dentro de la cuenca alta del río Pilcomayo.



Gráfica 2. Identificación de los periodos de calibración homogénea (fecha de descalibración probable) (Aguilar, 2007)

2.3.2. Trazado de curvas de descarga

Después, para cada periodo de calibración homogéneo identificado, se procede al ajuste o trazado de una curva de descarga inicial. Para ajustar una curva nueva, haga clic en la opción *Ajustar* ubicado en la parte superior izquierda, se abrirá una nueva ventana *Ajuste a la calibración*. Este formulario de ajuste contiene: un primer marco *Tipo de ajuste*, el cual permite seleccionar el tipo de ajuste que desea; un segundo marco *Fuente del ajuste*, que aparecerá solamente para los 3 primeros tipos de ajuste; un tercer marco *Trazado del ajuste*, que solo aparece para los 3 primeros tipos de ajuste; y finalmente un cuarto marco *Resultados del ajuste*, el cual se



actualizará cada vez que haga clic sobre el botón *Ajustar* situado abajo del formulario de ajuste (ver figura 13).

Ajustes a la calibración: 08/12/2020 21:00

Tipo de ajuste

Potencial $Q = a \cdot (H - H_0)^p$ ①

Polinomial 2 $Q = a \cdot H^2 + b \cdot H + c$

Polinomial 3 $Q = a \cdot H^3 + b \cdot H^2 + c \cdot H + d$

Manning Strickler $Q = K \cdot I^{0.5} \cdot R^{(2/3)} \cdot S$ (K = 1/n)

Fuente del ajuste

Aforos disponibles entre las cotas: 74 → 126

Utilizar los aforos entre las cotas: 74 → 126 ②

Extrapolar la parte baja de la curva temporaria

Extrapolar la parte alta de la curva temporaria

Valor de H0 impuesto: _____

Trazado del ajuste

Amplitud obs. entre las cotas: 33 → 310 ③

Trazar la curva entre las cotas: 33 → 310

Resultados del ajuste

④ N° valores usados: _____

Caudales negativos: _____

Caudales no crecientes: _____

Extrapolación perfil: _____

Ajustar - + Reinc. Cerrar



Figura 13. Ventana Ajustes a la calibración dentro de CALIBRA

La apariencia de la nube de puntos en el gráfico *Cota Vs. Caudal*, da de antemano una idea sobre la dificultad que se tendrá para establecer la curva. Si los puntos están alineados, hay una buena posibilidad que la estación sea estable y fácil de calibrar. Si la nube de puntos no tiene forma ni organización bien definida, se puede prever dificultades.

Antes de realizar algún ajuste Potencial o Polinomial, se aconseja filtrar o desactivar los aforos que se alejan mucho de la nube de puntos. Para ello, seleccione los aforos que desea filtrar o desactivar, haga clic en el botón *Lista de los aforos*, situado en la parte superior derecha de la barra de herramientas. Se abrirá el formulario *Lista de los aforos* de la calibración en curso. Solo los aforos seleccionados aparecen en este formulario, y todas las filas son coloradas en fondo verde, indicando que están activados. Para filtrar y/o desactivar los aforos, haga clic en la opción *SÍ* que está arriba de la columna *Filtrado y Desactivado*, respectivamente.

La figura siguiente muestra un ejemplo de un ajuste tipo Polinomial 2, como se observa se desactivó uno de los aforos que se encontraba muy disperso. La curva presenta un buen ajuste a la nube de puntos ($R^2 = 0.9839$).

Después de definir una curva con un ajuste matemático, copie la curva temporaria obtenida sobre el periodo de calibración activo (botón *Reemplazar*) para guardar la calibración en la base de datos. Si es necesario, puede ajustar el trazado con el puntero de edición de puntos. Esta curva de descarga definida debe ser copiada y reemplazada en todos los periodos de calibración homogénea, ubicándola dentro de la mayor cantidad de puntos.



Es importante mencionar que el juicio ingenieril y la opinión del especialista hidrólogo juegan un papel muy importante en la elección de la mejor curva de descarga que se adecua a la serie de datos (Aguilar, 2007).

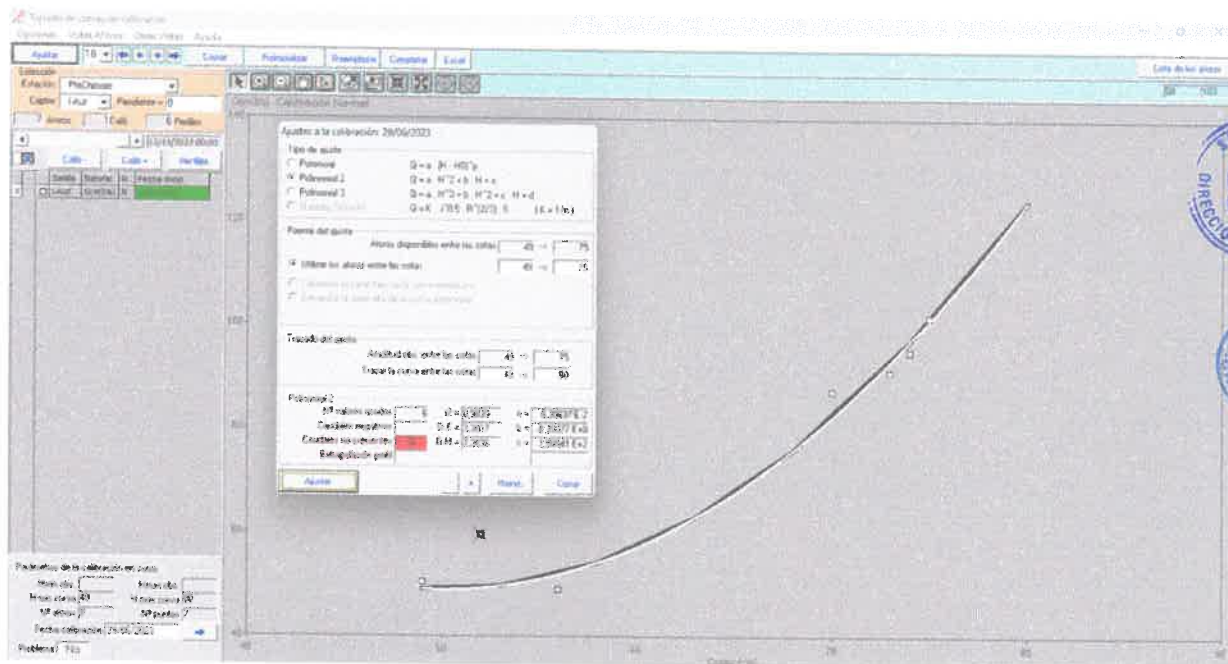


Figura 14. Ajuste de Curva de Descarga con el tipo de ajuste Polinomial 2 en CALIBRA

2.3.3. Primera traducción de series de caudales instantáneos y diarios

El programa Hydraccess calcula los caudales instantáneos a partir de las curvas de descarga y las series de cotas instantáneas. Para la traducción de cotas a caudales, haga clic en el botón específico de Traducción Cotas a Caudales situado dentro de la pestaña Cotas del panel HIDRO.

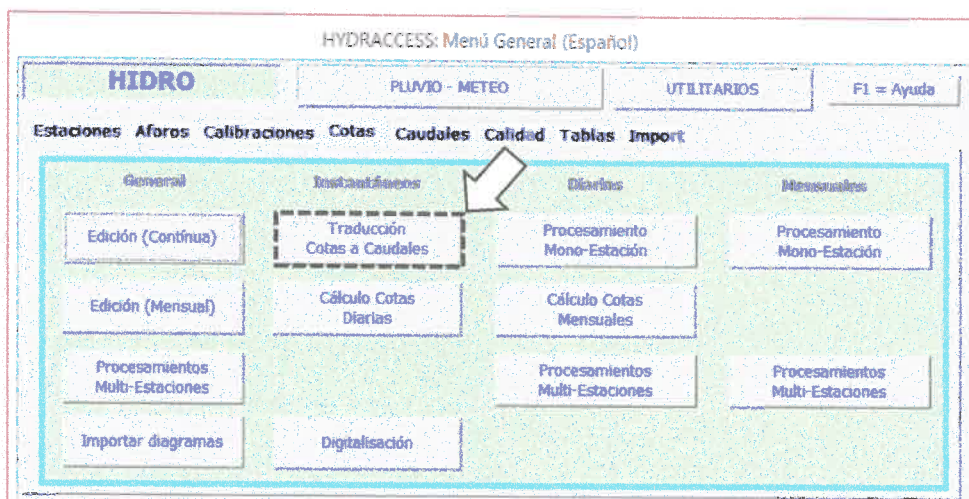


Figura 15. Ubicación del botón Traducción Cotas a Caudales

En la nueva ventana abierta, elija la estación hidrométrica, para la cual quiere hacer este cálculo, en la opción Id_Estación; además elija también el captor en el cual se encuentran almacenadas

las series de cotas instantáneas de dicha estación. Para traducir todo el periodo de datos, haga clic en el botón **Traducir la Estación en curso**, situado en la parte inferior izquierda. Si solo le interesa traducir un periodo de datos, coloque la Fecha Inicio y Fecha Final en los espacios blancos de la columna **Periodo a Traducir**, y luego de igual forma haga clic en el botón **Traducir la Estación en curso** (ver figura 16).



Figura 16. Ventana Traducción Cotas a Caudales

Para la obtención de caudales diarios, dirijase a la pestaña **Caudales** del panel HIDRO, y haga clic en el botón **Cálculo de Caudales Diarios**. De igual forma, le aparecerá otra ventana, donde podrá elegir la estación de su interés, el captor que almacena los caudales instantáneos, y/o el periodo que desea traducir (Fecha Inicio y Fecha Final).

Figura 17. Ubicación del botón Cálculo Caudales Diarios



Esta primera obtención de caudales a nivel instantáneo y diario, se hace con el fin de ajustar y/o validar las curvas de descarga en su parte alta (extrapolación), análisis que se detalla en el acápite siguiente.

2.3.4. Análisis complementarios para la validación de la extrapolación de las Curvas de Descarga

Generalmente, los aforos disponibles en las estaciones, corresponden a aforos de aguas bajas y/o medias, lo que facilita definir la parte baja de las curvas de descarga. Mientras que, para épocas de aguas altas, casi nunca se tienen aforos, ya que no se puede arriesgar al equipo ni a las personas al medir aforos, lo que dificulta definir la parte alta de las curvas, por lo tanto, se necesita hacer extrapolaciones (Quisbert, 2021). Sin embargo, para ajustar y/o validar la extrapolación de la parte alta de las curvas de descarga, se realizan los siguientes análisis:

- **Por comparación gráfica**

Se debe realizar una comparación gráfica entre caudales a nivel instantáneo y diario de una estación, con sus respectivas estaciones vecinas o más cercanas. De esta manera, será posible identificar periodos en épocas de crecidas donde los caudales se encuentran sobre o sub estimados en relación a sus estaciones vecinas, sabiendo que, para una misma fecha, el caudal de una estación aguas abajo debería ser más alto que el caudal de una estación ubicada aguas arriba sobre el mismo brazo, suponiendo que la infiltración y la evaporación de una estación a la siguiente son poco significativas (Aguilar, 2007).

Para este análisis, Hydraccess permite exportar a Excel, las series de caudales de varias estaciones a paso de tiempo instantáneo y diario, haciendo de este análisis mucho más sencillo. Para ello, haga clic en el botón **Procesamientos Multi-Estaciones** situado dentro de la pestaña **Caudales** del panel **HIDRO** (ver figura 18).

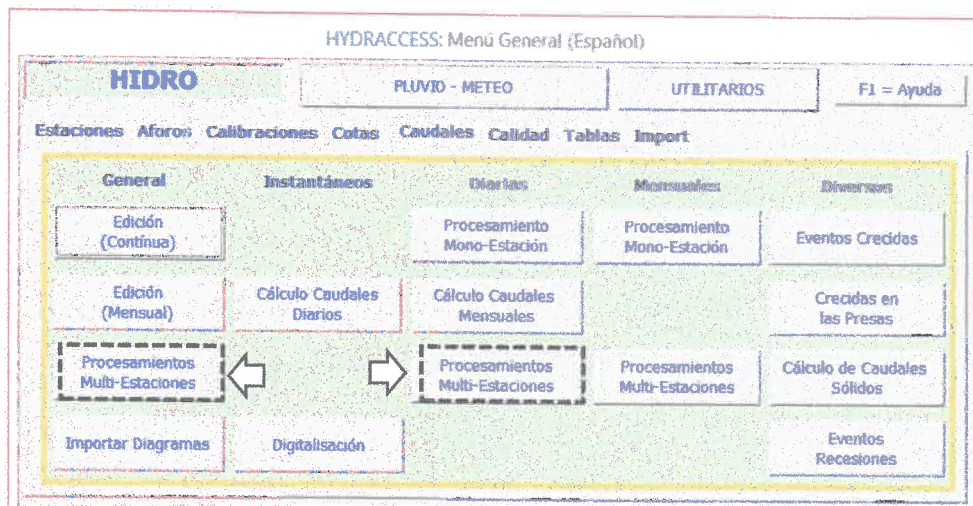


Figura 18. Ubicación del botón **Procesamiento Multi-Estaciones** (izq. para Q instantáneos y der. para Q diarios)

Si al realizar esta comparación gráfica, logra identificar un comportamiento extraño en los caudales del periodo de crecida de alguna estación, es decir, caudales muy bajos o muy altos en comparación a sus estaciones vecinas, solo anótelo y en los análisis posteriores se verificará y si fuese necesario, se corregirá.

- **Por regresión lineal simple y/o múltiple sobre caudales instantáneos y diarios**

Para este análisis, Hydraccess ofrece el utilitario **Cormul**, el cual fue diseñado específicamente para hacer varios tipos de correlación en datos de series cronológicas. Para ingresar a este utilitario, diríjase a la carpeta Hydraccess que fue creada por defecto dentro del disco C del ordenador, al momento de instalar el programa. Dentro de esta carpeta encontrará el utilitario **Cormul**. A continuación, se muestra un ejemplo de este paso.

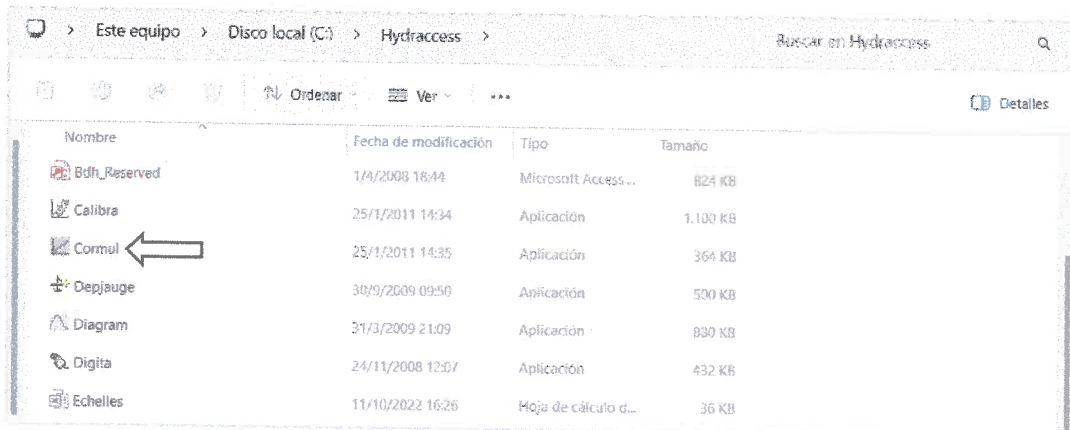


Figura 19. Ubicación del utilitario CORMUL dentro la carpeta Hydraccess creada por defecto en el disco C

La figura siguiente muestra la ventana del utilitario Cormul.

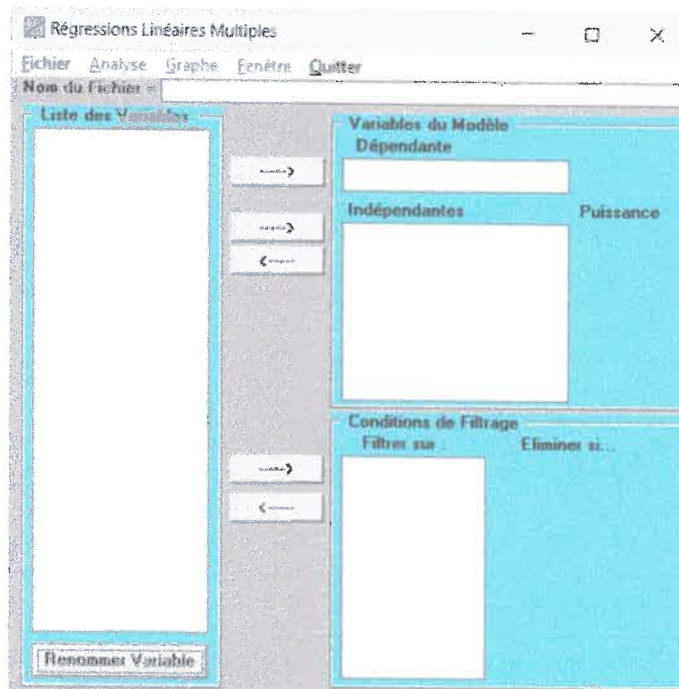
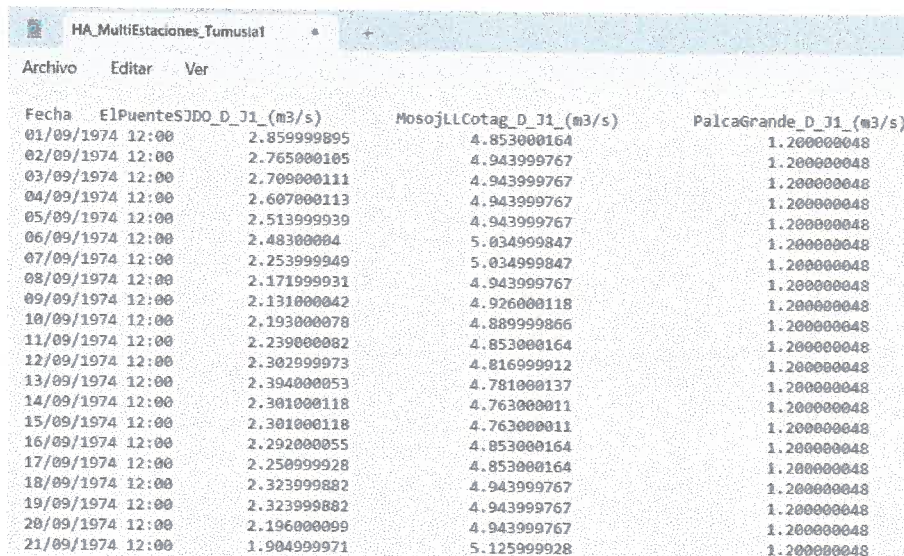


Figura 20. Ventana externa Régressions Linéaires Multiples (utilitario Cormul)

Los métodos de correlación realizados por este utilitario son: lineal simple, lineal múltiple y el análisis de propagación (método de Lamagat). Estos métodos permiten determinar caudales estimados de cada estación, a partir de los caudales de sus estaciones vecinas más cercanas sobre un mismo periodo común con registros. Los valores observados y estimados pueden

visualizarse sobre un mismo gráfico cronológico, con la escala de tiempo adecuada para una buena identificación de las crecidas. Corresponde al usuario identificar las posibles incoherencias entre las series, como ser: caudales subestimados (parte alta de la curva de descarga muy baja) o sobrestimados (parte alta de la curva de descarga muy alta) (Quisbert, 2021).

Para el uso de esta herramienta, debe contar con archivos texto delimitado por tabulaciones (.txt), que contengan en la primera fila el nombre o descripción de cada columna, como se muestra a continuación.



Fecha	ElPunteSjDO_D_J1_(m3/s)	MosojllCotag_D_J1_(m3/s)	PalcaGrande_D_J1_(m3/s)
01/09/1974 12:00	2.859999895	4.853000164	1.200000048
02/09/1974 12:00	2.765000105	4.943999767	1.200000048
03/09/1974 12:00	2.709000111	4.943999767	1.200000048
04/09/1974 12:00	2.607000113	4.943999767	1.200000048
05/09/1974 12:00	2.513999939	4.943999767	1.200000048
06/09/1974 12:00	2.483000004	5.034999847	1.200000048
07/09/1974 12:00	2.253999949	5.034999847	1.200000048
08/09/1974 12:00	2.171999931	4.943999767	1.200000048
09/09/1974 12:00	2.131000042	4.926000118	1.200000048
10/09/1974 12:00	2.193000078	4.889999866	1.200000048
11/09/1974 12:00	2.239000082	4.853000164	1.200000048
12/09/1974 12:00	2.302999973	4.816999912	1.200000048
13/09/1974 12:00	2.394000053	4.781000137	1.200000048
14/09/1974 12:00	2.301000118	4.763000011	1.200000048
15/09/1974 12:00	2.301000118	4.763000011	1.200000048
16/09/1974 12:00	2.292000055	4.853000164	1.200000048
17/09/1974 12:00	2.250999928	4.853000164	1.200000048
18/09/1974 12:00	2.323999882	4.943999767	1.200000048
19/09/1974 12:00	2.323999882	4.943999767	1.200000048
20/09/1974 12:00	2.196000099	4.943999767	1.200000048
21/09/1974 12:00	1.904999971	5.125999928	1.200000048

Figura 21. Formato de archivo (.txt) para el análisis en el utilitario CORMUL

Para abrir o importar el archivo (.txt) en Cormul, haga clic en la opción **Fichier**, situado en la parte superior de la barra de herramientas, luego elija la opción **Ouvrir Fichier de données**. Esta opción le llevará a buscar y elegir el archivo para su posterior análisis.

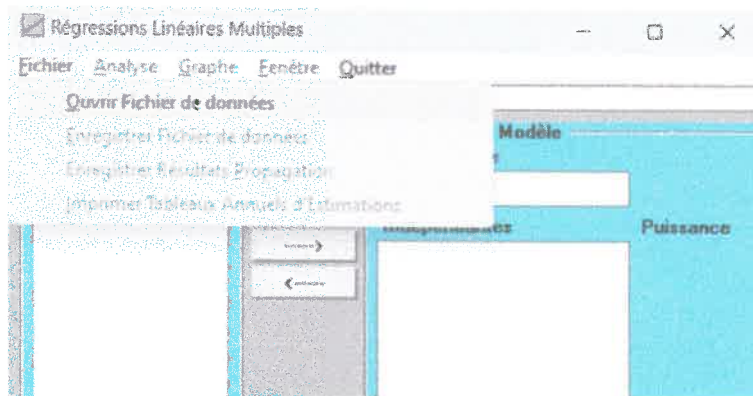


Figura 22. Vista de Cormul para importar el archivo (.txt)

La figura siguiente muestra un ejemplo de regresión lineal simple sobre caudales diarios de la estación Tumusla, en función de sus estaciones vecinas Palca Grande, Mosojllajta, El Puente San Juan del Oro y San Josecito (cuena alta río Pilcomayo), utilizando Cormul. Este es un ejemplo de regresión lineal simple, por presentar una sola estación estimadora en el análisis.



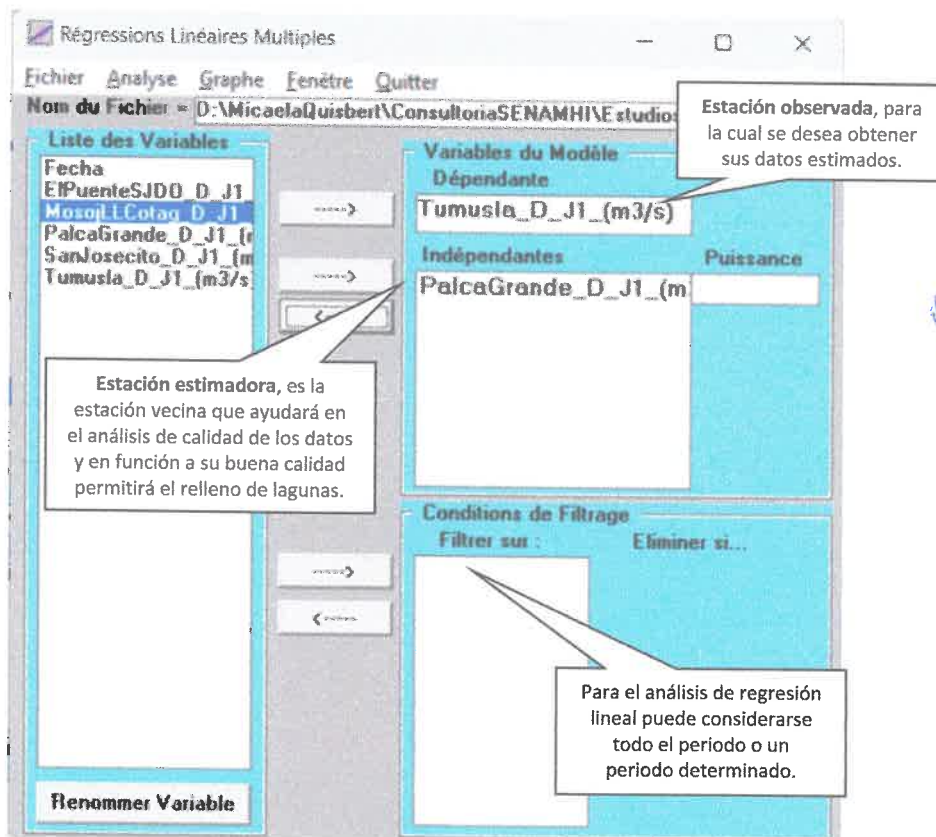


Figura 23. Ejemplo de regresión lineal simple en Cormul

Para obtener los caudales estimados mediante una regresión lineal, haga clic en la opción **Analyse** que se encuentra en la barra de herramientas y elija la opción **Régressions linéaires multiples**, le aparecerá ventanas nuevas donde podrá ver el valor del coeficiente de correlación entre los datos de las estaciones que entran en el análisis (ver figura 25), haga clic en **Continue** hasta que nuevamente le aparezca la ventana principal de Cormul.

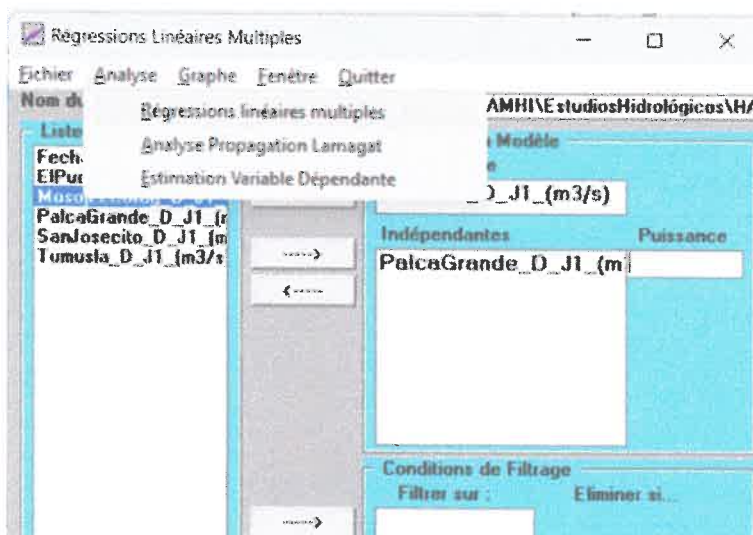


Figura 24. Vista de Cormul para realizar el análisis de Regresión Lineal

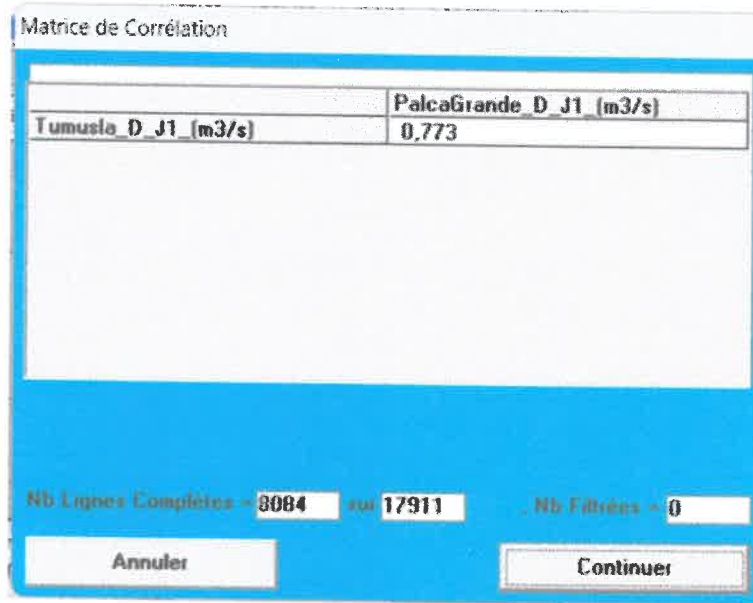


Figura 25. Ventana que muestra el valor del coeficiente de correlación entre las estaciones de análisis

En la *Lista de Variables* (columna izquierda), le aparecerá el archivo (Est.) de los valores estimados obtenidos de la regresión lineal.

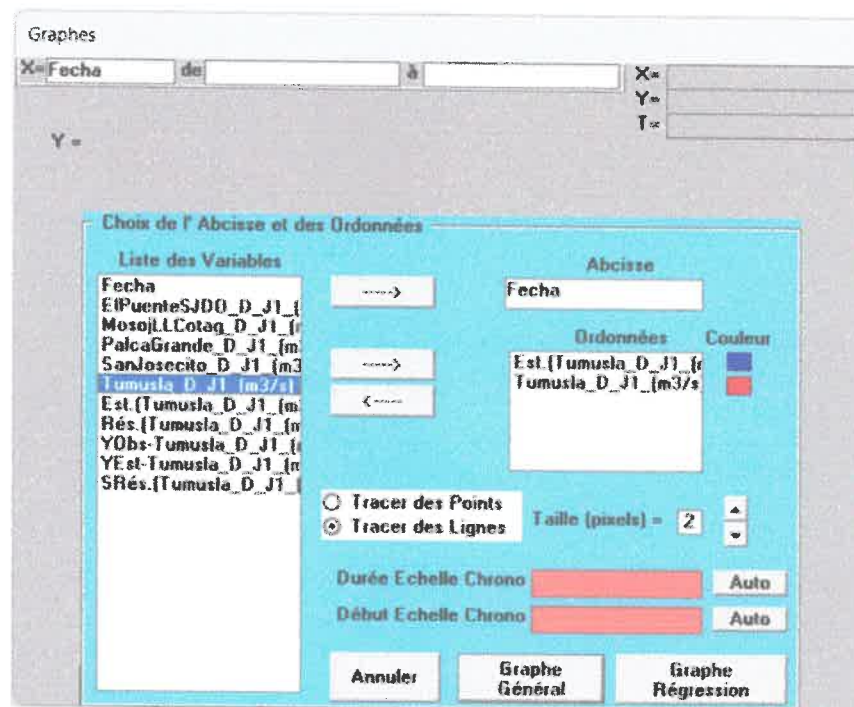


Figura 26. Ventana Graphes del Cormul para el análisis de comparación entre valores estimados y observados

Estos valores de caudal estimados pueden visualizarse en un gráfico, para compararlos con los caudales obtenidos inicialmente por curvas de descarga (observados). Para ello haga clic en **Graphe** situado en la barra de herramientas y le aparecerá una nueva ventana, donde en el eje de las Abscisas (*Abscisse*) debe ser puesta la Fecha, y en el eje de las ordenadas (*Ordonnées*) el archivo





de los valores estimados y todas las otras variables con las que quiera compararlas gráficamente, como se observa a continuación. Finalmente, haga clic en el botón *Graphe Général* situado en la parte inferior. Le aparecerá el gráfico comparativo entre las variables de su elección (ver figura 27).

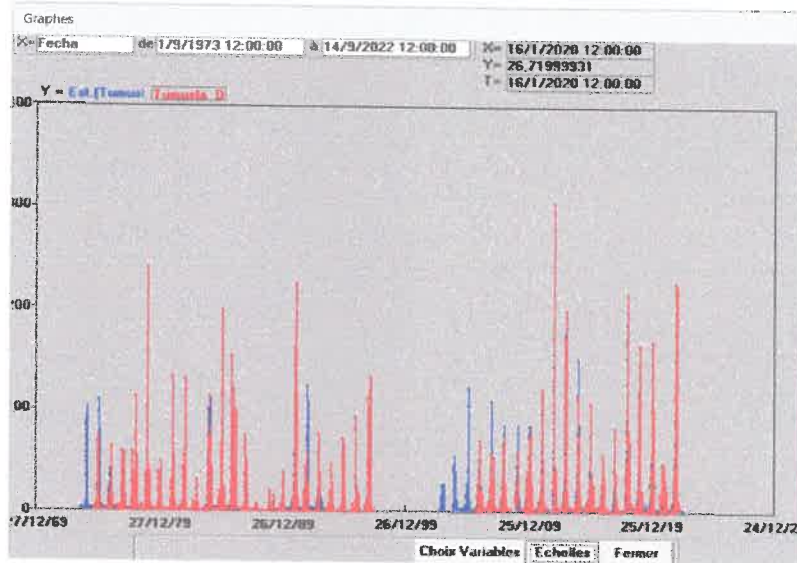


Figura 27. Gráfico comparativo entre las variables de su elección en Cornul

Para una mejor visualización de los valores, haga clic en el botón *Echelles* situado en la parte inferior derecha, se le abrirá una pequeña ventana, donde en la primera fila (*Durée Echelle des Temps*) podrá poner la escala de tiempo de duración en días (*jours*), además en las últimas dos filas el valor mínimo y máximo de las ordenadas (eje Y) que desea para realizar el análisis de comparación, luego haga clic en el botón *Appliquery* le aparecerá el gráfico con los ajustes en la escala de tiempo y valor mínimo y/o máximo del eje y.

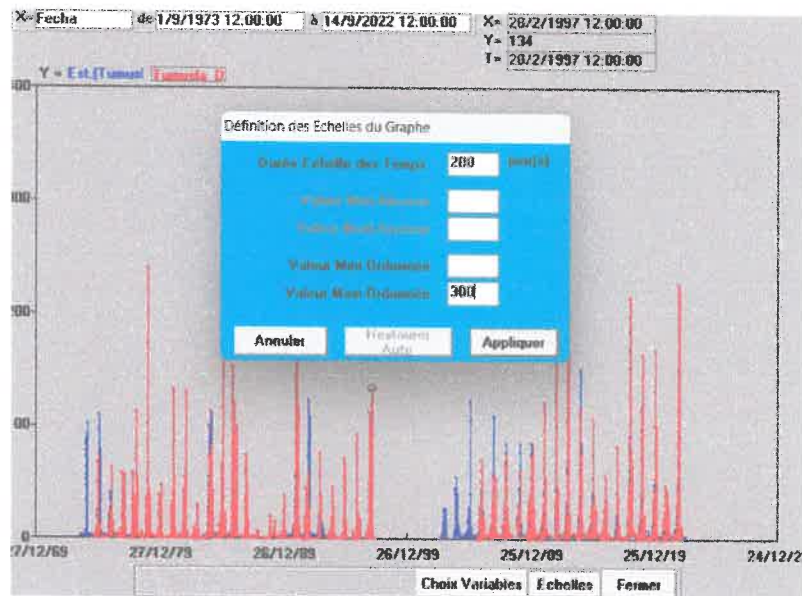


Figura 28. Ventana para la definición de escalas gráficas



En la figura siguiente, se puede observar la comparación gráfica entre caudales estimados (Est. Tumusla) y caudales observados (Tumusla), con el ajuste de la escala de tiempo y del valor máximo de la ordenada. Para cerrar la ventana, haga clic en el botón **Fermer** situado en la parte inferior.

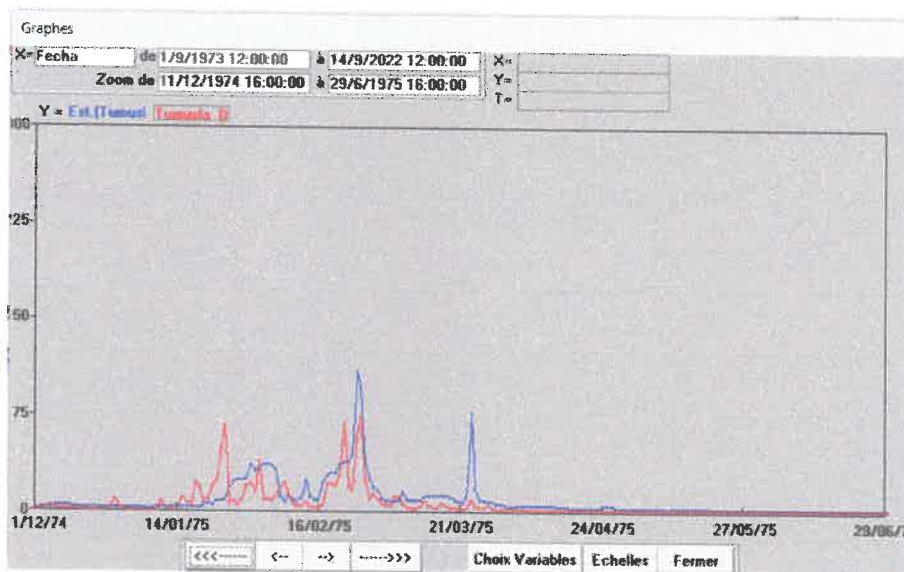


Figura 29. Comparación gráfica entre caudales estimados y observados en Graphes de CORMUL

Sin embargo, para obtener valores estimados con un coeficiente de correlación más cercano a la unidad, se puede eliminar algunos valores muy dispersos, para ello dentro de la ventana **Graphes** (ver figura 26), haga clic en el botón inferior **Graphe Régression**, le aparecerá el gráfico siguiente.

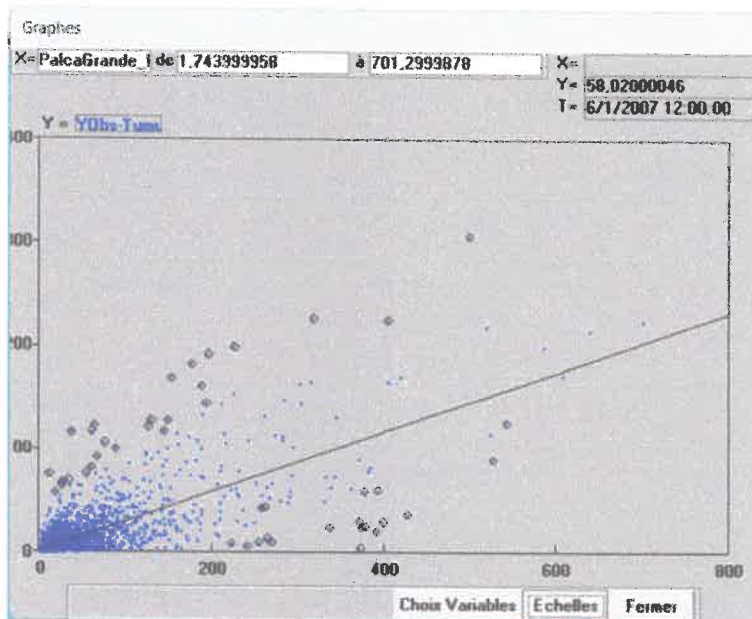


Figura 30. Ventana Graphes de Valores estación A Vs. Estación B

Para eliminar los valores muy dispersos, haga clic sobre cada uno de ellos, pero con el botón derecho del mouse, luego haga clic en el botón **Fermer** y le aparecerá la ventana principal de



Cormul, pero ya se habrían eliminado los valores seleccionados. Entonces para obtener los nuevos valores estimados, nuevamente tendrá que hacer correr el análisis de regresión lineal en **Analyse** como fue explicado anteriormente, obteniendo un valor de coeficiente de correlación más cercano a la unidad (ver figura 31).

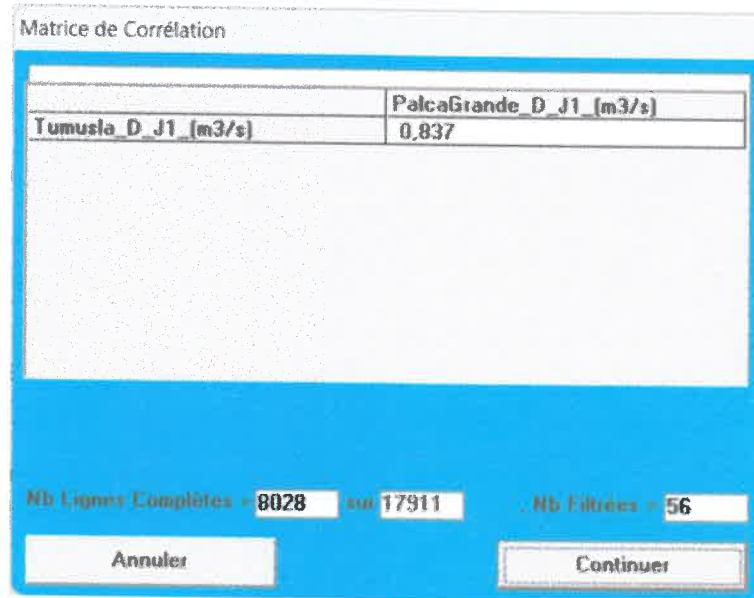
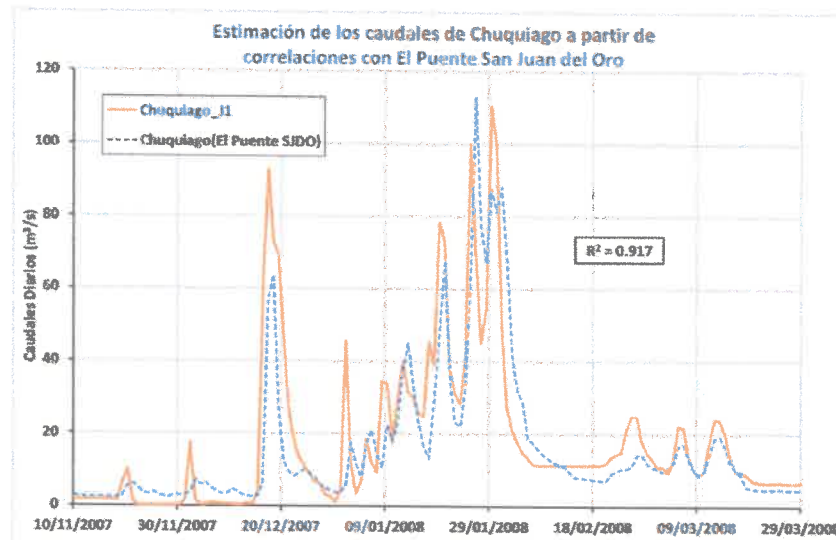


Figura 31. Ventana que muestra el valor del coeficiente de correlación más cercano a la unidad

Si al realizar esta comparación gráfica de valores estimados y calculados, identifica caudales de crecida muy bajos o muy altos en comparación a sus estaciones vecinas, anótelos y en los análisis posteriores se verificará y si fuese necesario, se corregirá.

El gráfico siguiente muestra un ejemplo de reconstrucción de series sintéticas de caudal para la estación Chuquiago.



Gráfica 3. Caudales en Chuquiago observados (naranja) y estimados (azul) por regresión lineal simple con su estación vecina El Puente SJDO (Quisbert, 2021)





Aplicando una regresión lineal simple, quedando la ecuación en función de su estación vecina El Puente SJDO, utilizando Cormul (los resultados fueron exportados al formato texto .txt y luego a Excel). Los caudales observados en Chuquiago (naranja) contra los caudales estimados (azul), a partir de su estación vecina (coeficiente de correlación, R2 = 0.917) parece dar resultados consistentes, es decir, se podría validar la extrapolación de su curva de descarga trazada inicialmente (Quisbert, 2021).

Los análisis por comparación y regresión lineal, solo sirven para poner en evidencia los problemas eventuales en las extrapolaciones de las curvas de descarga, debido a que no dan una idea del orden de magnitud Q que debiesen subir o bajar la parte alta de las curvas de descarga, para corregirlas. Mientras que, el análisis con la fórmula de Manning-Strickler, presentado en el acápite siguiente, permitirá ajustar las curvas de descarga definidas inicialmente a partir de las propiedades físicas de cada estación hidrométrica.

▪ **Por Manning-Strickler**

La ecuación de Manning-Strickler se encuentra en función de las propiedades geométricas de la sección transversal de aforo y de la pendiente de la superficie de agua, como se muestra a continuación:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A_m^{5/3} \cdot P_m^{-2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Dónde:

Q = Caudal o descarga

1/n = K Coeficiente de Strickler que traduce la rugosidad del fondo del lecho (coeficiente de Manning n)

Am = Área mojada de la sección de control o de aforo

Pm = Perímetro mojado de la sección de control

i = Pendiente hidráulica (m/m)



Cada una de estas variables, debe ser evaluada de la siguiente manera:

- Para obtener el valor del área y perímetro mojado, recurra a las secciones transversales que fueron elaboradas a partir de los datos brutos de aforos (profundidad, distancia a la margen, caudal), sin embargo, dentro del Hydraccess puede encontrar dichas secciones dentro del módulo Calibra (ver figura 10) en el botón Perfiles situado en la parte superior izquierda, como se muestra a continuación. Debe elegir aquellas secciones que pertenecen a épocas de aguas altas (si existiesen) y medianas (por contar con pocos aforos de crecidas).



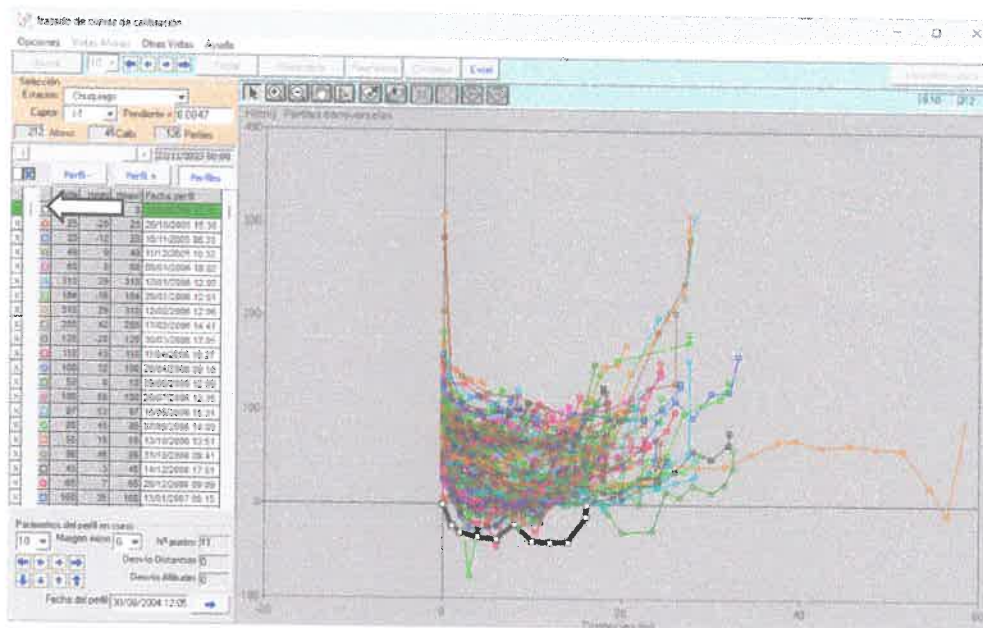


Figura 32. Perfiles o Secciones transversales dentro del módulo Calibra

- El valor de la pendiente hidráulica corresponde a la pendiente del fondo del lecho del canal, esta variable puede calcularse aplicando el Método por Mapas, siendo su ecuación la siguiente:

$$P_{mapas}(\%) = \frac{Cota_{punto\ A} - Cota_{punto\ B}}{Longitud_{A-B}} \cdot 100$$

- Dónde:
- Cota_{puntoA} = Cota del punto aguas arriba de la estación (m.s.n.m.)
 - Cota_{puntoB} = Cota del punto aguas abajo de la estación (m.s.n.m.)
 - Longitud_{A-B} = Longitud entre los puntos A y B (m)

- Para determinar el valor del coeficiente de Manning o rugosidad del lecho del río (n), se debe realizar un proceso analítico utilizando los aforos de crecidas o aguas medias, utilizando la ecuación de Manning-Strickler, pero despejando la variable del coeficiente de rugosidad, como se muestra a continuación:

$$n = \frac{A \cdot R^{2/3}}{Q} \cdot \sqrt{i}$$

- Donde:
- Q = Caudal aforado para aguas medias y altas (m³/s)
 - A = Área mojada de la sección transversal de aforo (m²)
 - R = Radio hidráulico de la sección transversal de aforo (m)
 - i = Pendiente hidráulica obtenida de los mapas (m/m)



El valor del coeficiente de Manning se encuentra en función del nivel de agua y del caudal, por lo que no es un valor constante. Para el cálculo de este valor, se eligen aquellos caudales de épocas de crecidas y aguas medias (cuando se cuenta con pocos datos de crecidas), esto con el fin de ajustar y/o validar la extrapolación de la parte alta de las curvas de descarga.

A continuación, se muestra un ejemplo de la obtención del rango del coeficiente de Manning, a partir de las características geométricas de sus secciones de aforo elegidas y pendiente hidráulica en la estación.

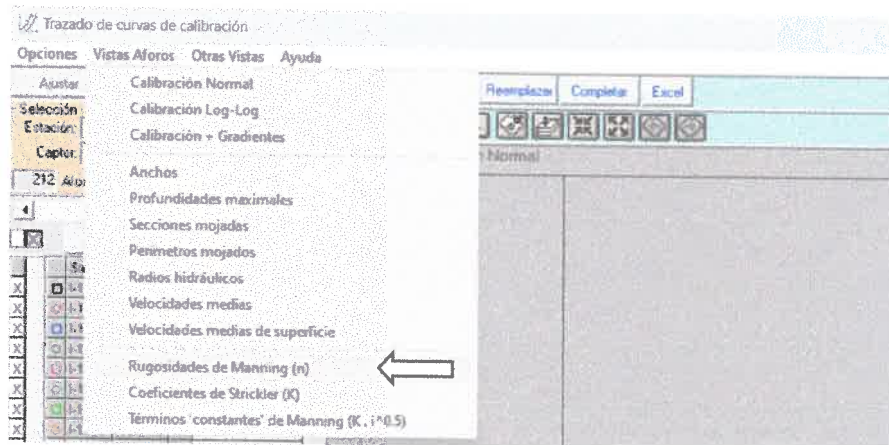


Figura 33. Ubicación de la opción *Rugosidades de Manning (n)* dentro de *Calibra*

Le aparecerá el gráfico *Cotas (cm) Vs. Rugosidades de Manning*, donde podrá dibujar o trazar la curva con el botón *Puntero de edición de los Puntos* ubicado en la parte superior de la barra de herramientas del gráfico. Por otro lado, los valores del coeficiente de rugosidad también pueden ser exportados en planillas Excel, haciendo clic en el botón *Excel* situado en la segunda barra de herramientas.

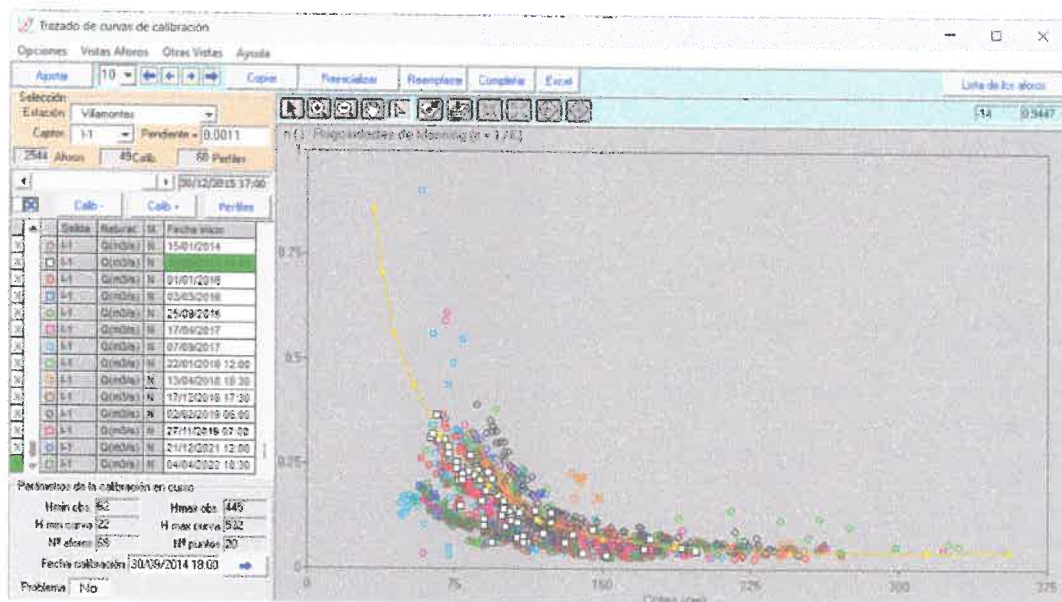


Figura 34. Trazado de las curvas *Cotas vs. Rugosidades de Manning* en *Calibra*

Conociendo ya el rango de coeficiente de rugosidad de Manning, Calibra permite obtener una Curva de Descarga ajustada por el rango del coeficiente, para ello elija un periodo de calibración homogénea, y haga clic en el botón **Ajustar**, luego elija la opción Manning-Strickler, un aforo de crecidas o aguas medias, y poner los valores del rango de coeficientes de rugosidad en la fila (n) de Manning, como se muestra a continuación:

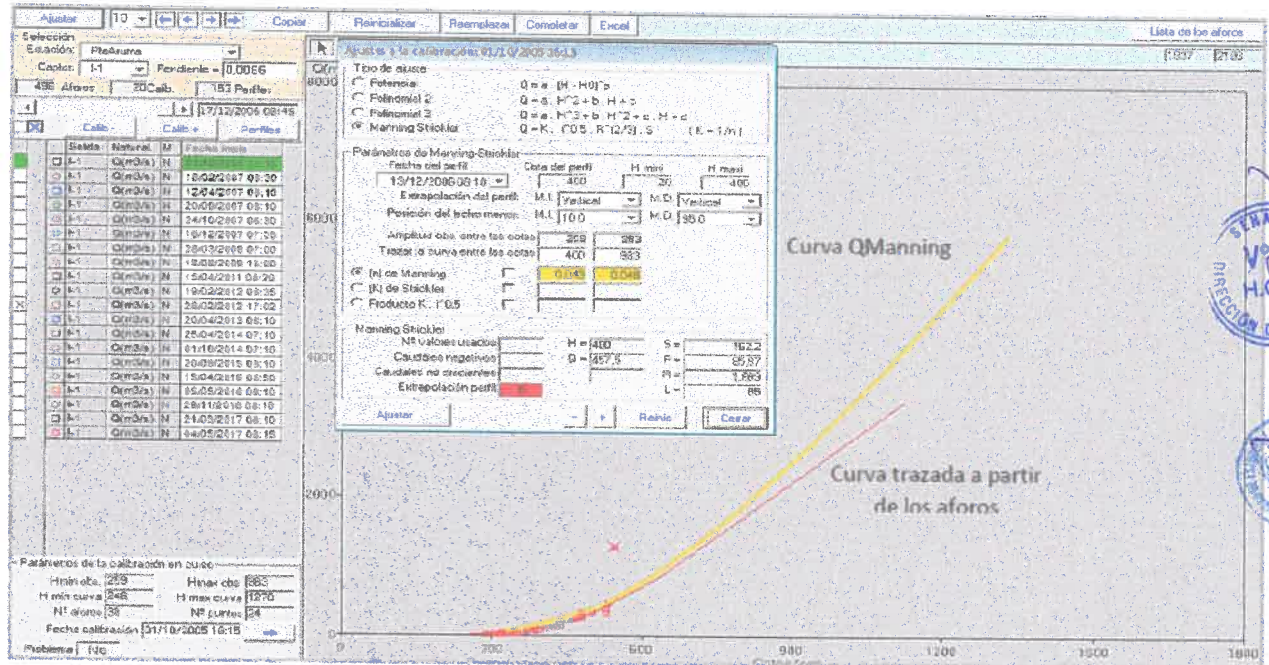


Figura 35. Ajuste de la curva de descarga por Manning-Strickler (Quisbert, 2021)

En el caso de la figura anterior, traza la curva inicial trazada a partir de los aforos (roja), tuvo que ser ajustada en su parte alta por la curva QManning (amarilla).

La curva H-QManning puede ser paralela a la curva obtenida inicialmente, en ese caso, el análisis de Manning-Strickler estaría validando la extrapolación de la curva. Sin embargo, en el caso contrario, la curva inicial debe ser ajustada en base a la curva de Manning, siempre y cuando los anteriores análisis (comparación y regresión lineal) hayan presentado un análisis similar (parte alta de la curva de descarga baja o alta).

Si la curva de descarga inicial fue ajustada, esta debe copiarse en todas las curvas de los diferentes periodos de calibración homogénea, y volver a calcular los caudales a nivel instantáneo y diario.

2.4. Tratamiento final en series de cotas instantáneas

Este paso de la metodología, se realiza con el fin de mejorar la calidad de los datos y rellenar las lagunas existentes en las series de cotas instantáneas, obteniendo como resultado series de caudales más confiables y más completas. Este análisis consta de los siguientes:

2.4.1. Identificación de cotas dudosas por comparación

Para este análisis, debe realizar una comparación gráfica entre limnigramas de cada estación, con sus respectivas estaciones vecinas (más cercanas). Esta comparación le permitirá

identificar comportamientos dudosos en algunos periodos de las series de cotas instantáneas, si es así, solo anótelos y estos serán corregidos en el siguiente análisis.

2.4.2. Identificación de cotas dudosas por un análisis de regresión lineal

Para identificar periodos de cotas dudosas por regresión lineal, resulta más fácil realizar este análisis sobre las series de caudales diarios, ya que las curvas de descarga descartan los desniveles o descalibraciones existentes en las series de cotas instantáneas, los cuales podrían afectar los valores estimados. El identificar datos de caudales dudosos, indica también la presencia de cotas de mala calidad.

Al igual que en el segundo punto del acápite 2.3.4, debe aplicarse el utilitario Cormul de Hydraccess, y así identificar valores de cotas dudosas, al comparar valores estimados con los valores observados. Si se identifica valores de cotas instantáneas dudosas, estas podrían ser reconstituidas mediante otro análisis de regresión lineal entre cotas a paso de tiempo diario, siempre y cuando el coeficiente de correlación presente un valor muy cerca a la unidad. Si se realiza alguna reconstitución de datos, estos deben ser corregidos en el captor de cotas instantáneas, estando los valores de cotas nuevos a paso de tiempo diario y con el código de origen **R** de **Reconstitución**.

2.4.3. Relleno de lagunas por regresión lineal

Se aplica el utilitario Cormul para el relleno de cotas instantáneas por regresión lineal, cuando los valores estimados de cotas tienen una buena correlación con las cotas observadas. Los datos rellenos deben encontrarse a paso de tiempo diario, pero dentro de la serie de cotas instantáneas, con el código de origen **R** de **Reconstitución**.

El gráfico siguiente muestra un ejemplo de este análisis, donde se puede observar el relleno realizado en la estación Tumusla en los periodos 8/4/2008 a 30/4/2008 y 1/6/2008 a 31/8/2008 con los valores estimados obtenidos con su estación cercana Palca Grande ($R^2 = 0.802$).

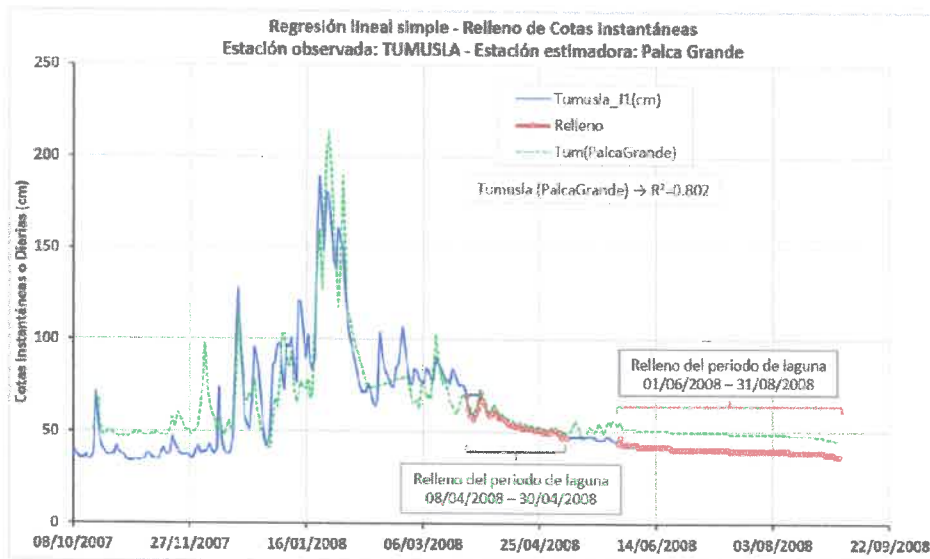


Figura 36. Relleno de laguna existente en la serie de cotas instantáneas de la estación Tumusla por regresión lineal simple (Quisbert, 2021)



2.5. Cálculo de series de caudales diarios, medios mensuales y medios anuales

Teniendo las series de cotas instantáneas ya analizadas, reconstituidas y rellenadas, y las curvas de descarga ajustadas y/o validadas, debe calcular las series de caudales diarios, medios mensuales y medios anuales.

- Las series de caudales instantáneos y diarios deben ser obtenidos como fue explicado en el acápite 2.3.3.
- Las series de caudales mensuales son calculados por Hydraccess a partir de las series de caudales diarios, para ello haga clic en el botón **Cálculo Caudales Mensuales** ubicado dentro de la pestaña **Caudales** del panel HIDRO, como se muestra en la figura siguiente.

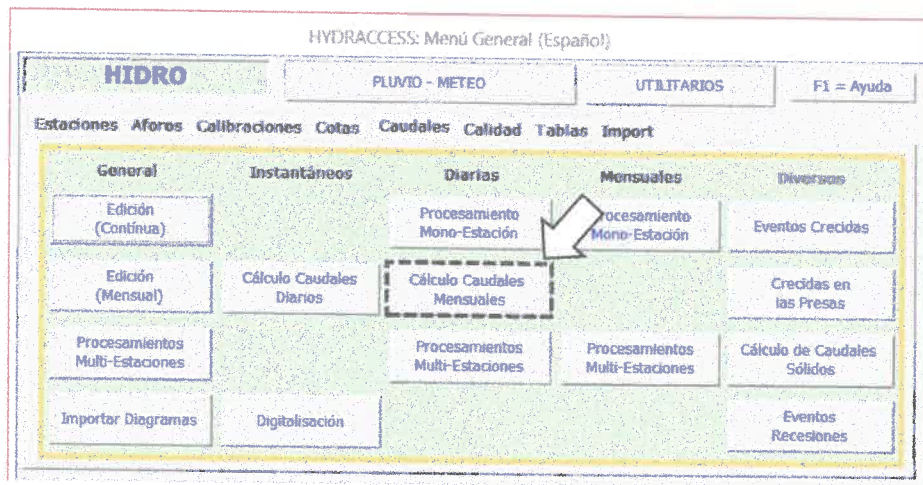


Figura 37. Ubicación del botón Cálculo Caudales Mensuales en Hydraccess

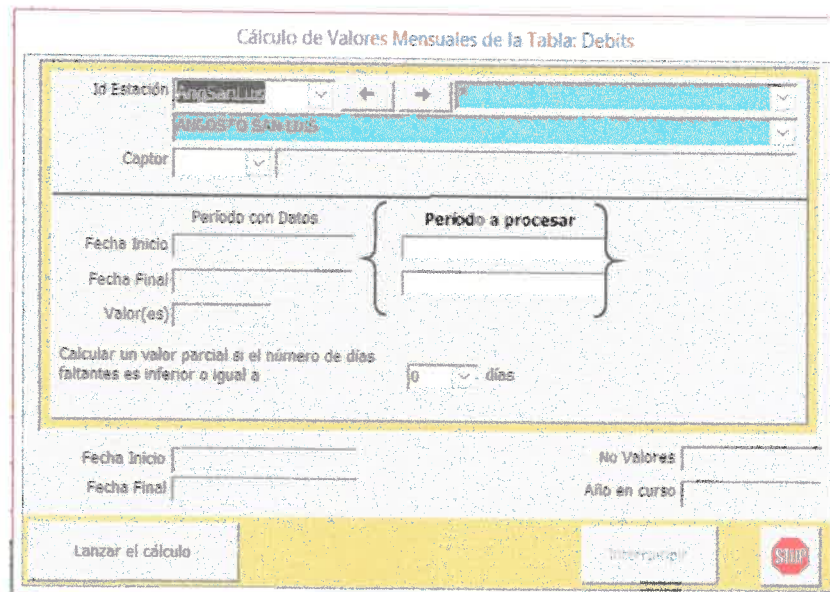


Figura 38. Ventana Traducción Caudales diarios a Caudales mensuales

- Le aparecerá una nueva ventana, en donde podrá elegir la estación de su interés, el captor que almacena los caudales diarios, y/o el periodo de caudales diarios que desea traducir



a caudales mensuales (puede también traducir todo el periodo de datos sin poner fecha inicio y fecha final). Para la traducción, haga clic en el botón **Lanzar el cálculo** situado en la esquina inferior izquierda de la ventana (ver figura 38).

- Las series de caudales medios anuales son calculados a partir de las series de caudales medios mensuales, cuando el año hidrológico (sep-ago) se encuentra completo, no debe faltar ni un solo mes del año. Hydraccess no tiene un captor que almacene exclusivamente caudales anuales, pero permite obtener el valor de los mismos, en una tabla Excel exportada; para ello, haga clic en el botón **Procesamientos Multi-Estaciones** situado en la columna Mensuales de la pestaña Caudales del panel HIDRO como se puede observar en la figura a continuación.

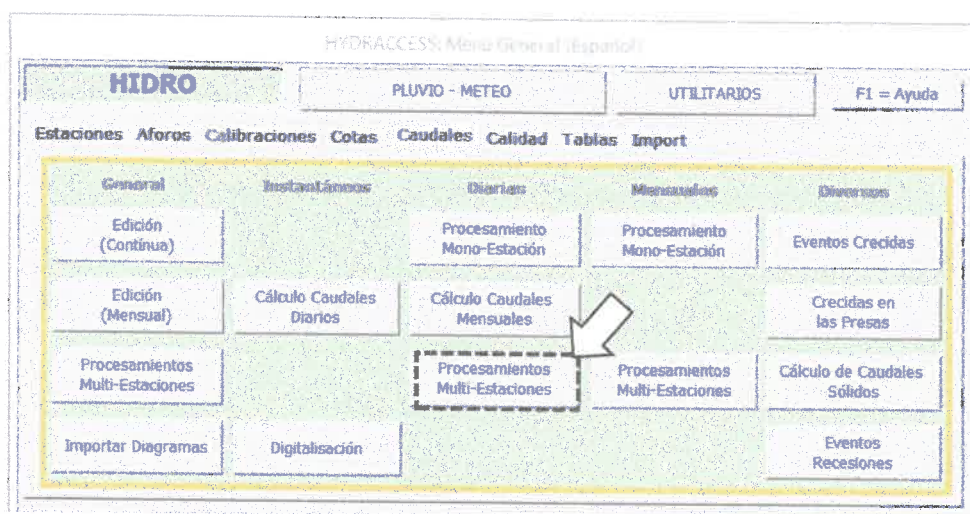


Figura 39. Ubicación del botón **Procesamientos Multi-Estaciones** en Hydraccess

- Le aparecerá una nueva ventana con todas las estaciones existentes en la base de datos (.mdb), dependiendo cuando inicia el año hidrológico en su cuenca de estudio, debe colocar el número del **Mes de inicio de año** en el espacio en blanco ubicado en la esquina inferior izquierda, en el caso del ejemplo siguiente se colocó **09** por iniciar el año hidrológico en septiembre. Luego para obtener los caudales anuales, seleccione la estación o las estaciones de su interés, y haga clic en el botón **Anuales → Excel** situado en la esquina derecha inferior, le exportará una planilla Excel con los caudales medios anuales de las estaciones que escogió anteriormente (ver figura 40).





Procesamientos Multi-Estaciones sobre la Tabla: Debits

Añadir una Tabla: Cotas Caudales Calidad Lluvias Meteo

Procesar del Hasta el Juntar los datos parciales (con lagunas sobre el período)

Año Hidrológico

09 Mes Inicio Año

Mensuales -> Excel

Anuales -> Excel

Nota: Solo los períodos completos estarán en los gráficos.

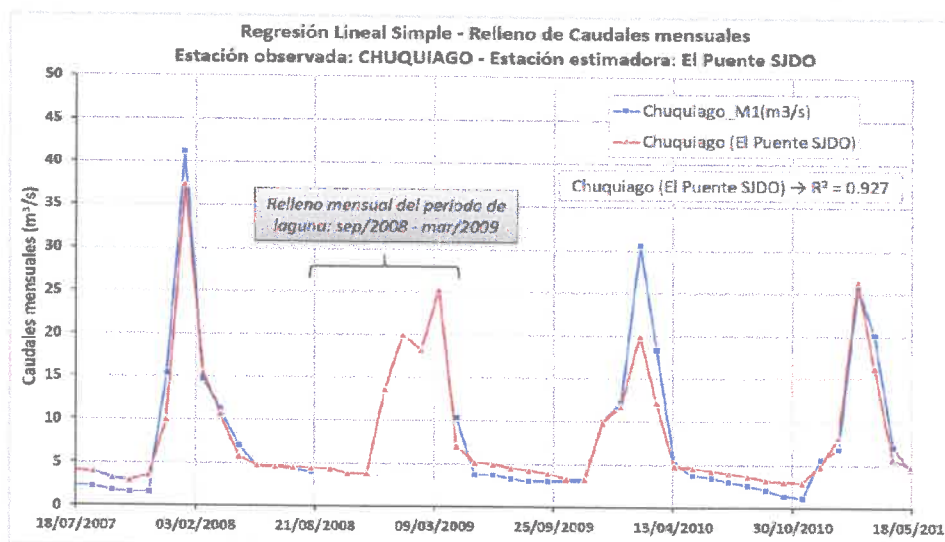
Usar nombres para leyenda

STOP

Figura 40. Ventana Procesamientos Multi-Estaciones para exportar caudales medios mensuales y anuales

2.6. Relleno de caudales medios mensuales

Para tener un mayor número de años hidrológicos completos, se rellena series de caudales medios mensuales por el método de regresión lineal, aplicando el utilitario Cormul de Hydraccess (ver acápite 2.3.4). Para que una laguna de caudal mensual sea rellenada, los caudales estimados deben presentar una buena correlación como se muestra en el ejemplo siguiente.



Gráfica 4. Ejemplo de relleno mensual por regresión lineal, en la estación Chuquiago con su estación vecina El Puente.





Sin embargo, para que esta información sea confiable, los caudales mensuales rellenados deben ser sometidos a un análisis de consistencia por el método del Vector Regional.

2.7. Análisis del Vector Regional

El software Hydraccess, cuenta con un formulario que permite calcular un Vector Regional de índices anuales, según los métodos de G. Hiez (moda o valor más frecuente) o de Y. Brunet Moret (promedio). Este formulario **Vector Regional** se encuentra dentro del panel UTILITARIOS como se muestra en la figura siguiente.

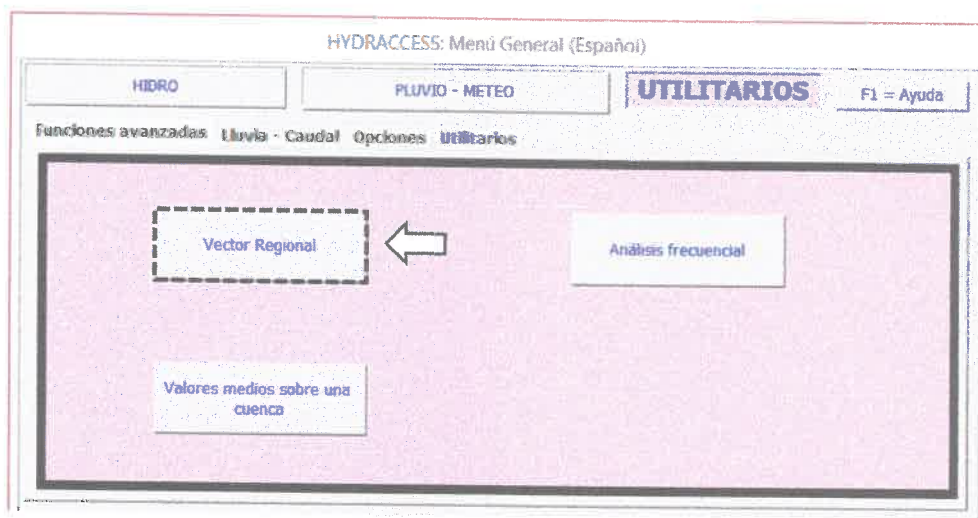


Figura 41. Ubicación del formulario Vector Regional dentro del programa Hydraccess

El método del Vector Regional, consiste en elaborar, a partir de un conjunto de información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda la zona de estudio. Para cada estación, se calcula un promedio extendido sobre todo el periodo de estudio, y para cada año, se calcula un índice (coeficiente del valor por el promedio extendido) que será superior a 1 cuando el año es excedentario (húmedo), e inferior a 1 cuando el año es deficitario (seco). A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una región que se supone es climáticamente homogénea. Este método también puede aplicarse a datos mensuales tratando separadamente cada uno de los meses del año como si se tratara de un valor anual (IRD, 2000).

2.7.1. Presentación del formulario Vector Regional

El formulario Vector Regional contiene en su parte izquierda (cuadro azul) tres marcos de parámetros, y en su parte derecha (cuadro verde) dos listas que contendrán las estaciones y los años del juego de datos estudiado, y en la parte inferior (cuadro naranja) una fila de botones de comando (ver figura 42).

- **Primer marco: Parámetros del archivo multi-estaciones**

Este marco contiene los parámetros del archivo Excel importado conteniendo el juego de datos.

- **Segundo marco: Parámetros del procesamiento**

Dentro de este segundo marco, las primeras filas contienen:





- El **Año Inicio trabajo** y el **Año Final trabajo**, los cuales permiten definir el periodo de estudio del Vector Regional.
- El **Número mínimo de estaciones por año** y el **Número mínimo de años por estación**, con el fin de evitar tomar en cuenta estaciones con información escasa, o años en los cuales no se cuenta con una buena cantidad de estaciones observadas.

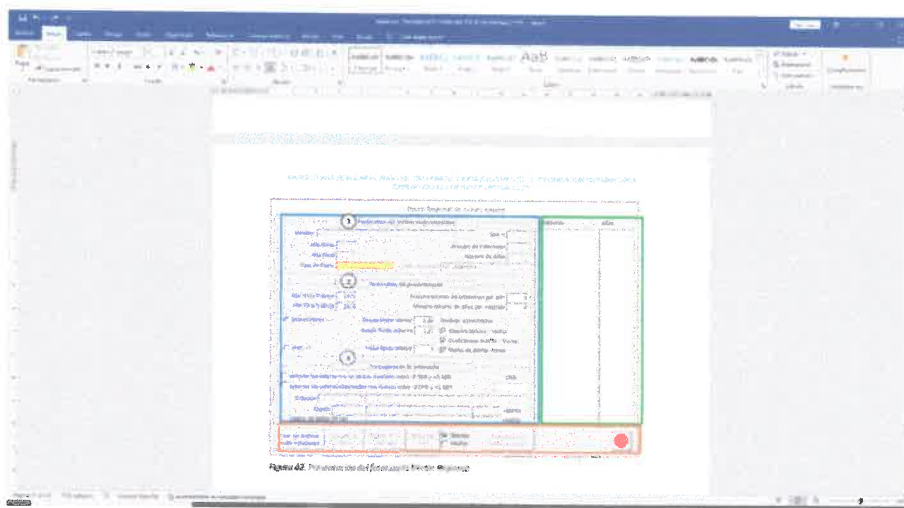
Además, dentro de este marco, se elige el método a utilizar para la obtención del Vector Regional. Para ello, Hydraccess ofrece dos métodos:

- El método **Brunet Moret**, el cual se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio para evitar contaminar demasiado las estimaciones con datos evidentemente erróneos. Para este método se cuenta con las **Desviaciones límite inferior y superior**, en forma de coeficientes.
- El método **Hiez**, el cual se basa en el cálculo de la moda (valor más frecuente). Encontramos dentro de este método un solo parámetro del **Valor límite inferior**.
- Este marco presenta también un grupo de casillas para marcar (Desvíos Índices/Vector, Coeficientes Índices/Vector, Rieles de Dobles masas), los cuales indican si ciertas hojas estarán o no presentes en el archivo Excel de salida.

▪ **Tercer marco: Parámetros de la estimación**

Este tercer marco contiene las opciones siguientes:

- DED es la Desviación Estándar de las Desviaciones entre los índices anuales de cada estación, y los índices del Vector Regional.
- Calcular los valores con un desvío aleatorio entre -2 DED y +2 DED, al marcar esta opción las desviaciones aleatorias serán agregadas a los datos reconstituidos.
- Guardar los valores observados con desvíos entre -2 DED y +2 DED, al marcar esta opción, los valores observados que parecen realistas no serán reemplazados por su estimación por medio del Vector Regional.





Vector Regional de índices anuales

Parámetros del archivo multi-estaciones		Estaciones	Años
1	Nombre: _____ Año Inicio: _____ Año Final: _____ Tipo de Datos: _____ Mes de trabajo: 12 - diciembre		
Parámetros del procesamiento			
Año Inicio trabajo: 1979 Año Final trabajo: 2016			
Número mínimo de estaciones por año: 3 Número mínimo de años por estación: 4			
<input checked="" type="radio"/> Brunet Moret → Desvío límite inferior: 0,80 Desvío límite superior: 1,25 <input checked="" type="radio"/> Hiez → Valor límite inferior: 5			
Producir estas tablas: <input checked="" type="checkbox"/> Desvíos Índices / Vector <input checked="" type="checkbox"/> Coeficientes Índices / Vector <input checked="" type="checkbox"/> Rieles de dobles masas			
3 Parámetros de la estimación			
<input type="checkbox"/> calcular los valores con un desvío aleatorio entre -2 DED y +2 DED <input type="checkbox"/> guardar los valores observados con desvíos entre -2 DED y +2 DED			
Estación: _____ Captor: _____ Captor de salida: M-Ver			
valores			
valores			
Leer un Archivo multi-estaciones Calcular el Vector Detalles de la Estación Tabla del Año <input checked="" type="checkbox"/> Desvíos <input type="checkbox"/> Medias Completar el captor de salida			



Figura 42. Presentación del formulario Vector Regional

2.7.2. Vector Regional Anual y Mensual

Identificación de zonas homogéneas

Para el análisis del Vector Regional anual puede tomar los caudales medios anuales de toda la cuenca de estudio, debido a que toman en cuenta todas las crecidas del año hidrológico. Sin embargo, para el Vector Regional mensual, puede considerarse juegos de estaciones que respondan a un mismo comportamiento hidrológico (Aguilar, 2007).

Formato de las series de caudales medios anuales y medios mensuales

Para el análisis del Vector Regional anual y mensual, debe trabajar con caudales medios anuales y mensuales, respectivamente. Estos datos son exportados en Excel por Hydraccess (ver acápite 2.5) en el formato que exige el formulario Vector Regional. El formato específico debe contener 9 filas de encabezado: informaciones sobre los códigos Id Estación, Captor, Tabla, Latitudes y Longitudes de las estaciones, la figura 43 muestra un ejemplo del encabezado que debe tener el archivo.





A	B	C	D	E	
1	Nombre	LA ANGOSTURA (Río Tu	CHUQUIAGO	EL PUENTE	SAN JOSECITO
2	Id Estación	AngTupiza	Chuquiago	ElPuentesJDO	SanJosecito
3	Captor	MO	MO	MO	MO
4	Unidad	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
5	Tabla	Debits	Debits	Debits	Debits
6	Latitud	-21.50547	-21.56159	21.2394	-21.14742
7	Longitud	-65.70006	-65.64766	65.0944	-64.23472
8					
9	Fecha	AngTupiza_D_MO_(m3/s)	Chuquiago_D_MO_(m3/s)	ElPuentesJDO_D_MO_(m3/s)	SanJosecito_D_MO_(m3/s)
516	16/09/2016 00:00	0.7260	2.2830	3.1350	11.8900
517	16/10/2016 00:00	0.5580	1.4940	1.0410	12.9400
518	16/11/2016 00:00	0.6450	1.5560	0.9230	13.8600
519	16/12/2016 00:00	2.1980	1.7750	9.7140	38.1500
520	16/01/2017 00:00	3.7120	7.9850	25.2100	92.8200

Figura 43. Encabezado que debe tener el archivo Excel para la obtención del Vector Regional



▪ Cálculo del Vector Regional anual y mensual

Para cargar o importar el archivo en el formulario *Vector Regional*, haga clic en el botón **Leer un archivo Multi-Estaciones**, que se encuentra en la parte inferior, y le permitirá buscar y elegir el archivo Excel. Se llenarán en el primer marco las filas siguientes (ver figura 44):

- El **Nombre** del archivo cargado.
- El **Número de filas** de datos que contiene el archivo.
- El **Año Inicio** y el **Año Final** de los datos del archivo.
- El **Número de Estaciones** y el **Número de Años**.
- El **Tipo del Datos** (anuales)
- El **Tipo del Datos** (mensuales o anuales)
- Una lista **Mes de trabajo** que permite elegir el mes que se quiere tratar, para el caso del vector regional mensual.



En el segundo marco puede cambiar el periodo que le interese para la obtención del vector regional, cambiando los años que el programa le carga por defecto en las filas *Año Inicio trabajo* y/o *Año Final trabajo*. Podrá elegir también el método con el que quiere que el vector sea calculado, se recomienda aplicar el método de Y. Brunet Moret, debido a que permite poner a relieve más claramente problemas eventuales de calidad de datos. El juego de estaciones que se conformará para realizar el Vector Regional, deberá presentar como mínimo tres estaciones, con series de caudales que presenten periodos comunes y como mínimo de cuatro años de datos (Aguilar, 2007). Las demás opciones pueden ser llenadas con los valores presentados en la figura a continuación.

Con el juego de estaciones identificado, Hydraccess calcula automáticamente el Vector Regional anual o mensual, para ello, haga clic en el botón **Calcular el Vector**, el cual se encuentra en la parte inferior del formulario. El Vector Regional anual o mensual será exportado en una planilla Excel.





Vector Regional de índices anuales

Parámetros del archivo multi-estaciones		Estaciones	Años
Nombre	D:\MicaelaQuisbert\Proyectos\SENAMHI\VR_mens_SubCSJDO\W	filas =	526
Año Inicio	1974	Número de Estaciones	4
Año Final	2017	Número de Años	44
Tipo de Datos	Valores Mensuales	Mes de trabajo	12 - diciembre

Parámetros del procesamiento	
Año Inicio trabajo	1979
Año Final trabajo	2016
Número mínimo de estaciones por año	3
Número mínimo de años por estación	4

Brunet Moret --> Desvío límite inferior: 0,80 Desvío límite superior: 1,25

Hiez --> Valor límite inferior: 5

Producir estas tablas:
 Desvíos Índices / Vector
 Coeficientes Índices / Vector
 Rieles de dobles masas

Parámetros de la estimación	
<input type="checkbox"/> calcular los valores con un desvío aleatorio entre -2 DED y +2 DED	DED
<input type="checkbox"/> guardar los valores observados con desvíos entre -2 DED y +2 DED	DED

Estación: _____

Captor: _____ valores

Captor de salida: M-Vec valores

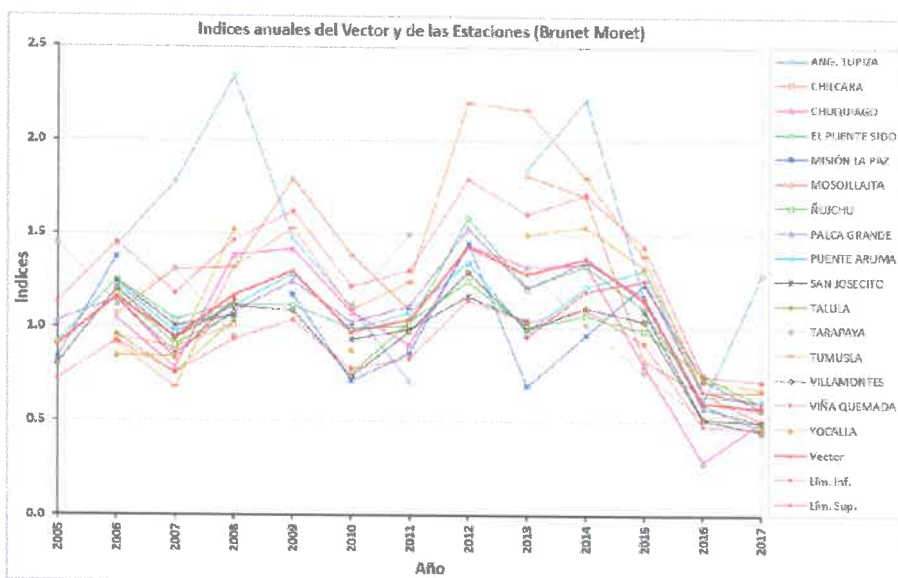
Desvíos
 Medias



Figura 44. Parámetros llenados en el formulario Vector Regional

■ Análisis del Vector Regional obtenido

A continuación, se presenta un ejemplo de un vector regional anual inicial, el cual evidencia gráficamente que los índices se encuentran fuera de los límites inferior y superior aceptables (inconsistencia de datos).



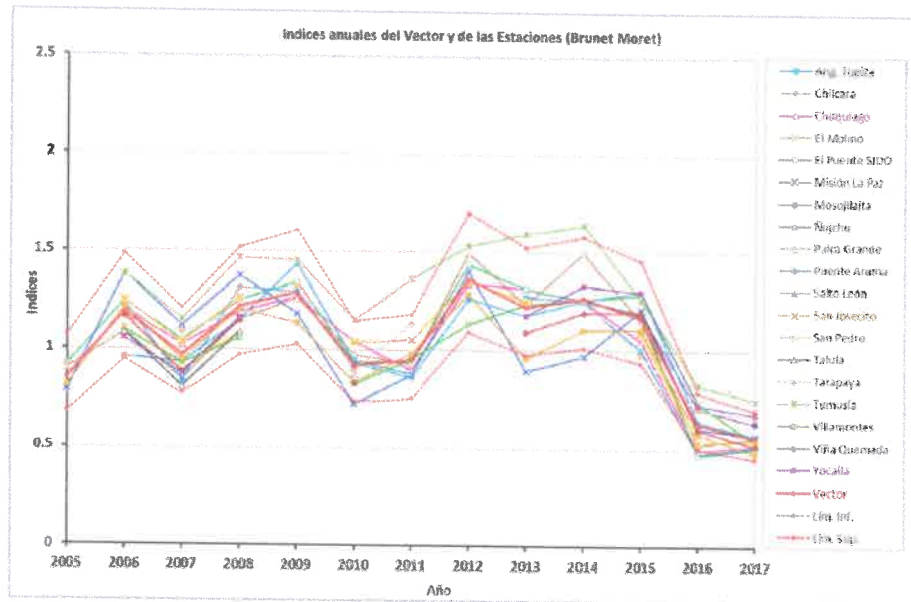
Gráfica 5. Ejemplo de Vector Regional anual inicial – Cuenca alta del río Pilcomayo (Quisbert, 2021)

Para la corrección de los índices que se encuentran fuera de los límites aceptables del vector regional, debe realizar un análisis estación por estación, empezando por las estaciones cuyos



índices presentan un mayor error (más alejados de los límites inferior y superior). Por estación deben ser revisados mes a mes: fechas de descalibración de curvas de descarga, descalibraciones que quizás no hayan sido consideradas, periodo de cotas instantáneas dudosas que no fueron reconstituidos o corregidos, rellenos o reconstituciones mal realizados en las series de cotas, rellenos de caudales mensuales mal realizados, entre otros.

Una vez subsanados todos estos errores, debe recalcular los caudales anuales y obtener un vector regional nuevo, el cual presentará más consistencia. A continuación, se presenta el Vector Regional anual final ajustado del ejemplo anterior.



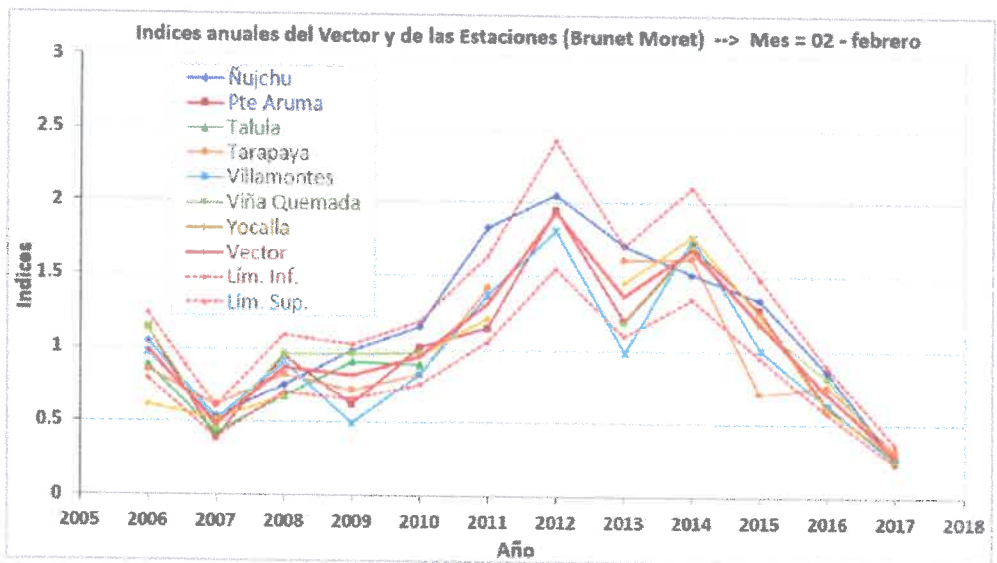
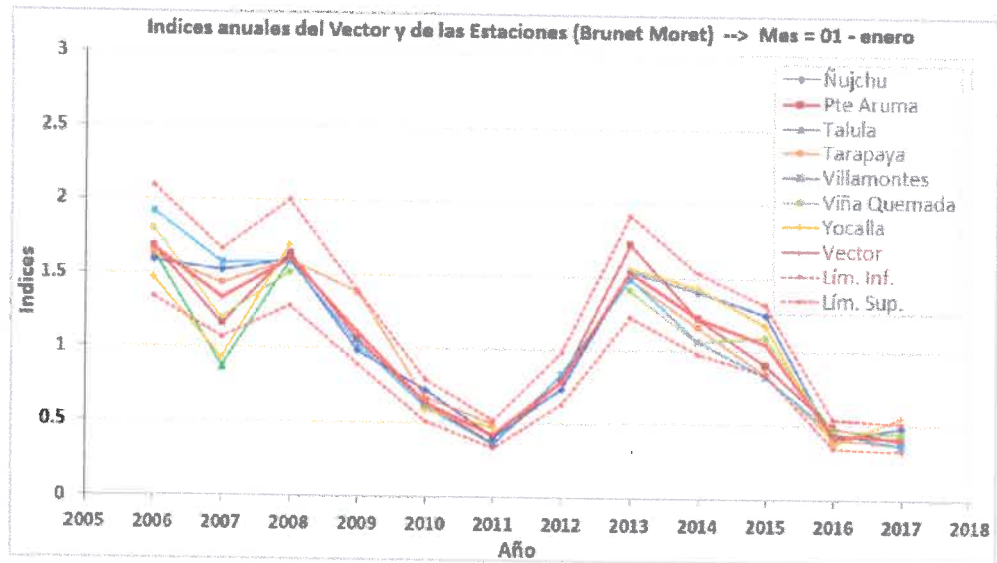
Gráfica 6. Ejemplo de Vector Regional anual final – Cuenca alta del río Pilcomayo (Quisbert, 2021)

Se recomienda realizar primero el análisis del vector regional anual, y luego realizar el vector regional mensual, con el fin de identificar a más detalle los posibles caudales inconsistentes, y así mejorar la calidad de los mismos a nivel mensual y a su vez a nivel anual.

Es evidente que la calidad del Vector Regional depende de la calidad de los datos de entrada. Sólo de manera iterativa, eliminando los datos visiblemente inventados y corrigiendo poco a poco los errores más evidentes sobre los datos de entrada, se llegará a un Vector Regional de buena calidad (Aguilar, 2007).

A continuación, se presentan 2 ejemplos de vectores regionales mensuales (enero-febrero) finales, de un juego de estaciones en la cabecera de la cuenca alta del río Pilcomayo.





Gráfica 7. Vectores regionales mensuales (ene-feb) finales del juego de estaciones cabecera de la cuenca alta del río Pilcomayo (Quisbert, 2021)





3. BIBIOGRAFÍA

- ✓ IRD. (2000). Ayuda contextual de HYDRACCESS.
- ✓ VAUCHEL, MALBRUNOT, AGUILAR (2006). Análisis, crítica y tratamiento de los datos hidrométricos de la cuenca alta del río Pilcomayo disponibles aguas arriba de Misión La Paz (Argentina).
- ✓ Aguilar, R. (2007). Análisis de la Información hidrométrica y Régimen hidrológico en la cuenca alta del río Pilcomayo. Proyecto de Grado, Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Ingeniería, La Paz - Bolivia.
- ✓ Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). Manuales Hidrológicos ANA: Manual de Uso del Hydraccess.
- ✓ Vauchel, P. (2017). Análisis, crítica y tratamiento de los datos hidrométricos de la cuenca alta del río Pastaza con el programa Hydraccess. Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD).
- ✓ Quisbert, M. (2021). Actualización y análisis de la información hidrométrica y Régimen Hidrológico de la Cuenca alta del río Pilcomayo. Proyecto de Grado, Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Ingeniería, La Paz - Bolivia.

