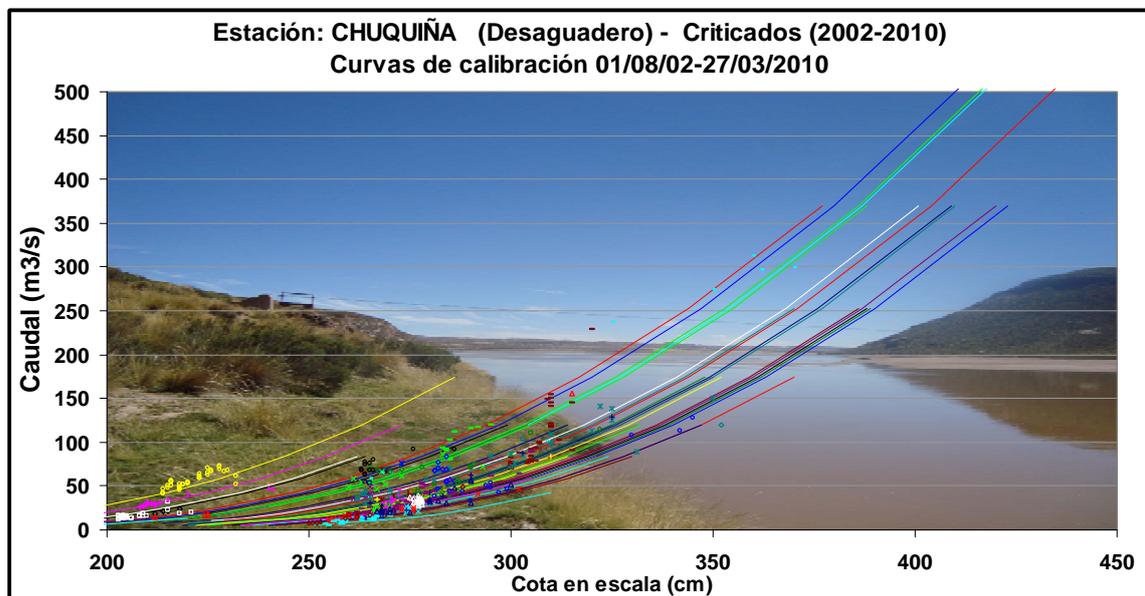


ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



Análisis y Crítica de la Información Hidrométrica en las Estaciones:
Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y
Chuquiña, pertenecientes a la cuenca del Río Desaguadero



Ing. Ruby Isabel Aguilar Rey
Septiembre 2010

Análisis y Crítica de la Información Hidrométrica en las Estaciones: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma, Chuquiña, pertenecientes a la cuenca del Río Desaguadero

Ing. Ruby Isabel Aguilar Rey
rubisa_se@yahoo.com
La Paz – Bolivia

RESUMEN: El Análisis y Crítica de la Información Hidrométrica de las cinco estaciones hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, permitió evaluar la calidad de la información hidrométrica y a través de ésta se pudo calcular los caudales de escurrimiento superficial a nivel instantáneo, diario, mensual y anual, que pasan por estas estaciones, en el periodo de estudio. La información hidrométrica básicamente está compuesta de Aforos y Lecturas de Escala. Entonces para las cinco estaciones se realizó: un inventario de esta información, el tratamiento de las lecturas de escala o cotas, el tratamiento de los aforos y la elaboración de las curvas de calibración, y el análisis de consistencia por el método del Vector Regional que nos permitió validar la calidad de la información calculada. El Análisis y Crítica de la Información Hidrométrica, con la obtención de los caudales a nivel mensual, también permitió conocer el comportamiento de las subcuencas y el potencial hídrico en el periodo de estudio, respecto a periodos anteriores.

PALABRAS CLAVES: Lecturas de Escala o Cotas, Aforos, Curvas de Calibración, Vector Regional.

ABSTRACT: The Analysis and Critic of the Information Hydrometric the five stations hydrometrics: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma and Chuquiña, allowed to evaluate the quality of the information hydrometric and through of this you could calculate the flows of surface runoff at instantaneous level, journal, monthly and annual, that they flow for these stations, in the period of study. The information hydrometric basically is made up of Flow Mensurations and Readings of Scale. Then for the five stations it was made: an inventory of this information, the treatment of the scale readings or water levels, the treatment of the flow mensurations and the elaboration of the calibration curves, and the analysis of consistency for the method of the Regional Vector that allowed us to validate the quality of the calculated information. The Analysis and Critic of the Information Hydrometric, with the obtaining of the flows at monthly level, also allowed to know the behavior of the subbasins and the potential hydric in the period of study, regarding previous periods.

KEY WORDS: Scale Readings or Water Levels, Flow Mensurations, Curved of Calibration, Regional Vector.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN – OBJETO DEL ESTUDIO	1
2	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO	2
3	ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE LA CUENCA Y DATOS DISPONIBLES	8
3.1	Información Hidrométrica disponible en Base de Datos HYDRACCESS de la Primera Fase.	8
3.2	Información Hidrométrica disponible en la Base de Datos HYDRACCESS del SENAMHI.	9
4	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DE CRÍTICA	15
4.1	Hidrografía, identificación y ubicación de las estaciones hidrométricas en la cuenca.	15
4.2	Inventario de los datos disponibles.....	15
4.3	Digitalización de la Información Hidrométrica en la Base de datos de Agua Sustentable (base de datos generada en el presente análisis).....	17
4.4	Elaboración de un captor de trabajo.....	21
4.5	Análisis de las lagunas y relleno de las series de cotas.....	21
4.6	Análisis de la series de aforos.....	22
4.7	Realización de las curvas de calibración a partir de los aforos.	22
4.8	Producción de series de caudales.....	22
4.9	Comparación de las series de caudales obtenidos.	22
4.10	Relleno de las series de caudales mensuales.	23
4.11	Análisis de consistencia con el Vector Regional.	23
5	TRATAMIENTO POR ESTACIÓN	24
5.1	Aguallamaya (Río Desaguadero).....	24
5.1.1	<i>Características Generales.</i>	<i>24</i>
5.1.2	<i>Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.</i>	<i>26</i>
5.1.3	<i>Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.</i>	<i>26</i>
5.1.4	<i>Tratamiento de las lecturas de escala.</i>	<i>26</i>
5.1.5	<i>• Aforos disponibles.</i>	<i>28</i>
5.1.6	<i>Realización de curvas de calibración.....</i>	<i>29</i>
5.1.7	<i>Relleno de las series de caudales mensuales.....</i>	<i>31</i>
5.1.8	<i>Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.....</i>	<i>32</i>
5.1.9	<i>Análisis de consistencia con el Vector Regional</i>	<i>33</i>

5.2	Calacoto Desaguadero (Río Desaguadero).	37
5.2.1	<i>Características Generales.</i>	37
5.2.2	<i>Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.</i>	39
5.2.3	<i>Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.</i>	39
5.2.4	<i>Tratamiento de las lecturas de escala.</i>	39
5.2.5	<i>Aforos disponibles.</i>	41
5.2.6	<i>Realización de curvas de calibración.</i>	42
5.2.7	<i>Relleno de las series de caudales mensuales.</i>	44
5.2.8	<i>Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.</i>	45
5.2.9	<i>Análisis de consistencia con el Vector Regional.</i>	45
5.3	Calacoto Mauri (Río Mauri).	50
5.3.1	<i>Características Generales.</i>	50
5.3.2	<i>Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.</i>	52
5.3.3	<i>Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.</i>	52
5.3.4	<i>Tratamiento de las lecturas de escala.</i>	52
5.3.5	<i>Aforos disponibles.</i>	54
5.3.6	<i>Realización de curvas de calibración.</i>	56
5.3.7	<i>Relleno de las series de caudales mensuales.</i>	60
5.3.8	<i>Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.</i>	61
5.3.9	<i>Análisis de Consistencia con el Vector Regional.</i>	62
5.4	Ulloma (Río Desaguadero).	66
5.4.1	<i>Características Generales.</i>	66
5.4.2	<i>Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.</i>	68
5.4.3	<i>Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.</i>	68
5.4.4	<i>Tratamiento de las lecturas de escala.</i>	68
5.4.5	<i>Aforos disponibles.</i>	70
5.4.6	<i>Realización de curvas de calibración.</i>	72
5.4.7	<i>Relleno de las series de caudales mensuales.</i>	74
5.4.8	<i>Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.</i>	75
5.4.9	<i>Análisis de consistencia con el Vector Regional.</i>	75
5.5	Chuquiña (Río Desaguadero).	80
5.5.1	<i>Características Generales.</i>	80
5.5.2	<i>Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.</i>	82

5.5.3	<i>Elaboración de Captos para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.</i>	82
5.5.4	<i>Tratamiento de las lecturas de escala.</i>	82
5.5.5	<i>Aforos disponibles.</i>	86
5.5.6	<i>Realización de curvas de calibración.</i>	88
5.5.7	<i>Relleno de las series de caudales mensuales.</i>	89
5.5.8	<i>Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.</i>	90
5.5.9	<i>Análisis de consistencia con el Vector Regional.</i>	90
6	SINTESIS DE LOS PARÁMETROS HIDROMÉTRICOS PRINCIPALES DE LA SUBCUENCA DE LA ESTACIÓN CHUQUIÑA RÍO DESAGUADERO.	95
6.1	Aguallamaya – Calacoto Desaguadero.	95
6.1.1	<i>Histogramas de Variación Mensual.</i>	97
6.2	Calacoto Desaguadero – Calacoto Mauri - Ulloma.	99
6.2.1	<i>Histogramas de Variación Mensual.</i>	101
6.3	Ulloma - Chuquiña.	102
6.3.1	<i>Histogramas de Variación Mensual.</i>	102
6.4	Histograma de Variación Mensual: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña.	104
7	BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS.	106
8	ANEXOS.	107
8.1	Anexo N° 1: Resultados del Análisis con el Vector Regional a Nivel Anual.	107
8.2	Anexo N° 2: Resultados del Análisis con el Vector Regional a Nivel Mensual.	109
8.3	Anexo N° 3: Imagen Satelital de la Subcuenca de la Estación Chuquiña.	115

LISTA DE TABLAS.

<i>Tabla 2.1 Longitud en metros entre estaciones hidrométricas y desde su nacimiento. (Elaboración Propia)...</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2.2 Pendiente en cada estación hidrométrica en tanto por mil (‰). Valores aproximados. (Elaboración Propia).....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla N° 3.1 Información Hidrométrica disponible en la Base de Datos de la Primera Fase – Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla N° 3.2 Información Hidrométrica disponible para el periodo Agosto 2002 – Mayo 2010, en el Base de Datos HYDRACCESS – SENAMHI LA PAZ y Base de datos Actual de AGUA SUSTENTABLE. (Elaboración Propia).....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 5.1 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la base de datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Aguallamaya. (Elaboración Propia).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5.2 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Aguallamaya. (Elaboración Propia).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5.3 Caudales Medios Mensuales, Medio Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Aguallamaya. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados).Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5.4 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia).....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5.5 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia).....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5.6 Caudales Medios Mensuales, Medio Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Calacoto Desaguadero. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados). Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 5.7 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia).....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5.8 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el programa Hydraccess. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia).....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 5.9 Caudales Medios Mensuales, Medios Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Calacoto Mauri. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados). Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5.10 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5.11 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5.12 Caudales Medios Mensuales, Medios Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Ulloma. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados.) Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 5.13 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua sustentable del programa Hydraccess. Chuquiña. (Elaboración Propia).....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 5.14 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Chuquiña. (Elaboración Propia).....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5.15 Caudales Medios Mensuales, Medios Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Chuquiña. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados.) Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.....</i>	<i>94</i>

<i>Tabla 6.1 Lecturas de Escala – Cotas Mensuales Estaciones: Pte Internacional – Aguallamaya. (Elaboración Propia)</i>	97
---	----

LISTA DE GRÁFICOS.

<i>Gráfico 2.1 Aproximación del Perfil Longitudinal del Río Desaguadero desde la Estación Hidrométrica Aguallamaya hasta la Estación Hidrométrica de Chuquiña. (Elaboración Propia)</i>	7
<i>Gráfico 2.2 Aproximación del Perfil Longitudinal del Río Mauri desde su nacimiento hasta la Confluencia con el Río Desaguadero. (Elaboración Propia)</i>	7
<i>Gráfico 4.1 Inventario de Lecturas de escala en las estaciones hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña. (Elaboración Propia)</i>	18
<i>Gráfico 4.2 Inventario de aforos en las estaciones de hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, para identificar periodos de lagunas mayores a los 15 días. (Elaboración Propia)</i>	19
<i>Gráfico 4.3 Inventario de aforos y lecturas de escala en las estaciones hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, para identificar periodos de lagunas mayores a los 15 días. (Elaboración Propia)</i>	20
<i>Gráfico 5.1 Cotas observadas y Cotas aforadas. Aguallamaya. (Elaboración Propia)</i>	29
<i>Gráfico 5.2 Curva de calibración típica -Periodo 31/01/2004. Aguallamaya. (Elaboración Propia)</i>	30
<i>Gráfico 5.3 Curva de rugosidades para periodo 31/01/2004. Aguallamaya. (Elaboración Propia)</i>	30
<i>Gráfico 5.4 Cantidad y secuencia de las Curva de Calibración en la estación Aguallamaya en el periodos 01/08/02 – 29/11/09.</i>	31
<i>Gráfico 5.5 Caudales Medios Mensuales, Estaciones Hidrométricas de Aguallamaya y Calacoto Desaguadero. Periodo criticados 2002-2010. (Elaboración Propia)</i>	32
<i>Gráfico 5.6 Curvas de Calibración Finales Aguallamaya – Periodo 01/08/02 – 29/11/2010 – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS. (Elaboración Propia)</i>	34
<i>Gráfico 5.7 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Aguallamaya – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS. (Elaboración Propia)</i>	35
<i>Gráfico 5.8 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Estación Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)</i>	42
<i>Gráfico 5.9 Curva de Calibración Típica Periodo 02/04/03. Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)</i> ...43	
<i>Gráfico 5.10 Curva de rugosidades para periodo 02/04/2004. Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)</i> ..43	
<i>Gráfico 5.11 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Calacoto Desaguadero en el periodos 01/8/02 – 30/06/2010. (Elaboración Propia)</i>	44
<i>Gráfico 5.12 Curvas de Calibración Finales Calacoto Desaguadero – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)</i>	47
<i>Gráfico 5.13 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Calacoto Desaguadero – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)</i>	48
<i>Gráfico 5.14 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)</i>	56
<i>Gráfico 5.15 Cotas y Aforos. Se muestra la escasa cantidad de datos. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)</i>	56
<i>Gráfico 5.16 Cotas y Aforos. Se muestra la buena cantidad de datos existentes para el periodo anterior al 01/08/2002-30/06/2010 (Periodo en Estudio). (Elaboración Propia)</i>	57
<i>Gráfico 5.17 Curva de Calibración Típica Periodo 13/01/79. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)</i>	58
<i>Gráfico 5.18 Curva de rugosidades para periodo 03/08/90. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)</i>	59

<i>Gráfico 5.19 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Calacoto Mauri en el periodo 01/8/02 – 30/06/2010. (Elaboración Propia).....</i>	<i>60</i>
<i>Gráfico 5.20 Caudales Medios Mensuales – Criticados (2002-2010) Estaciones: Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Frontera. (Elaboración Propia).....</i>	<i>61</i>
<i>Gráfico 5.21 Curvas de Calibración Finales Calacoto Mauri – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>63</i>
<i>Gráfico 5.22 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Calacoto Mauri – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>64</i>
<i>Gráfico 5.23 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>71</i>
<i>Gráfico 5.24 Curva de Calibración Típica Periodo 28/12/03. Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>72</i>
<i>Gráfico 5.25 Curva de rugosidades para periodo 03/01/04. Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>73</i>
<i>Gráfico 5.26 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Ulloma en el periodos 01/08/02 – 30/04/2010. (Elaboración Propia).....</i>	<i>74</i>
<i>Gráfico 5.27 Caudales Medios Mensuales. Estaciones Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>75</i>
<i>Gráfico 5.28 Curvas de Calibración Finales de Ulloma – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>77</i>
<i>Gráfico 5.29 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Ulloma – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>78</i>
<i>Gráfico 5.30 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Chuquiña. (Elaboración Propia).....</i>	<i>88</i>
<i>Gráfico 5.31 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Chuquiña en el periodos 01/8/02 – 27/03/2010. (Elaboración Propia).....</i>	<i>89</i>
<i>Gráfico 5.32 Caudales Medios Mensuales. Estaciones Ulloma Y Chuquiña. (Elaboración Propia).....</i>	<i>90</i>
<i>Gráfico 5.33 Curvas de Calibración Finales Chuquiña – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>92</i>
<i>Gráfico 5.34 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Chuquiña – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia).....</i>	<i>93</i>
<i>Gráfico 6.1 Caudales Medio Mensuales Aguallamaya. (Elaboración Propia).....</i>	<i>97</i>
<i>Gráfico 6.2 Lecturas de Escala – Cotas Mensuales Estaciones: Pte Internacional – Aguallamaya. (Elaboración Propia).....</i>	<i>98</i>
<i>Gráfico 6.3 Caudales Medio Mensuales Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia).....</i>	<i>99</i>
<i>Gráfico 6.4 Caudales Medio Mensuales Calacoto Mauri. (Elaboración Propia).....</i>	<i>101</i>
<i>Gráfico 6.5 Caudales Medio Mensuales Ulloma. (Elaboración Propia).....</i>	<i>103</i>
<i>Gráfico 6.6 Caudales Medio Mensuales Chuquiña. (Elaboración Propia).....</i>	<i>104</i>
<i>Gráfico 6.7 Caudales Medio Mensuales en las 5 estaciones criticadas. (Elaboración Propia).....</i>	<i>104</i>
<i>Anexo N° 1: Resultados del Análisis con el Vector Regional a Nivel Anual.....</i>	<i>107</i>
<i>Anexo N° 2: Resultados del Análisis con el Vector Regional a Nivel Mensual.....</i>	<i>109</i>

LISTA DE FIGURAS.

<i>Figura 2.1 Mapa del Relieve de las Subcuencas de la Estaciones Chuquiña-Río Desaguadero y Mauri-Río Mauri (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2).....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2.2 Mapa Hidrográfico de la Subcuenca de la Estación Chuquiña, Río Desaguadero (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2).....</i>	<i>6</i>
<i>Figura N° 3.1 Mapa de la Red Hidrométrica de las Estaciones Hidrométricas ubicadas en la Subcuenca de la Estación Chuquiña. Criticadas hasta el 2005 por Villarroel y Criticadas del 2002 al 2010 por Aguilar R. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4.1 Inventario de la información analógica de las libretas originales de aforos proporcionadas por el SENAMHI La Paz, Bolivia.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5.1 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Aguallamaya.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5.2 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Calacoto Desaguadero.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 5.3 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Calacoto Mauri.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5.4 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Ulloma.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5.5 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Chuquiña.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 6.1 Imagen del Río Desaguadero Aguallamaya – Calacoto Desaguadero. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2).....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 6.2 Imagen del Río Desaguadero Calacoto Desaguadero – Calacoto Mauri – Ulloma. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2).....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 6.3 Imagen del Río Desaguadero Ulloma – Chuquiña. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2).....</i>	<i>105</i>
<i>Anexo N° 3. Imagen Satelital de la Subcuenca de la Estación Chuquiña.....</i>	<i>115</i>

1 INTRODUCCIÓN – OBJETO DEL ESTUDIO

El informe tiene como objeto principal criticar y tratar los datos hidrométricos en las estaciones de Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, ubicadas en la Cuenca del río Desaguadero, en el periodo Agosto 2002 hasta Mayo 2010. Los datos hidrométricos son las lecturas de escala y los aforos, estos últimos compuestos de la medición del caudal líquido y su correspondiente nivel o cota. Entonces la finalidad de este estudio es evaluar la calidad de la información, y según ésta, determinar series de lecturas de escala y caudales, a nivel instantáneo, diario, mensual y anual, confiables y representativos del periodo en estudio.

El informe contiene:

- **CAPÍTULO 1:** Presenta el objeto y la finalidad del estudio,
- **CAPÍTULO 2:** Presenta una descripción de la Cuenca del río Desaguadero,
- **CAPÍTULO 3:** Presenta un inventario de la base de datos Hydraccess del SENAMHI en el periodo de estudio,
- **CAPÍTULO 4:** Presenta la metodología del tratamiento de la información hidrométrica, con la ayuda del programa Hydraccess,
- **CAPÍTULO 5:** Se describe el tratamiento que se realizó estación por estación,
- **CAPÍTULO 6:** Presenta una síntesis de los datos obtenidos después del tratamiento de los datos hidrométricos,

Algunos anexos presentan gráficos de interés para el análisis.

2 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO

El río Desaguadero es un río boliviano, el principal río de la cuenca endorreica del lago Titicaca, donde se origina, descargando las aguas excedentes hasta el lago Poopó, donde se pierden principalmente a través de un fuerte proceso de evaporación.

El Río Desaguadero, emisario natural del Lago Titicaca, nace en el extremo sur occidental del lago, en la frontera Bolivia-Perú, y desemboca en el Lago Poopó. Su cuenca representa el 21 % del área del Sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares), drenando las aguas de la región del altiplano central de Sudamérica. (*Fuente: Espinoza, Villarroel, Molina. 2007*)

- ***Elaboración de los Mapas de Relieve, Hidrográfico, de Estaciones e Imágenes.***

Los recursos para la elaboración de los mapas es la siguiente:

- ✓ Modelo de Elevación Digital 90x90 m de resolución del año 2000. (Global Land Cover Facility – Elevation Data: SRTM, WRS2 Tiles)
- ✓ Imagen Satelital de 15x15 m de resolución del año 2005. (Landsat ETM + bandas 7, 4, y 2)
- ✓ Coberturas del IGM, 2000.
- ✓ Información básica proporcionada por el SENAMHI-La Paz, Bolivia.
- ✓ Información básica del estudio de hidrología y recursos hídricos del 2007. Espinoza, Villarroel, Molina.

La información generada a partir de estos recursos, tanto del modelo de elevación digital como de la imagen satelital fue: la red hídrica, los cuerpos de agua, y la delimitación de las subcuencas. Los atributos de nombres de las estaciones y su ubicación, y nombres de los ríos, junto con algunas características geopolíticas, se lograron gracias a los otros recursos nombrados anteriormente. La magnitud de la densidad de la red hídrica fue elegida con el objeto de conocer los tributarios y su importancia del aporte potencial que podían tener. También se elaboró información temática, que ilustra la influencia del medio sobre el escurrimiento.

Como se dijo, solamente se delimitaron la Subcuenca de la estación Chuquiña y Subcuenca de la estación Calacoto Mauri. La Subcuenca de la estación Chuquiña fue delimitada porque es el punto de control de las estaciones criticadas en el presente estudio. Drena una superficie de 29184.435 [km²]. También se delimitó la Subcuenca de la estación Calacoto Mauri por ser un afluente importante al río Desaguadero, la superficie que drena es de 9865.919 [km²], lo que representa el 33.80 % de la superficie de la total de la Subcuenca de la estación Chuquiña. Se elaboraron los siguientes mapas:

- Figura 2.1: que presenta el Relieve de la Subcuenca de la Estación Chuquiña ubicada sobre el Río Desaguadero y de la Subcuenca de la Estación Mauri ubicada sobre el Río Mauri,
- Figura 2.2: presenta la Red Hidrográfica de la Subcuenca de la Estación Chuquiña ubicada sobre el Río Desaguadero. Generalmente las corrientes de un sistema hidrográfico se clasifican de la siguiente manera:

- **Clase I - Corriente perenne:** contiene agua todo el tiempo, ya que aún en época de sequía es abastecida continuamente, pues el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce.
- **Clase II – Corriente intermitente:** lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvias; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce.
- **Clase III – Corriente efímera:** es aquella que solo lleva agua cuando llueve e inmediatamente después.

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Esta clasificación en la red hidrográfica de la Subcuenca de la Estación Chuquiña, ver figura 2.1, tiene el siguiente procedimiento: se consideró como corrientes de orden I (1) a la clase de corrientes perennes, de orden II (2) a la clase de corrientes intermitentes y de orden III (3) a la clase de corrientes efímeras, ver figura 2.2. Esta clasificación de orden de corrientes es más práctica, para nuestro propósito, que la clasificación dada por Horton donde un tributario sin ramificaciones es de orden uno, una de orden dos tiene sólo tributarios de primer orden, etc.

A continuación se describen las características de Relieve e Hidrográficas de las Subcuenca de la estación Chuquiña y la subcuenca de la estación Calacoto Mauri:

- ✓ **Subcuenca de la estación Chuquiña:** Como la cuenca del Titicaca, la del Desaguadero está enmarcada por las cordilleras Oriental y Occidental, con el altiplano en su parte central. La Cordillera Occidental, bastante amplia en la cuenca, sigue siendo preponderantemente volcánica, con apreciables intercalaciones de depósitos de vertiente, mientras que la Oriental, más estrecha, es sedimentaria. El altiplano se caracteriza, en parte por la presencia de una amplia terraza lacustre, en parte por una meseta volcánica y en parte por las serranías centrales de Corocoro y Corque, con colinas correspondientes a una faja de plegamiento reciente de sedimentos terciarios. Tanto la meseta como las colinas tienen sectores altamente degradados por procesos de disección reciente y actual. La altitud varía desde los 4507 msnm hasta 3730 msnm.

Inmediatamente Aguas abajo de su nacimiento en el Titicaca, el Desaguadero forma la Laguna de Aguallamaya. Luego recibe numerosos aportes de los ríos hasta su desembocadura en el Poopó, entre los cuales se destacan el Mauri, el Kheto, el Caranguilla, el Llinqui, el Jacha Jauira, el Khora y el Kilihuiri.

- ✓ **Subcuenca de la estación Calacoto Mauri:** Está definido por la Cordillera Occidental al oeste y la planicie altiplánica al este. La Cordillera Occidental es volcánica y separa a la cuenca del Altiplano de las pequeñas cuencas costeras del Pacífico. La altitud varía desde los 6258 msnm hasta 3820 msnm. Aguas abajo de su nacimiento, el Desaguadero recibe numerosos tributarios, el más importante de los cuales es el Río Mauri, el cual atraviesa una vasta zona montañosa de la Cordillera Occidental y una importante meseta volcánica.

En el tramo entre Kovire y la confluencia con el río Chiliculco, el río recibe por su margen derecha el aporte de varios manantiales termales de origen volcánico, cuyas aguas tienen un alto contenido de boro y arsénico. El río Chiliculco ingresa por la margen izquierda a corta distancia de la estación hidrométrica de Challapalca. A continuación el río Mauri recibe por su margen derecha el aporte de algunos manantiales y cursos de agua, como la quebrada Mamuta y los ríos Kaño y Kallapuma. Algunos de ellos como el manantial de Copapujo, tienen un caudal importante y buena calidad de agua, pero otros, como el río Kallapuma, llevan aguas con alto contenido de boro y arsénico por el aporte de manantiales de origen volcánico. *(Fuente: Espinoza, Villarroel, Molina. 2007)*

El río Mauri continúa en dirección Noreste, siguiendo un curso encajonado, recibiendo varios cursos de agua, como los ríos Vilcapalca o Tiquerani, Chaullani y Muru Aramaya por la margen derecha y los ríos Kankavi y Nasani por la margen izquierda. Nueve kilómetros más abajo del puente Rosario, el río Mauri recibe a su afluente más importante, el río Achuta o Blanco, que drena una extensa cuenca de la margen derecha. Desde la confluencia con el río Blanco hasta la confluencia con el río Desaguadero en Calacoto, el río Mauri discurre por la planicie altiplánica siguiendo un curso de suave pendiente. Su cauce se hace muy ancho y poco profundo y las márgenes a ambos lados están sujetas al riesgo de inundaciones. *(Fuente: Espinoza, Villarroel, Molina. 2007)*

A partir de la confluencia con el río Mauri, el río Desaguadero sufre cambios morfológicos significativos. Su pendiente aumenta con respecto al tramo aguas arriba de Calacoto, y con ello, su velocidad de flujo.

A continuación se presentan las figuras 2.1 y 2.2.

Figura 2.1 Mapa del Relieve de las Subcuencas de la Estaciones Chuquiña-Río Desaguadero y Mauri-Río Mauri (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)

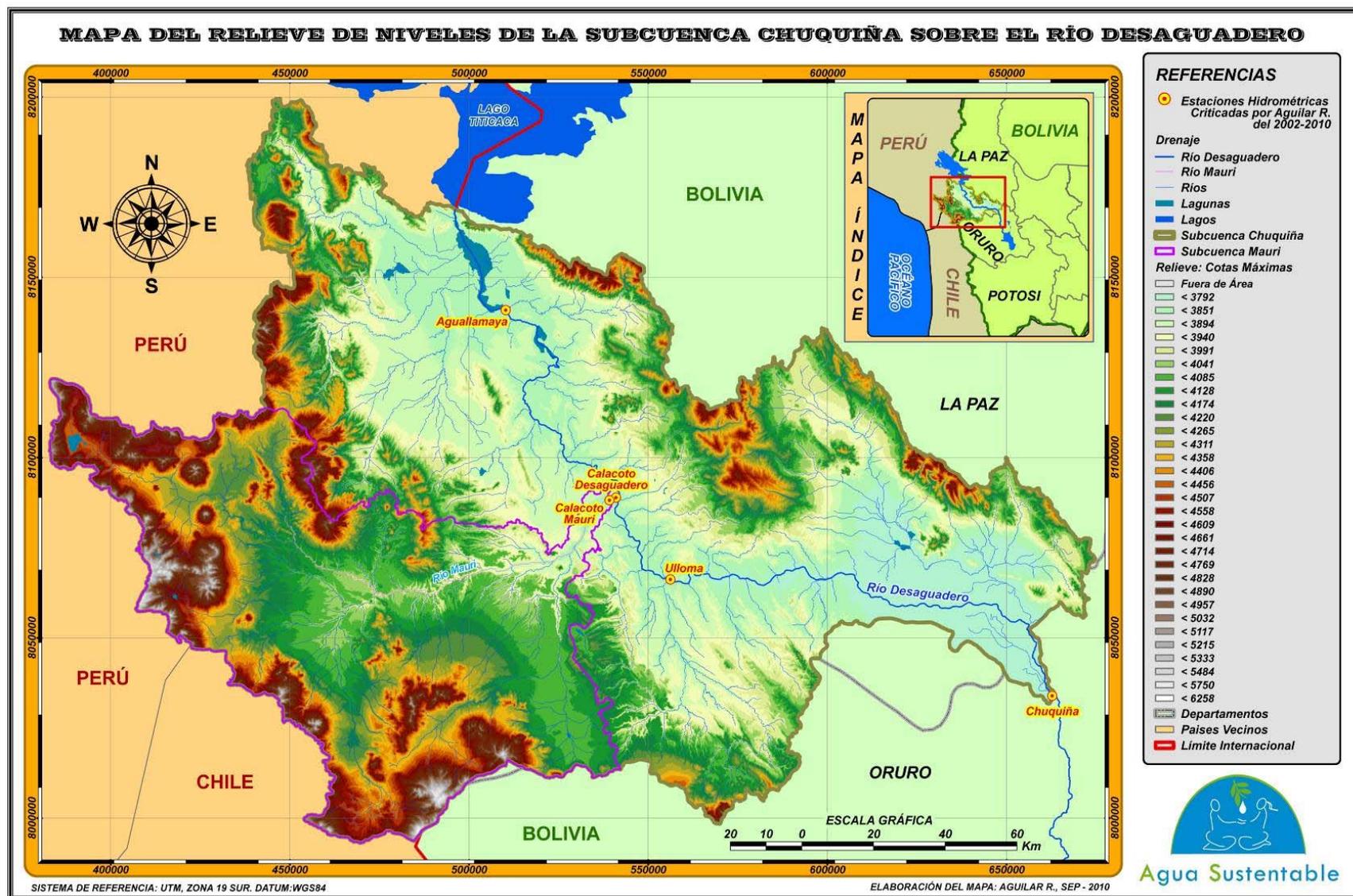


Figura 2.2 Mapa Hidrográfico de la Subcuenca de la Estación Chuquiña, Río Desaguadero (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)



- **Elaboración de los Perfiles Longitudinales del Río Desaguadero y Río Mauri.**

A partir de las Cartas Topográficas escala 1:50000 se intentó determinar la pendiente que se tienen en los puntos de las estaciones hidrométricas, pero lamentablemente fue casi imposible debido a la escala y que además el relieve muestra que existe poco desnivel. Por lo tanto nos fue más útil utilizar el Modelo de Elevación Digital y a partir del cual se determinó la pendiente aproximada del Río Desaguadero y del Río Mauri, características importantes para el presente estudio. Ver gráfico 2.1 y 2.2.

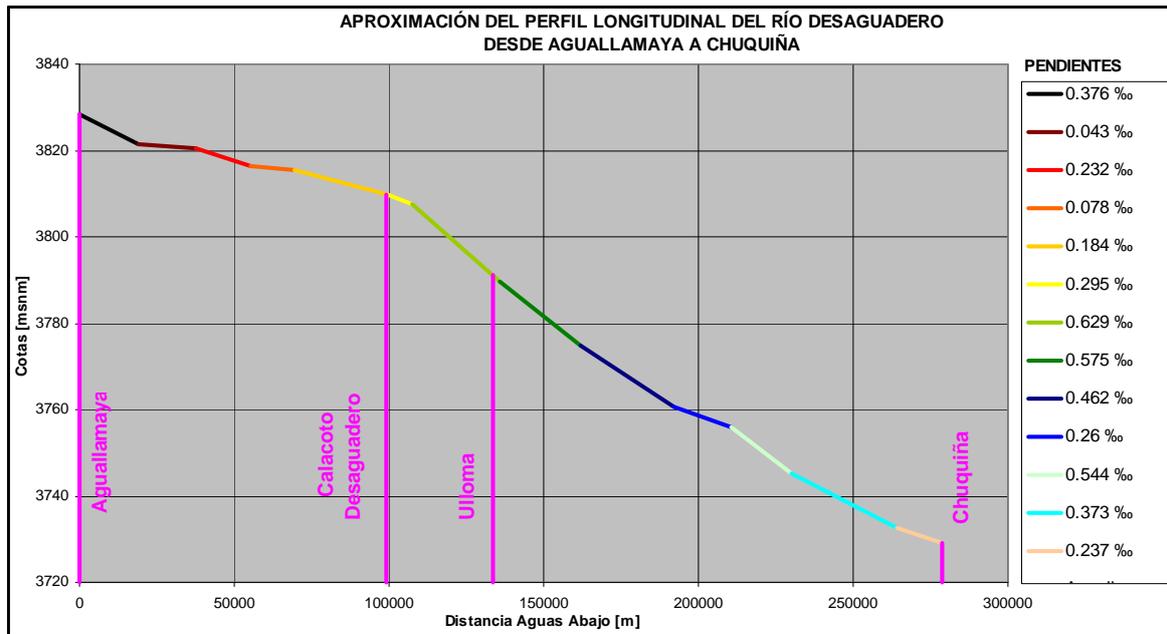


Gráfico 2.1 Aproximación del Perfil Longitudinal del Río Desaguadero desde la Estación Hidrométrica Aguallamaya hasta la Estación Hidrométrica de Chuquiña. (Elaboración Propia)

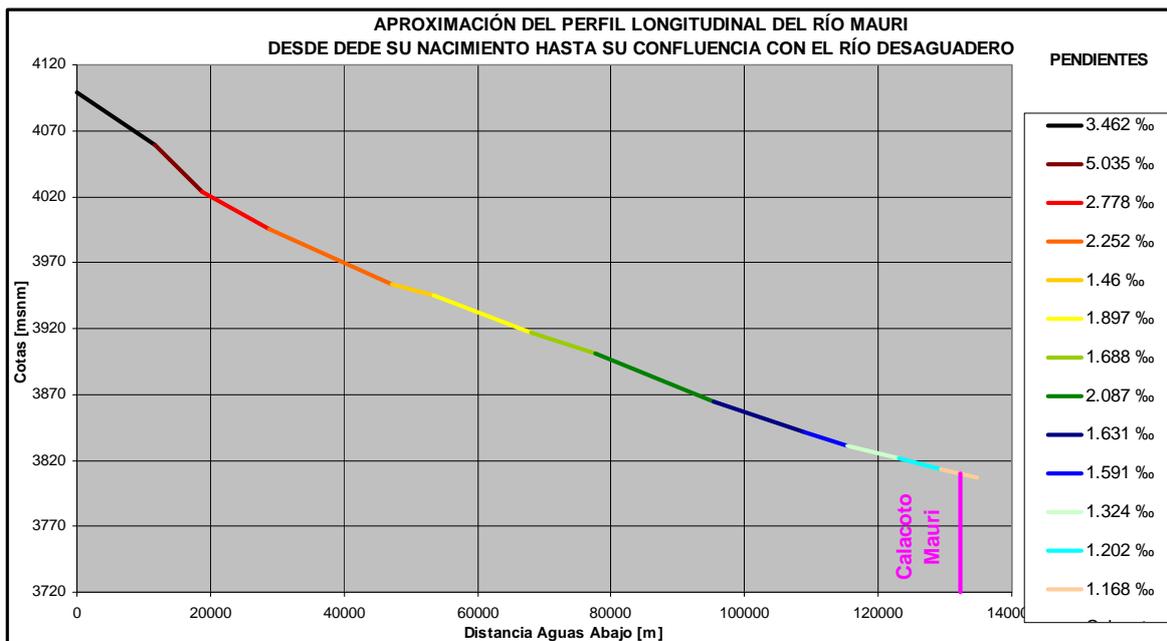


Gráfico 2.2 Aproximación del Perfil Longitudinal del Río Mauri desde su nacimiento hasta la Confluencia con el Río Desaguadero. (Elaboración Propia)

- ***Cálculo Aproximado de Longitudes y Pendientes en las Estaciones Hidrométricas Criticadas en el Presente Estudio.***

Como se mencionó en el punto anterior la pendiente longitudinal del río fue obtenida a partir Modelo de Elevación Digital, la cual es aproximada, lo ideal hubiera sido realizar un levantamiento topográfico a cada una de las estaciones con la finalidad de conocer el perfil longitudinal de río y sus secciones transversales y de esta manera determinar la pendiente existente en el punto de aforo, así también determinar la rugosidad del lecho del cauce natural del río.

Subcuenca	Río	Longitud [m]	Tramo
Hasta la Estación Hidrométrica Chuquiña	Río Desaguadero	99080.1	Aguallamaya - Calacoto Desaguadero
		34475.6	Calacoto Desaguadero - Ulloma
		145170.9	Ulloma - Chuquiña
	Río Mauri	132235.9	Nacimiento - Calacoto Mauri
		2556.7	Calacoto Mauri - Confluencia Desaguadero

Tabla 2.1 Longitud en metros entre estaciones hidrométricas y desde su nacimiento. (Elaboración Propia)

Subcuenca	Río	Estación	Pendiente
Hasta la Estación Hidrométrica Chuquiña	Río Desaguadero	Aguallamaya	0.376 ‰
		Calacoto Desaguadero	0.184 ‰
		Ulloma	0.629 ‰
		Chuquiña	0.237 ‰
	Río Mauri	Calacoto Mauri	1.168 ‰

Tabla 2.2 Pendiente en cada estación hidrométrica en tanto por mil (‰). Valores aproximados. (Elaboración Propia)

3 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE LA CUENCA Y DATOS DISPONIBLES

3.1 Información Hidrométrica disponible en Base de Datos HYDRACCESS de la Primera Fase.

La Base de Datos Hydraccess de la Primera Fase, presenta información hidrométrica disponible para 16 estaciones. En la tabla 3.1 se detalla toda la información hidrométrica disponible con sus respectivos captosres en todos sus periodos de datos para: Cotas (lecturas de escala), Aforos y Caudales a nivel Instantáneo, Diario y Mensual.

3.2 Información Hidrométrica disponible en la Base de Datos HYDRACCESS del SENAMHI.

SENAMHI – LA PAZ brindó toda información disponible y existente en su base de datos actual (hasta la Mayo – Junio 2010 – Hydraccess). La tabla 3.2 presenta la información hidrométrica disponible en la base de datos actual Hydraccess, con sus respectivos captoreos en todo sus periodos de datos para Cotas (lecturas de escala) y Aforos.

A continuación se presentan: Tabla 3.1, Tabla 3.2, y la figura 3.1 de la Red de Estaciones Hidrométricas de la Subcuenca del río Mauri y de la Subcuenca del río Desaguadero hasta la estación de Chuquiña. En símbolo de color rojo y amarillo se muestran las estaciones tratadas en el presente estudio.

Tabla N° 3.1 Información Hidrométrica disponible en la Base de Datos de la Primera Fase – Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

N°	SUBCUENCA	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ZONA	RÍO	LONGITUD	LATITUD	ALT.	ADM.	CAPTOR	DESCRIPCIÓN	COTAS				AFOROS			CAUDALES			
											No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas
1	Altiplano	ABAROA (Río Caqueña)	Bolivia - La Paz	Río Caqueña	-69.2480545	-17.52444458	3950	Desconocido	IE	Capteur Importé	34309	01/05/1966	31/08/2005	2.514	5233	22/11/1963	30/05/2005	34309	01/05/1966	31/08/2005	2.514
									JE	Capteur Importé	13970	18/05/1966	30/08/2005	2.648				11735	01/01/1972	28/02/2004	0.102
									ME	Capteur Importé								382	16/01/1972	16/12/2003	0.521
									I1	Datos criticados OV	35253	22/11/1963	31/08/2005	5.794	5233	22/11/1963	30/05/2005	33454	22/11/1963	31/08/2005	9.978
									J1	Datos criticados OV	14368	23/11/1963	30/08/2005	5.827				13714	23/11/1963	30/08/2005	10.113
									M1	Datos criticados OV	466	16/11/1963	16/08/2005	7.171				439	16/11/1963	16/08/2005	12.55
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)								485	16/08/1965	16/12/2005	0
									M0I	Caudales M-1 rellenos								461	16/10/1963	16/08/2005	8.35
									M2	Caudales Mensuales TDPS rellenos								312	16/01/1965	16/12/1990	0
									M3	Caudales								372	16/01/1975	16/12/2005	0
2	Altiplano	ABAROA (Río Mauri)	Bolivia - La Paz	Río Mauri	-69.2480545	-17.52027702	3950	Desconocido	IE	Cota Principal	34414	12/08/1965	31/08/2005	3.281							
									JE	Cota Principal	14133	12/08/1965	30/08/2005	3.391							
									IM	Cotas Modificadas	10673	12/08/1965	31/12/2004	4.214							
									I1	Datos Criticados OV	34417	12/08/1965	31/08/2005	2.272	4657	12/08/1965	30/08/2005	33888	12/08/1965	31/08/2005	3.667
									J1	Datos Criticados OV	14293	12/08/1965	30/08/2005	2.297				14084	12/08/1965	30/08/2005	3.725
									M1	Datos Criticados OV	466	16/08/1965	16/08/2005	3.119				459	16/08/1965	16/08/2005	4.574
									M0I	Caudales M-1 rellenos								477	16/10/1963	16/11/2005	5.731
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)								485	16/08/1965	16/12/2005	0
									M2	Caudales Mensuales TDPS rellenos								312	16/01/1965	16/12/1990	0
									M3	Caudales								372	16/01/1975	16/12/2005	0
3	Altiplano	CALACOTO	Bolivia - La Paz	Río Desaguadero	-68.6116638	-17.2808342	3790	SENAMHI LA PAZ	I1	Datos Criticados OV	32418	18/02/1965	02/12/2005	1.615	5816	18/02/1965	22/07/2005	31717	29/10/1963	02/12/2005	4.657
									J1	Datos Criticados OV	14974	29/10/1963	01/12/2005	2.608				14652	29/10/1963	01/12/2005	4.702
									M1	Datos Operacionales	490	16/10/1963	16/12/2005	3.353				478	16/10/1963	16/12/2005	5.72
									M0I	Caudales M-1 rellenos								475	16/10/1963	16/12/2005	6.312
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)								485	16/08/1965	16/12/2005	0
									M2	Caudales Mensuales TDPS rellenos								300	16/01/1965	16/12/1989	0
									M3	Caudales Criticados OV								372	16/01/1975	16/12/2005	0
									M4	Caudales Mensuales TDPS originales								285	16/11/1963	16/12/1989	9.236
									IA	Cotas	33295	01/11/1968	02/07/2001	4.307	5874	29/10/1963	04/06/2001	33295	01/11/1968	02/07/2001	4.307

Nota: OV son Datos criticados por Oswaldo Villarrol Cruz – 2005. TDPS-ALT: Caudales Mensuales.

Tabla N° 3.1 (Continuación) Información Hidrométrica disponible en la Base de Datos de la Primera Fase – Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

N°	SUBCUENCA	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ZONA	RÍO	LONGITUD	LATITUD	ALT.	ADM.	CAPTOR	DESCRIPCIÓN	COTAS				AFOROS			CAUDALES			
											No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas
4	Altiplano	CALACOTO (Río Mauri)	Bolivia - La Paz	Río Mauri	-68.6477814	-17.29527855	3792	SENAMHI LA PAZ	I1	Datos Criticados OV	30319	01/05/1976	02/12/2005	0.79	3160	12/02/1976	02/04/2005	29813	01/05/1976	02/12/2005	2.397
									J1	Datos Criticados OV	10718	01/05/1976	01/12/2005	0.824				10541	01/05/1976	01/12/2005	2.461
									M1	Captur Importé	348	16/05/1976	16/11/2005	1.972				342	16/05/1976	16/11/2005	3.662
									M0I	Caudales M-1 rellenados								355	16/10/1963	16/12/2005	29.98
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)								485	16/08/1965	16/12/2005	0
									M2	Caudales Mensuales TDPS rellenados								300	16/01/1965	16/12/1989	0
									M3	Caudales Criticados OV								372	16/01/1975	16/12/2005	0
5	Mauri	CAQUENA NACIMIENTO	Chile - Bolivia	Río Caquena	-69.1844482	-18.06749916		Desconocido	M4	Caudales Mensuales TDPS originales								126	16/05/1976	16/12/1990	28.409
									M5	Caudales ALT							396	16/01/1965	16/12/1997	0	
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
6	Mauri	CAQUENA VERTEDERO	Chile - Bolivia	Río Caquena	-69.2502747	-17.9841671		Desconocido	M0I	Caudales								485	16/08/1965	16/12/2005	0
									M1	Datos Caudales Chile							166	16/01/1990	16/12/2004	7.778	
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
7	Maure	CHALLAPALCA	Peru - Bolivia	Río Maure	-69.7833328	-17.21666718	4230	Desconocido	M0I	Caudales								485	16/08/1965	16/12/2005	0
									M1	Caudales							118	16/01/1964	16/12/1973	1.667	
									M5	Caudales ALT							396	16/01/1965	16/12/1997	0	
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
8	Maure	CHILICULCO	Peru - Bolivia	Río Chiliculco	-69.75	-17.18333244	4400	Desconocido	M1	Caudales								88	16/01/1989	16/12/1996	8.333
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M0I	Caudales							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
9	Maure	CHUAPALCA	Peru - Bolivia	Río Maure	-69.6500015	-17.29999924	4158	Desconocido	M1	Caudales								380	16/01/1963	16/12/2002	20.833
									M5	Caudales ALT							396	16/01/1965	16/12/1997	0	
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M0I	Caudales							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
10	Altiplano	CHUQUINA	Bolivia - Oruro	Río Desaguadero	-67.4608307	-17.69055557	3710	SENAMHI ORURO	I1	Datos Criticados OV	25363	01/01/1972	30/06/2005	16.212	1920	01/01/1972	26/08/2005	24460	01/01/1972	30/06/2005	21.112
									J1	Datos Criticados OV	10243	02/01/1972	29/06/2005	16.267				9643	15/01/1974	29/06/2005	16.068
									M1	Datos Criticados OV	330	16/01/1972	16/06/2005	17.91				315	16/01/1974	16/06/2005	16.667
									M0I	Caudales M-1 rellenados							405	16/10/1963	16/11/2005	19.96	
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M2	Caudales Mensuales TDPS rellenados							300	16/01/1965	16/12/1989	0	
									M3	Caudales Criticados OV							372	16/01/1975	16/12/2005	0	
									M4	Caudales Mensuales TDPS originales							86	16/04/1972	16/08/1984	42.282	
									IL	Cotas de Limnigrafo	4834	06/03/2001	03/01/2005	0.091							
IX	Captur Importé																				
																					JL

Nota: OV son Datos criticados por Oswaldo Villarroel Cruz – 2005. TDPS-ALT: Caudales Mensuales.

Tabla N° 3.1 (Continuación) Información Hidrométrica disponible en la Base de Datos de la Primera Fase – Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

N°	SUBCUENCA	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ZONA	RÍO	LONGITUD	LATITUD	ALT.	ADM.	CAPTOR	DESCRIPCIÓN	COTAS				AFOROS			CAUDALES			
											No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas
11	Mauri	COLPACAGUA DESEMBOCADURA	Chile - Bolivia	Río Colpacagua	-69.2180557	-18.00138855		Desconocido	M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M0I	Caudales							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M1	Datos Caudales Chile							154	16/01/1990	16/12/2005	19.792	
12	Maure	COPAPUJO	Peru - Bolivia	Río Copapujo	-69.7666702	-17.26666641	4235	Desconocido	M1	Caudales						78	16/07/1990	16/12/1996	0		
13	Maure	FRONTERA	Peru - Bolivia	Río Maure	-69.4499969	-17.46666718	4000	Desconocido	M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M0I	Caudales							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M1	Caudales							229	16/01/1964	16/12/2002	51.068	
									M5	Caudales ALT							396	16/01/1965	16/12/1997	0	
14	Maure	COVIRE	Peru - Bolivia	Río Ancoaque	-69.9166641	-17.20000076	4350	Desconocido	M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M0I	Caudales							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M1	Caudales							144	16/07/1988	16/07/2003	20.442	
									M1R	Caudales ALT							396	16/01/1965	16/12/1997	0	
									M6	Caudales(KovBof+KovTunel)							140	16/07/1988	16/05/2003	21.788	
15	Lluta	LLUTA EN ALCERRECA	Chile - Bolivia	Río Lluta	-69.617775	-17.98444366		Desconocido	M1	Datos Caudales Chile						143	16/01/1990	16/12/2005	25.521		
16	Maure	MAMUTA1	Peru - Bolivia	Río Mamuta 1	-69.6333313	-17.56666756	4250	Desconocido	M1	Caudales						81	16/07/1990	16/03/1997	0		
17	Maure	MAMUTA2	Peru - Bolivia	Río Mamuta 2	-69.6333313	-17.56666756	4250	Desconocido	M1	Caudales						81	16/07/1990	16/03/1997	0		
18	Altiplano	ULLOMA	Bolivia - La Paz	Río Desaguadero	-68.5	-17.48999977	3775	SENAMHI LA PAZ	I1	Datos Criticados OV	20868	06/11/1975	30/06/2005	0.803	3084	02/01/1976	08/05/2005	20262	02/01/1976	30/06/2005	3.115
									J1	Datos Criticados OV	10741	06/11/1975	29/06/2005	0.813				10431	03/01/1976	29/06/2005	3.157
									M1	Datos Criticados OV	350	16/11/1975	16/06/2005	1.685				344	16/01/1976	16/10/2005	3.911
									M0I	Caudales M-1 rellenos							356	16/10/1963	16/11/2005	29.644	
									M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M2	Caudales Mensuales TDPS rellenos							300	16/01/1965	16/12/1989	0	
									M3	Caudales Criticados OV							372	16/01/1975	16/12/2005	0	
									M4	Caudales Mensuales TDPS originales							117	16/01/1976	16/12/1989	30.357	
19	Maure	VILACOTA	Peru - Bolivia	Río Quilvire	-70.0666656	-17.03333282	4400	Desconocido	M0F	Caudales Rellenados (65-05)							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M0I	Caudales							485	16/08/1965	16/12/2005	0	
									M1	Caudales							406	16/01/1964	16/12/1998	3.333	
									M1R	Caudales ALT							396	16/01/1965	16/12/1997	0	

Nota: OV son Datos criticados por Oswaldo Villarroel Cruz – 2005. TDPS-ALT: Caudales Mensuales.

Tabla N° 3.2 Información Hidrométrica disponible para el periodo Agosto 2002 – Mayo 2010, en el Base de Datos HYDRACCESS – SENAMHI LA PAZ y Base de datos Actual de AGUA SUSTENTABLE. (Elaboración Propia)

Subcuenca	Nombre de la Estación	Río	Zona	Longitud	Latitud	Alt.	Administrador	BASE		Descripción	COTAS				AFOROS		
								SENAMHI	ACTUAL		No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final	% lagunas	No Valores	Fecha Inicio	Fecha Final
ALTIPLANO	AGUALLAMAYA	Desaguaro	La Paz	-68.90000153	-16.81500053		La Paz	IE	IE	Captteur Importé-Originales	23600	01/07/1973	30/04/2010	25.737	633	21/04/1992	29/11/2009
									IS	DATOS CRITICADOS RIAR	23600	01/07/1973	30/04/2010	25.737	633	21/04/1992	29/11/2009
	CALACOTO	Desaguaro	La Paz	-68.61166382	-17.2808342		La Paz	I1	IE	Datos Operacionales-Mas datos	36390	01/11/1968	07/06/2010	1.113	6255	29/10/1963	31/10/2009
								IA	IA	Datos de la Automatica	245	28/11/2009	16/03/2010	0			
								IE		Cotas Originales	33295	01/11/1968	02/07/2001	4.307	5883	29/10/1963	30/06/2010
	CALACOTO (Rio Mauri)	Mauri	La Paz	-68.64778137	-17.29527855		La Paz		IS	DATOS CRITICADOS RIAR	36390	01/11/1968	07/06/2010	1.113	6255	29/10/1963	31/10/2009
								IA	IA	Datos de la Automatica	260	28/11/2009	16/03/2010	0			
								IE	IE	Captteur Importé-Originales	33543	01/05/1976	07/06/2010	0.779	3276	01/01/1964	30/06/2010
									IS	DATOS CRITICADOS RIAR	33543	01/05/1976	07/06/2010	0.779	3276	01/01/1964	30/06/2010
								JE		Captteur Importé	12141	01/05/1976	22/10/2009	0.711			
	CHUQUINA	Desaguaro	Oruro	-67.46083069	-17.69055557		Oruro	IE	IE	Captteur Importé-Originales	28424	01/01/1972	31/05/2010	16.436	2112	01/01/1972	27/03/2010
								IG	IG	Cotas Serpe	3994	01/01/1991	16/01/2007	93.119			
								IL	IL	Cotas de Limnigrafo	11535	06/03/2001	30/09/2006	25.544			
								IL1		Cotas de Limnigrafo antes	4834	06/03/2001	03/01/2005	0.091			
									IS	DATOS CRITICADOS RIAR	28424	01/01/1972	31/05/2010	16.436	2112	01/01/1972	27/03/2010
								JE		Captteur Importé	11372	02/01/1972	29/06/2009	16.956			
								JL	JL	Cotas de Limnigrafo	1498	07/03/2001	29/09/2006	26.316			
	ME		Captteur Importé	332	16/01/1972	16/04/2009	25.893										
	ULLOMA	Desaguaro	La Paz	-68.03333282	-16.39999962		La Paz	IE	IE	Captteur Importé-Originales	24457	06/11/1975	07/06/2010	1.186	3383	02/01/1976	30/04/2010
									IS	DATOS CRITICADOS RIAR	24457	06/11/1975	07/06/2010	1.186	3383	02/01/1976	30/04/2010
								JE		Captteur Importé	12325	06/11/1975	03/01/2010	1.226			
		ME		Captteur Importé	393	16/11/1975	16/11/2009	3.912									

Nota: IA son Lecturas de Nivel de Agua del Registrador Automático. IL son Lecturas del Nivel de Agua con Limnigrafo. IG son Lecturas de Nivel de Agua Horario SERPE. Base Actual: Base de Datos de Agua Sustentable.

Figura N° 3.1 Mapa de la Red Hidrométrica de las Estaciones Hidrométricas ubicadas en la Subcuenca de la Estación Chuquiña . Criticadas hasta el 2005 por Villarroel y Criticadas del 2002 al 2010 por Aguilar R. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)



4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DE CRÍTICA

4.1 *Hidrografía, identificación y ubicación de las estaciones hidrométricas en la cuenca.*

- Con la información obtenida del Modelo de Elevación Digital 90x90 m (año 2000) y la Imagen Satelital (año 2005), junto a la información básica proporcionada por el SENAMHI-La Paz, Bolivia se pudo generar la Red Hidrográfica sobre la Subcuenca de la Estación Chuquiña con el objeto de conocer todos los afluentes y el potencial de aporte en cada estación hidrométrica.
- Recolección y generación de Información Geoespacial para la evaluación de algunas características de la cuenca como ser: Relieve e Hidrografía de la Subcuenca de la estación Chuquiña.
- Para la verificación de las coordenadas de las estaciones hidrométricas ubicadas sobre la red hidrográfica de la Subcuenca Chuquiña se utilizaron: Cartas Topográficas escala 1:50000 y una Imagen Satelital de 15x15 m de resolución.

4.2 *Inventario de los datos disponibles.*

Para las 5 estaciones: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña se tiene la información:

- SENAMHI – La Paz, Bolivia brindó toda la información en formato digital, correspondiente a las estaciones en estudio. Información que se encuentra en su base de datos HYDRACCESS.
- Solamente estuvo a nuestro alcance la información en formato papel (libretas originales de aforo) en las siguientes estaciones y en sus respectivos periodos de datos, según la Figura 4.1. La metodología implica, si es necesario, la revisión de la información analógica, con el fin de mejorar la calidad de la información hidrométrica básica de la base de datos HYDRACCESS.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

NOTA DE RESGUARDO

La Señorita : **Ing. Isabel Aguilar**, se hace responsable de las siguientes Libretas de aForo Originales, que se detallan a continuación:

Con fecha: 09-09-2010

DESCRIPCION	UNIDAD	OBSERVACIONES
Libretas de Aforo Aguallamaya	5	Jun. a Dic. 2003
Calacoto Desaguadero	8	Feb. a Dic. 2004
	16	Ene. a Mayo 2005
		Ene. a Dic. 2008
		Ene. a Oct 2009 Feb. a Abril 2010
Ulloma	2	Oct. a Nov. 2004 -Jul. a Oct 2005
	6	Dic2007 Ene. a Dic.2008 y Ene. 2009
	6	Feb. a Dic. 2009 y Ene. 2010
	2	Feb. a Abril 2010
Calacoto Mauri	5	Jun. a Oct. 2003 Sep. a Dic. 2004 Ene. y Feb. 2005
	7	Abril a Oct. 2009
		Feb. a Abril 2010


Recibí Conforme
Isabel Aguilar


Entregue Conforme
Luis Noriega F.

Autorizado por:

Lic. Elmer Lopez N.
DIRECTOR ADMINISTRATIVO
SENAMHI

Figura 4.1 Inventario de la información analógica de las libretas originales de aforos proporcionadas por el SENAMHI La Paz, Bolivia.

4.3 Digitalización de la Información Hidrométrica en la Base de datos de Agua Sustentable (base de datos generada en el presente análisis).

No fue necesaria la digitalización de los datos debido a que el SENAMHI - La Paz, cuenta con toda la información ya digitalizada en la base de datos HYDRACCESS, para el periodo en estudio. La base de datos creada para el presente estudio, denominada Base de Datos de Agua Sustentable cuenta con la información de lecturas de escala y aforos para las 5 estaciones criticadas en el presente estudio con sus respectivos captores, en algunos casos se les ha cambiado el nombre denominándolos captor I E a los datos originales, los cuales no pueden ser modificados, por lo tanto se crearon captores denominados I S para Cotas (lecturas de escala) y Aforos, lo que significa que este captor tiene la misma información que el captor I E pero estará sujeto a ser analizado y criticado en el presente estudio. También se digitalizó la estación Frontera ubicada en la subcuenca del río Mauri. La estación no es parte de nuestro estudio por lo tanto solo fue incorporada en la Base de Datos de Agua Sustentable a petición del Ing. Molina, el cual nos brindo la información sobre caudales diarios y mensuales de la estación.

Se presentan los gráficos 4.1, 4.2 y 4.3 en los que se observa el Cronograma de Lecturas de Escala, el Cronograma de Aforos y un cronograma conjunto de los dos anteriores para las estaciones Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña respectivamente.

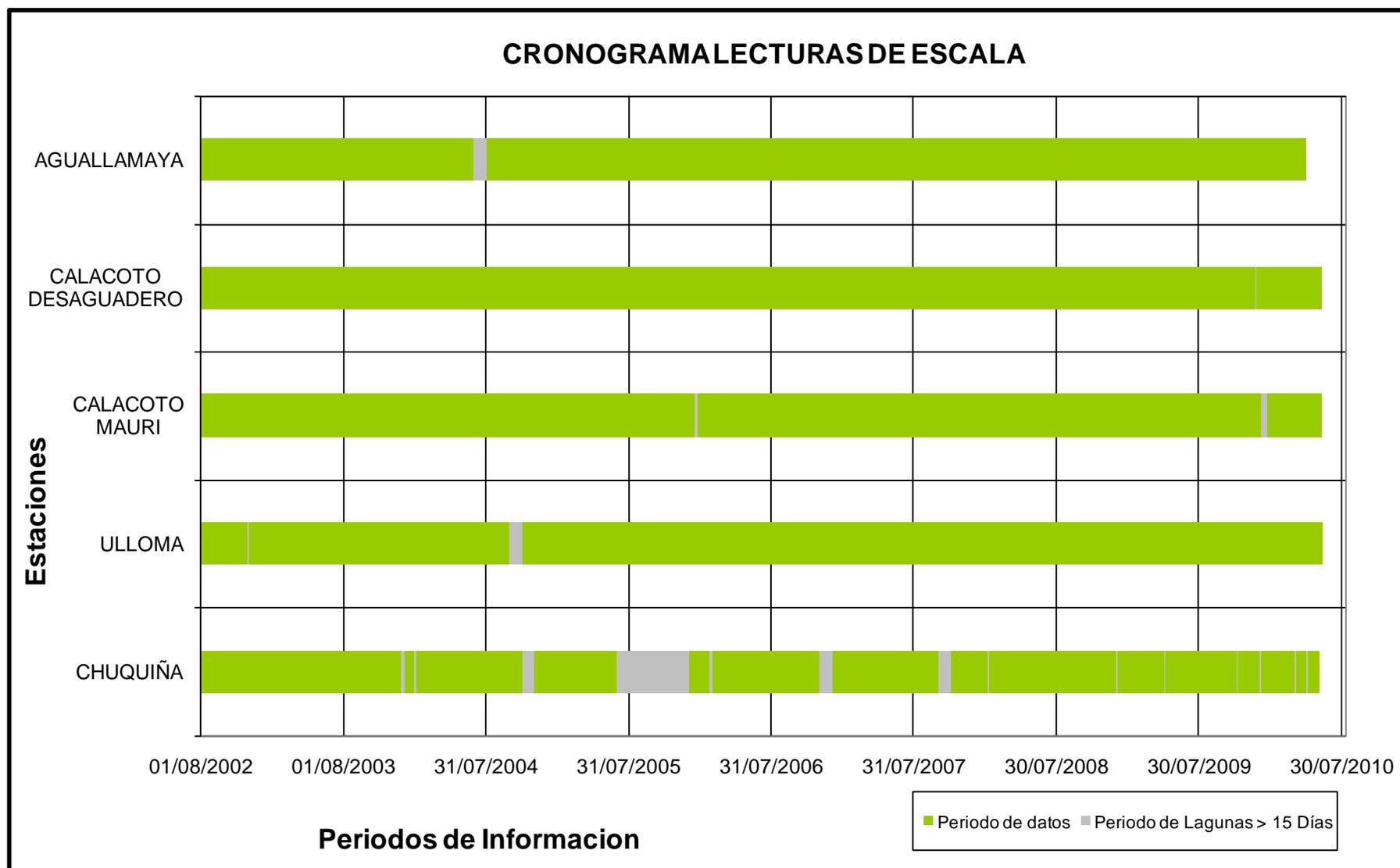


Gráfico 4.1 Inventario de Lecturas de escala en las estaciones hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña. (Elaboración Propia)

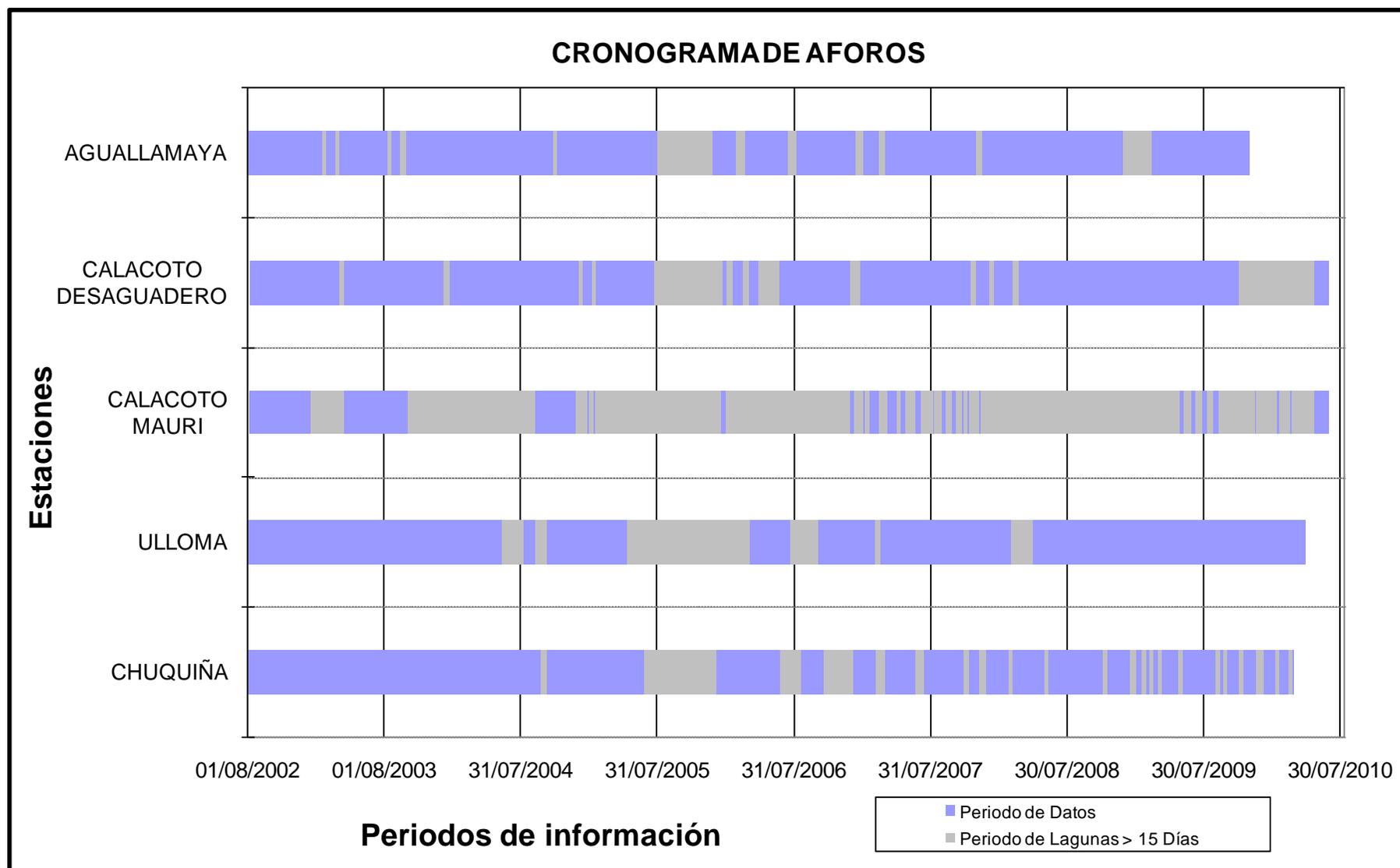


Gráfico 4.2 Inventario de aforos en las estaciones de hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, para identificar periodos de lagunas mayores a los 15 días. (Elaboración Propia)

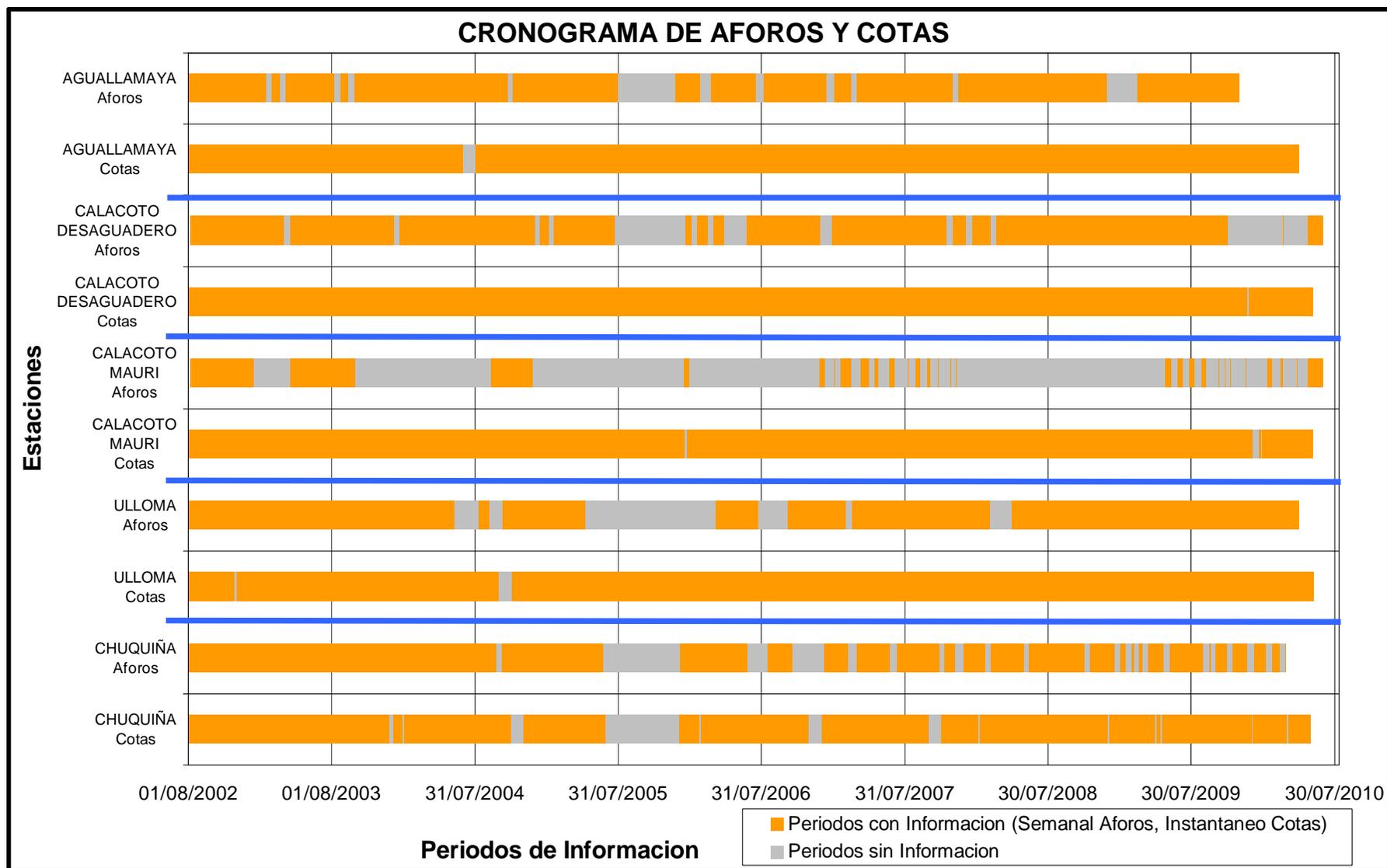


Gráfico 4.3 Inventario de aforos y lecturas de escala en las estaciones hidrométricas: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, para identificar periodos de lagunas mayores a los 15 días. (Elaboración Propia)

4.4 Elaboración de un captor de trabajo.

Para cada estación:

- Utilizando la función “Editar los captores” en el programa Hydraccess, se hizo un inventario de los captores instantáneos existentes para las estaciones Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, y creó captores para la introducción de los datos hidrométricos.
- Se creó un nuevo captor [I = Instantáneos, I-S – Datos criticados por RIAR – Ruby Isabel Aguilar Rey] en el cual se introdujo una serie de cotas y de aforos disponibles (Datos instantáneos). Éste es el captor de trabajo criticado. Los captores ya presentes en la base están guardados como archivos y no están sujetos a ser modificados.
- Utilizando las funciones Hydraccess de visualización en Excel, visualizamos las series de cotas y de aforos disponibles para ver cuales series son las más largas y confiables, y cuales captores tienen a la vez cotas y aforos.

4.5 Análisis de las lagunas y relleno de las series de cotas.

En la serie de trabajo I-S, visualizando la serie de cotas con Excel junto con las series de cotas I-E, I-1 ó/y I-A, I-G, I-L existentes respectivamente del grupo de estaciones de Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña, se pudo realizar:

- Identificación y corrección de los errores groseros: error de unidad (error de un factor 10), error de tecleo (error de una cifra o de una coma).
- Identificación de las lagunas en la serie de cotas, identificación de las interpolaciones excesivas y adición de una celda en blanco en la serie Hydraccess.

Con la finalidad de tener series instantáneas con la mayor cantidad de meses completos, se realizó:

- Comparación de la serie de cotas de la estación observada con las series de cotas instantáneas de las otras estaciones de la cuenca para interpolar y rellenar datos faltantes sobre algunos días especialmente en la época seca. Esto corresponde a suprimir una laguna en el captor y a insertar valores con el código “R=Reconstitución”.
- Relleno de lagunas de algunos días por correlación lineales simples y múltiples sobre las cotas diarias de las estaciones vecinas (con el programa Cormul).
- Cuando la serie tiene lagunas de uno o varios meses, se debe verificar que siempre exista un valor instantáneo para el primer y último día del mes, esto en todos los meses de datos, con la finalidad de obtener datos diarios y a partir de estos los mensuales y anuales, ya que el programa Hydraccess calcula a partir de un captor I (Instantáneos) los captores J (Diarios) y los captores M (Mensuales). Entonces si en la serie instantánea (I-S) le falta un valor para el día, Hydraccess no podrá calcular el valor diario del día J en la serie diaria (J-S). Si falta un día del mes M en la serie diaria (J-S), Hydraccess no calculará el valor del mes M correspondiente en la serie mensual (M-S). Entonces en la serie mensual (M-S), una laguna de

un mes puede corresponder en realidad a la ausencia de un valor instantáneo del último día del mes anterior.

4.6 Análisis de la serie de aforos.

Con la funciones de Hydraccess de visualización de aforos en Excel:

- Se pudo averiguar que la serie de aforos sigue la serie de cotas¹ instantáneas.
- Se identificaron los periodos sin aforos y los periodos con aforos (aforos para el inicio de la serie solamente).
- Se visualizaron los aforos en un gráfico Caudal vs. Cota para tener una primera idea de la calidad de los aforos (dispersión, aforos hasta que caudal).

4.7 Realización de las curvas de calibración a partir de los aforos.

Utilizando el programa Hydraccess en la pestaña Calibra, se elaboraron curvas de calibraciones, ayudándonos de todas las funciones disponibles:

- Se visualizó las cotas para ver desfases eventuales anormales en la serie de cotas (gradas) para identificar una descalibración.
- Se utilizó el cursor de los aforos para ver saltos de una curva a otra.
- Se construyó curvas potenciales para el periodo que tiene más aforos, siguiendo la tendencia del aforo y validándolas con la ecuación de Manning Strickler, utilizando las pendientes longitudinales de cada estación hidrométrica.

Se debe tener cuidado con el captor de salida de cada curva que es por defecto un captor de caudal que tiene el mismo nombre que el captor de cotas instantáneas.

4.8 Producción de series de caudales.

Una vez realizadas las curvas de calibración, para cada estación:

- Se calculó la serie de caudales instantáneos IS a partir de las curvas de calibración.
- Se calculó la serie de caudales diarios JS a partir de la serie instantánea IS.
- Y se calculó la serie de caudales mensuales MS a partir de la serie de caudales diarios JS.

4.9 Comparación de las series de caudales obtenidos.

Utilizando las funciones de visualización en Excel se realizó la:

- Comparación al nivel diario para identificar escaleras eventuales y para averiguar la coherencia del aumento de los caudales desde aguas arriba hasta aguas abajo, cambio de fecha de descalibración si necesario y ajuste de las curvas.

¹ En el presente informe nos referiremos al termino de Cotat cuando se trate de lecturas de escala (alturas hidrométricas)

- Comparación al nivel mensual para averiguar la coherencia del aumento de los caudales hacia aguas abajo.

4.10 Relleno de las series de caudales mensuales.

Con la meta de tener el mayor número de años hidrológicos completos (Septiembre hasta Agosto para las estaciones en estudio) se realizó:

- Rellenos de las series mensuales por correlaciones sobre caudales mensuales de las estaciones vecinas de la cuenca,
- Rellenos por promedios de los mismos meses de años disponibles para la estación si la laguna es pequeña y si corresponde a la época seca.

Fue indispensable en este paso crear un captor M0 que es el captor M1 relleno, de tal manera que cuando se cambiaron las curvas de calibración y se volvieron a calcular los caudales instantáneos I1, diarios J1 y mensuales M1, no se pierdan los caudales mensuales rellenos en el captor M0. Cada vez que se vuelve a calcular la serie M1, se tiene que cambiar los caudales modificados en la serie M0.

4.11 Análisis de consistencia con el Vector Regional.

Para validar los caudales mensuales obtenidos, está recomendado hacer un análisis de consistencia con el Método del Vector Regional, los pasos se siguió fueron:

- Primero elaborar el Vector Regional Anual incluyendo todas las estaciones de la cuenca. En éste, se identifican las estaciones que están muy alejadas de la tendencia general y se trabaja sobre las estaciones más confiables. Luego se procedió estación por estación (generalmente de aguas abajo hacia aguas arriba) identificando los años malos y tratando de corregir las curvas de calibración o los caudales rellenos. En este paso, la visualización de las series cronológicas de caudales mensuales ayudó mucho.
- Una vez realizados los ajustes para mejorar el Vector Regional Anual y para que las series de índices anuales se parezcan de una estación a otra, se calcularon los Vectores Regionales Mensuales con las mismas estaciones (las más confiables). Se procedió estación por estación y mes por mes para identificar cuales meses de cuales años no siguen la tendencia general. Se corrigió cuando se pudo las curvas de calibración de los meses correspondientes. En nuestro caso solo contamos con cinco estaciones hidrométricas, número suficiente para generar el Vector Regional.

5 TRATAMIENTO POR ESTACIÓN

5.1 Aguallamaya (Río Desaguadero).

5.1.1 Características Generales.

Estación	AGUALLAMAYA	
Características hidrográficas	Río	Desaguadero
	Subcuenca	Estación Chuquiña
Características geográficas	Norte UTM DATUM WGS 84	8140941.12
	Este UTM DATUM WGS 84	510219.38
	Altura (m.s.n.m.)	3806
	País	Bolivia
Acceso:	Se encuentra ubicada aproximadamente 800 [m] de la localidad de Aguallamaya. Aguas abajo del puente Vial en la margen izquierda hidráulica del río Desaguadero. (En Base a SENAMHI – La Paz, Bolivia)	
Administrador	SENAMHI – La Paz, Bolivia.	
Fecha de apertura	1973.	
Cierre /rehabilitación	La estación esta en constante funcionamiento desde su apertura hasta la fecha.	
Mediciones y equipamiento	Cotas Originales Captor I-E: 01/07/73-30/04/2010	Cotas leídas en escalas limnimétricas correspondientes al captor I-E.
	Cotas Criticadas Captor I-S: 01/07/73-30/04/2010	Cotas copiadas del captor I-E y criticados.
	Aforos disponibles Captor I-E: 21/04/92-29/11/2009	SENAMHI – La Paz, brindó toda la información disponible. Captor I-E. Aforos datos originales
	Aforos Criticados Captor I-S: 21/04/92-29/11/2009	Aforos copiados del captor I-E y criticados.
Informaciones complementarias disponibles	La estación fue visitada varias veces por el personales del SENAMHI – La Paz, Bolivia.	

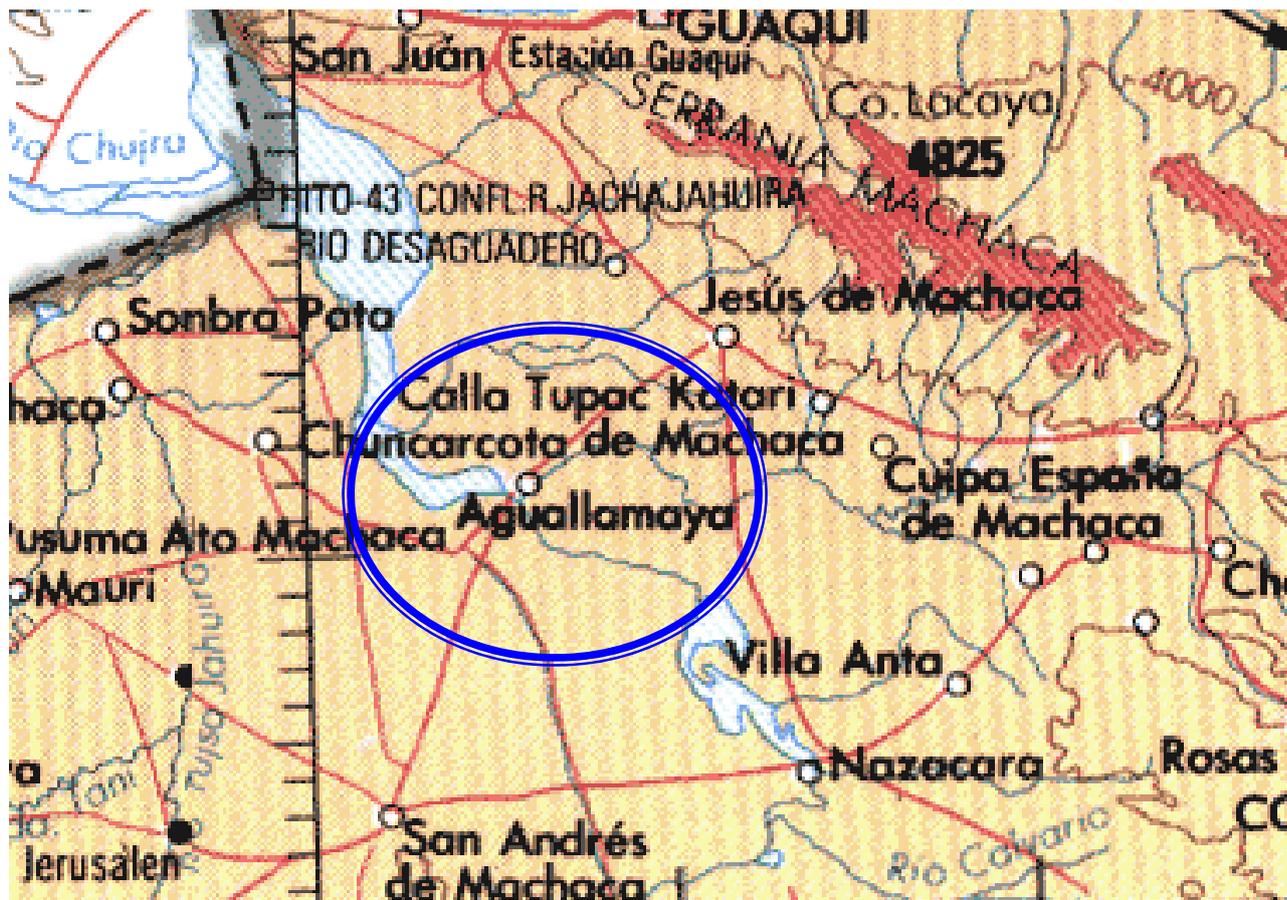


Figura 5.1 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Aguallamaya.

5.1.2 Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.

En la base Hydraccess se encontró un solo captor que es el siguiente:

Lecturas de escala y caudales diarios brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia.

- 1. Captor I-E de Cotas Instantáneas (SENAMHI – La Paz, Bolivia).
- 2. Captor I-E de Aforos (SENAMHI – La Paz, Bolivia).

5.1.3 Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.

A partir de los captosres disponibles, es importante mencionar que el captor de cotas instantáneas denominado I-E contiene la información original de serie de cotas instantáneas. Es necesario tomar en cuenta que éste captor no debe ni puede estar sujeto a modificaciones ya que es un captor de datos originales, por lo tanto se creó un captor denominado I-S el cual tiene la misma información del captor I-E, con la diferencia de que puede ser modificado, a partir de éste captor se calcularan las cotas diarias J-S y los caudales diarios J-S, caudales mensuales M-S y anuales. Entonces los captosres I-S de cotas y aforos serán utilizados para tratar la información hidrométrica.

5.1.4 Tratamiento de las lecturas de escala.

Primera-última cota disponible : 01/08/02-30/04/2010.

Nº de días de lagunas: 33 días de Laguna.

Calidad general de los datos : Buena.

Tratamiento de los datos : Análisis por correlaciones lineales y análisis de consistencia.

La estación Aguallamaya presenta datos completos en el periodo de estudio y en general de buena calidad. Para ver la confiabilidad de cotas se utilizaron las correlaciones lineales para lo cual fue necesario tomar en cuenta las estaciones de Calacoto Desaguadero y Ulloma.

Las buenas correlaciones con estas estaciones permitieron ver la confiabilidad de las cotas de Aguallamaya. Sin embargo, para averiguar la calidad de las cotas, en los periodos que ya se encontraban rellenos, las estimaciones obtenidas de las correlaciones lineales múltiples con sus estaciones vecinas, mostraron que los datos no eran de buena calidad por lo que fueron sustituidos por las estimaciones obtenidas. Los datos disponibles fueron tratados de la siguiente manera:

Cotas Disp.	Lagunas	Relleno	Análisis y tratamiento
01/08/2002-30/03/2003			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
		30/03/03-	Periodo relleno: En la base de datos Hydraccess, ya se

		18/06/03	<p>encontraba rellenado.</p> <p>Lo primero que se realizó fue considerar las cotas aforadas de Aguallamaya como si fuesen observadas, con la finalidad de ver la calidad de los datos rellenados en la misma estación. Por lo que el relleno realizado fue considerando las cotas aforadas de la estación. Las estimaciones obtenidas por correlaciones con sus estaciones vecinas mostraban la buena correlación que existe en este periodo. Los datos son de buena calidad y confiables.</p>
19/06/03-23/09/03			<p>Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.</p>
		24/09/03-31/12/03	<p>Periodo rellenado En la base de datos Hydraccess, ya se encontraba rellenado.</p> <p>Periodo de datos sustituidos y rellenados a partir de las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas Calacoto Desaguadero y Ulloma mostraban que los datos en este periodo no eran de buena calidad, por lo tanto fue reemplazado por las estimaciones debido a la buena correlación que existe en este periodo. Los datos son de buena calidad y confiables.</p>
01/01/2004-23/03/04			<p>Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.</p>
		24/03/04-01/08/04	<p>Periodo rellenado En la base de datos Hydraccess, el periodo 24/03/04-30/06/04 ya se encontraba rellenado.</p> <p>Laguna de 33 días 30/06/04-01/08/04.</p> <p>Periodo de datos sustituidos y rellenados a partir de las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas Calacoto Desaguadero y Ulloma mostraban que los datos en este periodo no eran de buena calidad, por lo tanto fue reemplazado por las estimaciones debido a la buena correlación que existe en este periodo. Los datos son de buena calidad y confiables.</p>
02/08/04-29/04/10			<p>Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.</p>
		30/04/10-	<p>Periodo Rellenado con las estimaciones obtenidas por</p>

		06/06/10	correlaciones lineales con sus estaciones vecinas Calacoto Desaguadero y Ulloma. Los datos en este periodo son confiables y de buena calidad
--	--	----------	---

Tabla 5.1 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la base de datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Aguallamaya. (Elaboración Propia)

5.1.5 • Aforos disponibles.

Aforos disponibles : 21/04/1992-29/11/2009

Calidad de los datos : Los datos de aforos son de buena calidad.

Cantidad de datos : Mediciones de aforos, una vez por semana.

Para visualizar de mejor manera la cantidad de los aforos y la regularidad de los mismos, se presenta la Tabla 5.2, la cual se obtuvo del Gráfico 5.1., mostrado más abajo.

Cantidad de datos	Datos faltantes	Observaciones
03/08/02 – 31/07/05		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje.
	01/08/05-23/12/05	Laguna de 145 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
24/12/05-25/02/06		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en épocas de crecida.
	26/02/06-24/03/06	Laguna de 27 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
25/03/06-15/07/06		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje.
	16/07/06-05/08/06	Laguna de 21 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
06/08/06-13/01/07		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje.
	14/01/07-02/02/07	Laguna de 20 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
03/02/07-27/12/08		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje.
	28/12/08-13/03/09	Laguna de 76 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
14/03/09-29/11/09		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje.

Tabla 5.2 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Aguallamaya. (Elaboración Propia)

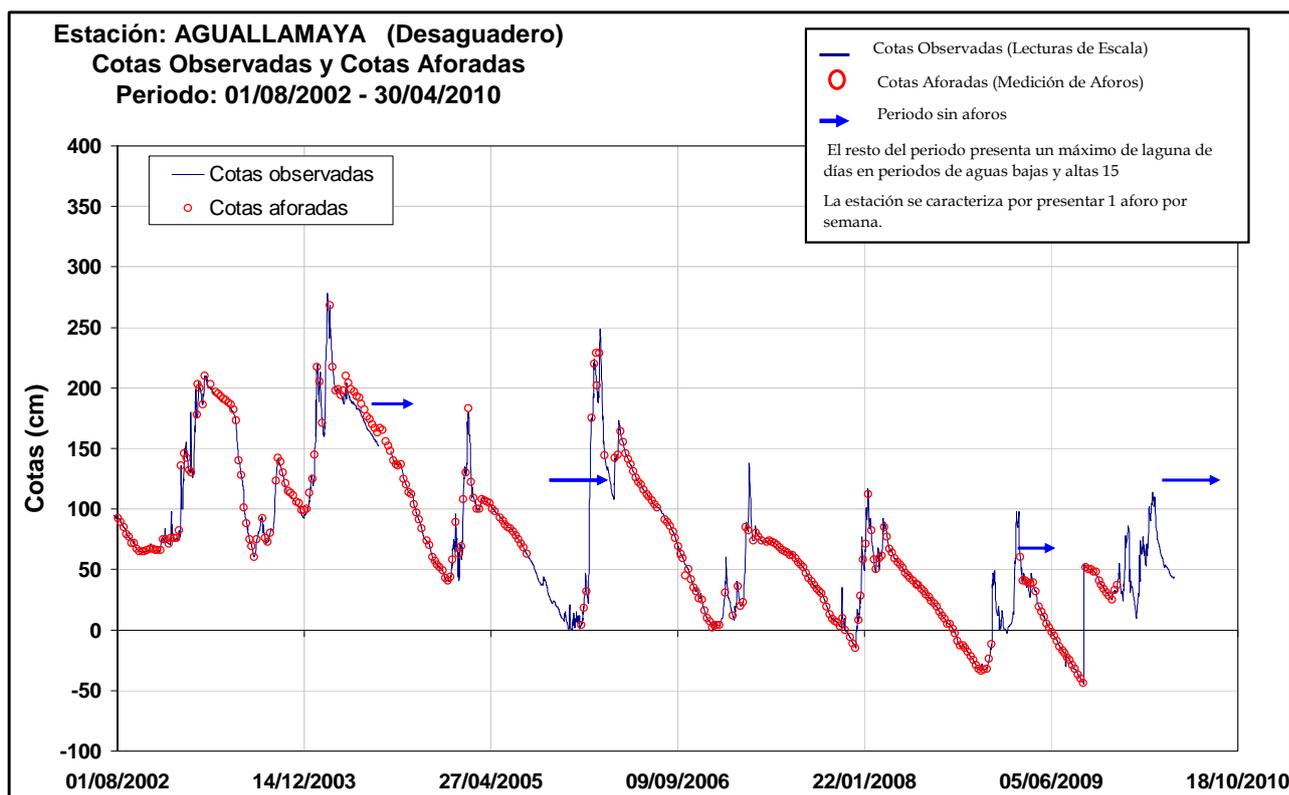


Gráfico 5.1 Cotas observadas y Cotas aforadas. Aguallamaya. (Elaboración Propia)

5.1.6 Realización de curvas de calibración.

La estación Aguallamaya presenta 15 curvas de calibración para el periodo 01/08/2002 al 29/11/2009. Para obtener la Curva de Calibración Típica se utilizó la serie de aforos en el periodo 31/01/04 – 31/07/2005, debido a que ésta serie presenta mayor cantidad de aforos en aguas altas, medianas y bajas, para ello fue necesario ajustar 2 curvas de calibración:

- **La primera curva** se trazó siguiendo la tendencia de los aforos cuya ecuación es Potencial de Grado 2,
- **La segunda curva** se trazó por Manning Strickler, donde el coeficiente de Manning fue estimado a partir de los aforos disponibles para aguas altas, considerando la pendiente hidráulica de 0.000376^2 . La curva de tendencia del coeficiente de Manning en función de la cota está presentada en el gráfico 5.3, para lo cual se utilizaron las secciones transversales de aforo.

Como se observa en el gráfico 5.2, ambas curvas tienen la misma forma y magnitud hasta la cota 230 de ahí en adelante la curva definida por Manning indica que debemos ajustar la parte alta de las curvas de calibración. Por lo tanto la primera curva de calibración fue ajustada según Manning y de igual forma el resto de las 14 curvas de calibración.

² Dato obtenidos del Modelo de Elevación Digital de la Subcuenca del la estación Chuquiña.

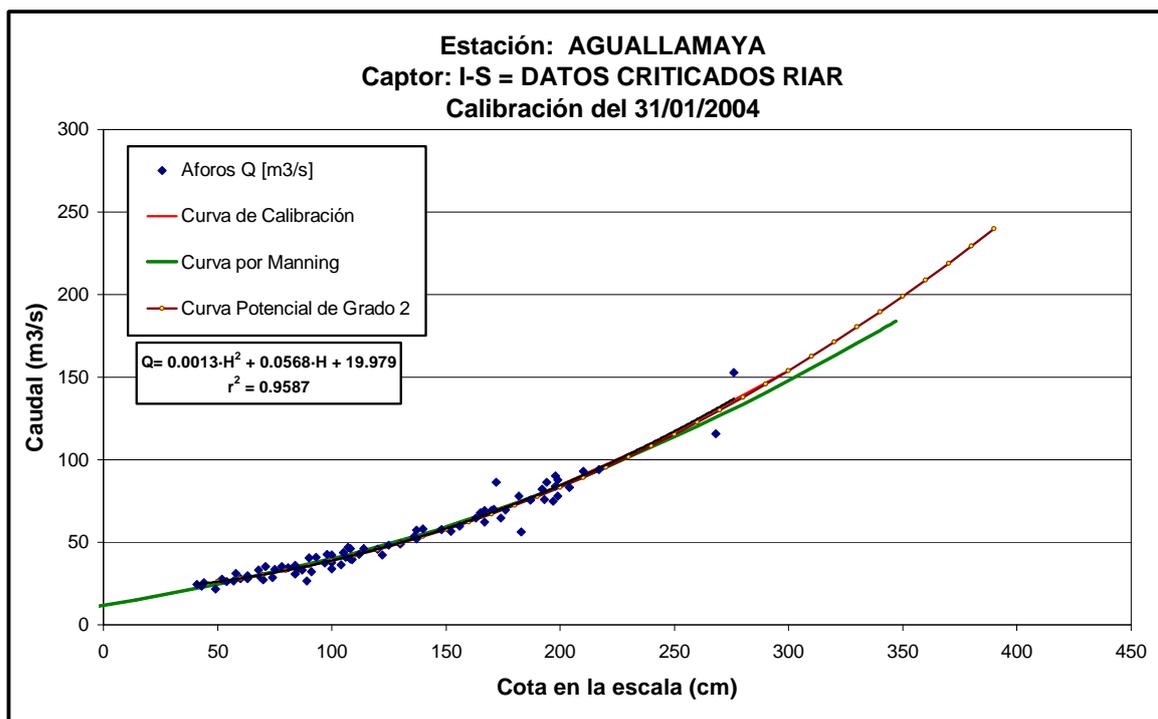


Gráfico 5.2 Curva de calibración típica -Periodo 31/01/2004. Aguallamaya. (Elaboración Propia)

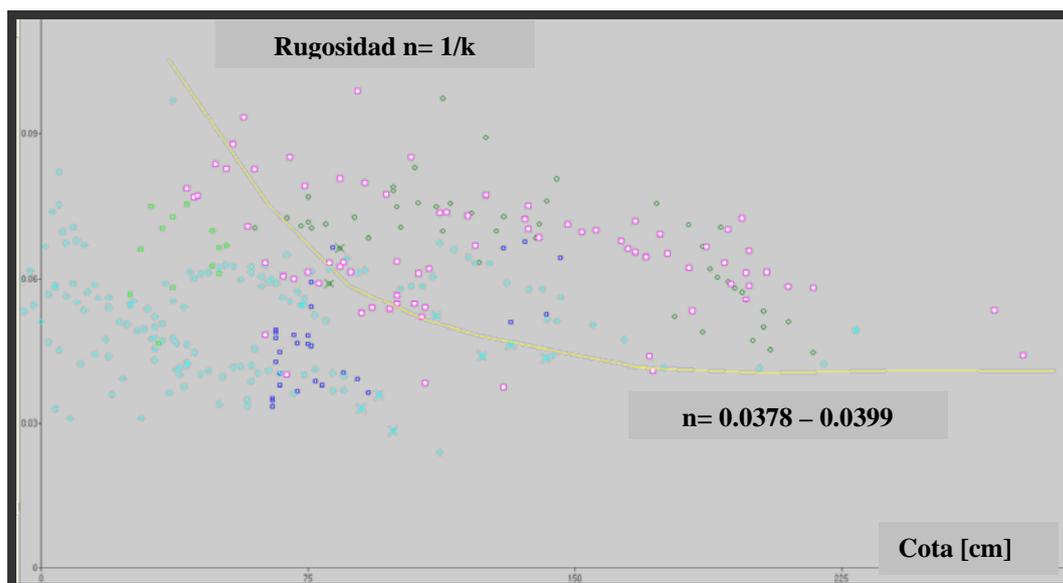


Gráfico 5.3 Curva de rugosidades para periodo 31/01/2004. Aguallamaya. (Elaboración Propia)

Se observó que la estación Aguallamaya es inestable, ya que presenta 15 curvas para 8 años de datos de aforos, es decir que la estación presenta varias descalibraciones en los aforos para un mismo año. Estas descalibraciones están ocasionadas por crecidas correspondientes a la época húmeda generalmente en los meses de Enero, Febrero y Marzo, y en las épocas de transición y seca considerando los meses Septiembre, Octubre y Diciembre. Al parecer la estación se encuentra en continuo funcionamiento ya que los aforos son tomados una vez por semana. Para el periodo 20/11/09 al 06/06/10 no se tiene datos de aforo por lo que las curvas de calibración fueron definidas siguiendo la tendencia de los aforos en años pasados.

La estación cuenta con bastante cantidad de datos de lecturas de escala del aforo y de buena calidad, situación que facilitó y permitió definir bien las curvas de calibración.

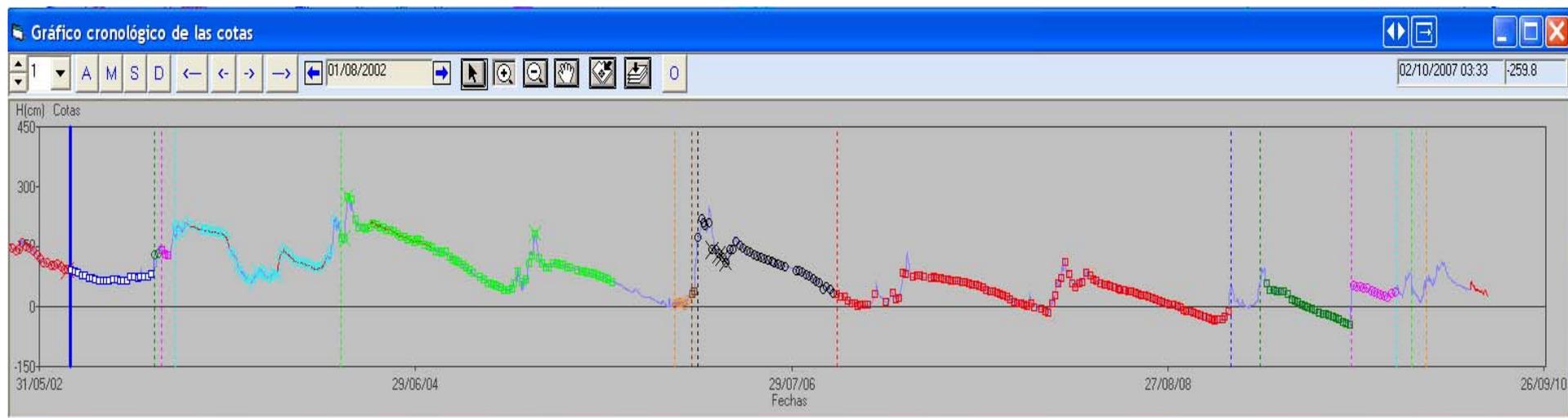


Gráfico 5.4 Cantidad y secuencia de las Curva de Calibración en la estación Aguallamaya en el periodos 01/08/02 – 29/11/09.

A partir de las curvas de calibración se calcularon series de caudales instantáneos (IS) y después se calcularon los caudales diarios (JS) y mensuales (MS) secuencialmente.

5.1.7 Relleno de las series de caudales mensuales

No fue necesario realizar rellenos de caudales a nivel mensual, porque se realizó el relleno a nivel instantáneo sobre la serie de cotas.

5.1.8 Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones

Para validar los caudales mensuales MS de Aguallamaya, se comparó con los caudales mensuales de su estación vecina Calacoto Desaguadero, ubicada aguas abajo. Se observó lo siguiente:

Existe una buena correlación y una similar tendencia, es decir los caudales para aguas altas en la estación de Calacoto Desaguadero son siempre mayores que los caudales de la estación de Aguallamaya; mientras que para los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre pasa lo contrario, es decir los caudales de la estación de Aguallamaya son siempre más altos que los de la estación Calacoto Desaguadero (Ver Gráfico 5.5).

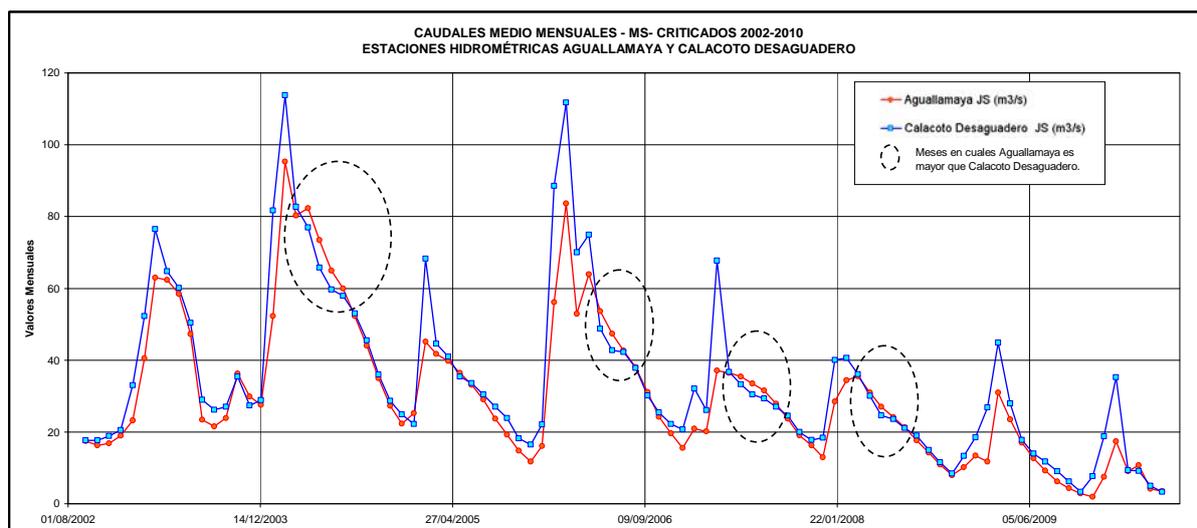


Gráfico 5.5 Caudales Medios Mensuales, Estaciones Hidrométricas de Aguallamaya y Calacoto Desaguadero. Periodo criticados 2002-2010. (Elaboración Propia)

Ambas estaciones discrepan en valor de caudal, pero éste $\Delta(+)$ de valor es pequeño y grande en los meses anteriormente citados. Por lo tanto existen las siguientes explicaciones para este comportamiento de los caudales en la estación de Aguallamaya:

1. Los caudales de época de estiaje, en los años donde se ve este comportamiento, representan una inversión del curso principal del río, es decir que el sentido del flujo ya no es hacia la estación Calacoto Desaguadero, sino hacia la estación Aguallamaya. Esta situación que fue reportada por los técnicos encargados del monitoreo de las estaciones: Ing. Luis Noriega y Oscar Fuertes (SENAMHI – La Paz, Bolivia), los cuales nos indicaron que en varias oportunidades que ellos visitaron las estaciones en épocas de aguas bajas, pudieron corroborar este hecho, una inversión del flujo. Este fenómeno puede ser posible si se verifica una disminución de los niveles en el tramo del río hasta el lago Titicaca o en el mismo lago en la época de estiaje. Además la cuenca presenta pendientes muy bajas en el tramo entre la estación de Aguallamaya y la laguna ubicada aguas abajo de la estación lo que ayuda en la presencia de este fenómeno. Por lo tanto, en época de estiaje y en el periodo de estudio, el valor de los caudales y la relación entre ambas estaciones Aguallamaya y Calacoto Desaguadero, no tienen una consistencia en el flujo acumulativo hacia aguas abajo, por eso los valores de los caudales de la estación aguas arriba Aguallamaya pueden ser mayores.

2. En los meses de los años donde se muestra este comportamiento de los caudales entre estas dos estaciones pudo existir una disminución del caudal debido a la pérdida por evaporación e infiltración.

5.1.9 Análisis de consistencia con el Vector Regional

Se realizó el análisis de consistencia solamente sobre los caudales medio-anales y no así sobre los caudales medio-mensuales en los meses mencionados en el punto 5.1.8 (Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre) debido a que el comportamiento de la estación no es pseudo-proporcional a su estación vecina Calacoto Desaguadero, es decir no varía en el mismo sentido y en proporciones casi idénticas en los meses anteriormente citados. Por lo tanto no cumple el requisito para aplicar el análisis de consistencia a nivel mensual. El método requiere como mínimo 3 estaciones y en cada estación un número mínimo de 4 datos. Para el presente estudio se cuenta con 3 estaciones Calacoto Desaguadero, Ulloma y Chuquiña, por lo tanto se consideró un solo juego de estaciones. No se consideró la estación de Calacoto Mauri. (Ver acápite 5.3.5 y 5.3.6).

El análisis fue primero a nivel anual. Un valor anual se ve afectado generalmente por los meses de mayor caudal por lo tanto el vector regional nos ayudara a identificar los años de Aguallamaya que presentaban problemas. Se observó que en algunos años existían fuertes quiebres de caudal, aspecto que muestra que existen problemas en la definición de fecha de curva de calibración, por lo tanto se tuvo que corregir realizando correlaciones de caudales a nivel mensual.

Una vez realizados los ajustes en las curvas de calibración de Aguallamaya y en las series mensuales (para que la serie de índices anuales de Aguallamaya siga el Vector Regional Anual), se utilizó el Vector Regional al nivel mensual en los meses de Enero, Febrero y Marzo con el mismo juego de estaciones. El resultado del análisis anual y mensual con el Vector Regional se encuentra en Anexo 1 y 2 de este informe.

A continuación se presentan las curvas de calibración finales de Aguallamaya y los caudales medio mensuales y medio anuales en los gráficos 5.6, 5.7 y la Tabla 5.3.

Conclusión: Las series de caudales instantáneos IS, caudales diarios JS, caudales medio-mensuales MS obtenidos en Aguallamaya son bastante confiables, y están validados con el Análisis de Consistencia mediante el Método del Vector Regional.

La serie de caudales mensuales MS esta completa desde Sep. – Ago. del 2003-2009, (7 años hidrológicos). Las curvas de calibración están bien definidas para aguas bajas y medias y altas, aunque la estación es bastante inestable. Para aguas altas, los caudales calculados con las extrapolaciones de las curvas de calibración tienen una relación coherente con los caudales de las otras estaciones de la cuenca.

El módulo anual para el periodo de observación está evaluado a 33.137 m³/s. El mayor caudal instantáneo calculado vale 128 m³/s y su cota correspondiente es 279 [cm] y el menor caudal instantáneo 1.23 m³/s y su cota correspondiente es 22 [cm].

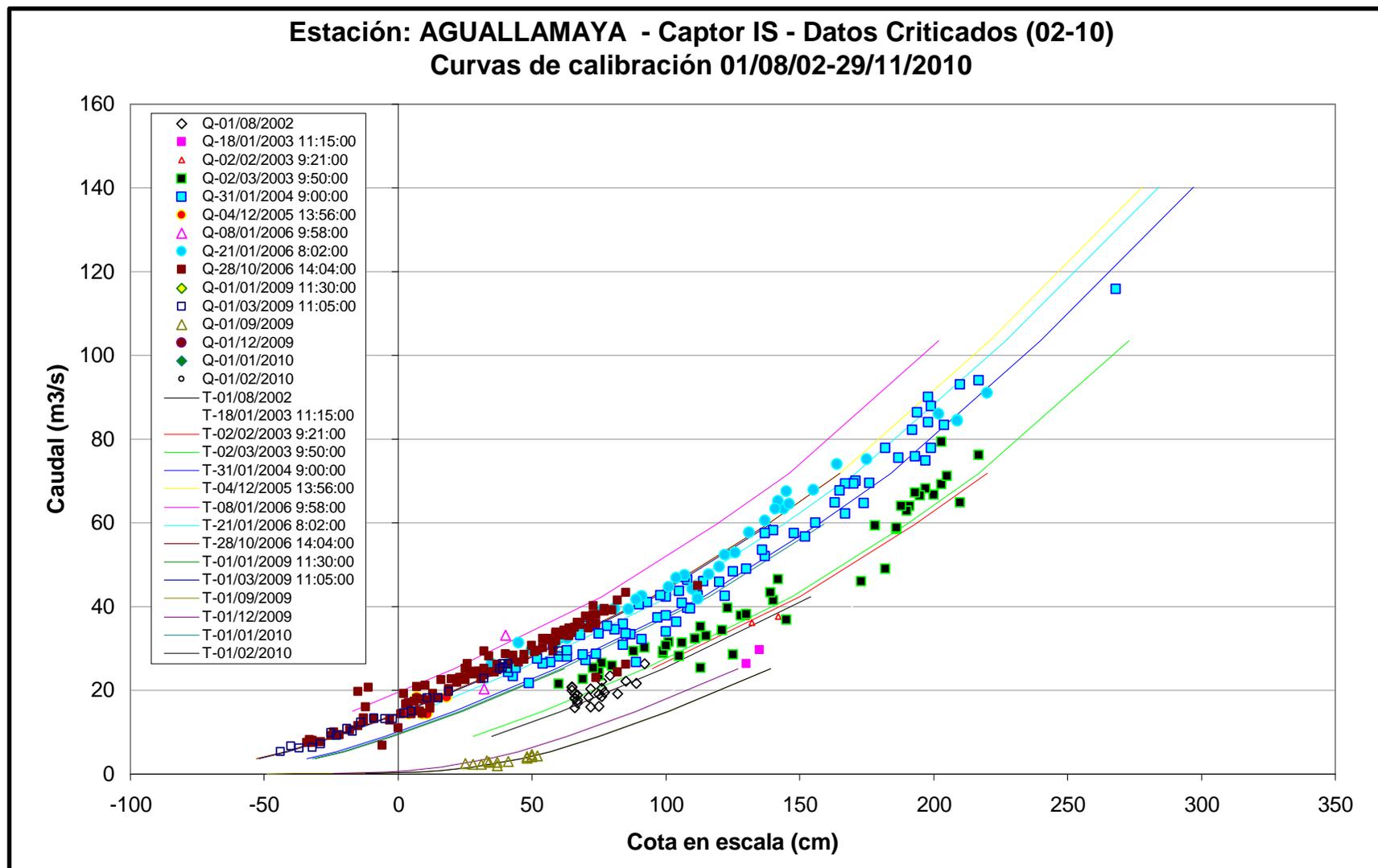


Gráfico 5.6 Curvas de Calibración Finales Aguallamaya – Periodo 01/08/02 – 29/11/2010 – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

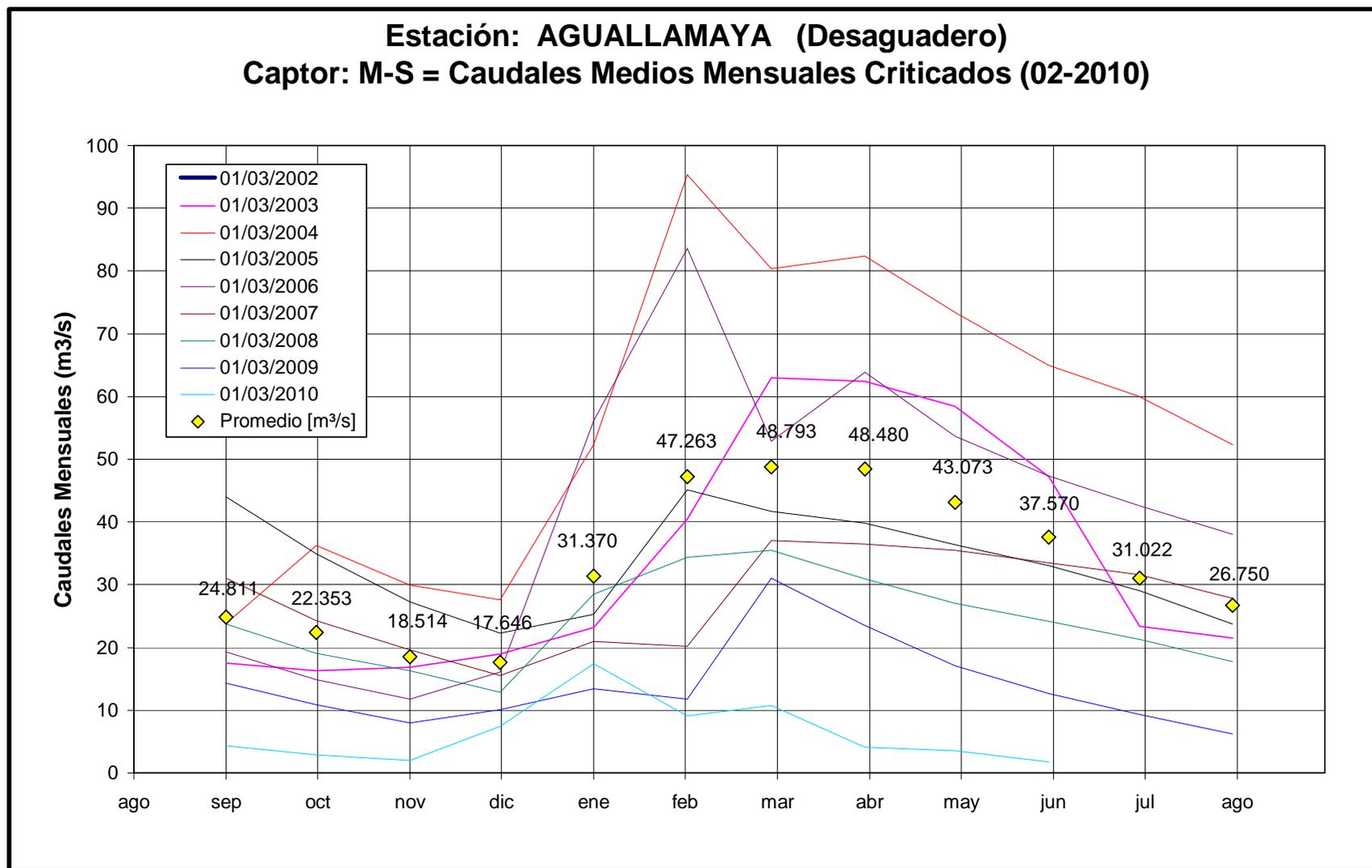


Gráfico 5.7 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Aguallamaya – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

Caudales Medio Mensuales y Medio Anuales [m³/s] en la Estación Aguallamaya.

Año Hidrológico		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Promedio anual ó Módulo Anual
2002	2002												21.38	
2002	2003	17.5	16.25	16.81	18.97	23.18	40.48	62.99	62.39	58.44	47.28	23.41	21.52	34.102
2003	2004	23.88	36.29	29.89	27.58	52.29	95.29	80.35	82.39	73.43	64.99	60	52.31	56.557
2004	2005	44.04	34.93	27.3	22.3	25.25	45.17	41.71	39.79	36.41	33.08	29.03	23.68	33.558
2005	2006	19.25	14.81	11.71	16.08	56.12	83.64	52.9	63.91	53.69	47.39	42.61	38.02	41.677
2006	2007	31.06	24.24	19.65	15.54	20.9	20.14	37.08	36.44	35.47	33.47	31.58	27.84	27.784
2007	2008	23.68	19.05	16.25	12.91	28.46	34.38	35.49	30.95	27.01	24.12	21.25	17.7	24.271
2008	2009	14.27	10.9	7.985	10.14	13.39	11.74	31.03	23.49	17.06	12.66	9.277	6.18	14.010
2009	2010	4.348	2.866	1.95	7.466	17.4	9.092	10.74	4.127	3.514	1.81			
Promedio [m³/s]		24.811	22.353	18.514	17.646	31.370	47.263	48.793	48.480	43.073	37.570	31.022	26.750	33.137
% Mensual por año Hidrológico		6.24%	5.62%	4.66%	4.44%	7.89%	11.89%	12.27%	12.19%	10.83%	9.45%	7.80%	6.73%	

Tabla 5.3 Caudales Medios Mensuales, Medio Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Aguallamaya . Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados).

Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.

5.2 Calacoto Desaguadero (Río Desaguadero).

5.2.1 Características Generales.

Estación	CALACOTO DESAGUADERO	
Características hidrográficas	Río	Desaguadero.
	Subcuenca	Estación Chuquiña.
Características geográficas	Norte UTM DATUM WGS 84	8088942.65
	Este UTM DATUM WGS 84	540997.06
	Altura (m.s.n.m.)	3790
	País	Bolivia.
Acceso	Se encuentra ubicada aproximadamente 2.4 [km] de la población Calacoto. Cerca al puente peatonal caído que cruza el río Desaguadero. (En Base a SENAMHI – La Paz, Bolivia)	
Administrador	SENAMHI – La Paz, Bolivia.	
Fecha de apertura	1963.	
Cierre /rehabilitación	La estación esta en constante funcionamiento desde su apertura hasta la fecha.	
Mediciones y equipamiento	Cotas Disponibles Captor I-1: 01/11/68-07/06/2010	Cotas leídas en escalas limnimétricas. Mayor cantidad de datos que el captor I-E.
	Cotas Criticadas Captor I-S: 01/11/68-07/06/2010	Cotas copiadas del captor I-1 por tener mayor cantidad de datos.
	Cotas Originales Captor I-E: 01/11/68-02/07/2001	Cotas originales leídas en escalas limnimétricas.
	Cotas Captor I-A: 28/11/2009-16/03/2010	Cotas del Registrador Automático.
	Aforos Disponibles Captor I-1: 29/10/1963-31/10/2009	Este captor tiene mayor cantidad de datos que el captor I-E.
	Aforos Originales Captor I-E: 29/10/1963-30/06/2010	Aforos originales pero tienen menor cantidad de datos que el captor I-1.
	Aforos Criticados Captor I-S: 29/10/1963-30/06/2010	Captor creado a partir de los captores I-1 y captor I-E. Este captor contiene toda la información.
Informaciones complementarias disponibles	La estación es visitada 2 a 3 veces por año, por el personal del SENAMHI La Paz.	



Figura 5.2 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Calacoto Desaguadero.

5.2.2 *Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.*

En la base Hydraccess se encontraron los siguientes captosres para el periodo de estudio Agosto 2002 a Junio 2010:

- | | | |
|--|---|--|
| Lecturas de escala instantáneas brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | } | <ol style="list-style-type: none">1. Captor I-1 de cotas instantáneas – Datos operacionales – Presenta mayor cantidad de datos que el captor I-E.2. Captor I-A de cotas horarias – Datos del Registrador Automático – Presenta 3 a 4 datos por día.3. Captor I-E de cotas instantáneas – Cotas Originales. |
| Aforos Diarios brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | } | <ol style="list-style-type: none">4. Captor I-1 de Aforos - Datos operacionales – Presenta mayor cantidad de datos.5. Captor I-E de Aforos - Cotas Originales. |

5.2.3 *Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.*

Los captosres creados en la base de datos son los siguientes:

1. Captor I-S de cotas instantáneas y caudales instantáneos (datos obtenidos a partir del captor I-1, por presentar mayor cantidad de datos).
2. Captor J-S de Cotas diarias y Caudales diarios.
3. Captor M-S de Caudales mensuales.

5.2.4 *Tratamiento de las lecturas de escala.*

Primera-última cota disponible: 01/08/02-07/06/2010.

Nº de días de lagunas: 5 días de laguna.

Calidad general de los datos : Buena.

Tratamiento de los datos : Análisis por correlaciones lineales y análisis de consistencia.

La estación Calacoto Desaguadero presenta datos muy completos y de buena calidad, en todo el periodo solamente presenta 5 días laguna, para rellenar este periodos y ver la calidad de los datos se utilizaron las correlaciones lineales para lo cual fue necesario tomar en cuenta la estación de Aguallamaya, Ulloma y Chuquiña.

Las buenas correlaciones con las estaciones vecinas permitieron ver la confiabilidad de los datos de Calacoto Desaguadero e identificar periodos de datos dudosos y sustituirlos y rellenarlos mediante los valores estimados de las correlaciones. También se compararon las cotas IA del registrador automático con las cotas limnimétricas IS y el periodo de lagunas fue rellenado considerando estos datos.

Los datos disponibles fueron tratados de la siguiente manera:

Cotas Disponibles	Lagunas	Relleno	Análisis y tratamiento
01/08/2002-19/12/2009			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Aguallamaya, Ulloma y Chuquiña mostraron que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	19/12/09-23/12/09	20/11/2009-26/12/2009	Periodo rellenado considerando las cotas del registrador automático de Calacoto Desaguadero como si fueran observadas, con la finalidad de ver la calidad de los datos en la misma estación. Las estimaciones obtenidas por correlaciones mostraban la buena correlación que existe en este periodo, también se identificó un periodo de mala calidad. Por lo tanto fueron reemplazados y rellenados considerando los datos del captor IA, registrador automático. Los datos son de buena calidad y confiables.
27/12/2009-07/06/2010			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Aguallamaya, Ulloma y Chuquiña mostraban que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.

Tabla 5.4 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)

5.2.5 Aforos disponibles.

Aforos disponibles : 07/08/02-30/06/2010.

Calidad de los datos : Los datos de aforos son de buena calidad.

Cantidad de datos : Mediciones de aforos una vez por semana.

Para visualizar de mejor manera la cantidad de los aforos, y la regularidad de los mismos, se presenta la tabla 5.5, la cual se obtuvo con gráfico 5.8 que se muestra más abajo.

Cantidad de datos	Datos faltantes	Observaciones
07/08/02-22/07/05		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje. Se tienen lagunas menores de 15 días en épocas de aguas altas.
	23/07/05-19/01/06	Laguna de 181 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
20/01/06-28/04/06		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y transición. Se tienen lagunas menores de 15 días en épocas de aguas altas.
	29/04/06-22/06/06	Laguna de 55 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
23/06/06-31/10/09		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje. Se tienen lagunas menores de 15 días en épocas de aguas altas.
	01/11/09-04/02/10	Laguna de 96 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
05/02/10-19/02/10		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida. Se tienen lagunas menores de 15 días en épocas de aguas altas.
	20/02/10-24/04/10	Laguna de 64 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
25/04/10-30/06/10		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje.

Tabla 5.5 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Estación Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)

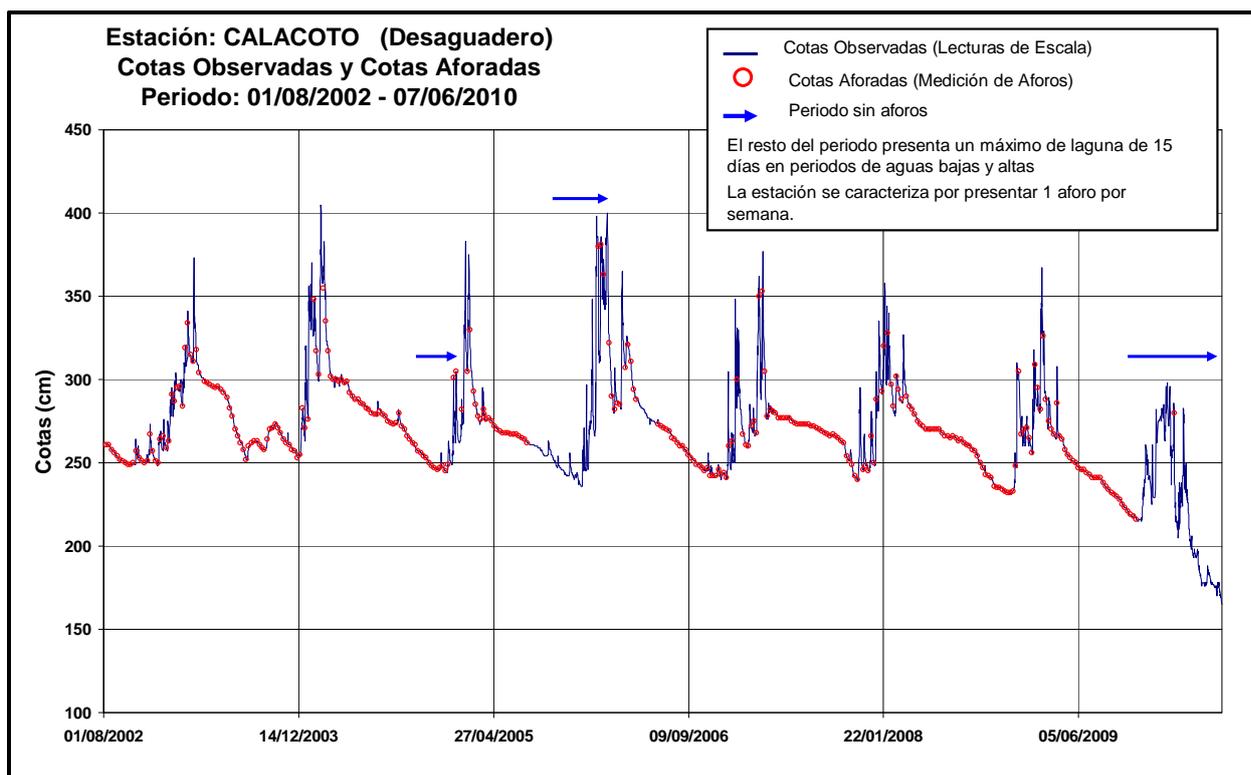


Gráfico 5.8 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Estación Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)

5.2.6 Realización de curvas de calibración.

La estación Calacoto Desaguadero presenta 25 curvas de calibración para el periodo 01/08/2002 al 30/06/2010. Para obtener la Curva de Calibración Típica se utilizó la serie de aforos en el periodo 02/04/03 – 30/12/03 y 20/02/2004 – 25/11/2004, debido a que éstas series presentan mayor cantidad de aforos en aguas altas y medianas, para definir la parte baja de las curvas de calibración fue necesario utilizar la serie de aforos 13/03/2009 – 19/02/2010, debido a que ésta serie presenta mayor cantidad de aforos en aguas medianas y bajas, para ello fue necesario ajustar 2 curvas de calibración,

- **La primera curva** se trazó siguiendo la tendencia de los aforos cuya ecuación es Potencial de Grado 2,
- **La segunda curva** se trazó por Manning Strickler, donde el coeficiente de Manning fue estimado a partir de los aforos disponibles para aguas altas, considerando la pendiente hidráulica de 0.000184^3 . En el proceso se estimó la rugosidad de acuerdo al gráfico 5.10.

Como se observa en el gráfico 5.9, ambas curvas tienen la misma forma y magnitud por lo tanto la curva de calibración típica se mantuvo y por simple traslación se ajustó al resto de las 24 curvas de calibración. Por lo que la curva de calibración obtenida con Manning Strickler, nos permite validar la parte alta y baja de la curva típica.

³ Dato obtenidos del Modelo de Elevación Digital de la Subcuenca del la estación Chuquiña.

Se observó que la estación Calacoto Desaguadero es inestable (ver gráfico 5.11), ya que presenta 25 curvas calibración, es decir que la estación presenta varias descalibraciones en los aforos para un mismo año. Estas descalibraciones están ocasionadas por crecidas correspondientes a las épocas húmedas.

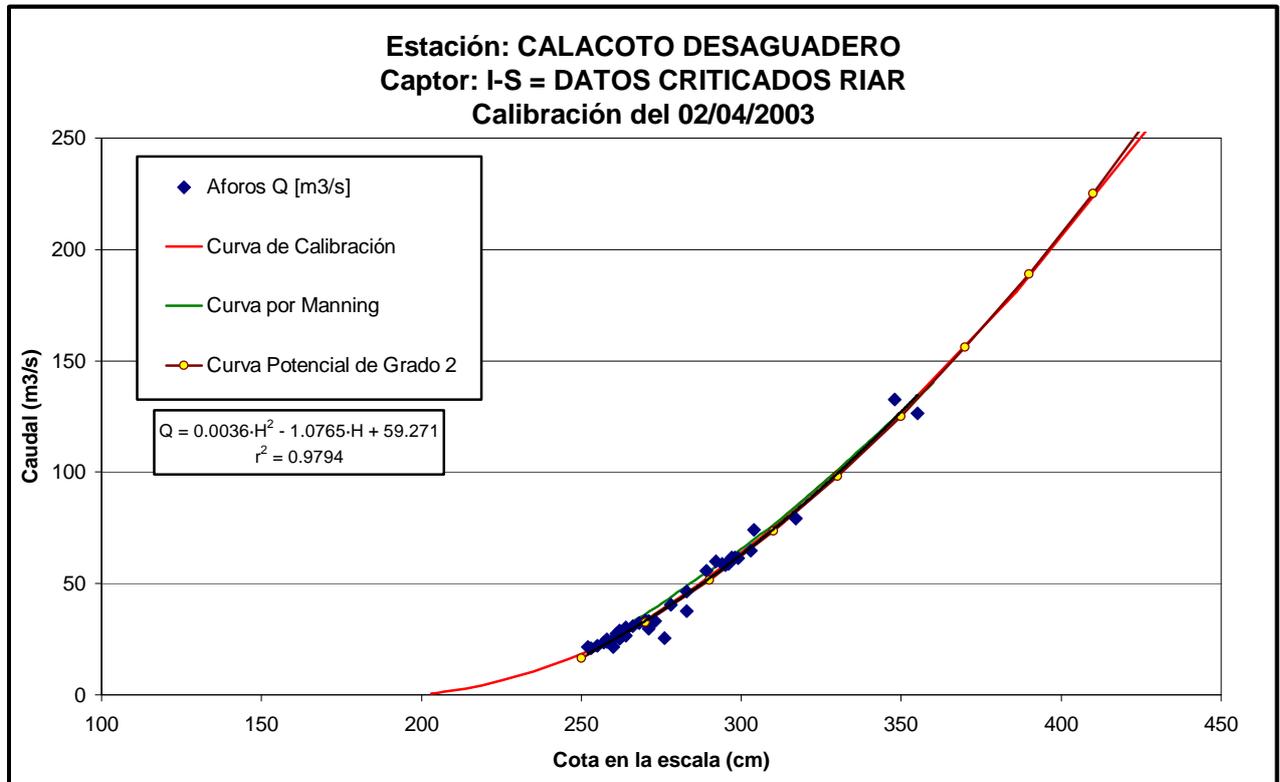


Gráfico 5.9 Curva de Calibración Típica Periodo 02/04/03. Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)

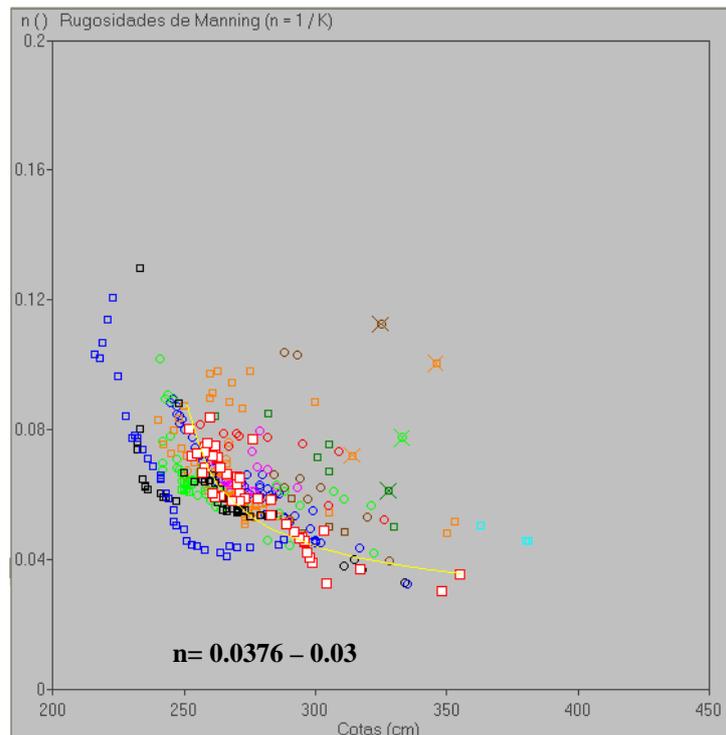


Gráfico 5.10 Curva de rugosidades para periodo 02/04/2004. Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)

La estación se caracteriza por presentar mayor cantidad de lecturas de escala del aforo para aguas medianas y bajas, y poca cantidad para aguas altas.

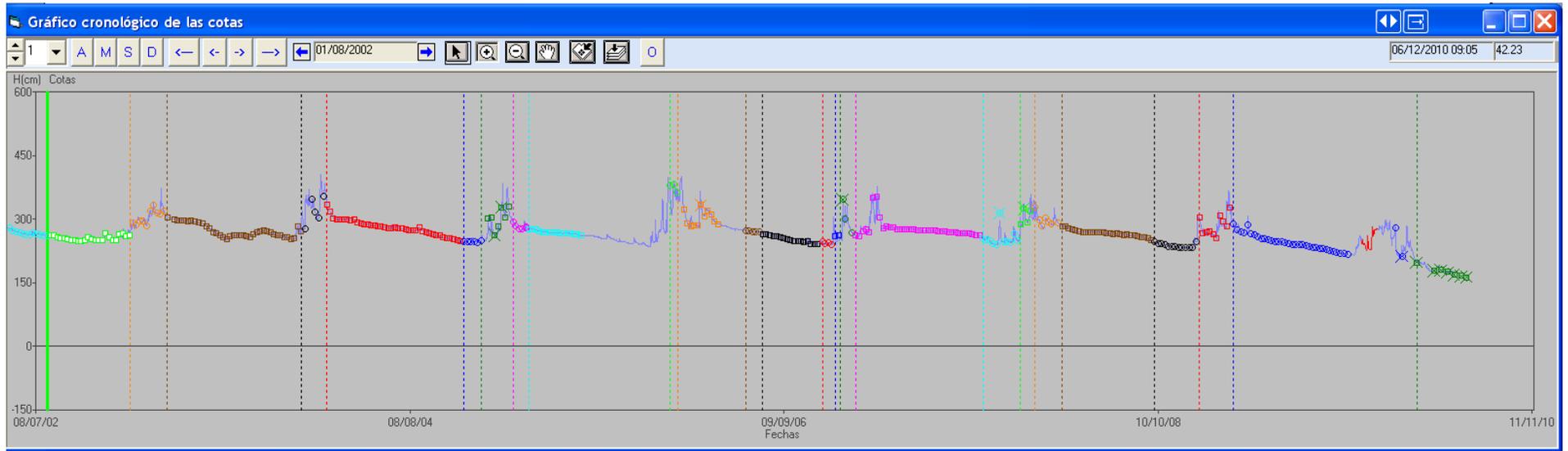


Gráfico 5.11 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Calacoto Desaguadero en el periodo 01/8/02 – 30/06/2010. (Elaboración Propia)

A partir de las curvas de calibración se calcularon series de caudales instantáneos (IS) y después se calcularon los caudales diarios (JS) y mensuales (MS) secuencialmente.

5.2.7 Relleno de las series de caudales mensuales

No fue necesario realizar rellenos de caudales a nivel mensual, porque se relleno a nivel instantáneo sobre la serie de cotas.

5.2.8 Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.

Para validar los caudales mensuales MS de Calacoto Desaguadero, se comparó con los caudales mensuales de su estación vecina Aguallamaya ubicada aguas arriba de la estación en análisis. Se observó una buena correlación y una similar tendencia, es decir los caudales para aguas altas en la estación de Calacoto Desaguadero son siempre mayores que los caudales de la estación de Aguallamaya, es decir se cumple que los caudales de la estación de aguas abajo son siempre mayores que los caudales de la estación aguas arriba.

Mientras que para los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre pasa lo contrario, es decir los caudales de la estación de Aguallamaya son siempre más altos que los de la estación Calacoto Desaguadero. Ambas estaciones discrepan en valor de caudal, las razones por las que se cree que ocurre este comportamiento, ya fueron explicadas en el Análisis de la Estación de Aguallamaya, ver acápite 5.1.8.

5.2.9 Análisis de consistencia con el Vector Regional.

Se realizó el análisis de consistencia sobre los caudales medio-anales y medio-mensuales por el método del Vector Regional (incluido en el programa Hydraccess). El método requiere como mínimo 3 estaciones y en cada estación un número mínimo de 4 datos. Para el presente estudio se cuenta con 2 estaciones Ulloma y Chuquiña, por lo tanto se consideró un solo juego de estaciones. No se consideró la estación de Calacoto Mauri. (Ver acápite 5.3.5 y 5.3.6).

Es importante mencionar que dentro del grupo de estaciones no se pudo considerar los caudales medio-mensuales y medio –anales de:

- Q TDPS (1963-1989), debido a que el periodo de datos no es coincidente con el periodo de datos en estudio,

El análisis se realizó primero a nivel anual, para identificar los años (Q criticado) de Calacoto Desaguadero que presentaban problemas, se observó que en algunos años existían fuertes quiebres de caudal, aspecto que muestra que existen problemas en la definición de fecha de curva de calibración, por lo tanto se tuvo que corregir realizando correlaciones de caudales a nivel mensual.

Una vez realizados los ajustes en las curvas de calibración de Calacoto Desaguadero y en las series mensuales (para que la serie de índices anuales de Calacoto Desaguadero siga el Vector Regional Anual), se utilizó el Vector Regional al nivel mensual con el mismo juego de estaciones. El resultado del análisis anual y mensual con el Vector Regional se encuentra en Anexo 1 y 2 de este informe.

A continuación se muestran las curvas de calibración finales de Calacoto Desaguadero y los caudales medio mensuales y medio anuales en los Gráficos 5.12, 5.13 y la Tabla 5.6.

Conclusión: La serie de caudales instantáneos IS, caudales diarios JS, caudales medio-mensuales MS obtenidos en Calacoto Desaguadero son bastante confiables y están validados con el Análisis de Consistencia por el método del Vector Regional.

La serie de caudales mensuales MS esta completa desde Sep. – Ago. del 2003-2009, (7 años hidrológicos). Las curvas de calibración están bien definidas para aguas bajas y medias y altas, aunque la estación es bastante inestable. Para aguas altas, los caudales calculados con las extrapolaciones de las curvas de calibración tienen una relación coherente con los caudales de las otras estaciones de la cuenca.

La estación es monitoreada, visitada y mantenida continuamente y actualmente se sigue realizando las mediciones hidrométrica. Las curvas definidas se encuentran validadas por los análisis de correlaciones y Vector Regional. Por lo tanto es un estación que presenta datos confiables y consistentes.

El módulo anual para el periodo de observación está evaluado a 36.915 m³/s. El mayor caudal instantáneo calculado vale 213 m³/s y su cota correspondiente es 400 [cm] y el menor caudal instantáneo 0.216 m³/s y su cota correspondiente es 159 [cm].

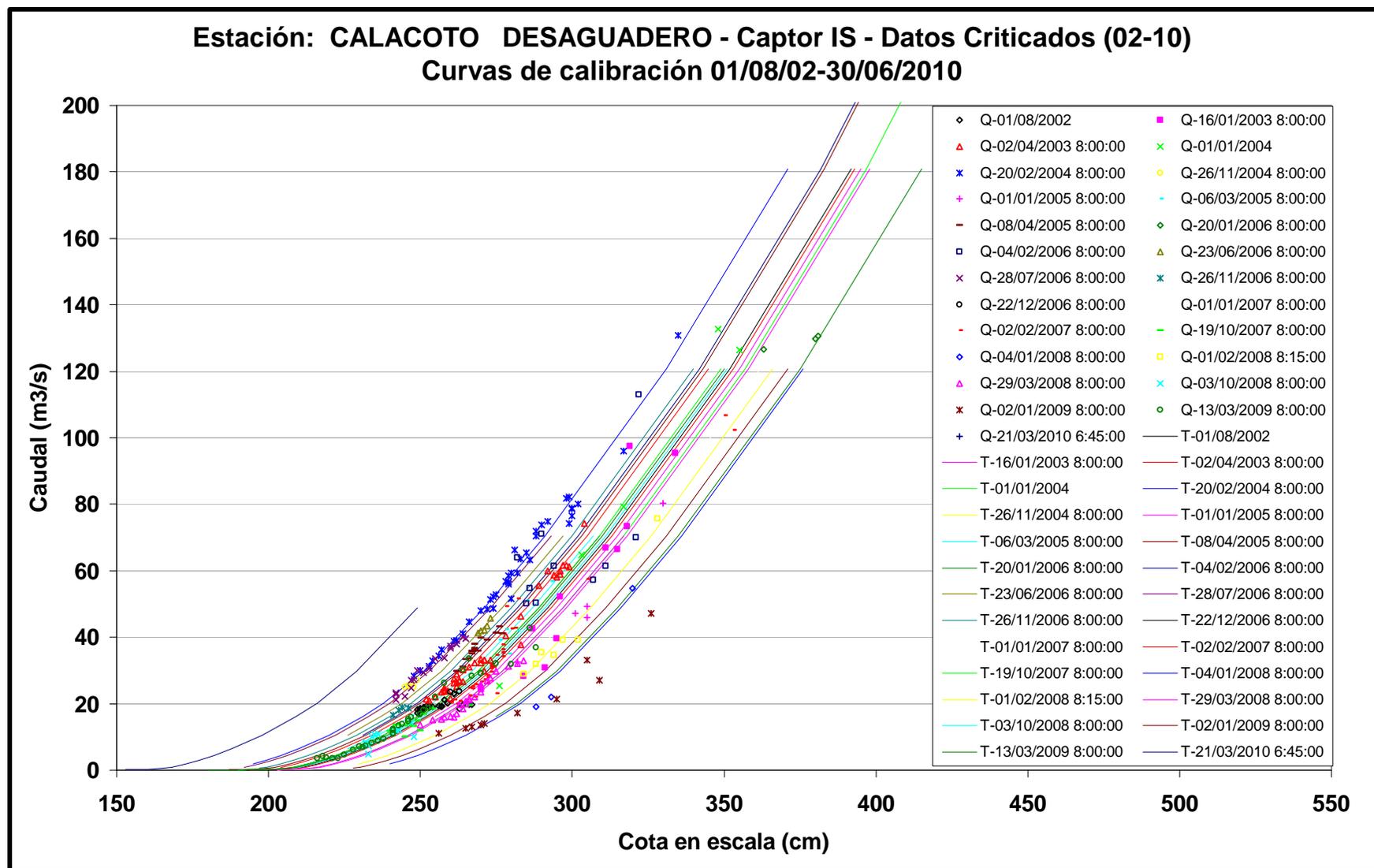


Gráfico 5.12 Curvas de Calibración Finales Calacoto Desaguadero – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

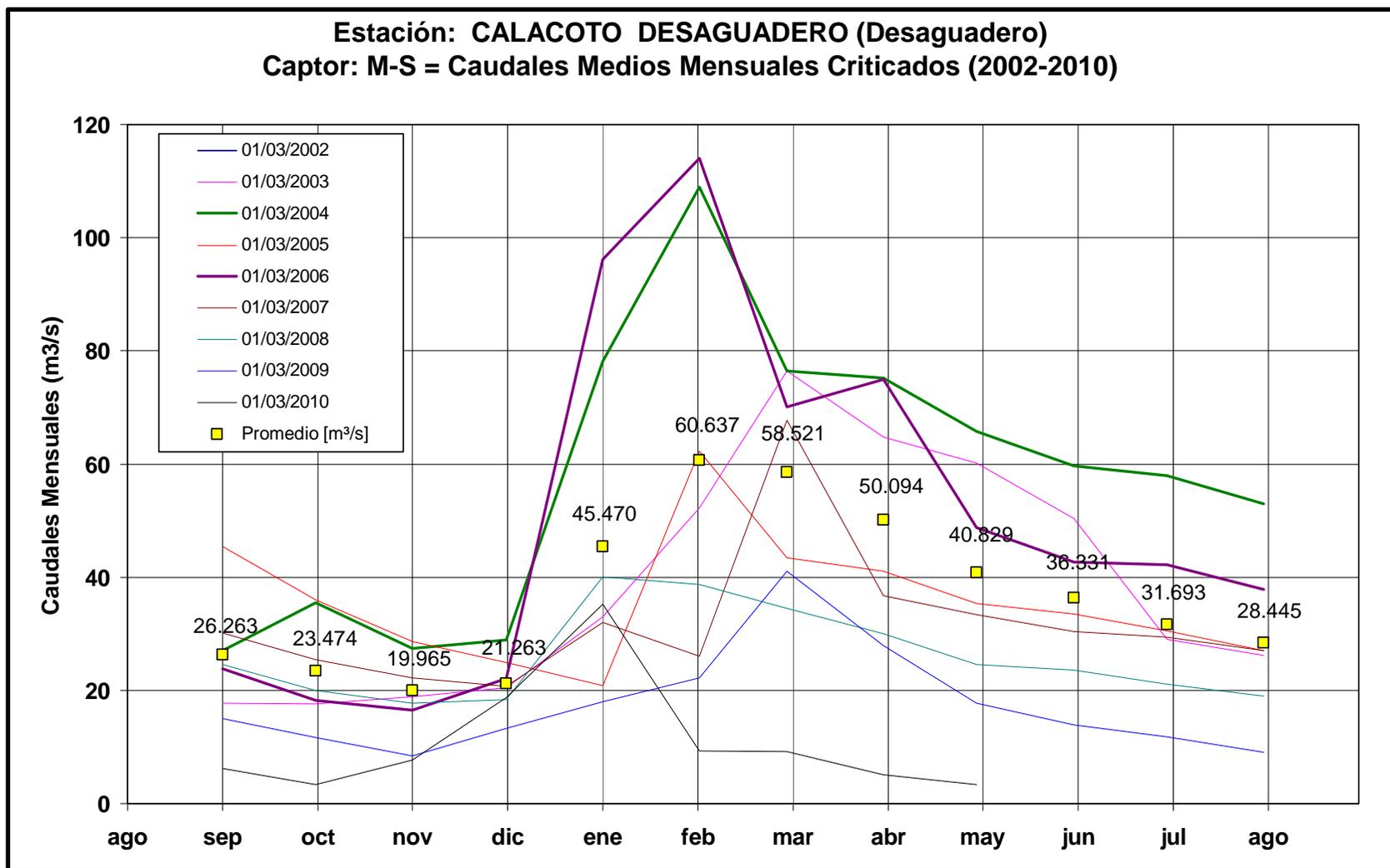


Gráfico 5.13 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Calacoto Desaguadero – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

Caudales Medio Mensuales y Medio Anuales [m³/s] en la Estación Calacoto Desaguadero.

Año Hidrológico		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Promedio anual ó Módulo Anual
2002	2002													
2002	2003	17.71	17.66	18.88	20.5	32.99	52.23	76.49	64.74	60.17	50.38	28.98	26.21	38.91
2003	2004	27.04	35.43	27.4	28.91	78.18	108.9	76.42	75.25	65.78	59.71	57.92	53.02	57.83
2004	2005	45.48	36.03	28.68	24.89	20.9	62.24	43.49	41.02	35.42	33.54	30.47	27.05	35.77
2005	2006	23.87	18.19	16.47	22.08	96.13	114	70.06	74.95	48.79	42.75	42.24	37.8	50.61
2006	2007	30.19	25.46	22.16	20.76	32.06	26.08	67.71	36.71	33.32	30.42	29.35	27	31.77
2007	2008	24.54	19.94	17.72	18.37	40.05	38.77	34.46	30.07	24.58	23.59	21.1	18.95	26.01
2008	2009	15.01	11.61	8.442	13.33	17.98	22.24	41.02	27.92	17.74	13.93	11.79	9.087	17.51
2009	2010	6.229	3.29	7.714	18.76	35.23	9.357	9.18	5.041	3.302				
Promedio [m³/s]		26.263	23.474	19.965	21.263	45.470	60.637	58.521	50.094	40.829	36.331	31.693	28.445	36.915
% Mensual por año Hidrológico		5.93%	5.30%	4.51%	4.80%	10.26%	13.69%	13.21%	11.31%	9.22%	8.20%	7.15%	6.42%	

Tabla 5.6 Caudales Medios Mensuales, Medio Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Calacoto Desaguadero. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados).

Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.

5.3 Calacoto Mauri (Río Mauri).

5.3.1 Características Generales.

Estación	CALACOTO MAURI	
Características hidrográficas	Río	Mauri
	Subcuenca	Río Mauri
	Área de la subcuenca [Km2]	9865.919
Características geográficas	Norte UTM DATUM WGS 84	8088099.91
	Este UTM DATUM WGS 84	539195.09
	Altura (m.s.n.m.)	3792
	País	Bolivia
Acceso	Se encuentra ubicada aproximadamente 800 [m] de la población en el puente peatonal que cruza el río Mauri. Aguas arriba aproximadamente 5 [km] se afora en épocas de estiaje, y en épocas de aguas altas se afora desde el puente peatonal. (En Base a SENAMHI – La Paz, Bolivia)	
Administrador	SENAMHI – La Paz, Bolivia.	
Fecha de apertura	1964	
Cierre / rehabilitación	La estación esta en constante funcionamiento desde su apertura hasta la fecha.	
Mediciones y equipamiento	Cotas Originales Captor I-E: 01/05/76-07/06/2010	Cotas originales leídas en escalas limnimétricas.
	Cotas Criticadas I-S: 01/05/76-07/06/2010	Cotas copiadas del captor I-E y criticadas.
	Cotas Originales Captor I-A: 28/11/09-16/03/2010	Cotas del Registrador Automático.
	Aforos Originales Captor I-E: 01/01/64-30/06/2010	Aforos originales.
	Aforos Criticados Captor I-S: 01/01/1964-30/06/2010	Captor creado a partir del captor I-E para la crítica.
Informaciones complementarias disponibles	La estación es visitada 2 a 3 veces al año, por el personal del SENAMHI La Paz, Bolivia.	



Figura 5.3 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Calacoto Mauri

5.3.2 *Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.*

En la base Hydraccess se encontraron los siguientes captosres para el periodo de estudio Agosto 2002 a Junio 2010:

- | | | |
|--|---|--|
| Lecturas de escala instantáneas brindadas por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | { | 1. Captor I-E de cotas instantáneas – Cotas Originales. |
| | | 2. Captor I-A de cotas horarias – Datos Del Registrador Automático – Presenta 3 a 4 datos por día. |
| Aforos Diarios brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | { | 3. Captor I-E de Aforos - Cotas Originales. |

5.3.3 *Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.*

Los captosres creados en la base de datos son los siguientes:

1. Captor I-S de cotas instantáneas y caudales instantáneos (datos obtenidos a partir del captor I-E, por ser el captor de datos originales).
2. Captor J-S de cotas diarias y Caudales diarios.
3. Captor M-S de caudales mensuales.

5.3.4 *Tratamiento de las lecturas de escala.*

Primera-última cota disponible : 01/08/02-07/06/10.

Nº de Días de lagunas: 28 días de Laguna.

Calidad general de los datos : Buena.

Tratamiento de los datos : Análisis por correlaciones lineales y análisis por consistencia.

La estación Calacoto Mauri presenta datos muy completos y de buena calidad, en todo el periodo, presenta 28 días de laguna, para rellenar este periodo y ver la calidad de los datos se utilizaron las correlaciones lineales para lo cual fue necesario tomar en cuenta la estación de Calacoto Desaguadero.

Las buenas correlaciones con la estación permitió ver la confiabilidad de los datos de Calacoto Mauri e identificar periodos de datos dudosos y sustituirlos y rellenarlos mediante los valores estimados de las correlaciones. También se compararon las cotas IA del registrador automático con las cotas limnimétricas IS y el periodo de lagunas fue rellenado considerando estos datos.

Los datos disponibles fueron tratados de la siguiente manera:

Cotas Disponibles	Lagunas	Relleno	Análisis y tratamiento
01/08/02- 15/01/06			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma mostraban que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	16/01/06- 23/01/06		Periodo rellenado a partir de las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales, con su estación vecina Calacoto Desaguadero. Por lo tanto fue rellenado con las estimaciones debido a la buena correlación que existe en este periodo. Los datos son de buena calidad y confiables.
24/01/06- 15/12/09			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma mostraban que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	16/12/09- 17/03/10		Periodo rellenado considerando las cotas del registrador automático de Calacoto Mauri como si fueran observadas, con la finalidad de ver la calidad de los datos en la misma estación. Las estimaciones obtenidas por correlaciones mostraban la buena correlación que existe en este periodo, también se identificó un periodo de mala calidad. Por lo tanto fueron reemplazados y rellenados considerando los datos del captor IA, registrador automático. Los datos son de buena calidad y confiables.
18/03/10- 07/06/10			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero y Ulloma mostraban que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.

Tabla 5.7 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

5.3.5 Aforos disponibles.

Aforos disponibles : 01/01/64-30/06/10

Calidad de los datos : Los datos de aforos son de buena calidad.

Cantidad de datos : Muy poca cantidad de aforos.

La estación Calacoto Mauri en el periodo de estudio 01/08/2002 – 30/06/10, presenta muy poca cantidad de aforos para aguas altas y bajas. Para visualizar de mejor manera la cantidad de los aforos, y la regularidad de los mismos, se presenta la tabla 5.8 la cual viene del gráfico 5.14, que se muestra más abajo.

Cantidad de datos	Datos faltantes	Observaciones
01/08/02-15/01/03		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	16/01/03-16/04/03	Laguna de 91 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
17/04/03-29/09/03		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de transición. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	30/09/03-09/09/04	Laguna de 346 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
10/09/04-24/12/04		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de estiaje. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	25/12/04-27/01/05	Laguna de 34 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
28/01/05-13/02/05		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	14/02/05-01/04/05	Laguna de 47 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
02/04/05		Un solo dato de aforo.
	03/04/05-15/01/06	Laguna de 288 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
16/01/05-28/01/06		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	29/01/06-26/12/06	Laguna de 332 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
27/12/06-07/01/07		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.

	08/01/07-02/02/07	Laguna de 26 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
03/02/07-15/03/07		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	16/03/07-09/04/07	Laguna de 25 días en periodo de aguas transición. No hay aforos.
10/04/07-08/12/07		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de estiaje. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	09/12/07-06/04/09	Laguna de 485 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
07/04/09-08/11/09		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de estiaje. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	09/11/09-15/12/09	Laguna de 37 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
16/12/09		Un solo dato de aforo.
	17/12/09-09/02/10	Laguna de 55 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
10/02/10-20/03/10		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de transición. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.
	21/03/10-24/04/10	Laguna de 35 días en periodo de aguas bajas y altas. No hay aforos.
25/04/10-30/06/10		Poca Cantidad de Aforos. Medición de aforos una vez por semana, en las épocas de crecida y estiaje. El periodo presenta lagunas menores a 15 días.

Tabla 5.8 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el programa Hydraccess. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

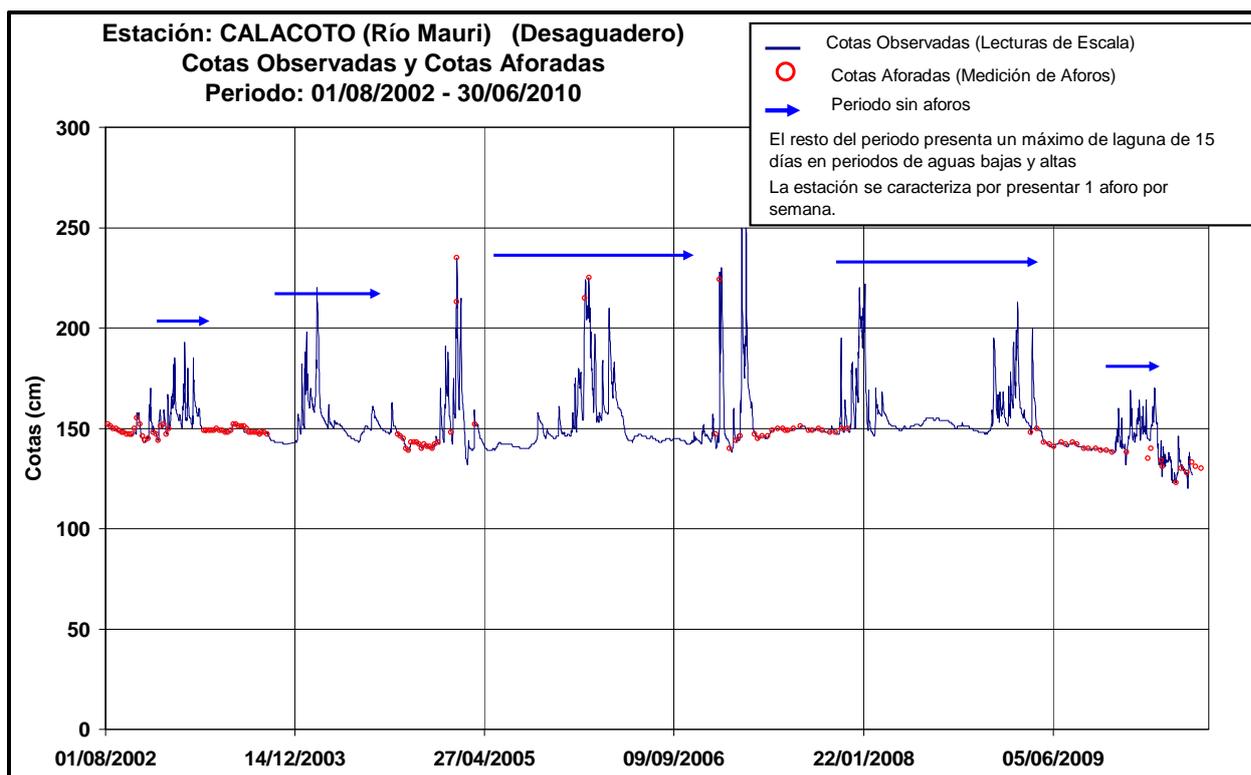


Gráfico 5.14 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

5.3.6 Realización de curvas de calibración.

Debido a la escasa cantidad de datos en la estación Calacoto Mauri dentro del periodo de estudio 01/08/02 – 30/06/10 es imposible definir curvas de calibración que representen a una serie tipo de datos. A continuación se muestra los datos de aforos y cotas.

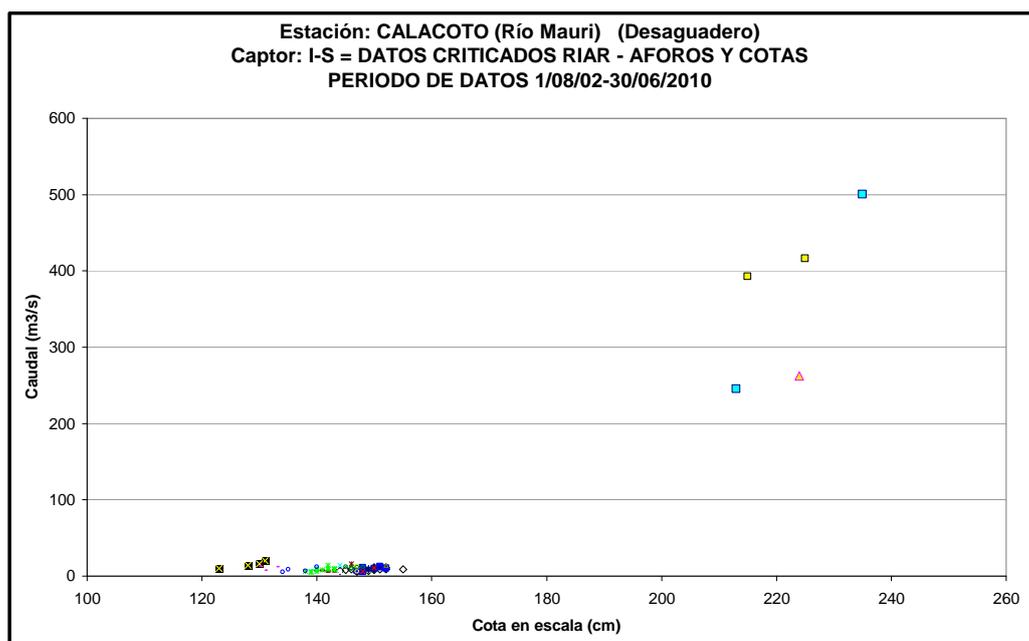


Gráfico 5.15 Cotas y Aforos. Se muestra la escasa cantidad de datos. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

Como se observa el gráfico 5.15 no se puede definir, con los datos que se tienen en el periodo de estudio Agosto 2002 hasta 2010, una curva tipo para la estación que sea representativa para aguas bajas y altas. **Por lo que la estación no puede ser criticada ni validada por la escasa cantidad de aforos.**

Se tiene la posibilidad de realizar y definir curvas de calibración para periodos anteriores al 2003, debido a que existe bastante cantidad de aforos y buena cantidad de lecturas de escala. A continuación se muestra el gráfico 5.16 en el que se observa la buena cantidad de aforos.

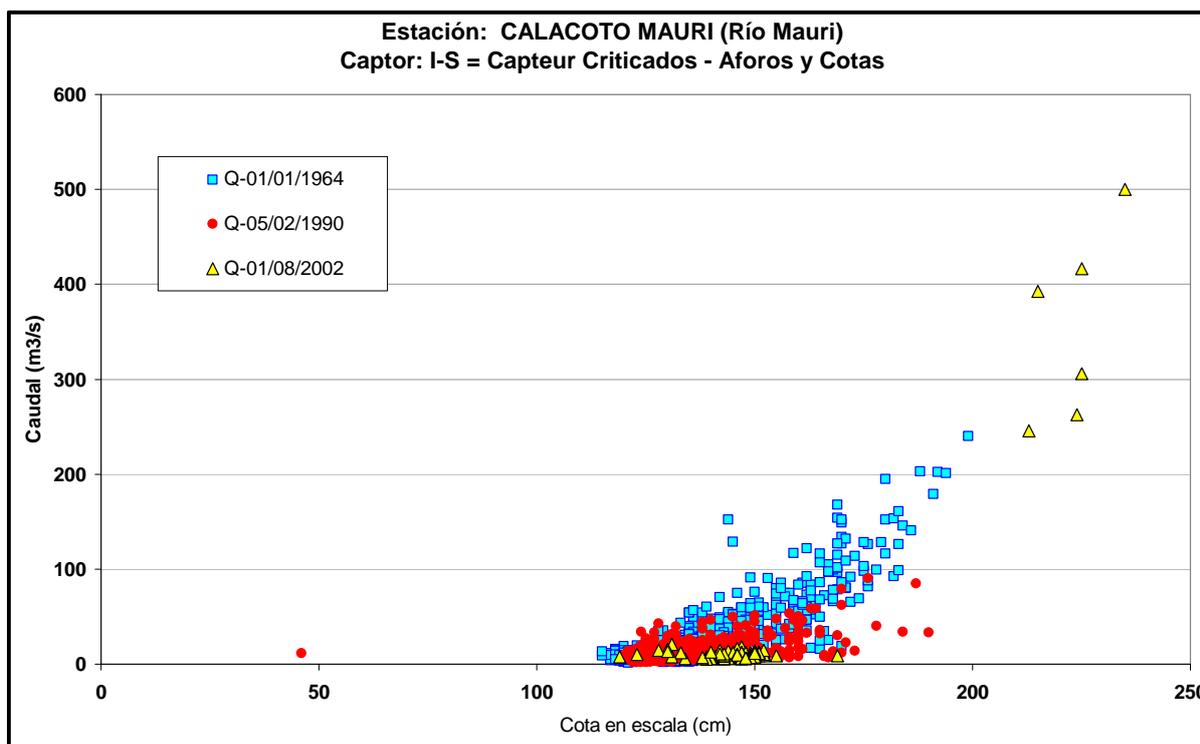


Gráfico 5.16 Cotas y Aforos. Se muestra la buena cantidad de datos existentes para el periodo anterior al 01/08/2002-30/06/2010 (Periodo en Estudio). (Elaboración Propia)

Si bien se pueden definir curvas de calibración para el periodo anterior al 01/08/2002, los caudales obtenidos y su confiabilidad no podrán ser juzgados debido a que es realmente necesario criticar todas las estaciones que pertenecen a esta subcuenca con la finalidad de determinar caudales confiables en la estación de control Calacoto Mauri y conocer a nivel de subcuenca e intercuenca el comportamiento del grupo de las estaciones pertenecientes a la subcuenca del Río Mauri.

Dentro del alcance del presente estudio solamente se pidió criticar la estación Calacoto Mauri en el periodo 2002-2010, y como se mencionó anteriormente es un periodo con escasa información. **Pero para tener una idea sobre el comportamiento de la estación y su aporte a las estaciones ubicadas aguas abajo Ulloma y Chuquiña**, se observó el periodo 09/02/1977 – 31/12/84, debido a que en estos años se tiene bastante cantidad de aforos.

Por la escasa cantidad de aforos, inicialmente se definieron 5 curvas de calibración (Agosto 2002 hasta 2010). Para obtener la Curva de Calibración Típica se utilizó la serie de aforos en el periodo 13/01/79 – 03/03/79, debido a que éstas series presentan mayor cantidad de aforos en aguas altas, y medianas; para definir la parte baja de las curvas de calibración fue necesario utilizar la serie de aforos 01/02/81–

07/02/81, debido a que ésta serie presenta mayor cantidad de aforos en aguas medianas y bajas. Para hallar las curvas fue necesario ajustar 2 curvas de calibración,

- **La primera curva** se trazó siguiendo la tendencia de los aforos cuya ecuación es Potencial de Grado 2.
- **La segunda curva** se trazó por Manning Strickler, donde el coeficiente de Manning fue estimado a partir de los aforos disponibles para aguas altas, considerando la pendiente hidráulica de 0.001168⁴. En el proceso se estimó la rugosidad de acuerdo al gráfico 5.18.

Como se observa en el gráfico 5.17, ambas curvas tienen la misma forma y magnitud por lo tanto la curva de calibración típica se mantuvo y por simple traslación se ajustó al resto de las 4 curvas de calibración. Por lo que la curva de calibración obtenida con Manning Strickler, permitió validar la parte alta y baja de la curva típica. A partir de las curvas de calibración se calcularon series de caudales instantáneos (IS) y caudales diarios (JS) y se comparó con sus estaciones vecinas Ulloma y Calacoto Desaguadero, se observó muchas irregularidades, es decir cambios bruscos del caudal, caudales muy altos, situación que pone en evidencia que la estación requiere ser descalibrada, es decir que se deben aumentar curvas de calibración, para ello fue de utilidad ver el comportamiento de los datos en los años pasados y de igual forma intentar replicar este comportamiento para la serie de datos en estudio. Solamente se observó el periodo 09/02/1977 – 31/12/83 y se asumió que la estación se descalibraría de igual manera que en estos años.

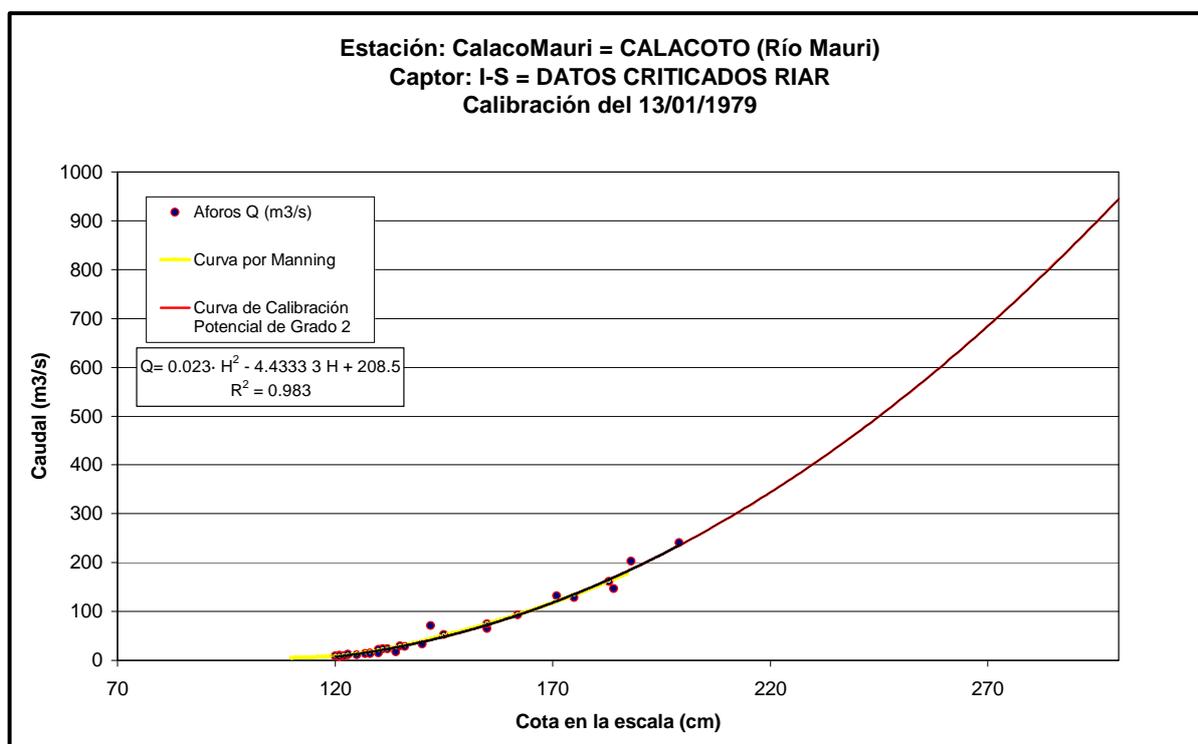


Gráfico 5.17 Curva de Calibración Típica Periodo 13/01/79. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

⁴ Dato obtenidos del Modelo de Elevación Digital de la Subcuenca del la estación Chuquiña.

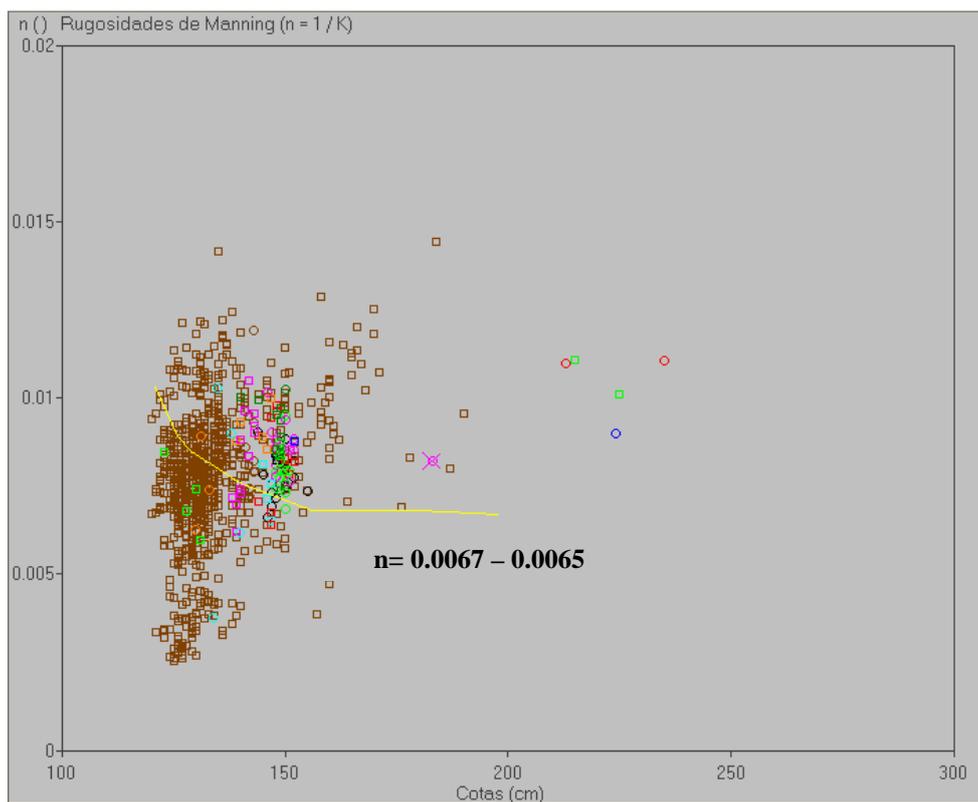


Gráfico 5.18 Curva de rugosidades para periodo 03/08/90. Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

La estación de Calacoto Mauri presenta 35 curvas de calibración, es decir que la estación presenta varias descalibraciones en los aforos para un mismo año.

La estación se caracteriza por presentar mayor cantidad de lecturas de escala del aforo para aguas bajas y poca a escasa cantidad para aguas altas.

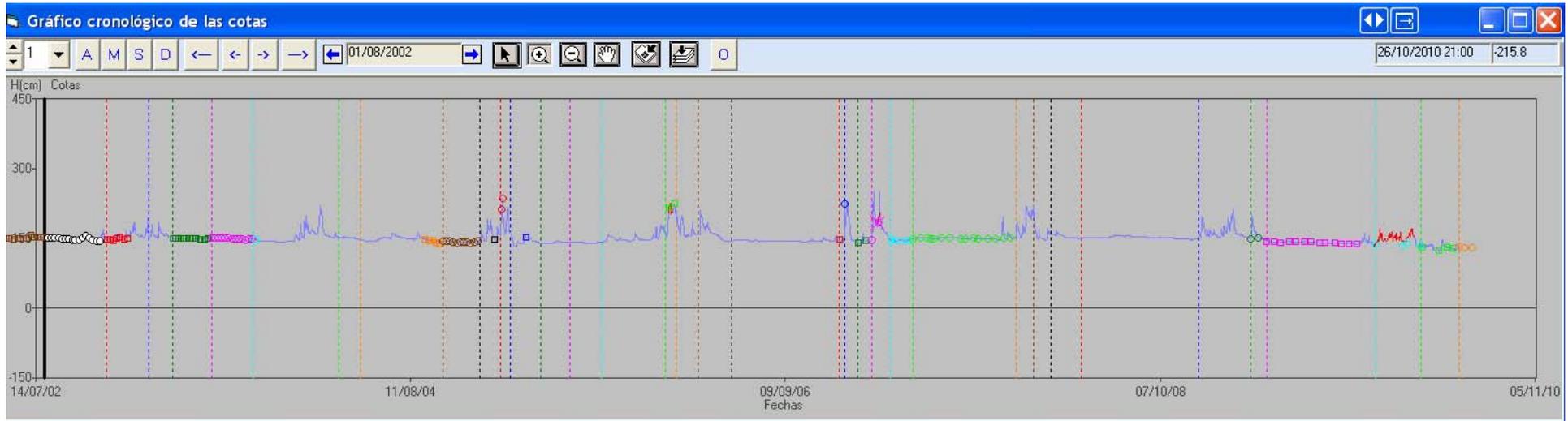


Gráfico 5.19 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Calacoto Mauri en el periodo 01/8/02 – 30/06/2010. (Elaboración Propia)

A partir de las curvas de calibración se calcularon series de caudales instantáneos (IS) y después se calcularon los caudales diarios (JS) y mensuales (MS) secuencialmente.

5.3.7 Relleno de las series de caudales mensuales

No fue necesario realizar rellenos de caudales a nivel mensual, porque se rellenó a nivel instantáneo sobre la serie de cotas.

5.3.8 Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.

Para validar los caudales mensuales MS de Calacoto Mauri, se compararon con los caudales mensuales de sus estaciones vecinas: Frontera ubicada en la subcuenca del río Mauri, Calacoto Desaguadero y Ulloma ubicadas aguas abajo y sobre el río Desaguadero, se observó lo siguiente:

- Comparando los caudales medios mensuales de Calacoto Mauri y los caudales de Calacoto Desaguadero, Ulloma y Frontera, se observó una buena correlación y una similar tendencia para aguas altas, medias y bajas. Ver gráfico 5.20.

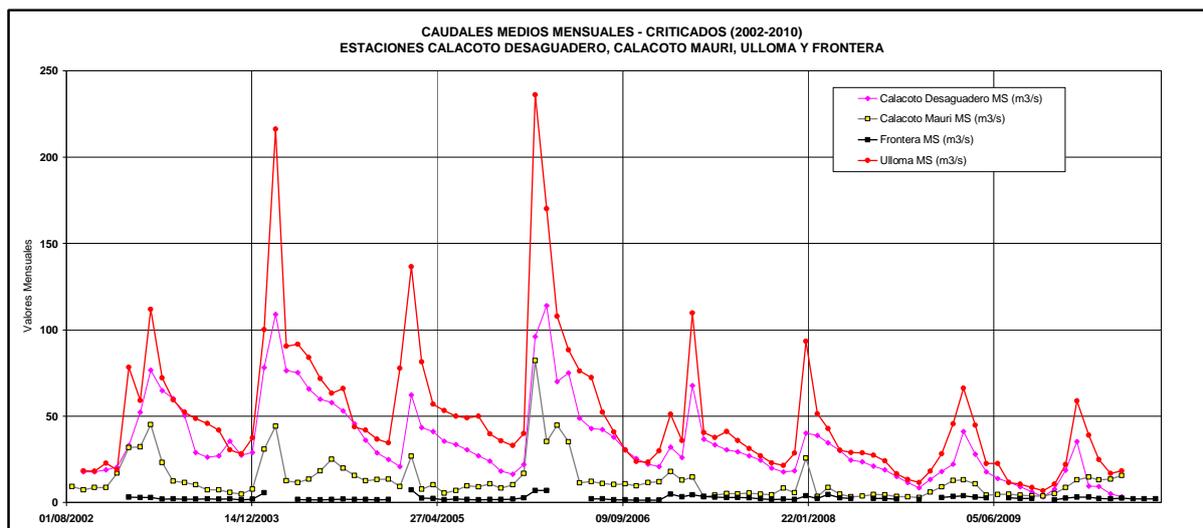


Gráfico 5.20 Caudales Medios Mensuales – Criticados (2002-2010) Estaciones: Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Frontera. (Elaboración Propia)

- Como se observa en el gráfico 5.20, los caudales de Calacoto Mauri son menores que los caudales de Calacoto Desaguadero, así también los caudales de la estación Frontera son muy bajos comparados a los caudales de la estación Calacoto Mauri, pero tienen una similar tendencia. Por tal situación los caudales calculados en el presente estudio, son dependientes del periodo 09/02/1977 – 31/12/83 (fuera del periodo en estudio) porque se intentó replicar el mismo comportamiento para el periodo 01/08/02-30/06/2010. Por lo tanto los caudales calculados para la estación Calacoto Mauri son valores estimados y solo se pueden utilizar para ver y comparar el comportamiento de la estación respecto a sus estaciones vecinas.
- La estación requiere un estudio integral de toda la serie de datos, es decir conocer el comportamiento de las lecturas de escala y aforos en los años anteriores al 01/08/02 para que de esta manera se pueda descalibrar más exactamente la estación y se tenga un comportamiento más real de la estación. Así mismo es importante criticar las estaciones que pertenecen al mismo río y se encuentra en la misma subcuenca del Río Mauri.
- Las curvas de calibración se encuentra bien definidas pero de igual forma es necesario ver toda la información y definir de manera más exacta la tendencia de las curvas de calibración para aguas altas y bajas.

5.3.9 *Análisis de Consistencia con el Vector Regional.*

La estación de Calacoto Mauri no se consideró dentro del juego de estaciones para el Análisis de Consistencia con el Método del Vector Regional, porque sus valores podrían afectar la calidad del Vector Regional del juego de estaciones y modificar su comportamiento.

Una vez validados los caudales mediante el Análisis de Consistencia con el Vector Regional, en las estaciones de: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Ulloma y Chuquiña; se utilizaron estas estaciones en el mismo análisis para ver el comportamiento de los caudales en la estación de Calacoto Mauri.

Es importante mencionar que dentro del grupo de estaciones no se pudo considerar los caudales medio-mensuales y medio –anuales de :

- Q TDPS (1976-1990), debido a que el periodo de datos no es coincidente con el periodo de datos en estudio.
- Q ALT (1965-1997), debido a que el periodo de datos no es coincidente con el periodo de datos en estudio.

El análisis se realizó primero a nivel anual, para identificar los años (Q criticado) de Calacoto Mauri que presentaban problemas, se observó que en algunos años todavía existían quiebres de caudal, aspecto que muestra que existen problemas en la definición de fecha de curva de calibración, por lo tanto se tuvo que corregir realizando correlaciones de caudales a nivel mensual. El Vector Regional refleja que la estación requiere ser descalibrada. (ver Anexo 1 y 2)

A continuación se encuentran las curvas de calibración finales de Calacoto Mauri y los caudales medio mensuales y medio anuales en los gráficos 5.21, 5.22 y la Tabla 5.9.

Conclusión: Las series de caudales instantáneos IS, caudales diarios JS, caudales medio-mensuales MS obtenidos en Calacoto Mauri son simplemente de referencia y no se encuentran validados, solamente se calcularon para comparar el comportamiento de la estación en estudio con sus estaciones vecinas y para tener una idea del aporte de la subcuenca, en el periodo de estudio.

La serie de caudales mensuales MS esta completa desde Sep. – Ago. del 2003-2009, (7 años hidrológicos).

El módulo anual para el periodo de observación está evaluado a 10.370 m³/s.

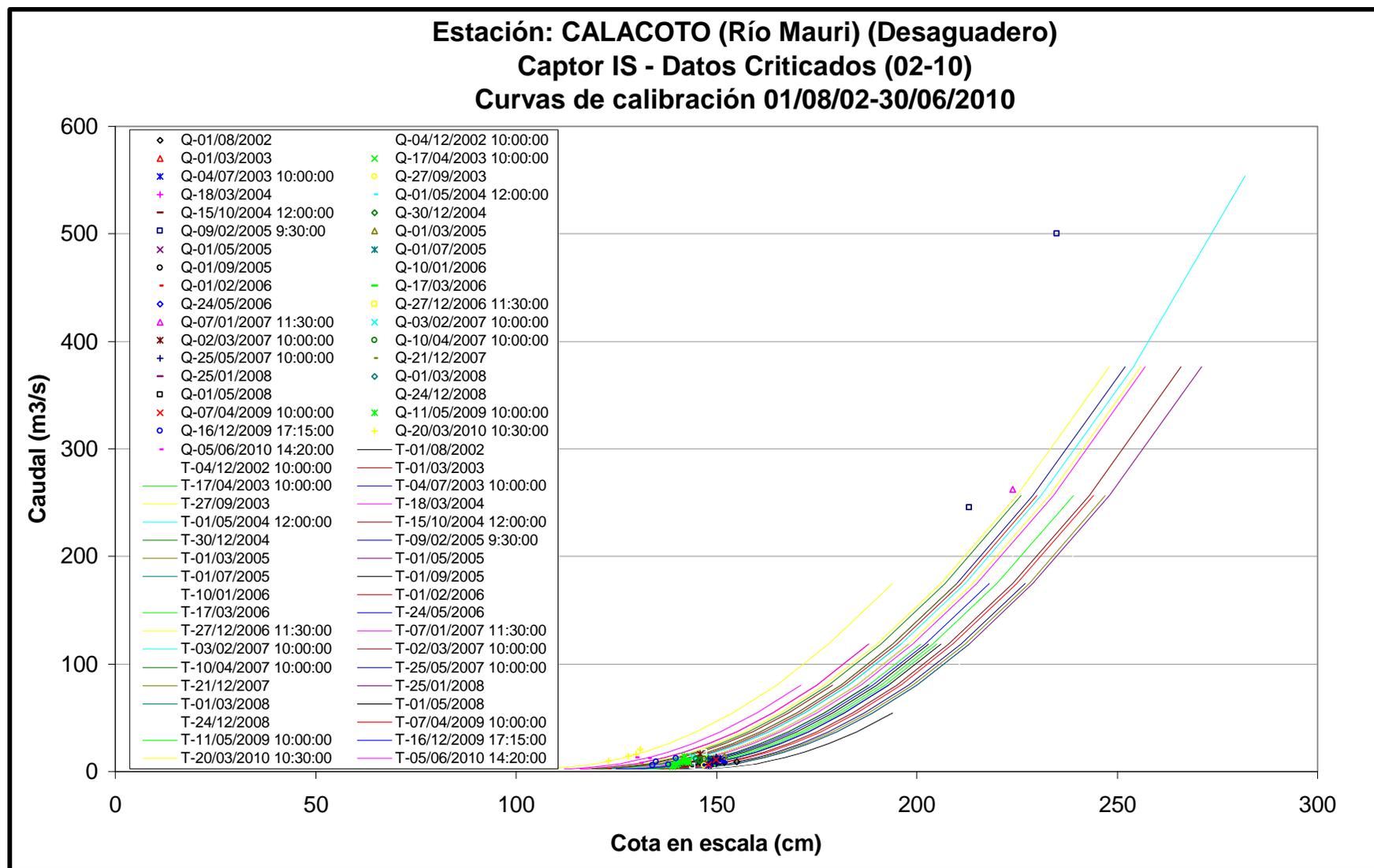


Gráfico 5.21 Curvas de Calibración Finales Calacoto Mauri – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

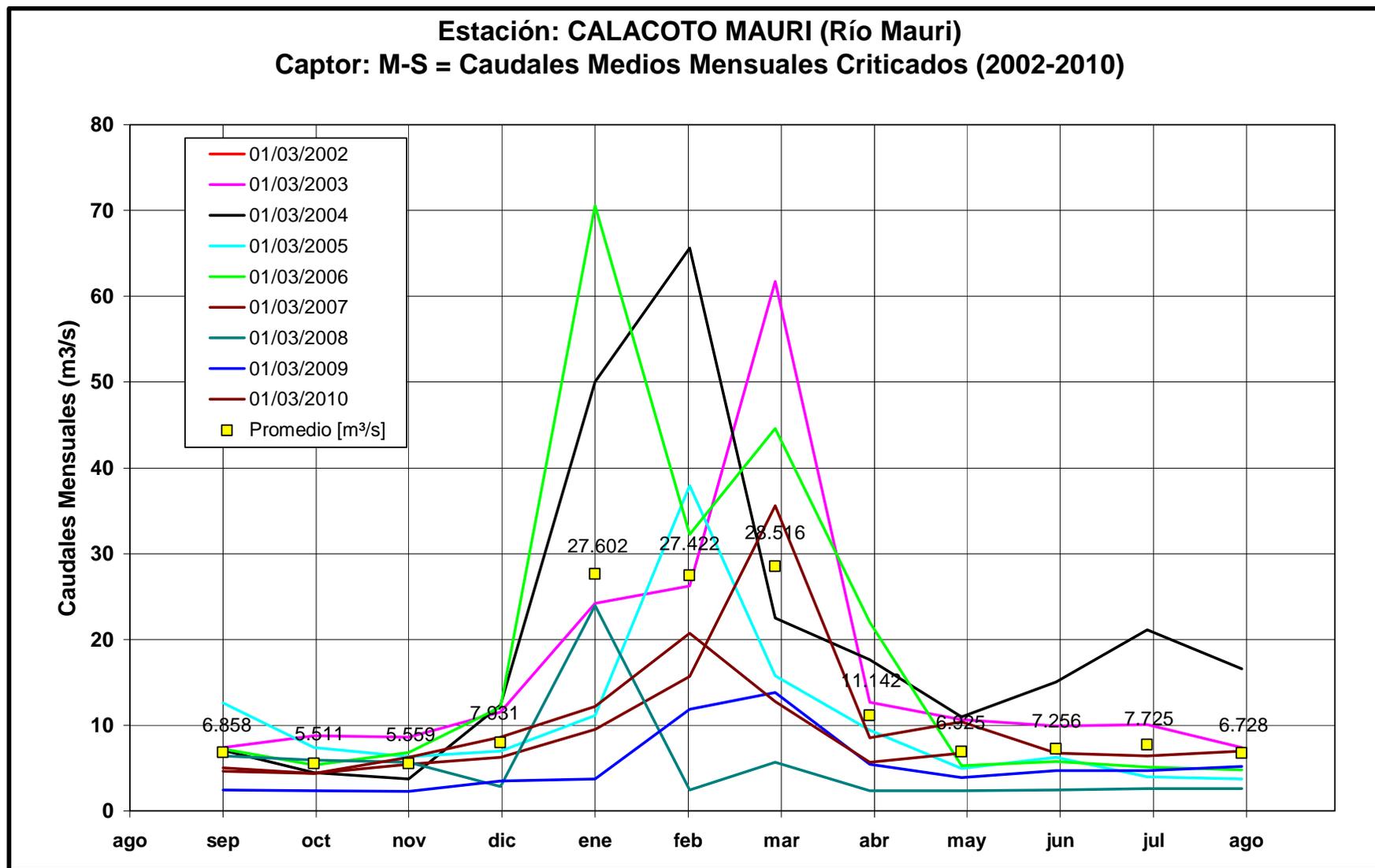


Gráfico 5.22 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Calacoto Mauri – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

Caudales Medio Mensuales y Medio Anuales [m³/s] en la Estación Calacoto Mauri.

Año Hidrológico		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Promedio Anual o Modulo Anual
2002	2002													
2002	2003	7.363	8.768	8.596	11.53	24.21	26.25	61.76	12.69	10.62	9.907	10.06	7.357	16.59
2003	2004	7.042	4.431	3.744	12.33	50.07	65.6	22.51	17.59	10.98	15.02	21.12	16.53	20.58
2004	2005	12.59	7.37	6.35	6.949	11.11	37.89	15.76	9.408	4.985	6.285	3.991	3.73	10.53
2005	2006	7.19	5.358	6.833	12.13	70.56	32.26	44.58	21.97	5.28	5.745	5.099	4.786	18.48
2006	2007	5.005	4.348	5.407	6.267	9.493	15.67	35.54	8.534	10.37	6.734	6.452	6.959	10.06
2007	2008	6.405	5.94	5.717	2.807	24	2.445	5.67	2.346	2.338	2.412	2.608	2.576	5.44
2008	2009	2.408	2.365	2.268	3.502	3.772	11.84	13.79	5.454	3.902	4.691	4.743	5.158	5.32
2009	2010	4.648	4.392	6.235	8.584	12.2	20.68	12.72	5.664	6.77				
Promedio [m³/s]		6.858	5.511	5.559	7.931	27.602	27.422	28.516	11.142	6.925	7.256	7.725	6.728	12.431
% Mensual por año Hidrológico		4.597%	3.695%	3.727%	5.316%	18.503%	18.383%	19.116%	7.469%	4.642%	4.864%	5.178%	4.510%	

Tabla 5.9 Caudales Medios Mensuales, Medios Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Calacoto Mauri. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados).

Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.

5.4 Ulloma (Río Desaguadero).

5.4.1 Características Generales.

Estación	ULLOMA	
Características hidrográficas	Río	Desaguadero
	Subcuenca	Estación Chuquiña
Características geográficas	Norte UTM DATUM WGS 84	8066235.7
	Este UTM DATUM WGS 84	556193.66
	Altura (m.s.n.m.)	3775
	País	Bolivia
Acceso	Se encuentra ubicada aproximadamente 3.4 [Km] aguas abajo de la población de Ulloma, en la margen derecha hidráulica del río Desaguadero. (En Base a SENAMHI – La Paz, Bolivia)	
Administrador	SENAMHI – La Paz, Bolivia.	
Fecha de apertura	1975	
Cierre /rehabilitación	La estación esta en constante funcionamiento desde su apertura hasta la fecha.	
Mediciones y equipamiento	Cotas Originales Captor I-E: 06/11/75-07/06/2010	Cotas originales leídas en escalas limnimétricas.
	Cotas Criticadas I-S: 06/11/75-07/06/2010	Cotas copiadas del captor I-E y criticados.
	Aforos Originales Captor I-E: 02/01/76-30/04/2010	Aforos originales.
	Aforos Criticados Captor I-S: 02/01/76-30/04/2010	Captor creado a partir del captor I-E para su crítica.
Informaciones complementarias disponibles	La estación es visitada 2 a 3 veces al año por el personal SENAMHI La Paz, Bolivia.	



Figura 5.4 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Ulloma.

5.4.2 *Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.*

En la base Hydraccess se encontraron los siguientes captosres para el periodo de estudio Agosto 2002 a Abril 2010:

- | | | |
|--|---|---|
| Lecturas de escala instantáneas brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | } | 1. Captor I-E de cotas instantáneas – Cotas Originales. |
| Aforos Diarios brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | | |

5.4.3 *Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.*

Los captosres creados en la base de datos son los siguientes:

1. Captor I-S de Cotas instantáneas y caudales instantáneos (datos obtenidos a partir del captor I-E, datos originales)
2. Captor J-S de Cotas diarias y Caudales diarios.
3. Captor M-S de Caudales mensuales

5.4.4 *Tratamiento de las lecturas de escala.*

Primera-última cota disponible : 01/8/02-07/06/2010

Nº de Días de Laguna: 37 días de Laguna.

Calidad general de los datos : Buena.

Tratamiento de los datos : Análisis por Correlaciones Lineales y Análisis por Consistencia.

La estación Ulloma presenta buena cantidad de datos y la calidad debe de ser validada mediante correlaciones lineales simples y/o múltiples, debido a que los años 2004 y 2006 se ven muy altos comparados con los años de sus estaciones vecinas: Calacoto Mauri, Calacoto Desaguadero y Chuquiña. La estación Ulloma presenta 37 días de laguna, para rellenar este periodos y ver la calidad de los datos se utilizaron las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña

Las buenas correlaciones con la estación permitieron ver la confiabilidad de los datos de Ulloma e identificar periodos de datos dudosos y sustituirlos y rellenarlos mediante los valores estimados de las correlaciones.

Los datos disponibles fueron tratados de la siguiente manera:

Cotas Disponibles	Lagunas	Relleno	Análisis y tratamiento
01/08/2002- 27/11/02			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	28/11/02- 01/12/02		Periodo Rellenado por simple interpolación. Los datos son confiables y de buena calidad.
02/12/02- 26/01/04			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
		27/01/04- 04/02/04	Periodo Sustituido y Rellenado por simple inversión de datos, es decir que se presentaban datos que mostraban un gráfico con la forma convexa hacia arriba, por lo que estos datos fueron invertidos, logrando un gráfico cóncavo. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron la inversión de datos. Los datos son confiables y de buena calidad.
05/02/04- 30/04/04			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
		01/05/04- 17/05/04	Periodo Sustituido y Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
18/05/04- 28/09/04			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
		29/09/04- 01/11/04	Periodo Sustituido y Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
02/11/04- 02/07/05			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
		03/07/05-	Periodo Sustituido y Rellenado por las estimaciones

		17/02/06	obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas y por simple desplazamiento de un $\Delta(-)$ de 100 y 50 [cm]. Los datos son confiables y de buena calidad.
18/02/06-20/03/06			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
		21/03/06-27/03/06	Periodo Sustituido y Rellenado por simple desplazamiento de un $\Delta(-)$ de 50 [cm]. Los datos son confiables y de buena calidad.
28/03/06-07/06/2010			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Chuquiña muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.

Tabla 5.10 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Ulloma. (Elaboración Propia)

5.4.5 Aforos disponibles.

Aforos disponibles : 02/01/1976-30/04/2010

Calidad de los datos : Los datos de aforos son de buena calidad.

Cantidad de datos : Poca cantidad de aforos para aguas altas. Medición de aforos cada 4 días.

Para visualizar de mejor manera la cantidad de los aforos, y la regularidad de los mismos, se presentan la Tabla 5.11, que concuerda con el Gráfico 5.23, mostrado más abajo.

Cantidad de datos	Datos faltantes	Observaciones
01/08/2002- 10/06/04		Poca Cantidad de Aforos en las épocas de crecida y bastante cantidad de aforos en las épocas de estiaje. Medición de aforos una vez cada 4 días.
	11/06/04-09/08/04	Laguna de 60 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
10/08/04-06/09/04		Bastante cantidad de aforos en la época de estiaje. Medición de aforos una vez cada 4 días.
	07/09/04-09/10/04	Laguna de 33 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
10/10/04-08/05/05		Poca Cantidad de Aforos en la época de crecida y bastante cantidad de aforos en las épocas de estiaje. Medición de aforos una vez cada 4 días.
	09/05/05-04/04/06	Laguna de 331 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
05/04/06-22/07/06		Bastante cantidad de aforos en la época de

		estiaje. Medición de aforos una vez cada 4 días.
	23/07/06-04/10/06	Laguna de 74 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
05/10/06-04/03/07		Poca Cantidad de Aforos en la época de crecida y bastante cantidad de aforos en la época de estiaje. Medición de aforos una vez cada 4 días.
	05/03/07-19/03/07	Laguna de 15 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
20/03/07-04/03/08		Poca Cantidad de Aforos en la época de crecida. Medición de aforos una vez cada 4 días.
	05/03/08-28/04/08	Laguna de 55 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
29/04/08-30/04/2010		Poca Cantidad de Aforos en las épocas de crecida y bastante cantidad de aforos en las épocas de estiaje. Medición de aforos una vez cada 4 días.

Tabla 5.11 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Ulloma. (Elaboración Propia)

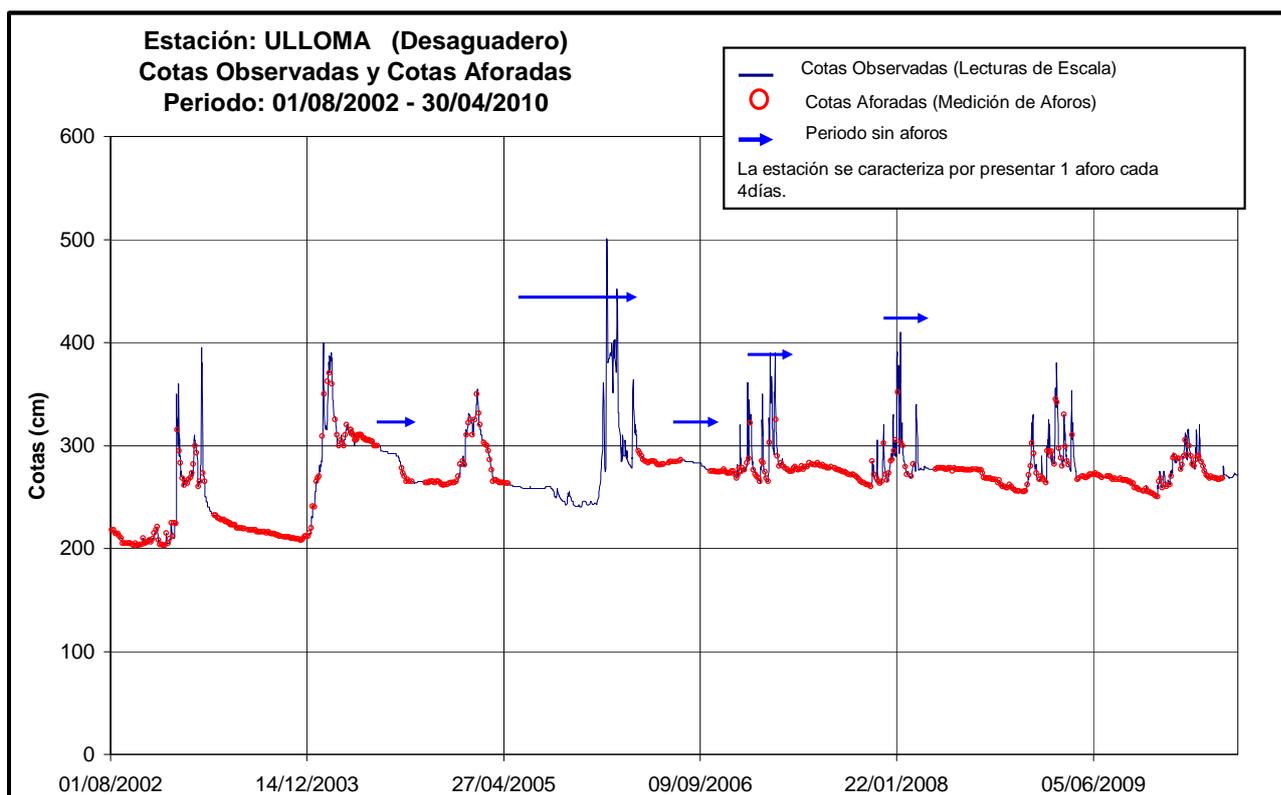


Gráfico 5.23 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Ulloma. (Elaboración Propia)

5.4.6 Realización de curvas de calibración.

La estación Ulloma presenta 39 curvas de calibración para el periodo 01/08/2002 al 30/04/2010. Para obtener la Curva de Calibración Típica se utilizó la serie de aforos en el periodo 28/12/03 – 10/01/04, debido a que estas series presentan mayor cantidad de aforos en aguas altas, bajas y medianas, para ello fue necesario ajustar 2 curvas de calibración:

- **La primera curva** se trazó siguiendo la tendencia de los aforos cuya ecuación es Potencial de Grado 2.
- **La segunda curva** se trazó por Manning Strickler, donde el coeficiente de Manning fue estimado a partir de los aforos disponibles para aguas altas, considerando la pendiente hidráulica de 0.000629⁵. En el proceso se estimó la rugosidad de acuerdo al gráfico 5.25.

Como se observa en el gráfico 5.24, ambas curvas tienen la misma forma y magnitud por lo tanto la curva de calibración típica se mantuvo y por simple traslación se ajustó al resto de las 38 curvas de calibración. Por lo que la curva de calibración obtenida con Manning Strickler, nos permitió validar la parte alta y baja de la curva típica.

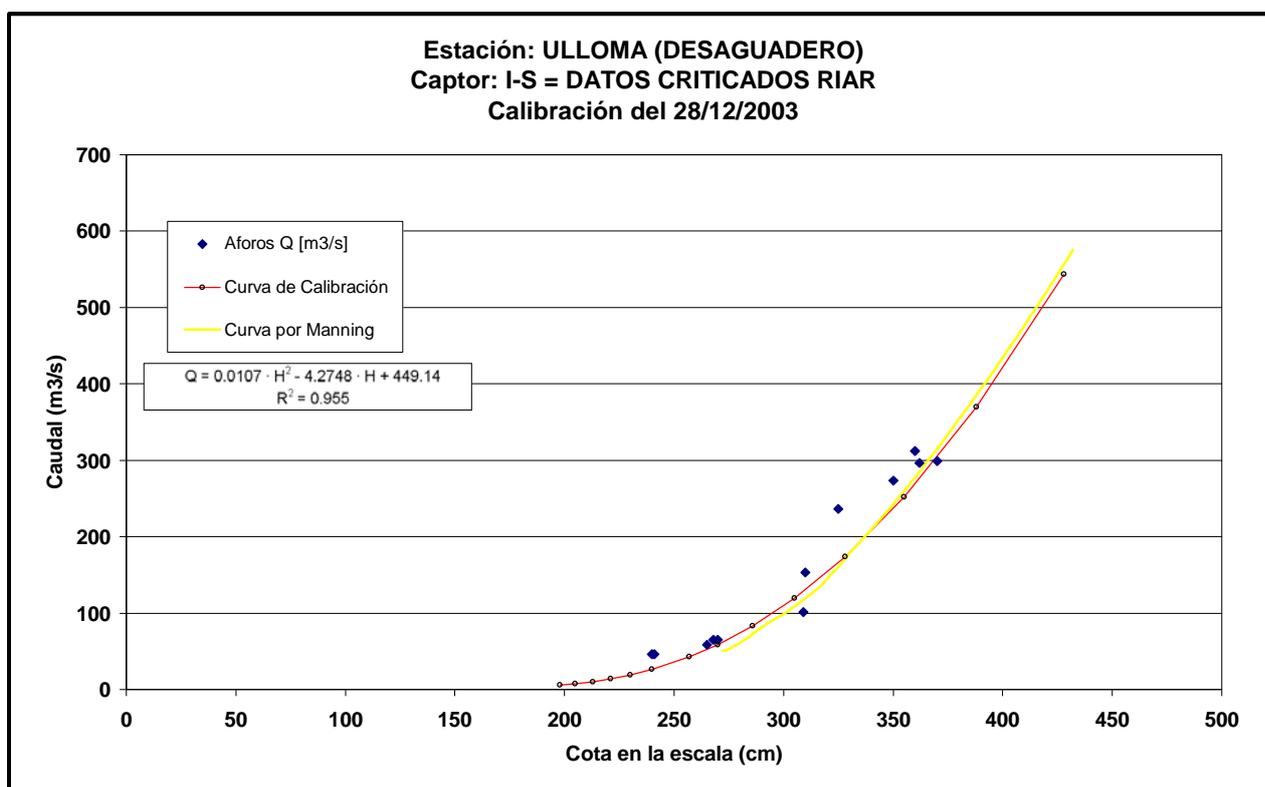


Gráfico 5.24 Curva de Calibración Típica Periodo 28/12/03. Ulloma. (Elaboración Propia)

⁵Datos obtenidos del Modelo de Elevación Digital de la Subcuenca del la estación Chuquiña.

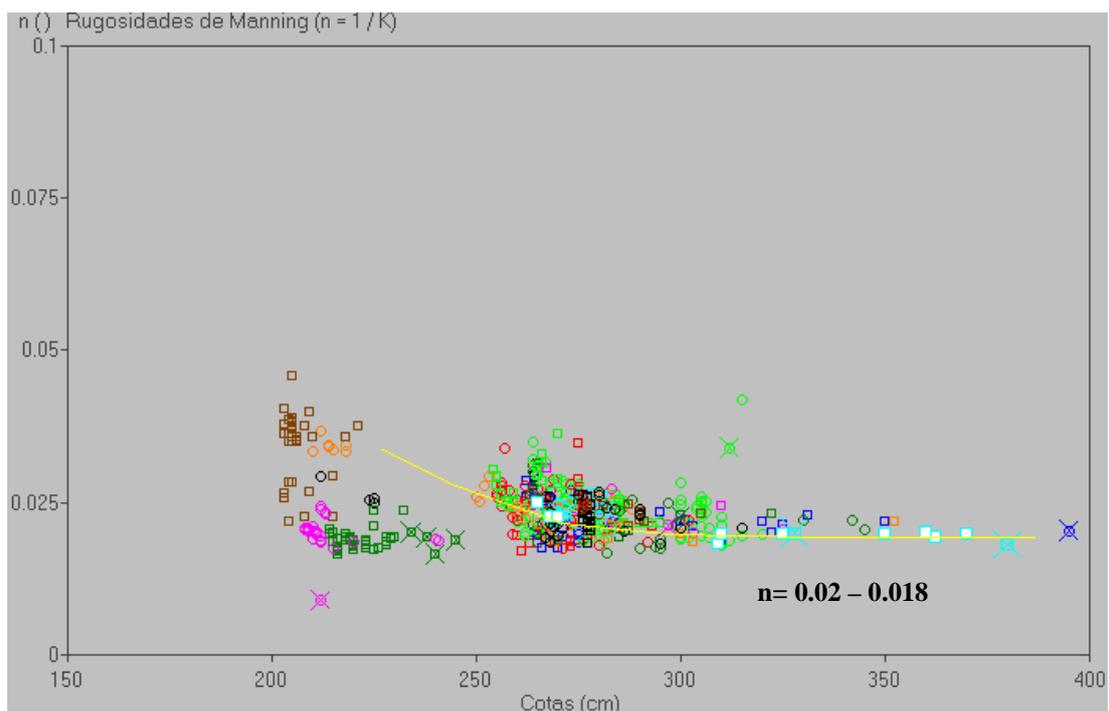


Gráfico 5.25 Curva de rugosidades para periodo 03/01/04. Ulloma. (Elaboración Propia)

Se observó que la estación Ulloma es inestable (ver gráfico 5.26), ya que presenta 39 curvas calibración, es decir que la estación presenta varias descalibraciones en los aforos para un mismo año. Estas descalibraciones están ocasionadas por crecidas correspondientes a las épocas húmedas.

La estación se caracteriza por presentar mayor cantidad de lecturas de escala del aforo para aguas medianas y bajas, y poca cantidad para aguas altas.

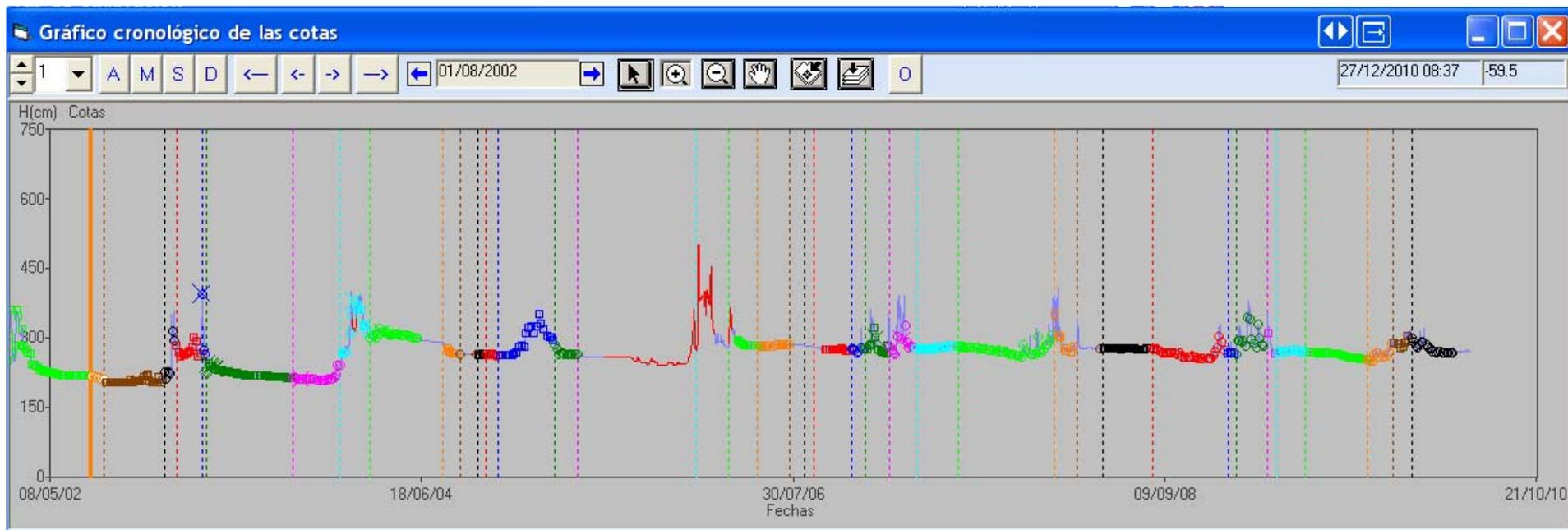


Gráfico 5.26 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Ulloma en el periodos 01/08/02 – 30/04/2010. (Elaboración Propia)

A partir de las curvas de calibración se calcularon series de caudales instantáneos (IS) y después se calcularon los caudales diarios (JS) y mensuales (MS) secuencialmente.

5.4.7 Relleno de las series de caudales mensuales.

No fue necesario realizar rellenos de caudales a nivel mensual, porque se realizó el relleno a nivel instantáneo sobre la serie de cotas.

5.4.8 Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.

Para validar los caudales mensuales MS de Ulloma, se comparó con los caudales mensuales de sus estaciones vecinas de Calacoto Mauri y Calacoto Desaguadero, se observó lo siguiente:

Una buena correlación y una similar tendencia, es decir los caudales para aguas altas en la estación de Ulloma son siempre mayores que los caudales de sus estaciones vecinas, es decir se cumple que los caudales de la estación de aguas abajo son siempre mayores que los caudales de la estación aguas arriba.

En el gráfico 5.27, se observa la relación de valores, donde la diferencia entre Ulloma y el resto de sus estaciones puede deberse al aporte de los afluentes entre la estación Ulloma y el punto de confluencia con el Río Mauri y el Río Desaguadero.

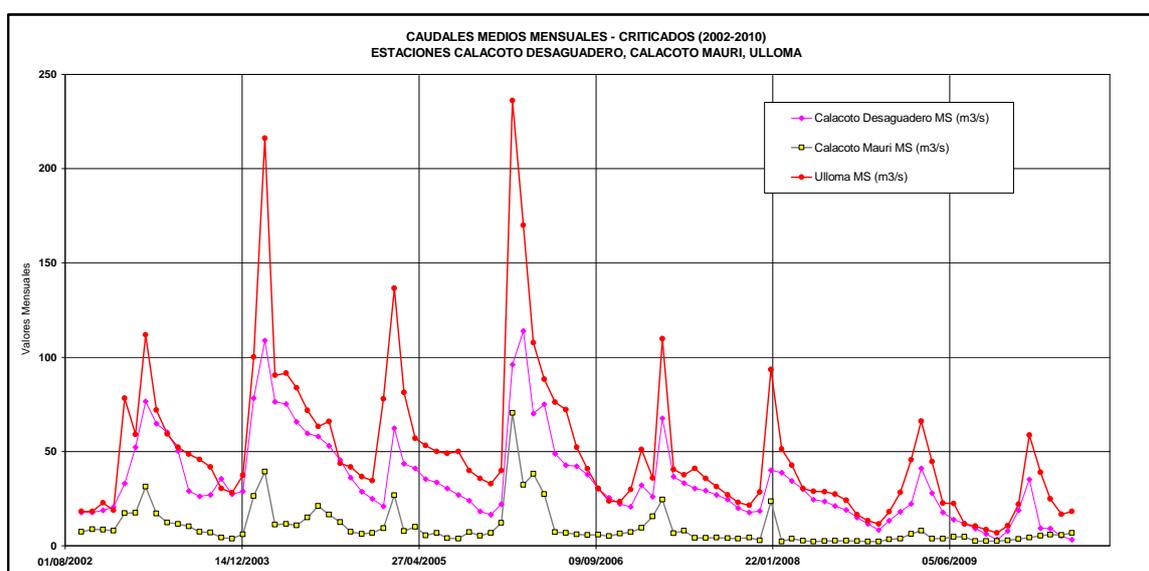


Gráfico 5.27 Caudales Medios Mensuales. Estaciones Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma. (Elaboración Propia)

5.4.9 Análisis de consistencia con el Vector Regional

Se realizó el análisis de consistencia sobre los caudales medio- anuales y medio- mensuales por el método del Vector Regional (incluido en el programa Hydraccess). El método requiere como mínimo 3 estaciones y en cada estación un número mínimo de 4 datos. Para el presente estudio se cuenta con 3 estaciones Ulloma, Calacoto Desaguadero y Chuquiña, por lo tanto se consideró un solo juego de estaciones. No se consideró la estación de Calacoto Mauri. (Ver acápite 5.3.5 y 5.3.6).

Es importante mencionar que dentro del grupo de estaciones no se pudo considerar los caudales medio- mensuales y medio – anuales de :

- Q TDPS (1976-1989), debido a que el periodo de datos no es coincidente con el periodo de datos en estudio,

El análisis se realizó primero a nivel anual, para identificar los años (Q criticado) de Ulloma que presentaban problemas, se observó que en algunos años existían fuertes quiebres de caudal, aspecto que muestra que existen problemas en la definición de fecha de curva de calibración, por lo tanto se tuvo que corregir realizando correlaciones de caudales a nivel mensual.

Una vez realizados los ajustes en las curvas de calibración de Ulloma y en las series mensuales (para que la serie de índices anuales de Ulloma siga el Vector Regional Anual), se utilizó el Vector Regional al nivel mensual con el mismo juego de estaciones. El resultado del análisis anual y mensual con el Vector Regional se encuentran en el Anexo 1 y 2 de este informe.

A continuación se muestran las curvas de calibración finales de Ulloma y los caudales medio mensuales y medio anuales en los gráficos 5.28, 5.29 y la Tabla 5.12.

Conclusión: Las series de caudales instantáneos IS, caudales diarios JS, caudales medio-mensuales MS obtenidos en Ulloma son bastante confiables y se encuentran validados con el Análisis de Consistencia por el Método del Vector Regional.

La serie de caudales mensuales MS esta completa desde Sep. – Ago. del 2003-2009, (7 años hidrológicos). Las curvas de calibración están bien definidas para aguas bajas y medias y altas, aunque la estación es bastante inestable. Para aguas altas, los caudales calculados con las extrapolaciones de las curvas de calibración tienen una relación coherente con los caudales de las otras estaciones de la cuenca.

El módulo anual para el periodo de observación está evaluado a 53.088 m³/s. El mayor caudal instantáneo calculado es 852.90 m³/s y su cota correspondiente es 500 [cm] y el menor caudal instantáneo calculado es 5.98 m³/s y su cota correspondiente es 235 [cm].

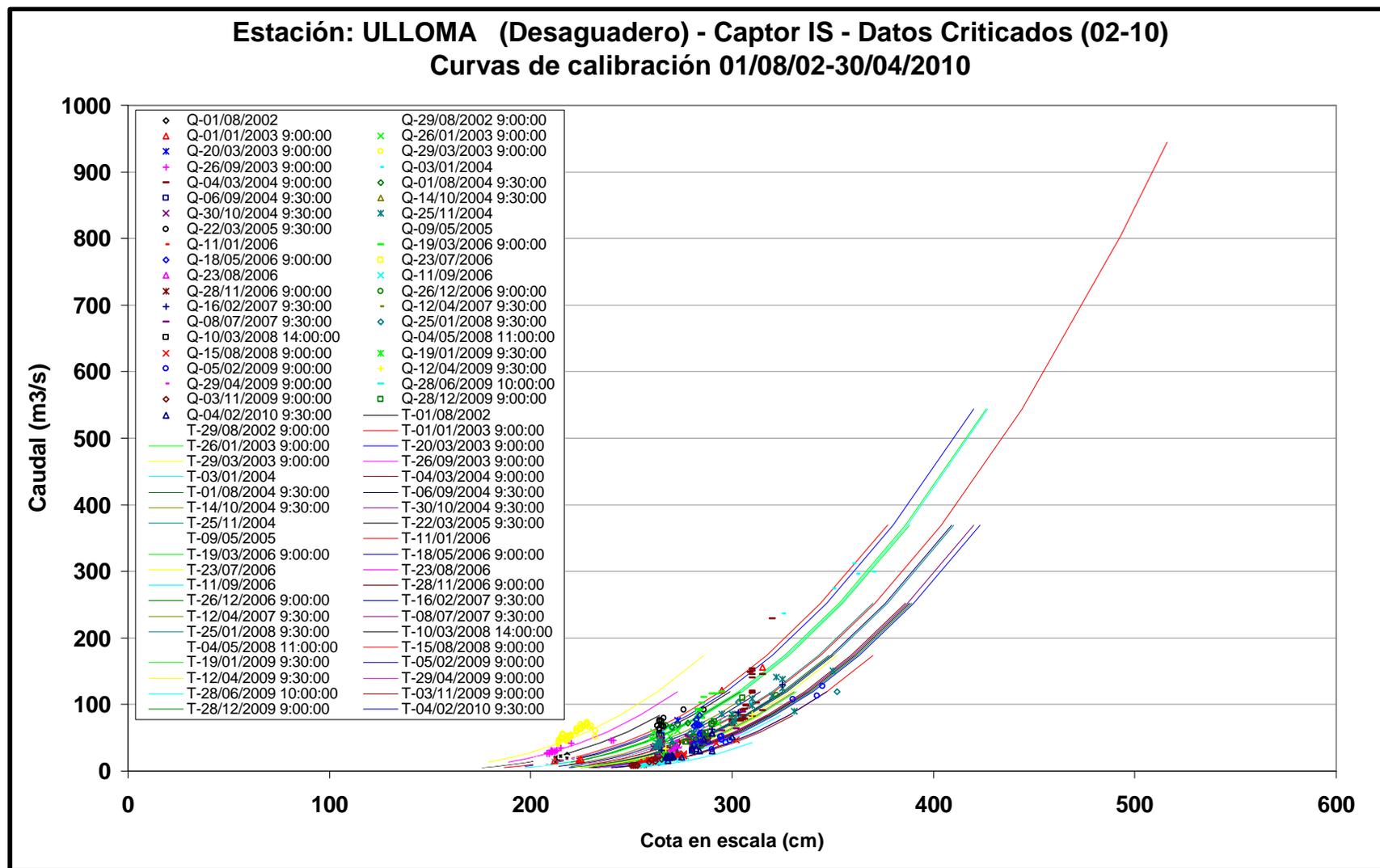


Gráfico 5.28 Curvas de Calibración Finales de Ulloma – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

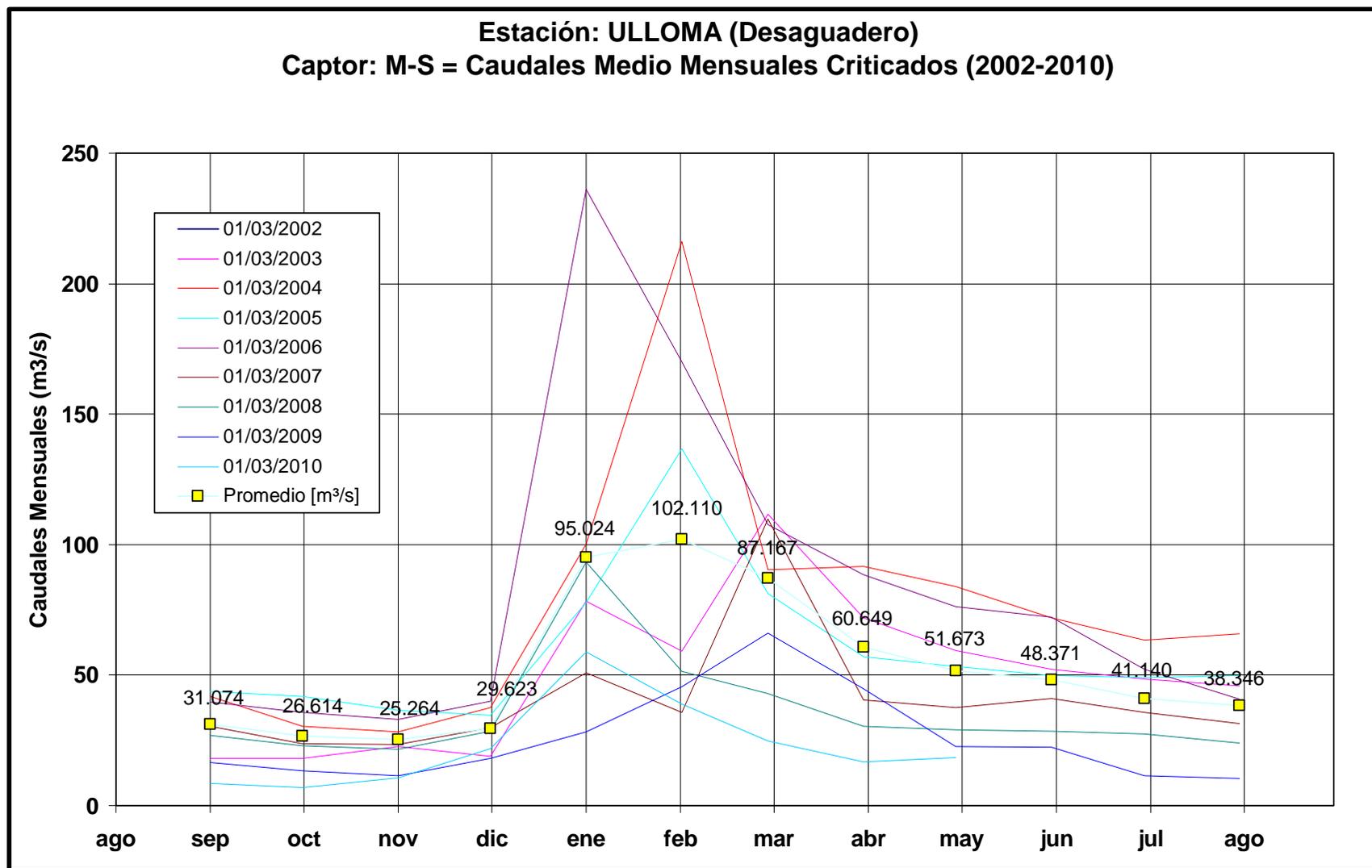


Gráfico 5.29 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Ulloma – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS.
 (Elaboración Propia)

Caudales Medio Mensuales y Medio Anuales [m³/s] en la Estación Ulloma.

Año Hidrológico		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Promedio Anual o Módulo Anual
2002	2002													
2002	2003	18.25	18.22	22.74	18.82	78.27	59.11	111.8	72.09	59.34	52.33	48.57	45.74	50.44
2003	2004	41.77	30.49	28.2	37.51	100.2	216.2	90.47	91.62	83.83	71.83	63.34	65.93	76.78
2004	2005	43.73	41.87	36.59	34.61	77.83	136.6	81.32	56.91	53.19	49.96	49.06	49.93	59.30
2005	2006	39.8	35.72	32.94	39.97	236.2	170.1	107.8	88.38	76.15	72.28	52.23	40.86	82.70
2006	2007	30.48	23.71	23.36	29.89	51.03	35.84	109.8	40.45	37.63	41.06	35.79	31.34	40.87
2007	2008	26.96	23.02	21.49	28.49	93.39	51.32	42.82	30.38	28.95	28.65	27.41	24.1	35.58
2008	2009	16.53	13.27	11.53	18.07	28.25	45.6	66.16	44.71	22.62	22.49	11.58	10.52	25.94
2009	2010	8.62	6.801	10.68	21.98	58.78	38.92	24.82	16.74	18.29				
Promedio [m³/s]		31.074	26.614	25.264	29.623	95.024	102.110	87.167	60.649	51.673	48.371	41.140	38.346	53.088
% Mensual por año Hidrológico		4.88%	4.18%	3.97%	4.65%	14.92%	16.03%	13.68%	9.52%	8.11%	7.59%	6.46%	6.02%	

Tabla 5.12 Caudales Medios Mensuales, Medios Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Ulloma. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados).

Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.

5.5 Chuquiña (Río Desaguadero).

5.5.1 Características Generales.

Estación	CHUQUIÑA	
Características hidrográficas	Río	Desaguadero
	Subcuenca	Estación Chuquiña
	Área de la Subcuenca (Km ²)	29184.435
Características geográficas	Norte UTM DATUM WGS 84	8033972.45
	Este UTM DATUM WGS 84	662731.28
	Altura (m.s.n.m.)	3710
	País	Bolivia
Acceso	Se encuentra ubicada aguas abajo del puente que va por el camino de la mima Inti Raymi – Oruro, sobre la margen derecha hidráulica del río Desaguadero (En Base a SENAMHI – La Paz, Bolivia).	
Administrador	SENAMHI – La Paz, Bolivia.	
Fecha de apertura	1972	
Cierre /rehabilitación	La estación esta en constante funcionamiento desde su apertura hasta la fecha.	
Mediciones y equipamiento	Cotas Originales Captor I-E: 01/01/72-31/05/2010	Cotas originales leídas en escalas limnimétricas.
	Cotas Criticadas I-S: 01/01/72-31/05/2010	Cotas copiadas del captor I-E y criticados.
	Cotas Captor I-G: 01/01/91-16/01/2007	Cotas Serpe.
	Cotas Captor I-L: 06/03/01-30/09/2006	Cotas del limnígrafo.
	Aforos Originales Captor I-E: 01/01/72-27/03/2010	Aforos originales.
	Aforos Criticados Captor I-S: 01/01/72-27/03/2010	Captor creado a partir del captor I-E, para su crítica.
Informaciones complementarias disponibles	La estación es visitada 2 a 3 veces al año por el personal del SENAMHI La Paz, Bolivia.	

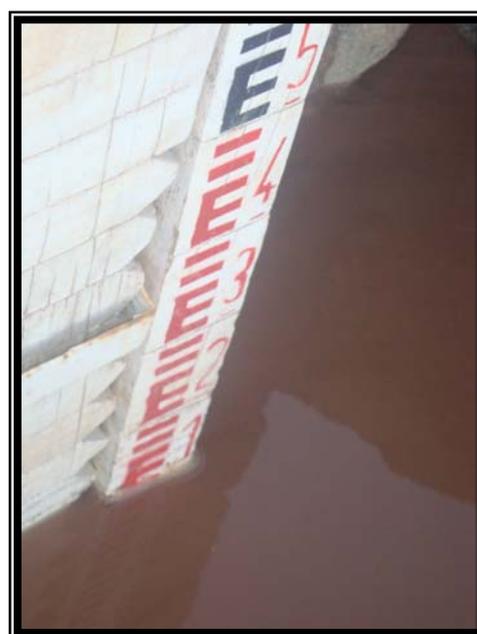


Figura 5.5 En la que se indica la ubicación de la estación con respecto a las vías principales y secundarias, a las poblaciones, etc. (Fuente: Atlas Digital de Bolivia IGM 2000) y Fotografías de la estación Chuquiña.

5.5.2 *Inventario de los captosres disponibles en la base Hydraccess.*

En la base Hydraccess se encontraron los siguientes captosres para el periodo de estudio Agosto 2002 a Mayo 2010:

- | | | |
|--|---|---|
| Lecturas de escala instantáneas brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | { | 1. Captor I-E de cotas instantáneas – Cotas Originales. |
| | | 2. Captor I-G de cotas Serpe. |
| | | 3. Captor I-L de cotas del limnógrafo. |
| Aforos Diarios brindados por SENAMHI – La Paz, Bolivia. | { | 4. Captor I-E de Aforos - Cotas Originales. |

5.5.3 *Elaboración de Captosres para las series de cotas y aforos de trabajo a partir de las series disponibles y los datos recolectados.*

Los captosres creados en la base de datos son los siguientes:

1. Captor I-S de Cotas instantáneas y caudales instantáneos (datos obtenidos a partir del captor I-E, por ser el captor de datos originales).
2. Captor J-S de Cotas diarias y Caudales diarios.
4. Captor M-S de Caudales mensuales.

5.5.4 *Tratamiento de las lecturas de escala.*

Primera-última cota disponible : 01/08/02-05/06/2010.

Nº de Días de lagunas: 328 días de Laguna.

Calidad general de los datos : Buena.

Tratamiento de los datos : Análisis por Correlaciones Lineales y Análisis por Consistencia.

En general, la estación Chuquiña presenta datos completos y de buena calidad, en todo el periodo. Presenta 328 días laguna, para rellenar estos periodos y ver la calidad de los datos se utilizaron las correlaciones lineales para lo cual fue necesario tomar en cuenta las estaciones Calacoto Mauri, Calacoto Desaguadero y Ulloma.

Las buenas correlaciones con las estaciones vecinas permitieron ver la confiabilidad de los datos de Chuquiña e identificar periodos de datos dudosos y sustituirlos y rellenarlos mediante los valores estimados de las correlaciones. También se compararon las cotas de los captosres IG y IL (Serpe – Cotas limnógrafo) con las cotas limnimétricas IS y el periodo de lagunas fue rellenado considerando estos datos.

Los datos disponibles fueron tratados de la siguiente manera:

Cotas Disponibles	Lagunas	Relleno	Análisis y tratamiento
01/08/2002- 25/12/03			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	26/12/03- 05/01/04		Periodo Sustituido y Rellenado considerando las cotas del limnógrafo captor IL de Chuquiña como si fueran observadas, con la finalidad de ver la calidad de los datos en la misma estación. Las estimaciones obtenidas por correlaciones mostraron la buena correlación que existe en este periodo, también se identificó un periodo de mala calidad. Por lo tanto fueron reemplazados y rellenos considerando los datos del captor IL, lecturas del limnógrafo. Los datos son de buena calidad y confiables.
06/01/04- 19/01/04			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	20/01/04- 02/02/04		Periodo Rellenado por simple interpolación de datos. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron el relleno realizado. Los datos son confiables y de buena calidad.
03/02/04- 30/10/04			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	31/10/04- 01/12/04		Periodo Sustituido y Rellenado considerando las cotas del limnógrafo captor IL de Chuquiña como si fueran observadas, con la finalidad de ver la calidad de los datos en la misma estación. Las estimaciones obtenidas por correlaciones mostraron la buena correlación que existe en este periodo. Por lo tanto fueron rellenos considerando los datos del captor IL, lecturas del limnógrafo. Los datos son de buena calidad y confiables.
02/12/04-			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a

29/06/05			partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	30/06/05-16/12/05		Periodo Sustituido y Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
	17/12/05-19/03/06		Periodo Sustituido y Rellenado considerando las cotas Serpe captor IG de Chuquiña como si fueran observadas, con la finalidad de ver la calidad de los datos en la misma estación. Las estimaciones obtenidas por correlaciones mostraban la buena correlación que existe en este periodo. Por lo tanto fueron rellenos considerando los datos del captor IG. Los datos son de buena calidad y confiables.
20/03/06-29/11/06			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	30/11/06-01/01/07		Periodo Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
02/01/07-29/09/07			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	30/09/07-01/11/07		Periodo Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
02/11/07-02/02/08			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	03/02/08-		Periodo Rellenado por las estimaciones obtenidas

	06/02/08		por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
07/02/09- 30/12/08			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	31/12/08- 02/01/09		Periodo Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
03/01/09- 29/04/09			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	30/04/09- 02/05/09		Periodo Rellenado por simple interpolación de datos. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron el relleno realizado. Los datos son confiables y de buena calidad.
03/05/09- 13/05/09			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	14/05/09- 16/05/09		Periodo Rellenado por simple interpolación de datos. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron el relleno realizado. Los datos son confiables y de buena calidad.
17/05/09- 31/10/09			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	01/11/09- 03/11/09		Periodo Rellenado por simple interpolación de datos. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron el relleno realizado. Los datos son confiables y de buena calidad.

04/11/09- 30/12/09			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	31/12/09- 02/01/10		Periodo Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.
03/01/10- 31/03/10			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	01/04/10- 03/04/10		Periodo Rellenado por simple interpolación de datos. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron el relleno realizado. Los datos son confiables y de buena calidad.
04/04/10- 29/04/10			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	30/04/10- 02/05/10		Periodo Rellenado por simple interpolación de datos. Las correlaciones lineales con sus estaciones vecinas validaron el relleno realizado. Los datos son confiables y de buena calidad.
03/05/10- 30/05/10			Las estimaciones obtenidas por correlaciones a partir de Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri y Ulloma, muestran que los datos en este periodo son confiables y de buena calidad.
	31/05/10- 05/06/10		Periodo Rellenado por las estimaciones obtenidas por correlaciones lineales con sus estaciones vecinas. Los datos son confiables y de buena calidad.

Tabla 5.13 Lecturas de escala tratadas y criticadas, disponibles en la Base de Datos de Agua sustentable del programa Hydraccess. Chuquiña. (Elaboración Propia)

5.5.5 Aforos disponibles.

Aforos disponibles : 01/01/72-27/03/2010

Calidad de los datos : Los datos de aforos son de buena calidad.

Cantidad de datos : Poca cantidad de aforos para aguas altas. Medición de aforos día por medio y un aforo por semana.

Para visualizar de mejor manera la cantidad de los aforos, y la regularidad de los mismos, se presenta la Tabla 5.14, que está conforme al Gráfico 5.30.

Cantidad de datos	Datos faltantes	Observaciones
01/08/2002- 24/06/05		Poca Cantidad de Aforos en las épocas de crecida y bastante cantidad de aforos en las épocas de estiaje. Medición de aforos una vez cada semana.
	25/06/05-25/08/05	Laguna de 62 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos
26/08/05		Un solo dato de aforo.
	27/08/05-05/01/06	Laguna de 132 días en periodo de aguas altas y bajas. No hay aforos.
06/01/06-24/06/06		Poca Cantidad de Aforos en la época de crecida y bastante cantidad de aforos en la época de estiaje. Medición de aforos una vez cada semana.
	25/06/06-17/08/06	Laguna de 54 días en periodo de aguas bajas. No hay aforos.
18/08/06-19/10/06		Bastante cantidad de aforos en la época de estiaje. Medición de aforos una vez cada semana.
	20/10/06-06/01/07	Laguna de 79 días en periodo de aguas altas y bajas. No hay aforos.
07/01/07-09/03/07		Poca Cantidad de Aforos en la época de crecida. Medición de aforos una vez cada semana.
	10/03/07-30/03/07	Laguna de 21 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
31/03/07-22/06/07		Bastante cantidad de aforos en las épocas de estiaje. Medición de aforos 1 cada semana.
	23/06/07-12/07/07	Laguna de 20 días en periodo de aguas altas y bajas. No hay aforos.
13/07/07-07/12/07		Bastante cantidad de aforos en la época de estiaje. Medición de aforos una vez cada semana.
	08/12/07-27/12/07	Laguna de 20 días en periodo de aguas altas. No hay aforos.
28/12/07-27/03/2010		Poca Cantidad de Aforos en las épocas de crecida y bastante cantidad de aforos en las épocas de estiaje. Medición de aforos una vez cada semana.

Tabla 5.14 Aforos disponibles en la Base de Datos de Agua Sustentable del programa Hydraccess. Chuquiña.
(Elaboración Propia)

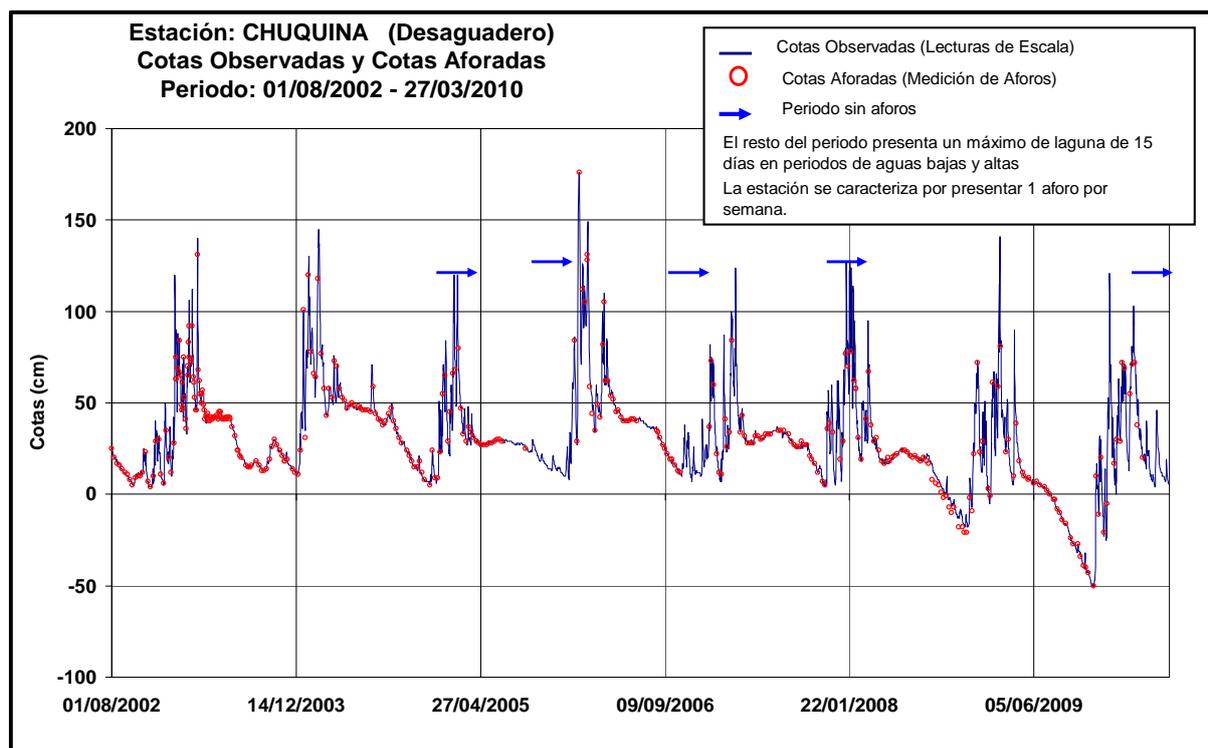


Gráfico 5.30 Cotas observadas y Cotas aforadas. Se muestran lagunas de aforos. Chuquiña. (Elaboración Propia)

5.5.6 Realización de curvas de calibración.

La estación Chuquiña presenta 25 curvas de calibración para el periodo 01/08/2002 al 27/03/2010. Para obtener la Curva de Calibración Tipo se utilizó la serie de aforos en el periodo 01/08/02 – 21/03/03, debido a que éstas series presentan mayor cantidad de aforos en aguas altas, bajas y medianas, para ello fue necesario ajustar 2 curvas de calibración.

- **La primera curva** se trazó siguiendo la tendencia de los aforos cuya ecuación es Potencial de Grado 2.
- **La segunda curva** no fue necesario trazar la curva de calibración por Manning Strickler, debido a que se tienen buena cantidad de aforos que validan la tendencia de la curva de calibración para aguas baja y altas.

Se observó que la estación Chuquiña es inestable (ver gráfico 5.31), ya que presenta 25 curvas calibración, es decir que la estación presenta varias descalibraciones en los aforos para un mismo año. Estas descalibraciones están ocasionadas por crecidas correspondientes a las épocas húmedas.

La estación se caracteriza por presentar mayor cantidad de lecturas de escala de aforos para aguas medianas, bajas, y poca cantidad para aguas altas.

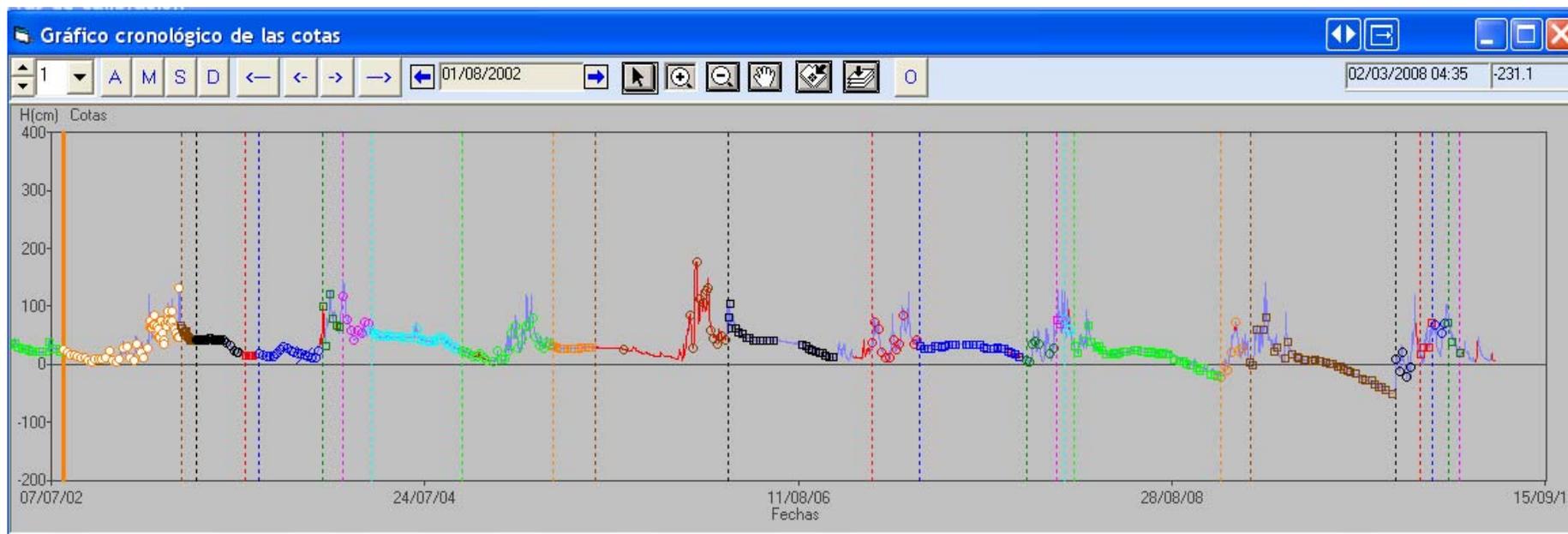


Gráfico 5.31 Cantidad y secuencia de las curvas de calibración en la estación Chuquiña en el periodo 01/8/02 – 27/03/2010. (Elaboración Propia)

A partir de las curvas de calibración se calcularon series de caudales instantáneos (IS) y después se calcularon los caudales diarios (JS) y mensuales (MS) secuencialmente.

5.5.7 Relleno de las series de caudales mensuales.

No fue necesario realizar rellenos de caudales a nivel mensual, porque se realizó el relleno a nivel instantáneo sobre la serie de cotas, las cuales presentan una cantidad completa de información en el periodo de estudio.

5.5.8 Comparación de los caudales mensuales obtenidos con los caudales de las otras estaciones.

Para validar los caudales mensuales MS de Chuquiña, se comparó con los caudales mensuales de su estación vecina Ulloma, ubicada aguas arriba de la estación en análisis, se observó lo siguiente:

Una buena correlación y una similar tendencia, es decir los caudales para aguas altas en la estación de Chuquiña son siempre mayores que los caudales de la estación de Ulloma.

Mientras que para los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, Noviembre y Diciembre (pocas veces) pasa lo contrario, los caudales de la estación de Ulloma son siempre más altos que los de la estación Chuquiña en todos los años. (Ver gráfico 5.32)

Ambas estaciones discrepan en valor de caudal, las razones por lo que esto ocurre es que pueden existir:

- pérdidas importantes de volumen y caudal en el tramo entre ambas estaciones hidrométricas, el caudal puede estar siendo utilizado para riego. (Fuente: SENAMHI-La Paz, Bolivia).
- pérdidas importantes de volumen y caudal en el tramo entre ambas estaciones hidrométricas, por efectos propios de la intercuenca, donde puede existir divagación del cauce natural del río fluyendo el agua por distributarios.

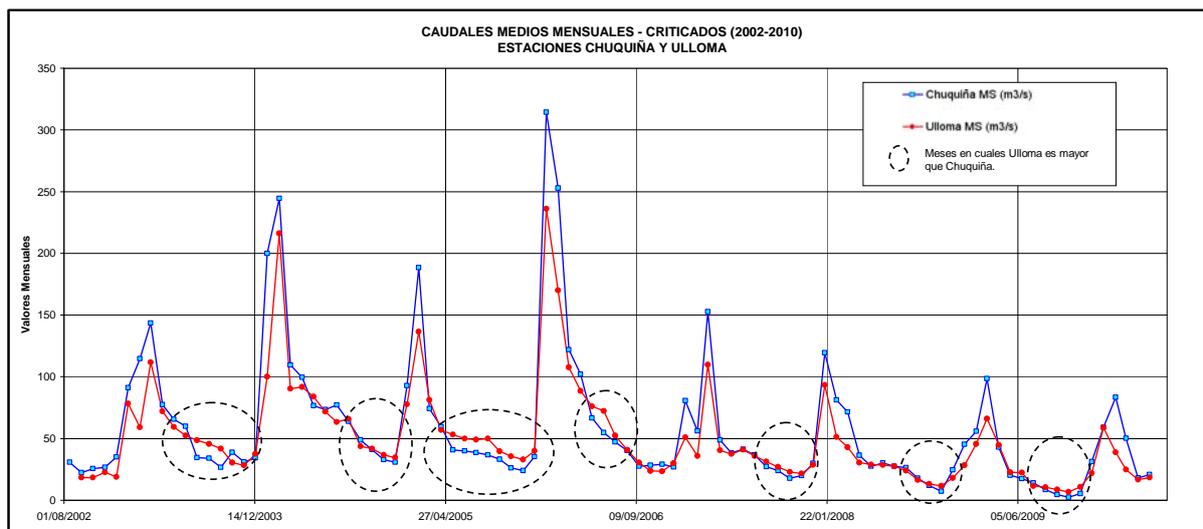


Gráfico 5.32 Caudales Medios Mensuales. Estaciones Ulloma Y Chuquiña. (Elaboración Propia)

5.5.9 Análisis de consistencia con el Vector Regional.

Se realizó el análisis de consistencia sobre los caudales medio-anales y medio-mensuales por el método del Vector Regional (incluido en el programa Hydraccess). El método requiere como mínimo 3 estaciones y en cada estación un número mínimo de 4 datos. Para el presente estudio se cuenta con las estaciones Chuquiña, Calacoto Desaguadero y Ulloma, por lo tanto se consideró un solo juego de estaciones. No se consideró la estación de Calacoto Mauri. (Ver acápite 5.3.5 y 5.3.6).

Es importante mencionar que dentro del grupo de estaciones no se pudo considerar los caudales medio-mensuales y medio – anuales de :

- Q TDPS (1972-1984), debido a que el periodo de datos no es coincidente con el periodo de datos en estudio,

El análisis se realizó primero a nivel anual, para identificar los años (Q criticado) de Chuquiña que presentaban problemas, se observó que en algunos años existían fuertes quiebres de caudal, aspecto que muestra que existen problemas en la definición de fecha de curva de calibración, por lo tanto se tuvo que corregir realizando correlaciones de caudales a nivel mensual.

Una vez realizados los ajustes en las curvas de calibración de Chuquiña y en las series mensuales (para que la serie de índices anuales de Chuquiña siga el Vector Regional Anual), se utilizó el Vector Regional al nivel mensual con el mismo juego de estaciones. El resultado del análisis anual y mensual con el Vector Regional se encuentra en el Anexo 1 y 2 de este informe.

A continuación se encuentran las curvas de calibración finales de Chuquiña y los caudales medio mensuales y medio anuales en los gráficos 5.33, 5.34 y la Tabla 5.15.

Conclusión: Las series de caudales instantáneos IS, caudales diarios JS, caudales medio-mensuales MS obtenidos en Chuquiña, son bastante confiables y se encuentran validados con el Análisis de Consistencia por el Método del Vector Regional.

La serie de caudales mensuales MS esta completa desde Sep. – Ago. del 2003-2009, (7 años hidrológicos). Las curvas de calibración están bien definidas para aguas bajas, medias y altas, aunque la estación es bastante inestable. Para aguas altas, los caudales calculados con las extrapolaciones de las curvas de calibración tienen una relación coherente con los caudales de las otras estaciones de la cuenca.

El módulo anual para el periodo de observación está evaluado a 60.946 m³/s. El mayor caudal instantáneo calculado vale 881.30 m³/s y su cota correspondiente es 176 [cm] y el menor caudal instantáneo 1.78 m³/s y su cota correspondiente es -34 [cm].

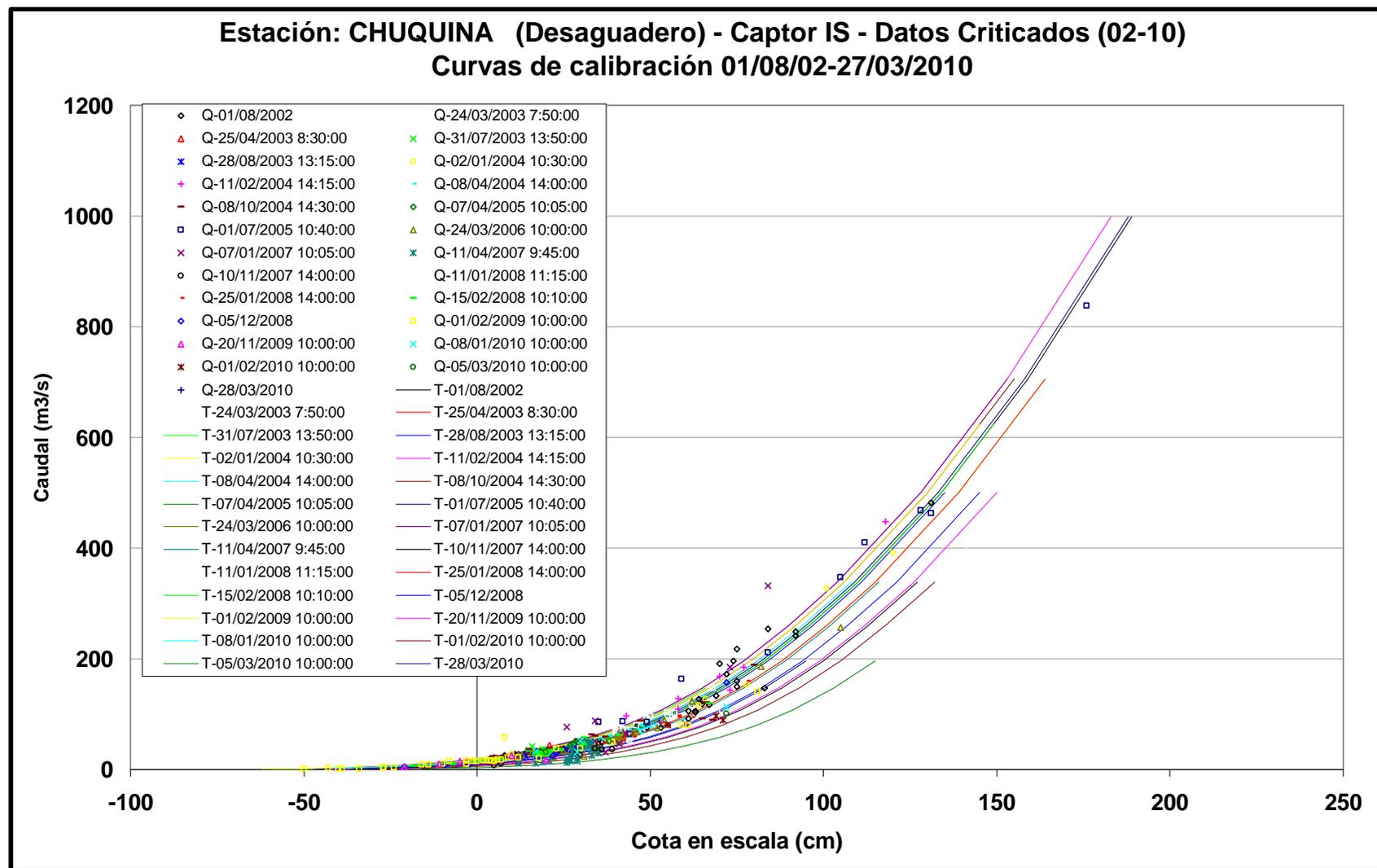


Gráfico 5.33 Curvas de Calibración Finales Chuquiña – Para más detalle consultar la Base de datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

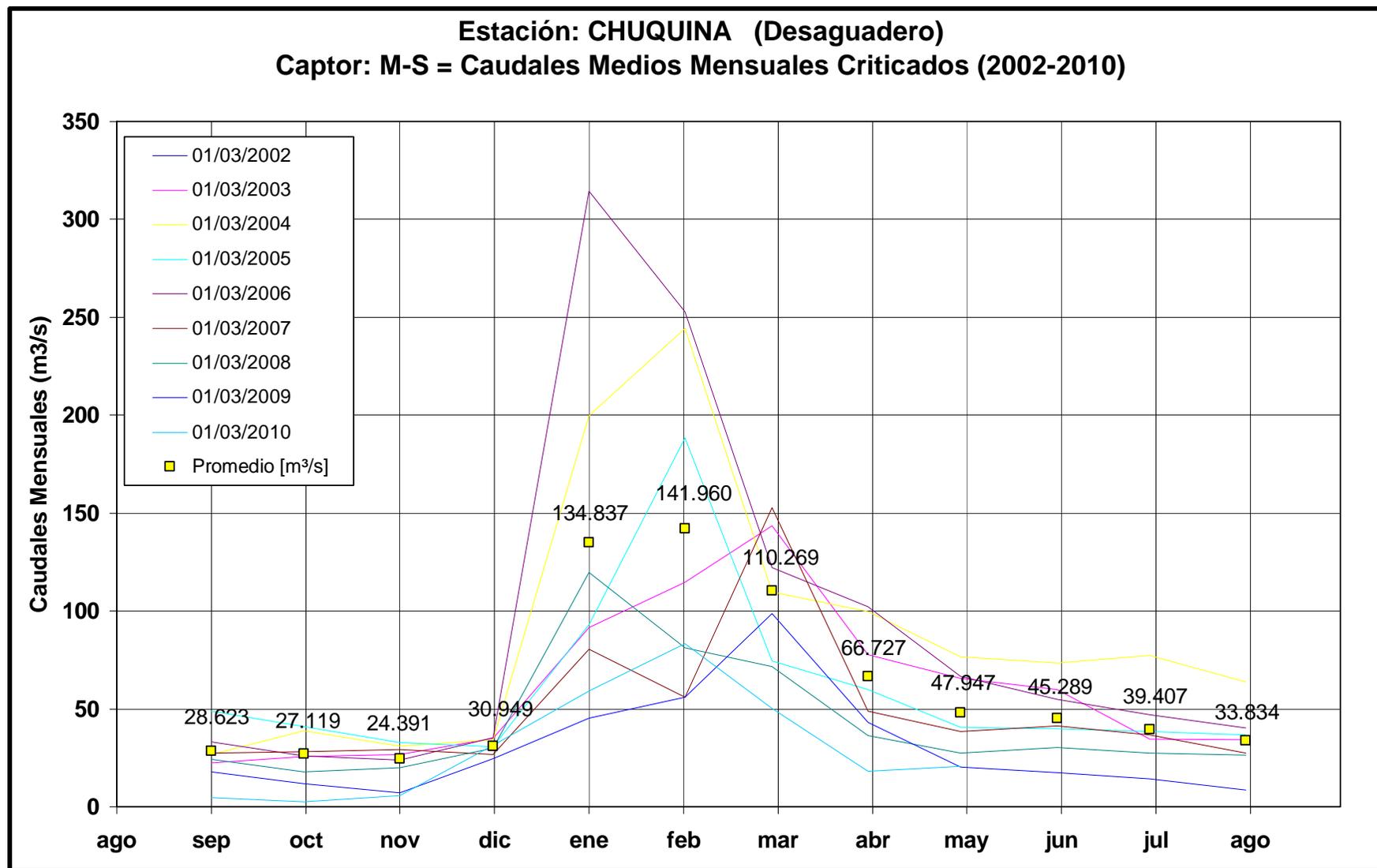


Gráfico 5.34 Caudales Medios Mensuales [m³/s] Chuquiña – Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Programa HYDRACCESS. (Elaboración Propia)

Caudales Medio Mensuales y Medio Anuales [m³/s] en la Estación Chuquiña.

Año Hidrológico		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Promedio Anual o Módulo Anual
2002	2002												30.66	
2002	2003	22.27	25.77	26.61	34.98	91.34	114.80	143.50	77.57	65.49	59.99	34.42	34.04	60.90
2003	2004	26.66	38.95	30.94	34.16	199.90	244.40	109.50	99.56	76.66	73.36	77.30	63.84	89.60
2004	2005	48.92	41.02	32.83	30.79	92.83	188.40	74.29	59.74	40.71	39.89	38.58	36.58	60.38
2005	2006	33.15	26.09	24.03	35.32	314.40	252.80	122.00	102.10	66.60	54.77	47.16	40.14	93.21
2006	2007	27.49	28.26	29.19	26.87	80.57	56.04	152.70	48.78	38.38	41.25	36.81	27.34	49.47
2007	2008	24.15	17.94	19.88	29.84	119.60	81.32	71.44	36.37	27.56	30.20	27.48	26.33	42.68
2008	2009	17.72	11.80	7.26	24.68	45.22	55.96	98.45	42.97	20.23	17.56	14.10	8.57	30.38
2009	2010	4.70	2.52	5.53	31.29	59.14	83.26	50.14	18.01	20.81				
Promedio [m³/s]		28.623	27.119	24.391	30.949	134.837	141.960	110.269	66.727	47.947	45.289	39.407	33.834	60.946
% Mensual por año Hidrológico		3.914%	3.708%	3.335%	4.232%	18.437%	19.411%	15.077%	9.124%	6.556%	6.192%	5.388%	4.626%	

Tabla 5.15 Caudales Medios Mensuales, Medios Anuales y promedios interanuales (módulo) e intermensuales en [m³/s] Chuquiña. Promedios calculados para años hidrológicos completos. (Elaboración Propia). (En color verde son caudales rellenados).

Para más detalle consultar la Base de Datos de Agua Sustentable utilizando el Prog. HYDRACCESS.

6 SINTESIS DE LOS PARÁMETROS HIDROMÉTRICOS PRINCIPALES DE LA SUBCUENCA DE LA ESTACIÓN CHUQUIÑA RÍO DESAGUADERO.

De las 5 estaciones hidrométricas que se encuentran en la subcuenca del estación Chuquiña, Río Desaguadero, y objeto de nuestro estudio, *solamente 4 de las estaciones hidrométricas presentan información confiable y validada mediante el Análisis de Consistencia con el Método del Vector Regional, en el periodo 2002 al 2010. Las estaciones hidrométricas son: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Ulloma y Chuquiña.* La estación Calacoto Mauri en el presente estudio muestra caudales que no se encuentran validados y solo sirven de referencia, debido a la escasa cantidad de aforos que presenta la estación, lo que impidió la determinación de curvas de calibración, en el periodo de estudio.

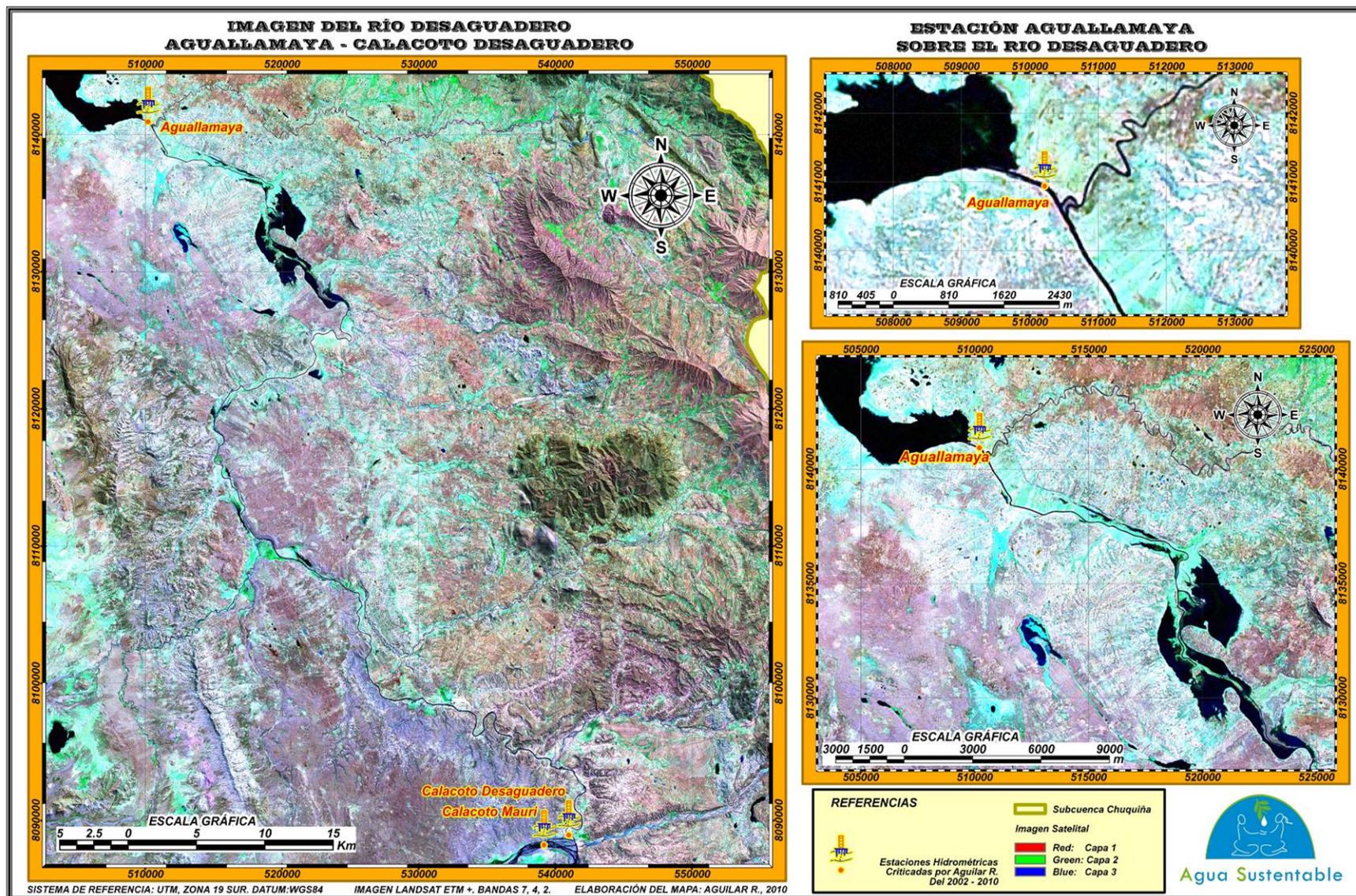
Las estaciones de Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Ulloma y Chuquiña, presentan buena cantidad de aforos (H-Q) y lecturas de escala (H) en el periodo de estudio 2002-2010, los cuales nos permitieron definir curvas de calibración representativas y confiables. Los caudales obtenidos a partir de las curvas de calibración y las series de cotas tratadas y rellenadas cuando era necesario, a nivel instantáneo, son confiables y se encuentran validados con el Análisis de Consistencia por el Método del Vector Regional.

De la comparación de los histogramas de variación mensual con los caudales TDPS 1966-1989 y los caudales Criticados 2002-2010, en las estaciones de Calacoto Desaguadero, Ulloma y Chuquiña, se observa un disminución del caudal en las tres estaciones para el periodo 2002-2010. Para verificar este decremento del caudal es necesario llevar adelante el Análisis y Crítica de la información hidrométrica en todas las estaciones hidrométricas y en todo su periodo de datos pertenecientes a la Subcuenca de la estación Chuquiña. De esta manera se podrá corroborar los caudales del TDPS 1966-1989 y los caudales Criticados 2002-2010.

6.1 Aguallamaya – Calacoto Desaguadero.

Entre las estaciones Aguallamaya y Calacoto Desaguadero la pendiente es baja y sobre todo en el tramo Aguallamaya y Laguna (ubicada aguas abajo). Se ha visto que en este tramo existe la posibilidad de que el curso principal del río Desaguadero se invierta y comience a fluir aguas arriba hacia la estación de Aguallamaya (fenómeno reportado por el personal de SENAMHI – La Paz, Bolivia), situación que explicaría que los caudales criticados y validados en la estación de Aguallamaya, en época de estiaje, no tengan una relación coherente con la estación Calacoto Desaguadero, ubicada aguas abajo. Por esto, el valor los caudales en la estación de Calacoto Desaguadero puede ser menor. Se recomienda que el personal del SENAMHI La Paz realice visitas a la estación con la finalidad de corroborar esta situación y verificar la inversión del flujo y sus ocurrencia en el tiempo. En cuanto a la época de aguas altas, el comportamiento de las estaciones es coherente, siendo mayores los caudales en la estación Calacoto Desaguadero. También se recomienda colocar una estación hidrométrica entre Aguallamaya y Calacoto Desaguadero, con la finalidad de tener un mejor control del caudal en este tramo (Ver Figura 6.1).

Figura 6.1 Imagen del Río Desaguadero Aguallamaya – Calacoto Desaguadero. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)



6.1.1 Histogramas de Variación Mensual.

1. Estación Aguallamaya.

Se ha elaborado el histograma de variación mensual, en el año hidrológico Septiembre – Agosto en el periodo 2003-2009. Se observa que los meses de mayor escurrimiento superficial son Marzo, Abril y Febrero. (Ver Gráfico 6.1)

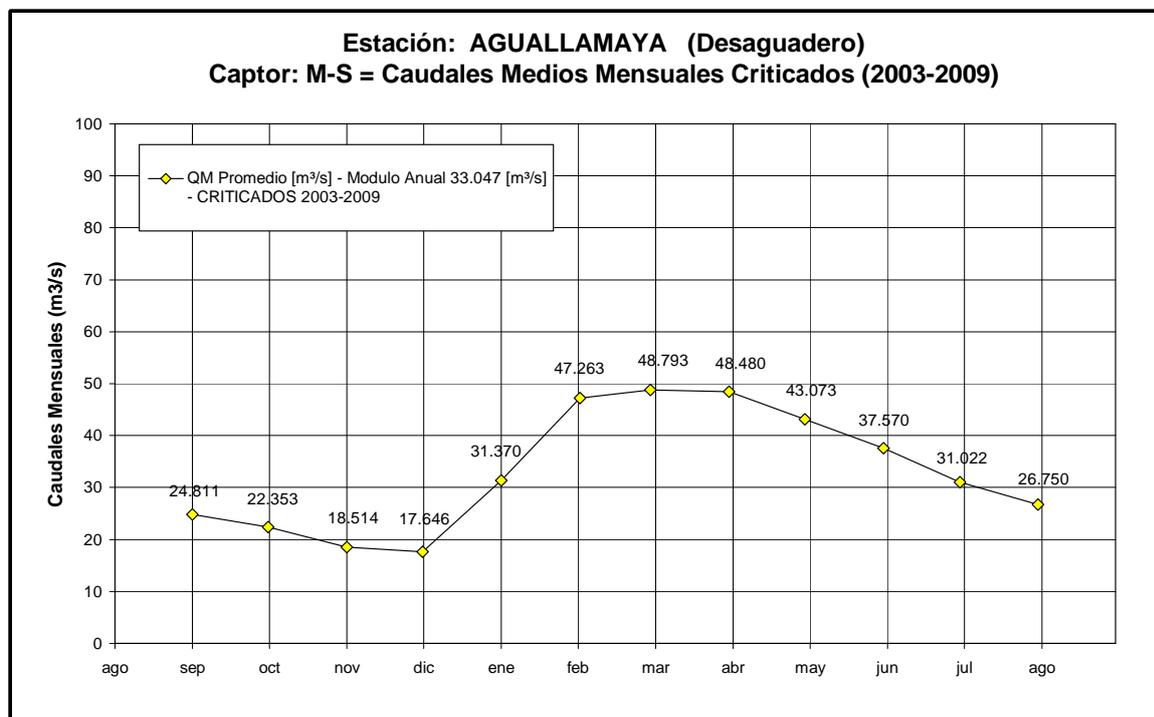


Gráfico 6.1 Caudales Medio Mensuales Aguallamaya. (Elaboración Propia)

SENAMHI La Paz, Bolivia brindó información sobre niveles de agua en la estación de Pte. Internacional, lo cual fue de mucha utilidad para realizar la comparación de niveles de agua mensuales (Lecturas de escala ó Cotas) en las estaciones de Pte. Internacional y Aguallamaya, con la finalidad de observar que meses presentan mayor nivel de escala en las secciones de control respectivamente. A continuación se presenta la tabla 6.1 en la que se muestra los meses con mayor nivel de agua.

Estación	Meses que presentan mayor Nivel de Agua	Periodo Observado
Pte. Internacional	Mayo y Abril	01/08/2002-08/11/2006
Aguallamaya	Marzo y Febrero	01/08/2002-06/06/2010

Tabla 6.1 Lecturas de Escala – Cotas Mensuales Estaciones: Pte Internacional – Aguallamaya. (Elaboración Propia)

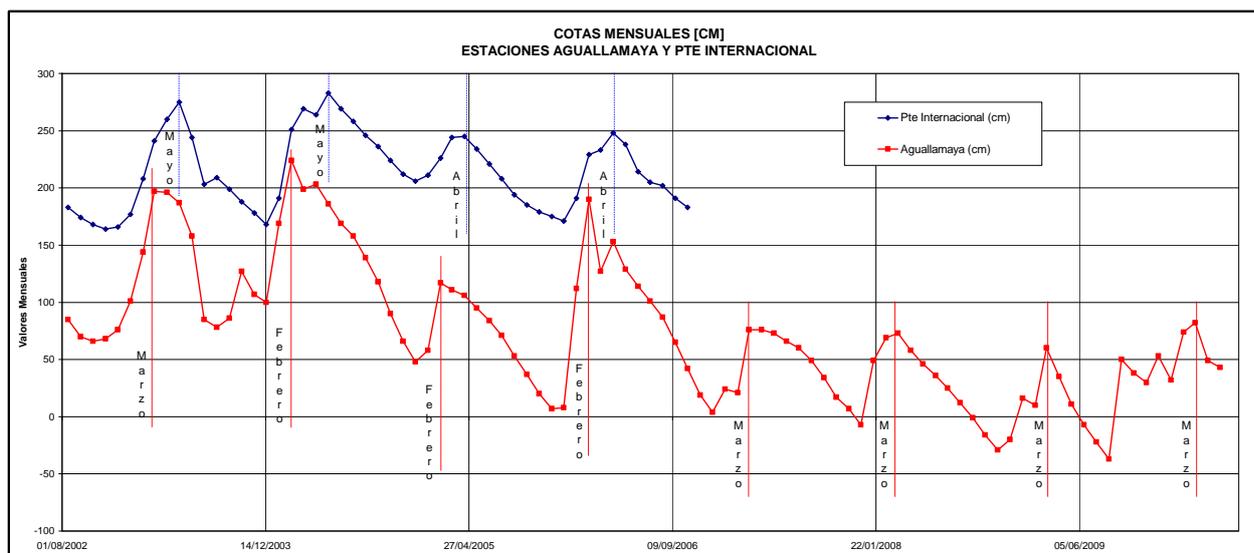


Gráfico 6.2 Lecturas de Escala – Cotas Mensuales Estaciones: Pte Internacional – Aguallamaya. (Elaboración Propia)

Se puede concluir que los meses de mayor escurrimiento superficial en la estación de Pte. Internacional son Mayo y Abril, y en la estación de Aguallamaya Marzo, Abril y Febrero. Este desfase que presenta la estación de Aguallamaya puede deberse a que confluyen dos ríos aguas arriba de la estación: el río Llinqui y el río Jilakhata, los cuales aportan de sus subcuencas pequeñas, donde la respuesta a las precipitaciones es casi inmediata, reflejándose en el escurrimiento superficial. Generalmente en las subcuencas pequeñas los meses de mayor escurrimiento se dan en Febrero y Marzo, situación que afecta de manera directa a la estación de Aguallamaya, y no así a la estación Pte. Internacional la cual estaría influida directamente por el Lago Titicaca y no así por los aportes mencionados, por su lejanía a éstos y a la estación Aguallamaya.

2. Estación Calacoto Desaguadero.

Se ha elaborado los histogramas de variación mensual, en el año hidrológico Septiembre – Agosto con los siguientes datos:

- Caudales Criticados en el presente estudio, en el periodo 2003-2009.
- Caudales TDPS Rellenados 1966-1989.

En el gráfico 6.2, se observa que los meses de mayor escurrimiento superficial con los caudales TDPS son Marzo y Abril, mientras que con los caudales Criticados en el presente estudio los meses máximos son Febrero y Marzo. Esta variación puede explicarse debido a que la estación presenta 2 años (2004-2006) con fuerte escurrimiento superficial donde los meses máximos son Febrero y Marzo, los mismos que influyen en el resultado del promedio de caudales mensuales en el periodo de estudio (2002-2010). En cambio para el cálculo de los promedios de los caudales mensuales TDPS se consideró un periodo de estudio más amplio y por lo tanto más representativo de la intercuenca Aguallamaya – Calacoto Desaguadero.

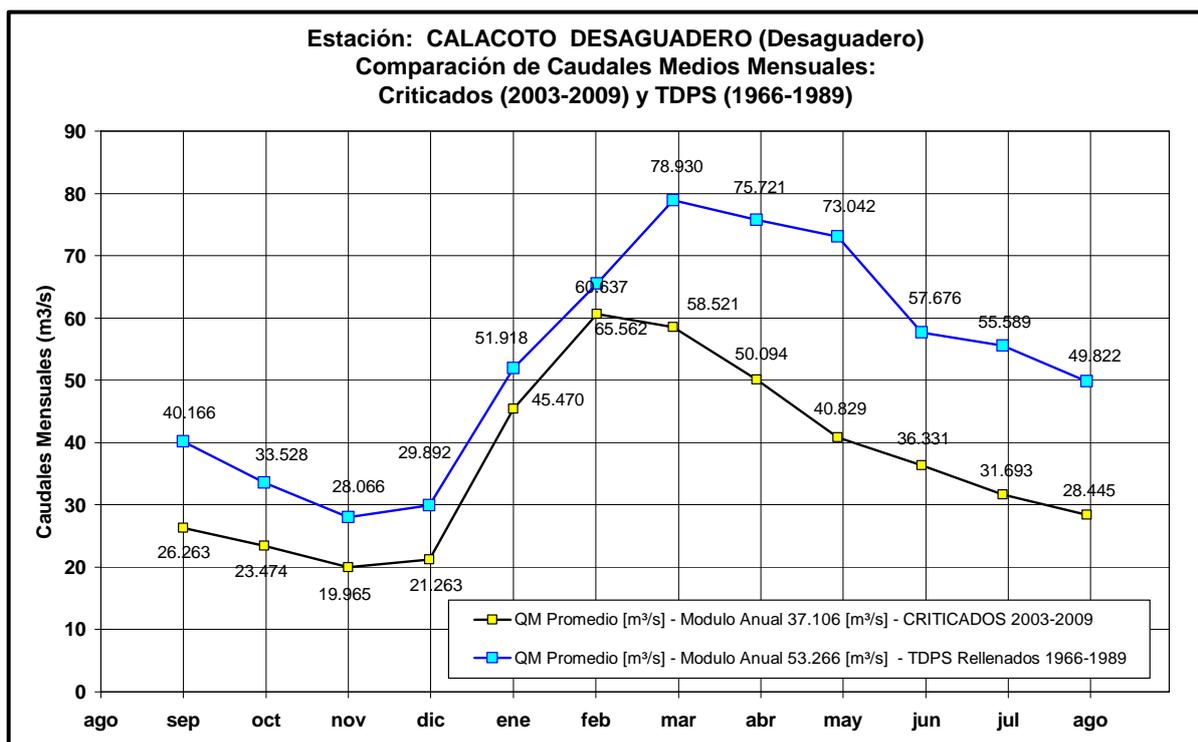


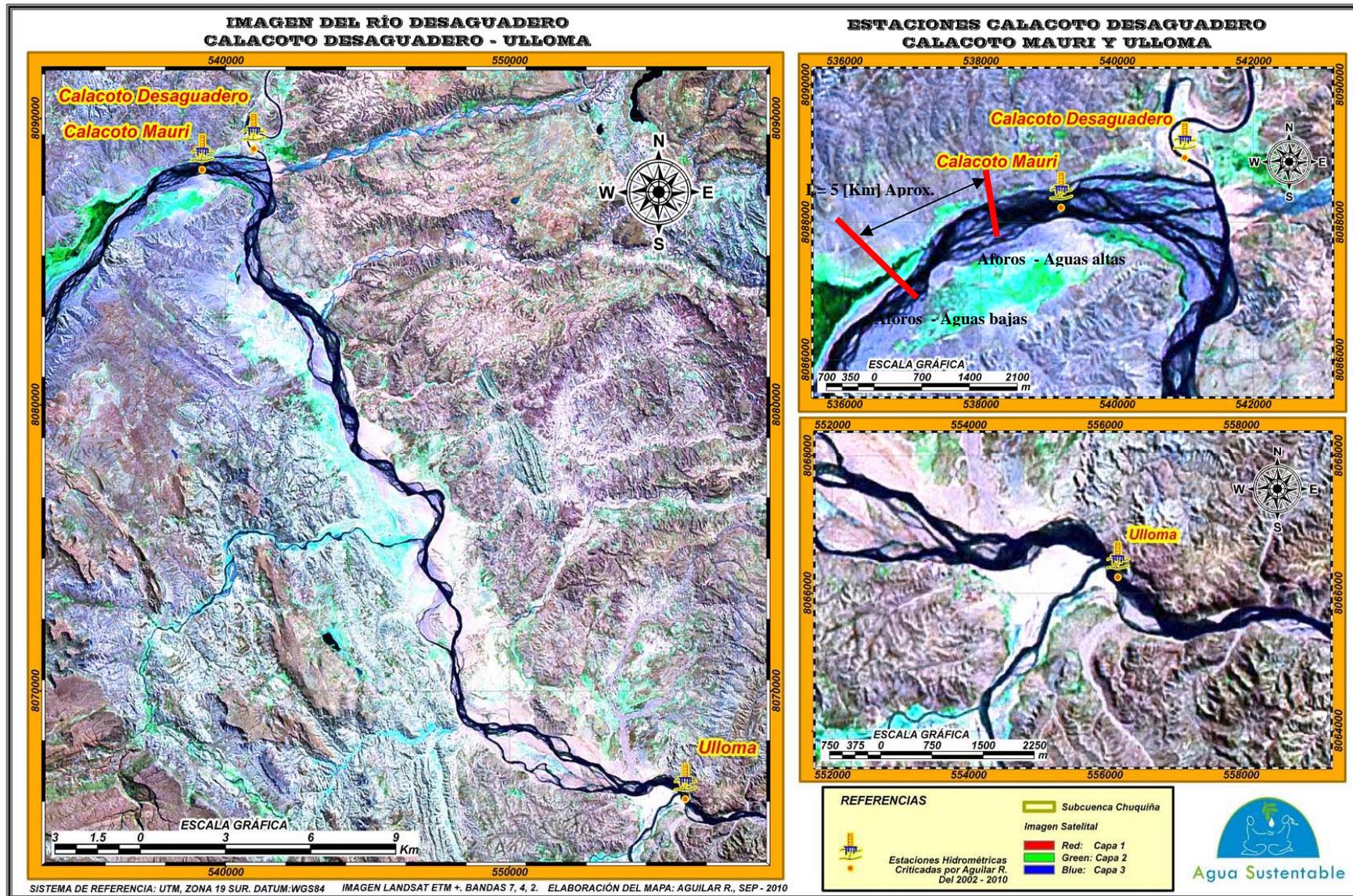
Gráfico 6.3 Caudales Medio Mensuales Calacoto Desaguadero. (Elaboración Propia)

6.2 Calacoto Desaguadero – Calacoto Mauri - Ulloma.

En la estación de Calacoto Mauri, se tienen dos lugares de aforo: en aguas altas los aforos se realizan desde el puente peatonal y en aguas bajas los aforos se realizan aproximadamente 5 [Km] aguas arriba del puente peatonal sobre el río Mauri, debido a que la sección transversal del río Mauri es más angosta. Aguas abajo del puente peatonal el río Mauri tiende a distribuir erráticamente sus aguas hasta la confluencia con el río Desaguadero (Ver Figura 6.2).

Entre las estaciones de Calacoto Mauri y Ulloma existe aproximadamente una longitud de 31 [Km], donde confluyen varios afluentes al río Desaguadero. Por lo tanto, no se deben calcular los caudales de la estación Calacoto Mauri por una simple diferencia de caudales con las estaciones de Ulloma y Calacoto Desaguadero.

Figura 6.2 Imagen del Río Desaguadero Calacoto Desaguadero – Calacoto Mauri – Ulloma. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)



6.2.1 Histogramas de Variación Mensual.

3. Estación Calacoto Mauri.

Como se explicó a detalle en el punto 5.3 Tratamiento por Estación: Calacoto Mauri se indicó y demostró que la estación presenta escasa cantidad de aforos en el periodo en estudio (2002-2010) como para definir una curva de calibración tipo y representativa de la serie de datos en el periodo analizado (2002-2010). Por tal situación la estación no puede ser analizada y criticada, es decir no se tienen caudales confiables y validados. Sin embargo se generaron caudales para el periodo en estudio siguiendo el mismo comportamiento del periodo 1977-1983 de la misma estación, con la finalidad de ver comportamiento de la estación y tener una idea del los valores de caudales de aporte de que tiene la subcuenca del río Mauri.

Se han elaborado los histogramas de variación mensual, en el año hidrológico Septiembre – Agosto con los siguientes datos:

- Caudales criticados en el presente estudio, en el periodo 2003-2009.
- Caudales obtenidos en el presente estudio, en el periodo 1977-1983.
- Caudales TDPS rellenados 1966-1989.
- Caudales en la estación Frontera 1966-2004.

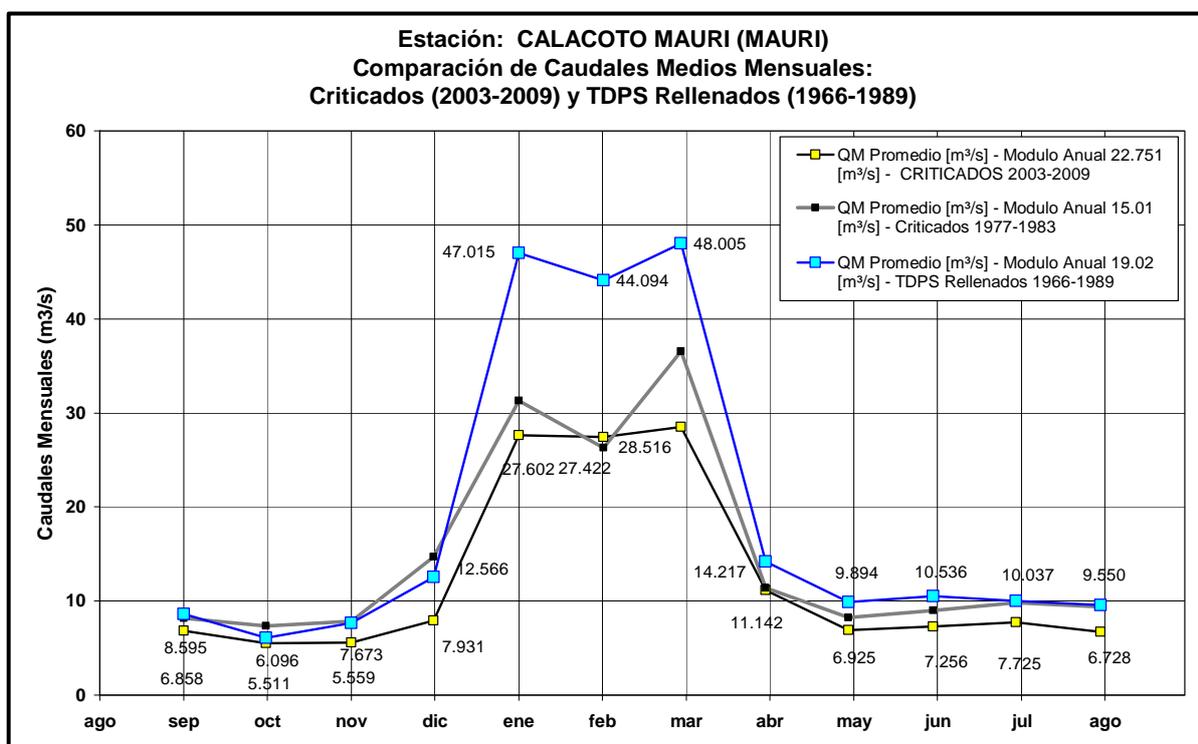


Gráfico 6.4 Caudales Medio Mensuales Calacoto Mauri. (Elaboración Propia)

En el gráfico 6.4, se observa que los caudales en el periodo 1977-1983 (TDPS) y los caudales en el periodo 2003-2010 no presentan un comportamiento similar, así también una diferencia de valor de caudal entre ambos periodos de datos. Esta variación puede explicarse debido a que la estación en el periodo 2002-2010 siguió el comportamiento del periodo 1977-1983, además se consideró los caudales de Ulloma y Calacoto Desaguadero en nuestro periodo de estudio, para definir su variación mensual con la finalidad tener una idea del aporte de la subcuenca del río Mauri. Por estas razones la tendencia no es similar y existe una gran diferencia en el valor del caudal al comparar los caudales de nuestro periodo de estudio con los caudales TDPS en un periodo distinto y antiguo.

Para validar los caudales obtenidos en la estación Calacoto Mauri es necesario y recomendable realizar el Análisis, Crítica y Tratamiento de las estaciones hidrométricas ubicadas en la subcuenca del Río Mauri, en todo su periodo de datos, es decir que el estudio sea integral de toda la subcuenca y con todas las estaciones hidrométricas pertenecientes a ésta, en territorio Boliviano, Chileno y Peruano, porque de esta manera se conseguirá conocer el tipo de Régimen que presenta la subcuenca y determinar los caudales en la estación de control Calacoto Mauri.

6.3 Ulloma - Chuquiña.

Las estaciones se encuentran distanciadas aproximadamente una longitud de 145.17 [Km] (Ver Figura 6.3), en este tramo existe varios afluentes que llegan al río Desaguadero; así también existe extracción de caudal para riego en el sector. A consecuencia de la extracción de caudal entre ambas estaciones (Fuente: SENAMHI La Paz, Bolivia), es que la estación de Ulloma ubicada aguas arriba de la estación Chuquiña presenta caudales mayores en épocas de estiaje y transición, caudales hallados en nuestro periodo de estudio.

6.3.1 Histogramas de Variación Mensual.

4. Estación Ulloma.

Se ha elaborado los histogramas de variación mensual, en el año hidrológico Septiembre – Agosto con los siguientes datos:

- Caudales Criticados en el presente estudio, en el periodo 2003-2009.
- Caudales TDPS Rellenados 1966-1989.

En el gráfico 6.5, se observa que los meses de mayor escurrimiento superficial con los caudales TDPS son Febrero y Marzo, coincidentes con los meses de mayor escurrimiento de los caudales Criticados en el presente estudio. Si bien los caudales medio mensuales TDPS y Criticados presentan el mismo comportamiento, existe una diferencia de valor del caudal, mostrando un decremento del caudal en el periodo 2002-2010 criticado, respecto al periodo 1966-1989 TDPS. Debe recordarse que la estación de Ulloma presenta buena cantidad de aforos, lo que permitió definir curvas de calibración tipo representativas y confiables. Para confirmar este decremento del caudal es recomendable realizar la crítica de datos hidrométricos en todo su periodo de información y con todas sus estaciones vecinas pertenecientes a la subcuenca de la estación Chuquiña.

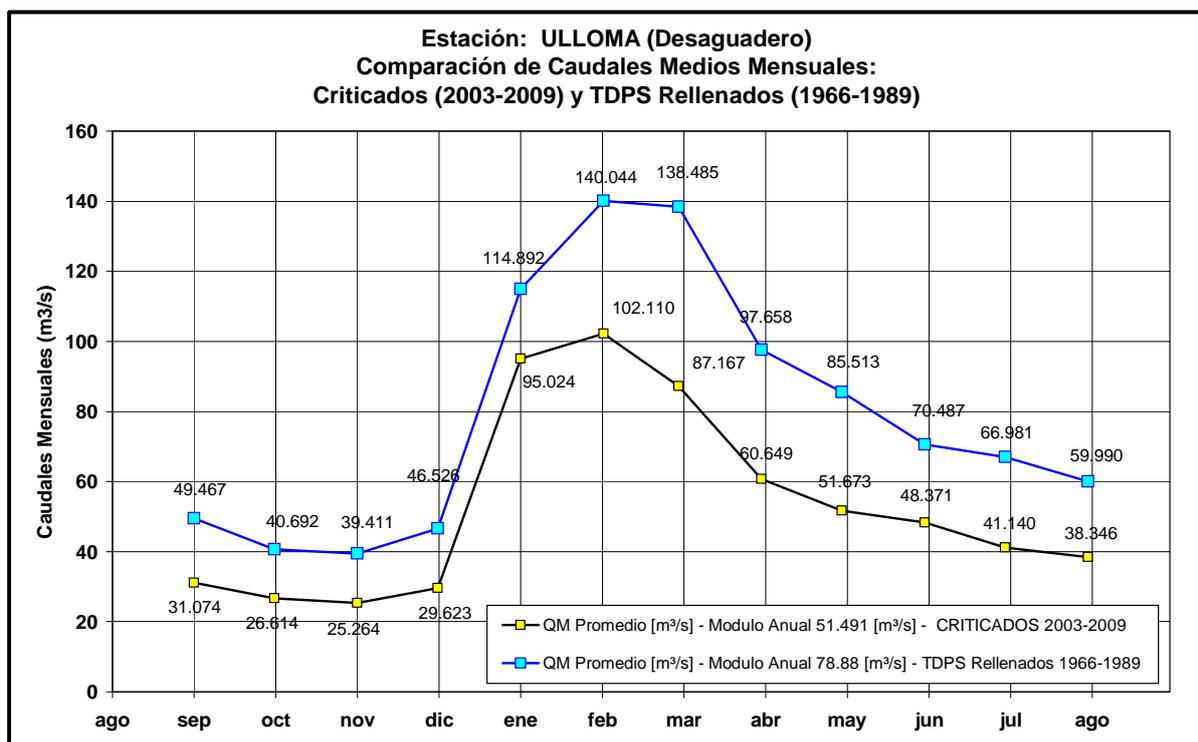


Gráfico 6.5 Caudales Medio Mensuales Ulloma. (Elaboración Propia)

5. Estación Chuquiña.

Se ha elaborado los histogramas de variación mensual, en el año hidrológico Septiembre – Agosto con los siguientes datos:

- Caudales Criticados en el presente estudio, en el periodo 2003-2009.
- Caudales TDPS Rellenados 1966-1989.

En el gráfico 6.6, se observa que los meses de mayor escurrimiento superficial con los caudales TDPS son Febrero y Enero, coincidentes con los meses de mayor escurrimiento de los caudales Criticados en el presente estudio. Si bien los caudales medio mensuales TDPS y Criticados presentan el mismo comportamiento, existe una diferencia de valor del caudal, mostrando un decremento del caudal en el periodo 2002-2010 criticado, respecto al periodo 1966-1989 TDPS. Debe recordarse que la estación de Chuquiña presenta buena cantidad de aforos, lo que permitió definir curvas de calibración tipo representativas y confiables. Para confirmar este decremento del caudal es recomendable realizar la crítica de datos hidrométricos en todo su periodo de datos y con todas sus estaciones vecinas pertenecientes a la subcuenca de la estación Chuquiña.

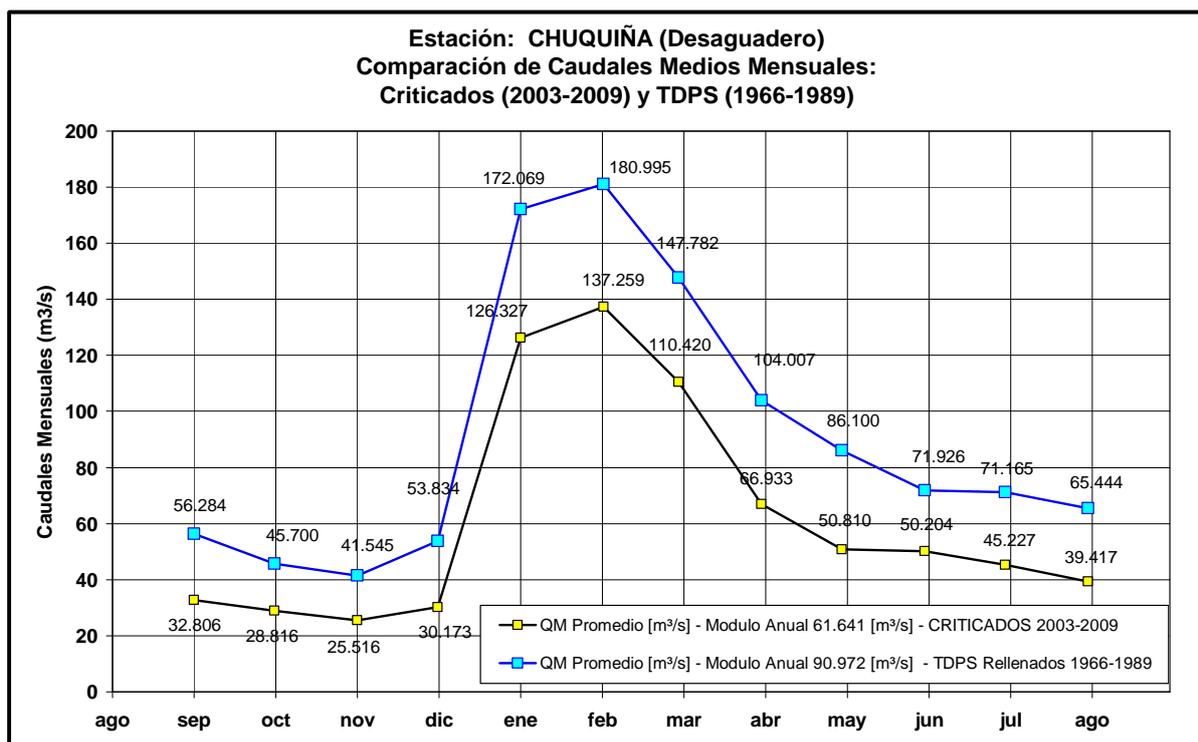


Gráfico 6.6 Caudales Medio Mensuales Chuquiña. (Elaboración Propia)

6.4 Histograma de Variación Mensual: Aguallamaya, Calacoto Desaguadero, Calacoto Mauri, Ulloma y Chuquiña.

A continuación y para ver el comportamiento (analizado anteriormente por estación) del grupo de estaciones criticadas objeto de nuestro estudio (2003-2009), se muestra los caudales medio mensuales para años hidrológicos completos, ver figura 6.7.

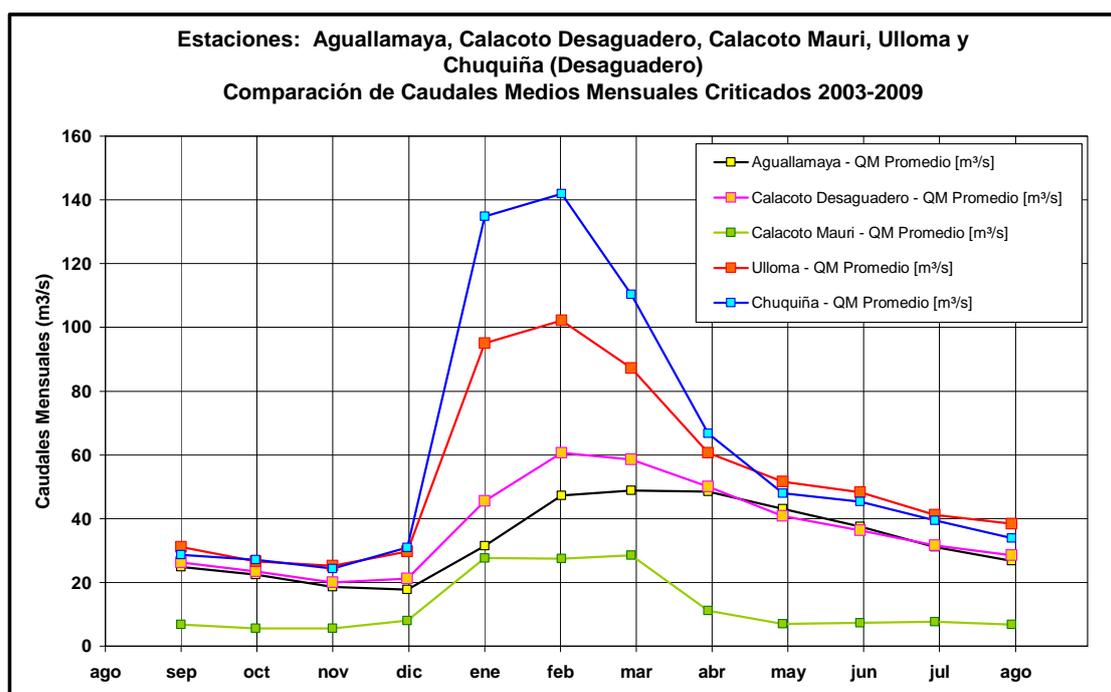
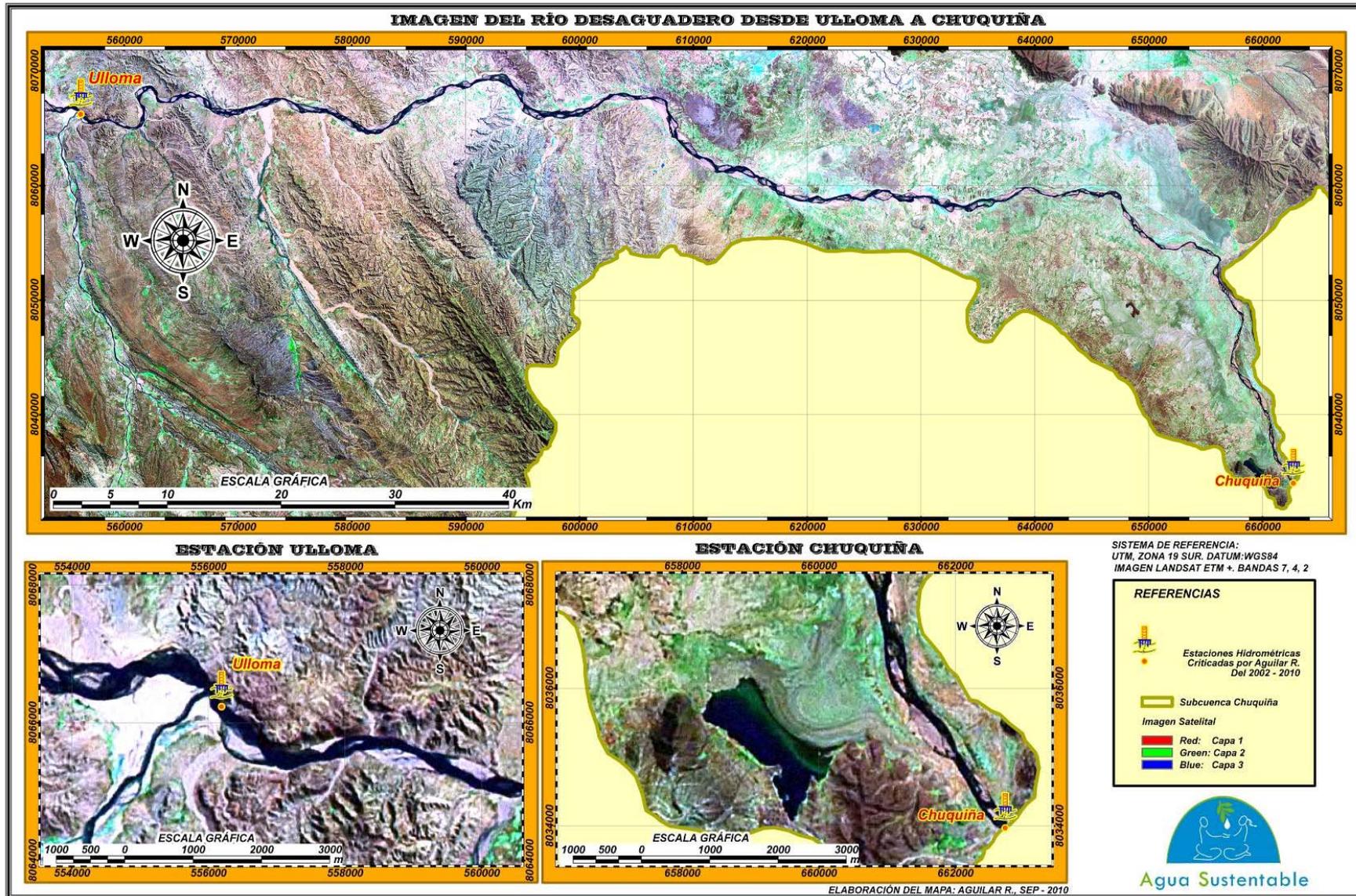


Gráfico 6.7 Caudales Medio Mensuales en las 5 estaciones criticadas. (Elaboración Propia)

Figura 6.3 Imagen del Río Desaguadero Ulloma – Chuquiña. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)

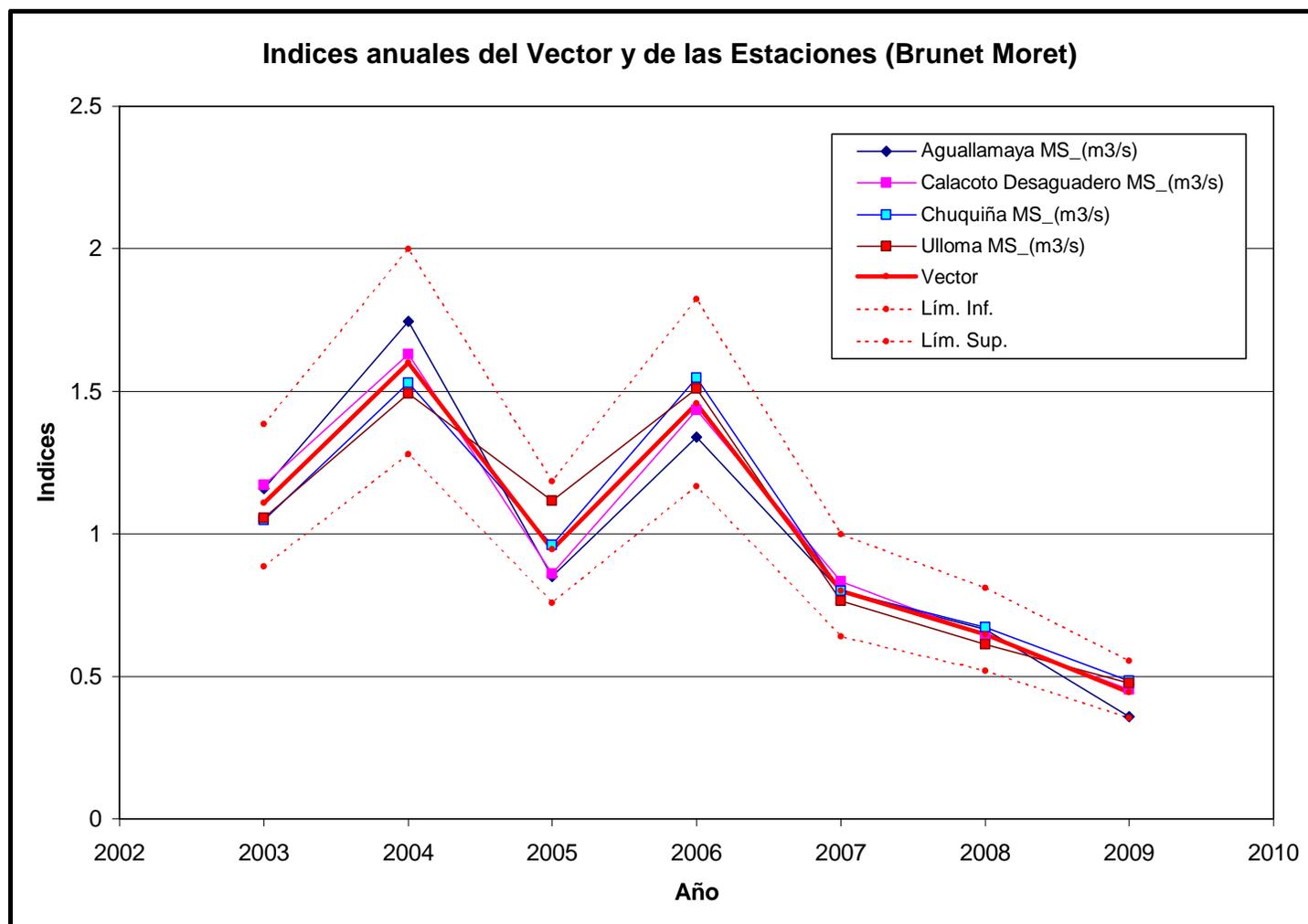


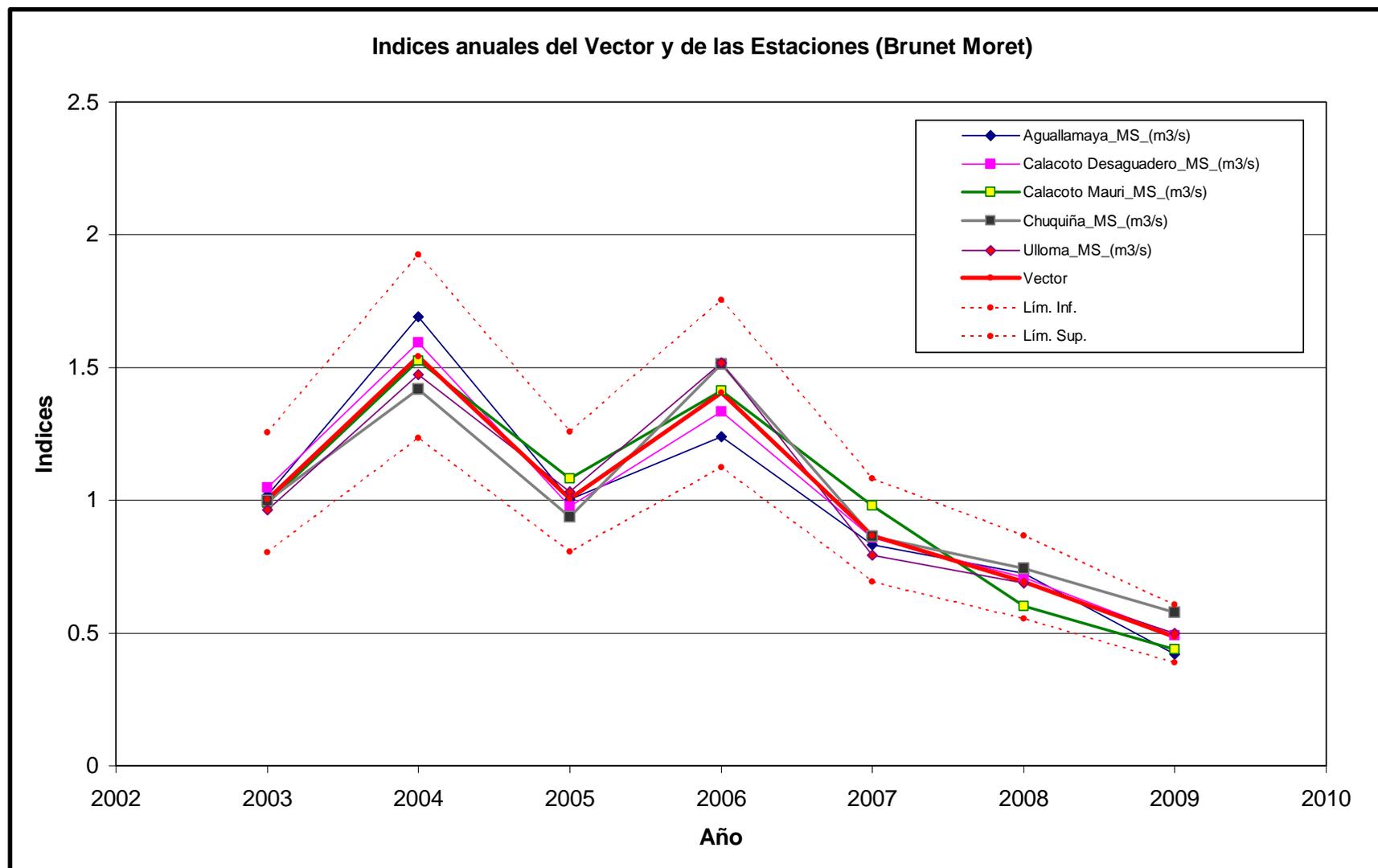
7 BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS.

- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y RÉGIMEN HIDROLÓGICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PILCOMAYO. Aguilar 2007
- ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y RECURSOS HIDRICOS, Molina, Villarroel, Espinoza 2007
- RIO DESAGUADERO. Wikipedia 2010.
- Modelo de elevación digital 90x90, Año 2000. SRTM, WRS2 Tiles. Global Land Cover Facility <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>
- Imagen Satelital Landsat ETM +, 15x15 m. Año 2005. Bandas espectrales: 7, 4, y 2. www.earthsat.com.
- Coberturas del IGM, 2000.
- Información básica proporcionada por el SENAMHI-La Paz, Bolivia.
- Información básica del estudio de hidrología y recursos hídricos del 2007. Espinoza, Villarroel, Molina.

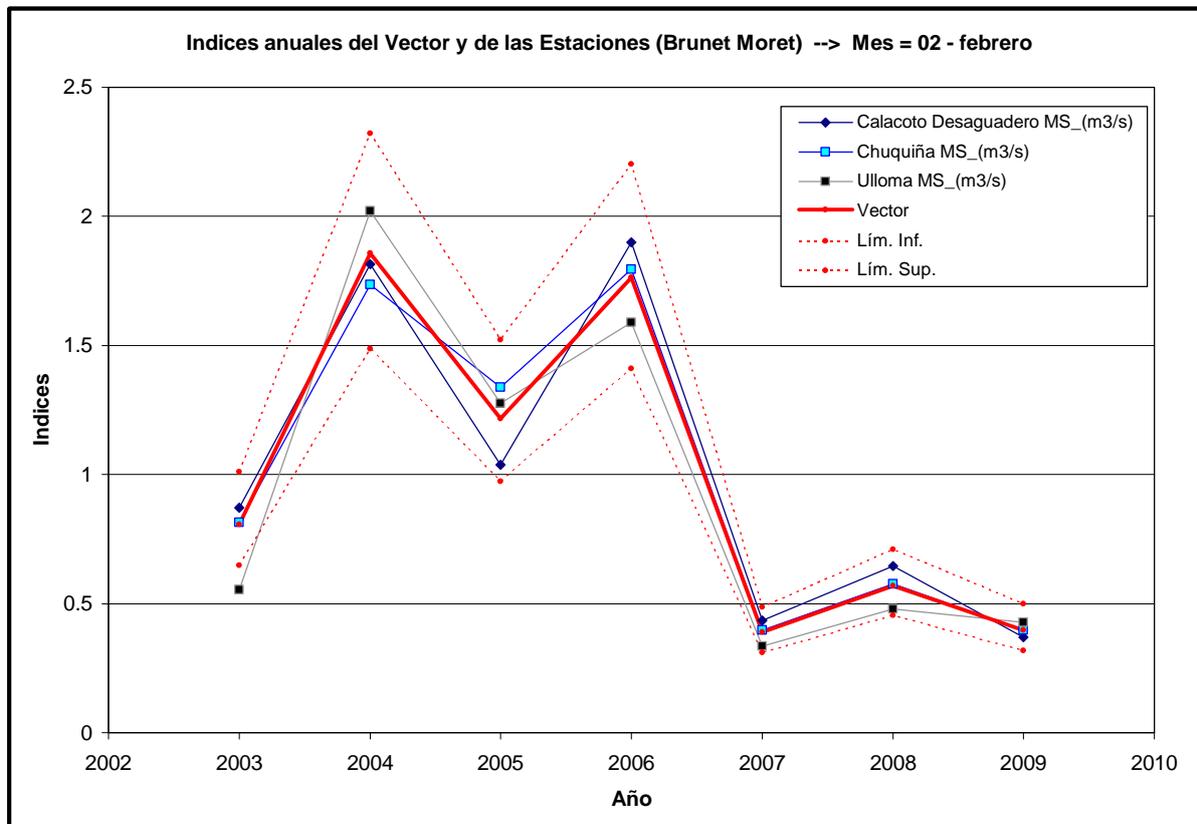
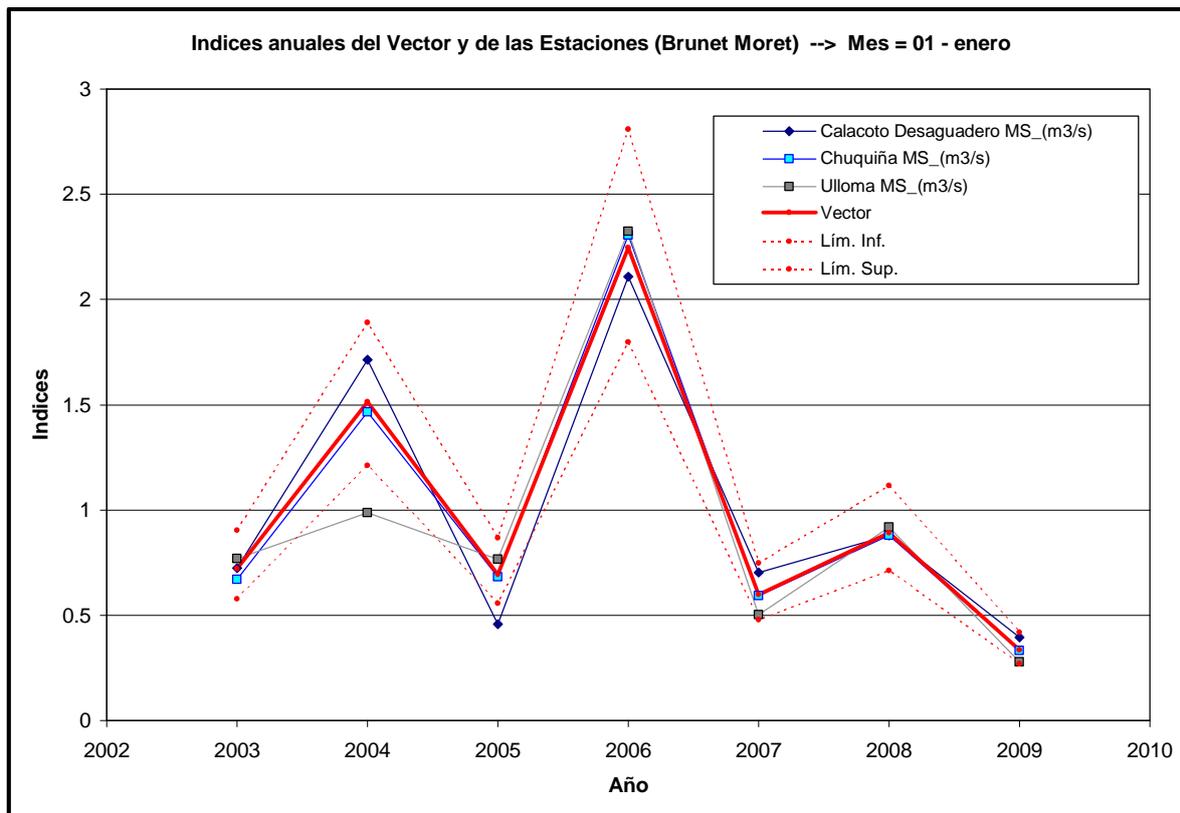
8 ANEXOS.

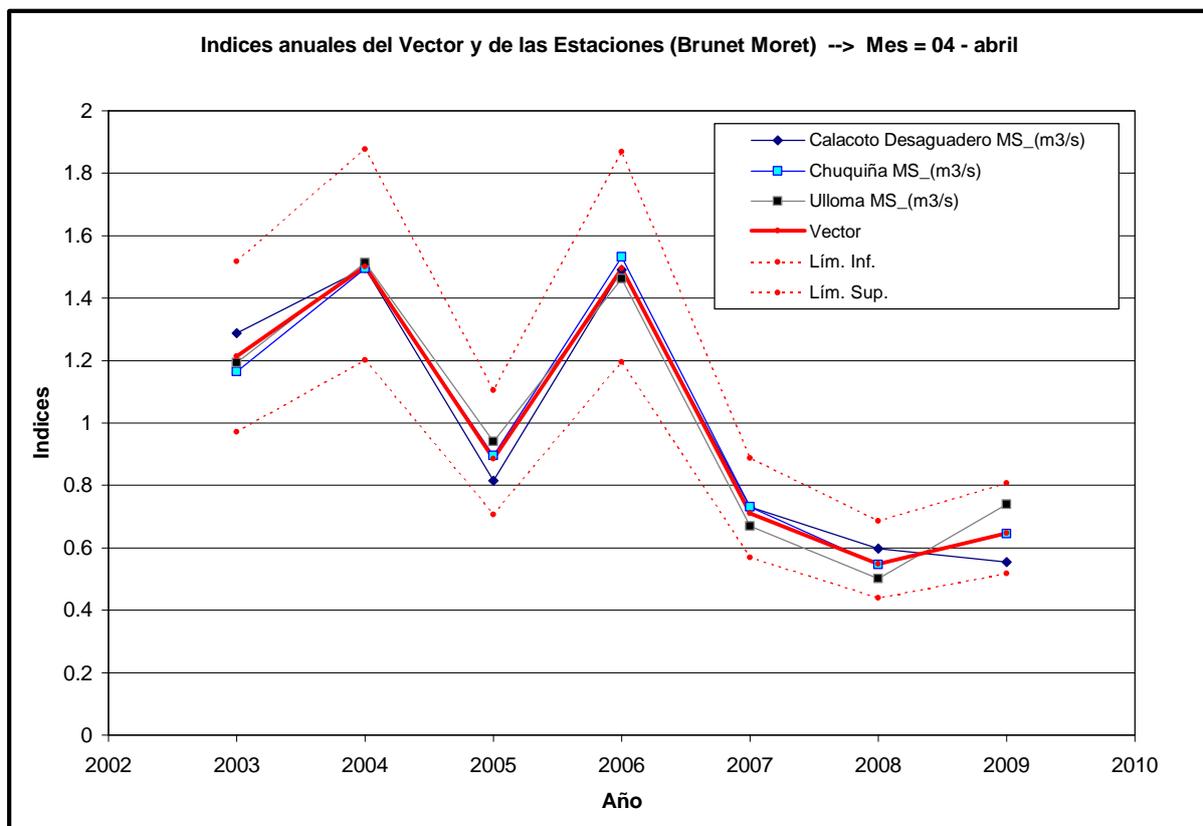
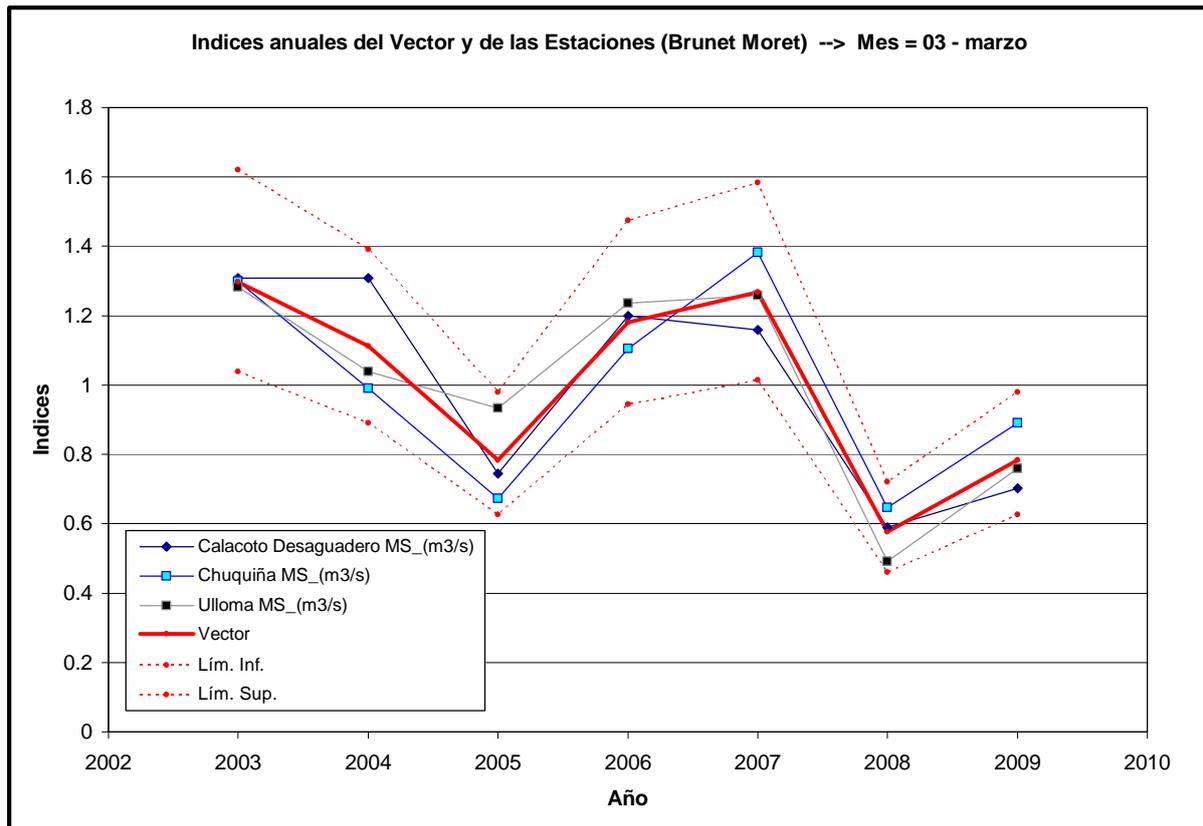
8.1 Anexo N° 1: Resultados del Análisis con el Vector Regional a Nivel Anual.

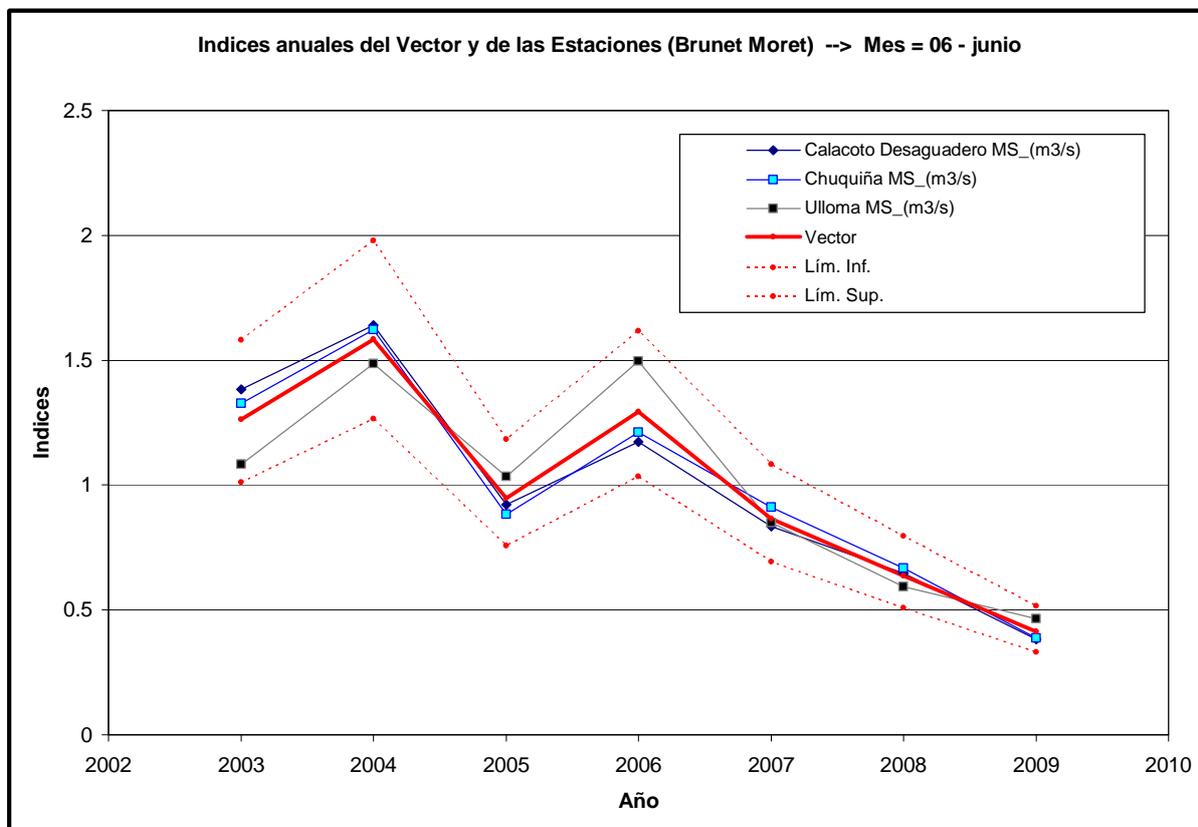
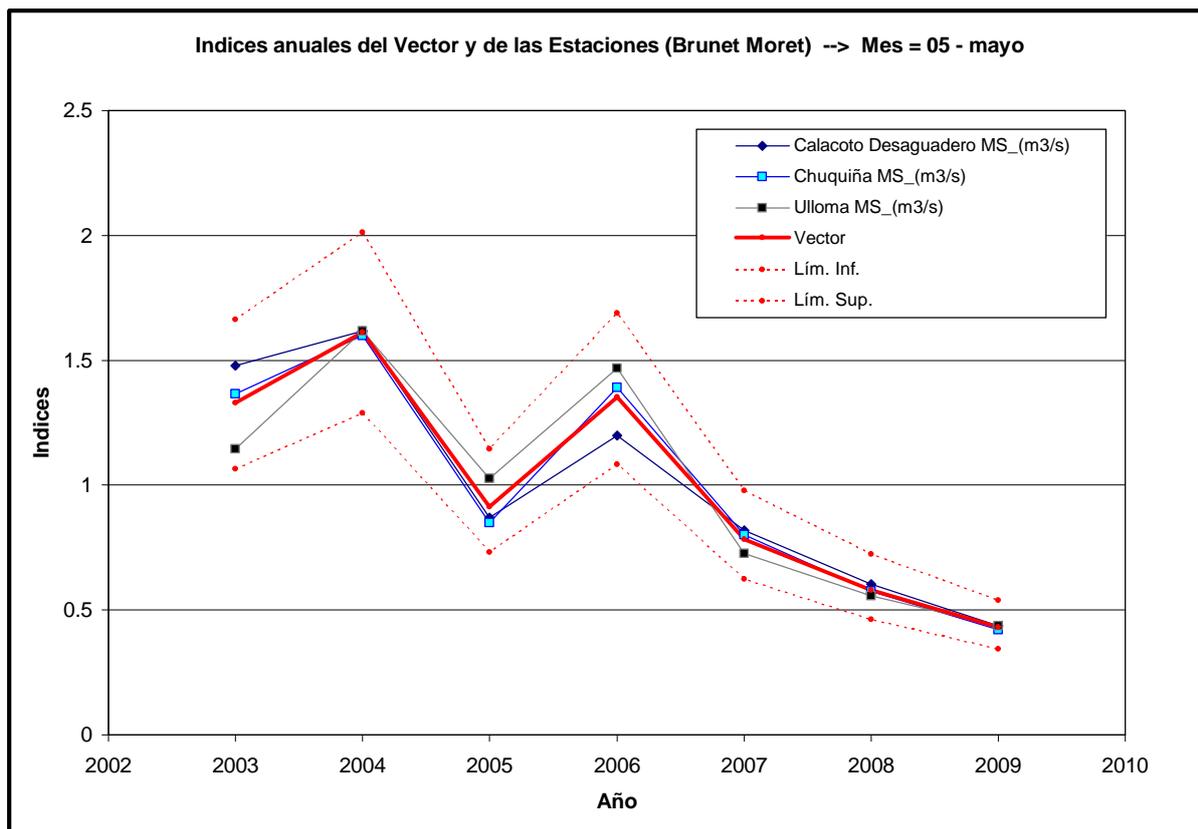


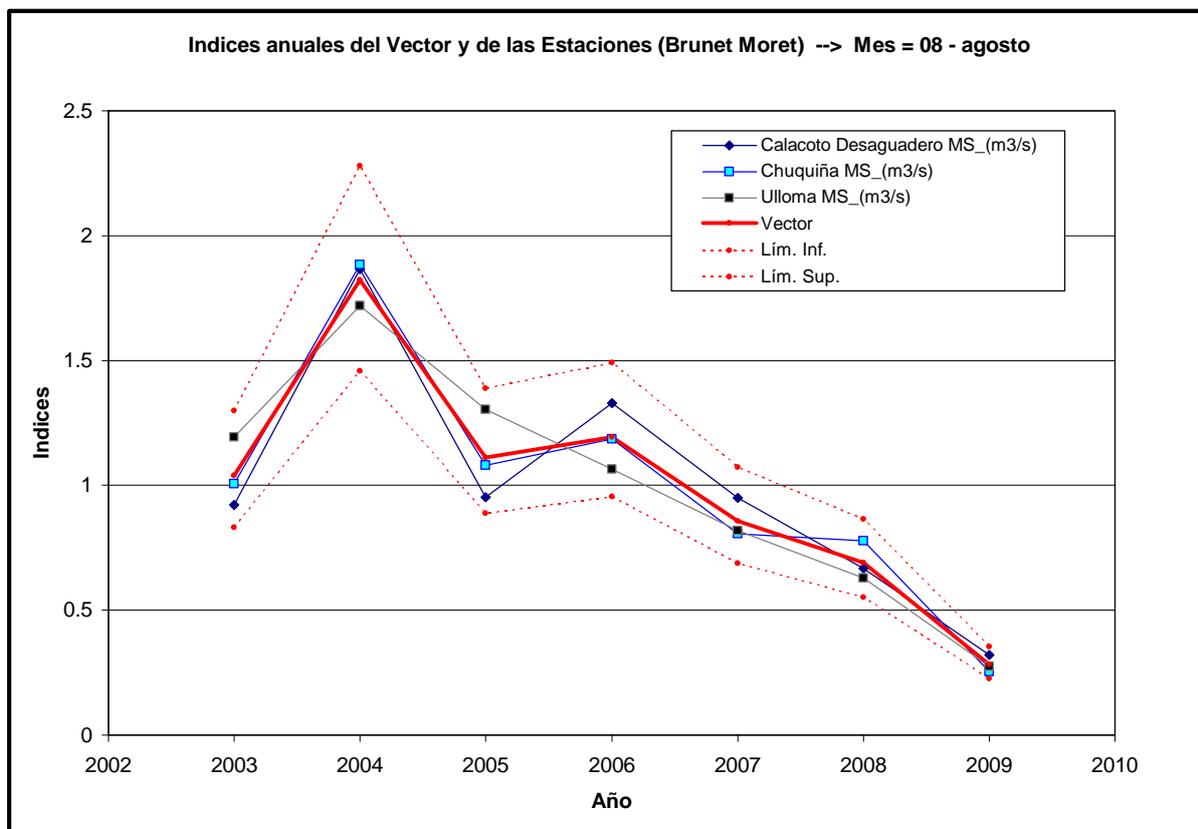
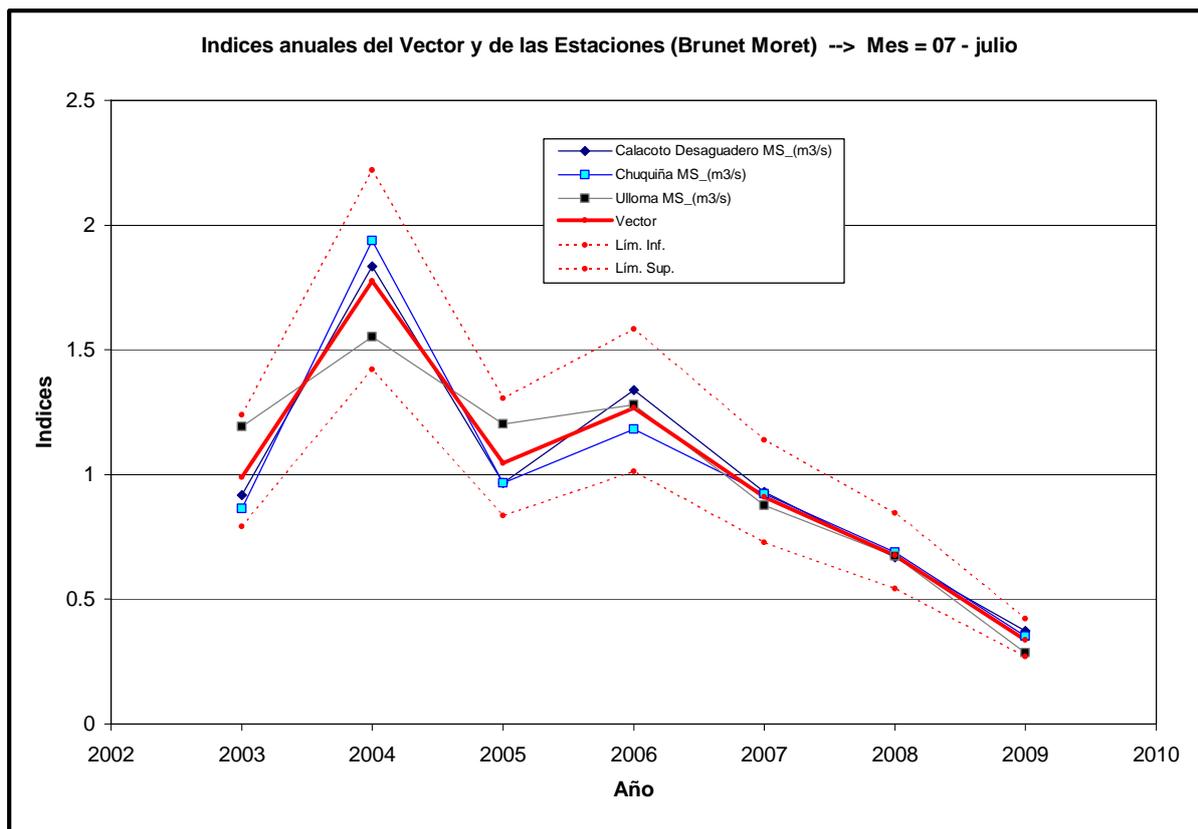


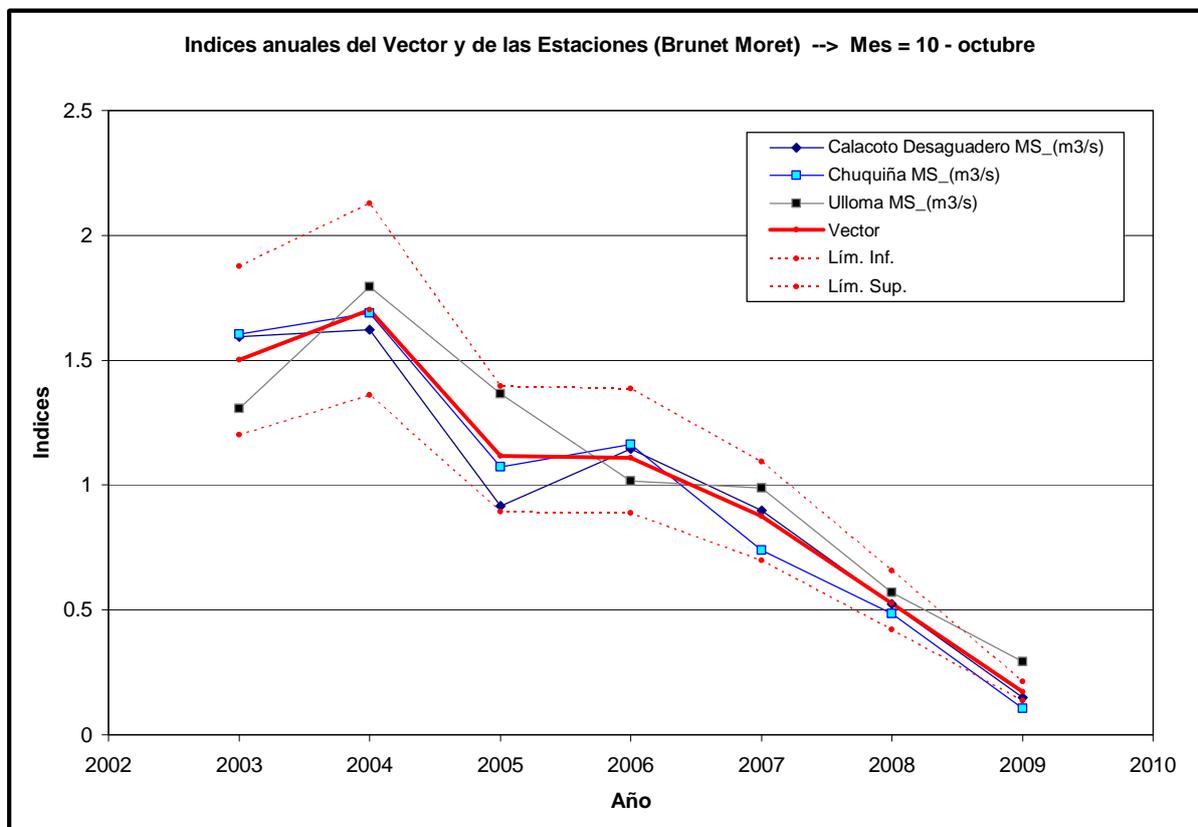
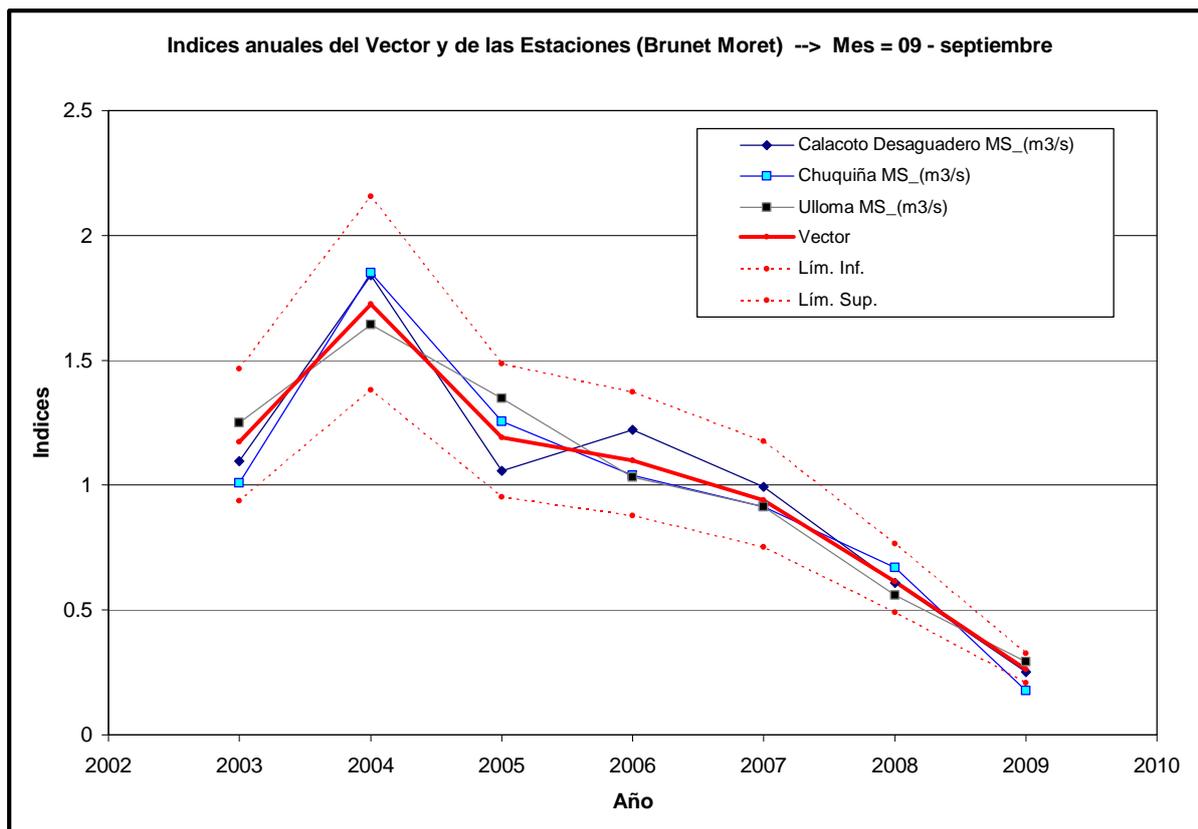
8.2 Anexo N° 2: Resultados del Análisis con el Vector Regional a Nivel Mensual.

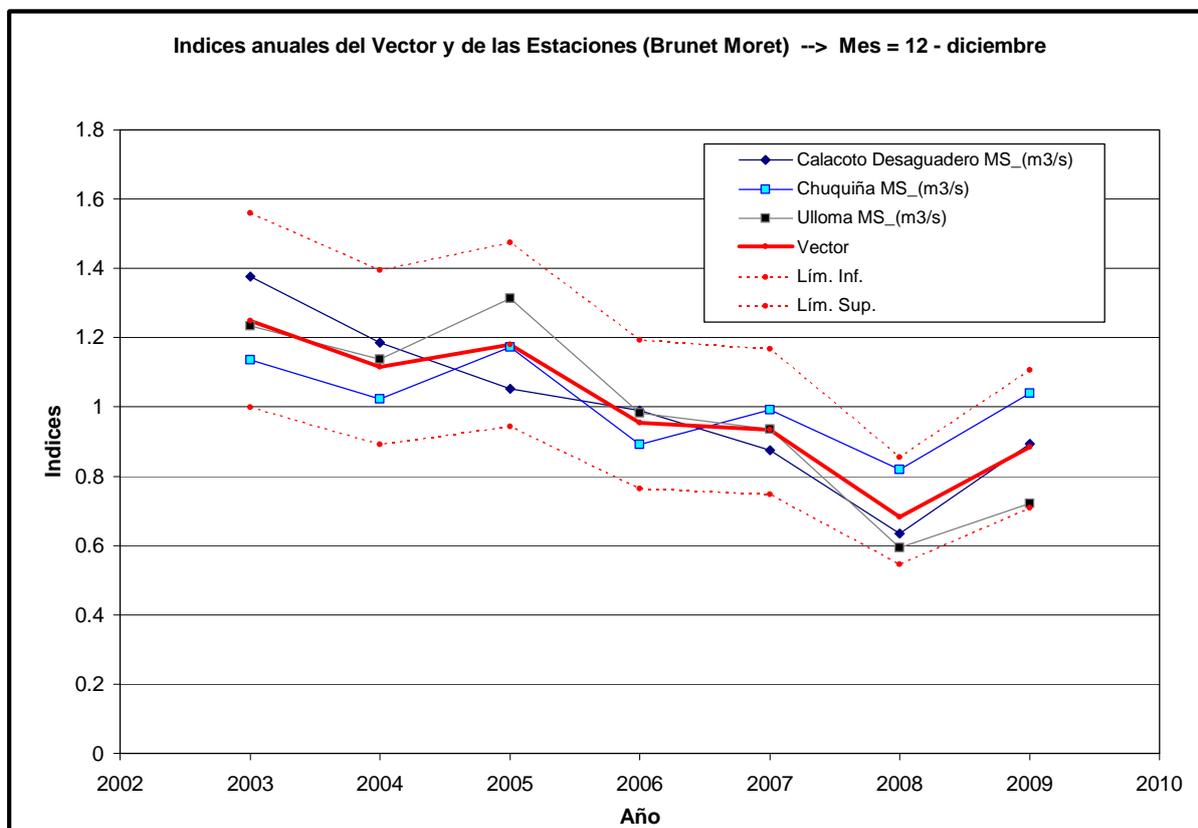
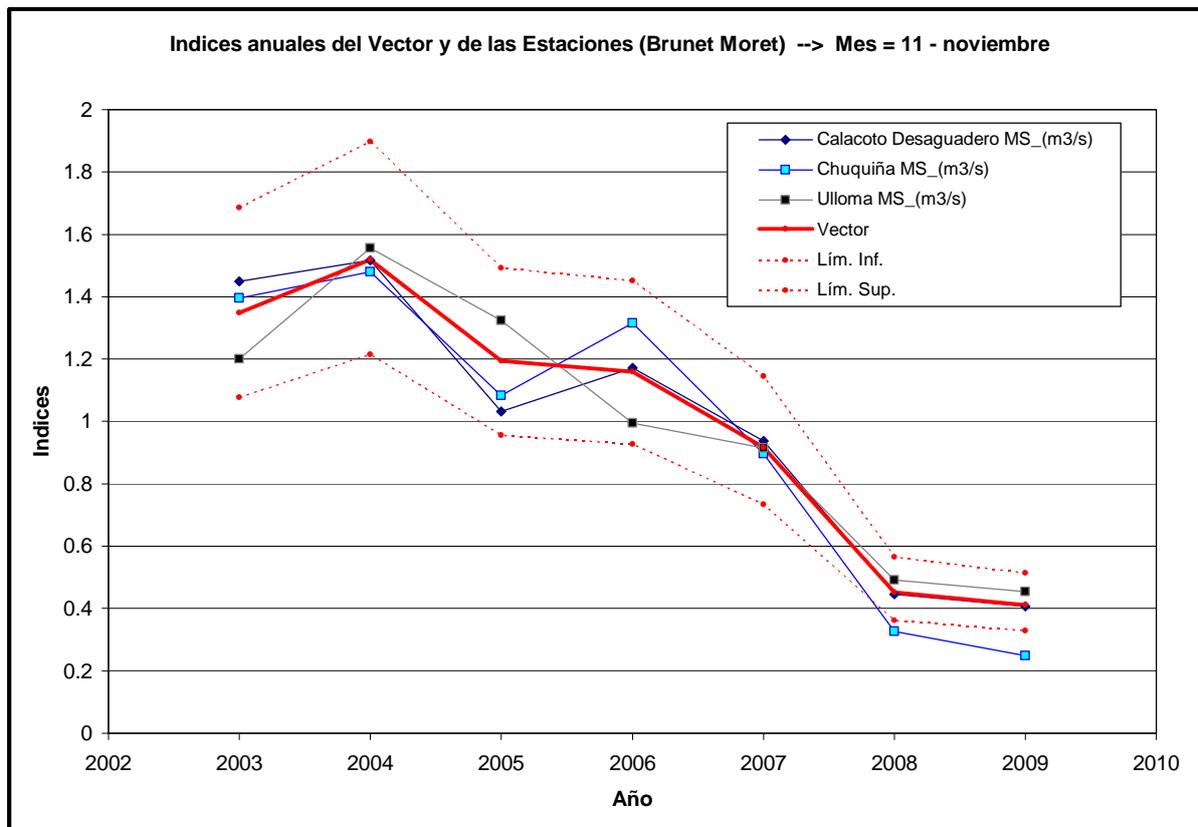












8.3 Anexo N° 3: Imagen Satelital de la Subcuenca de la Estación Chuquiña. (Fuente: Elaboración Propia, ver acápite 2)

