

**Anexo 1:** Caudales medios mensuales para la cuenca del embalse San Jacinto, por COBEE S.A.

Esquemas de Desarrollo Hidroeléctrico de los Valles de Zongo y Miguillas. Modelación Hidrológica y Generación de Series de Caudales Semanales Incrementales.

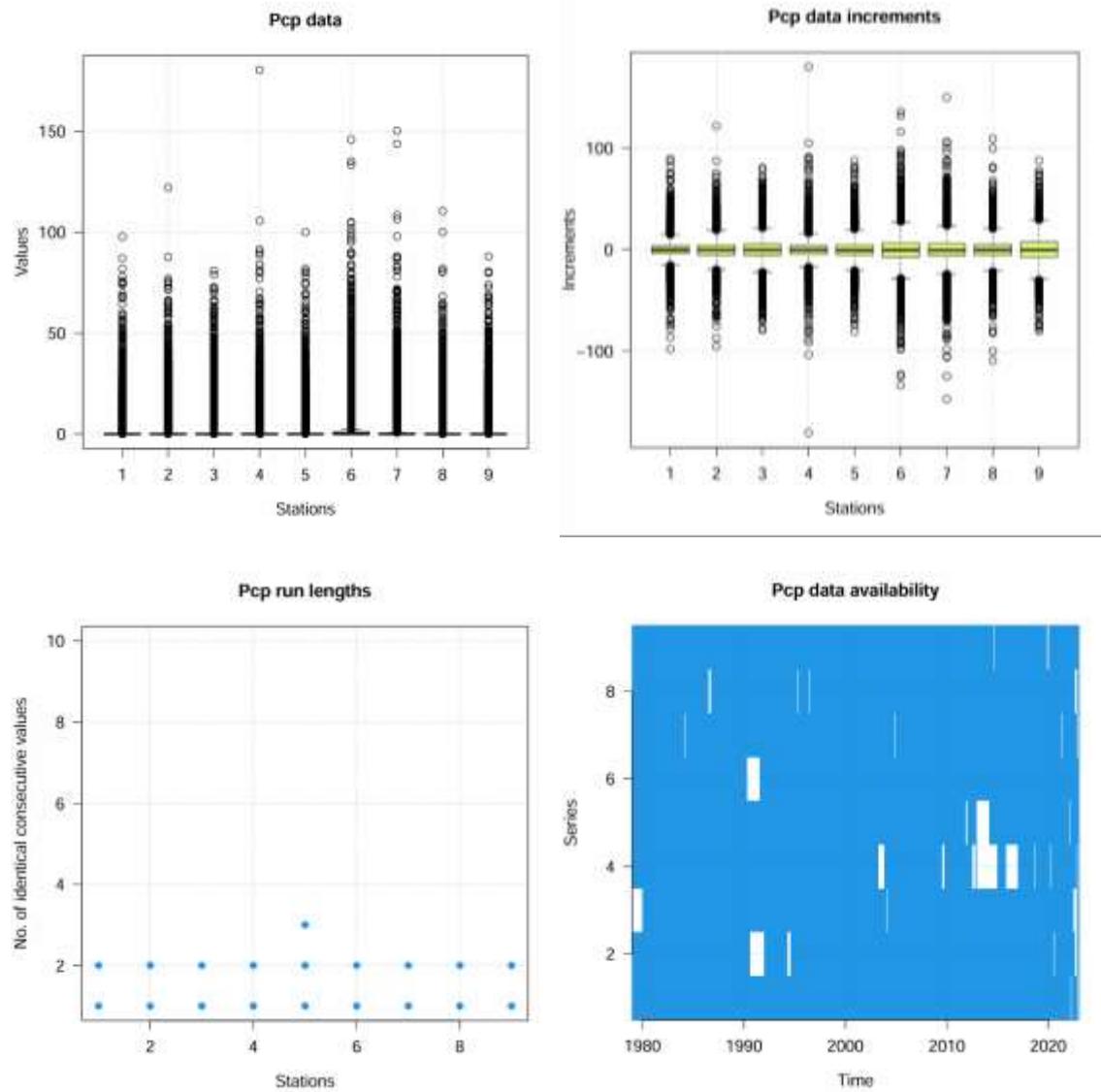
CUENCA DEL EMBALSE SAN JACINTO. CAUDALES INCREMENTALES MEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s). PERIODO 1979 - 2015

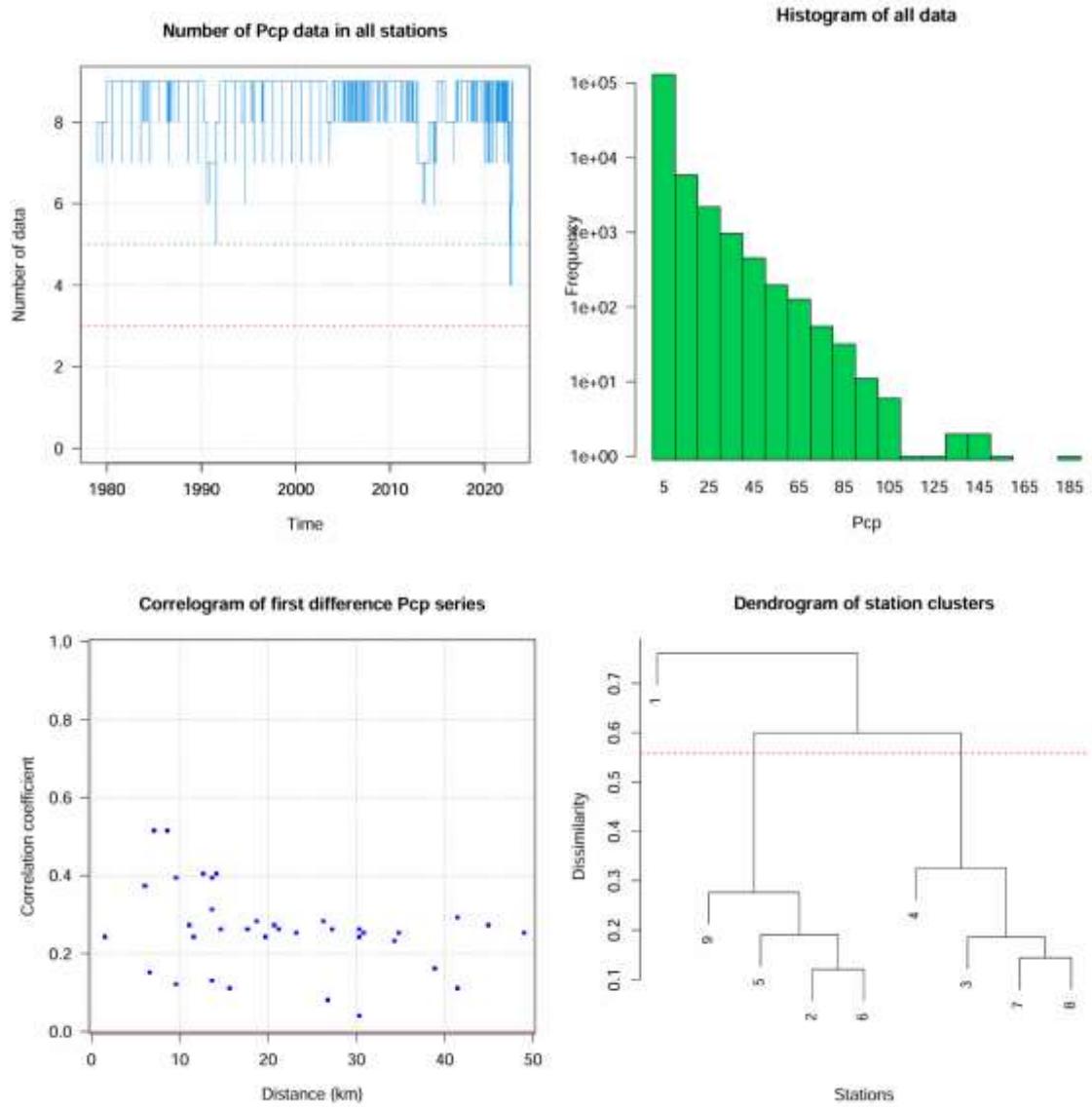
AÑO	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	PROM
1979	17,587	21,432	19,565	12,350	6,813	3,823	2,268	1,371	0,853	0,532	2,297	9,887	8,232
1980	19,500	19,376	24,077	14,303	7,342	4,147	2,461	1,497	0,930	1,013	0,960	5,506	8,426
1981	14,881	22,068	16,935	12,440	6,455	3,613	2,126	1,287	0,797	0,500	5,403	11,490	8,166
1982	16,710	17,807	18,568	12,723	6,939	3,847	2,261	1,365	0,843	0,523	0,937	8,519	7,587
1983	10,671	10,186	6,261	3,333	1,877	1,113	0,674	0,416	0,257	0,168	1,590	5,710	3,521
1984	16,445	24,266	24,845	14,960	7,752	4,373	2,594	1,577	0,980	0,894	3,020	8,132	9,153
1985	10,597	20,050	15,881	9,420	5,197	2,940	1,745	1,058	0,657	0,413	4,090	13,665	7,143
1986	17,742	20,857	19,094	13,393	6,932	3,883	2,300	1,394	0,863	0,542	3,263	13,281	8,629
1987	22,345	19,129	13,081	6,710	3,845	2,253	1,371	0,842	0,527	0,335	2,293	6,148	6,573
1988	14,648	18,348	20,361	14,237	7,397	4,103	2,419	1,455	0,900	0,571	0,737	7,219	7,700
1989	10,697	10,686	14,684	11,600	6,158	3,357	1,955	1,174	0,723	0,868	2,753	10,358	6,251
1990	15,700	19,104	17,035	9,857	5,181	2,970	1,771	1,084	0,677	0,468	5,777	11,258	7,573
1991	16,668	18,496	20,674	12,670	6,416	3,633	2,161	1,313	0,820	0,510	1,597	5,316	7,523
1992	14,765	17,752	14,545	7,523	4,097	2,373	1,426	0,874	0,547	0,345	1,670	9,348	6,272
1993	12,013	13,211	16,965	9,103	4,926	2,757	1,639	1,000	0,617	0,474	3,687	8,116	6,209
1994	15,345	18,271	13,245	7,310	3,961	2,300	1,390	0,852	0,527	0,823	4,960	9,997	6,582
1995	14,284	13,736	16,577	9,067	4,806	2,737	1,635	1,000	0,617	0,829	3,857	9,665	6,567
1996	13,623	14,883	17,829	10,950	7,513	3,793	2,206	1,323	0,820	0,506	4,333	9,835	7,301
1997	12,503	17,575	19,232	11,250	5,794	3,270	1,952	1,184	0,737	0,465	0,910	5,239	6,676
1998	10,661	12,171	11,990	8,227	4,155	2,337	1,384	0,842	0,517	0,332	3,877	6,329	5,235
1999	11,868	16,746	22,339	14,570	7,474	4,160	2,445	1,474	0,910	1,955	5,337	8,871	8,179
2000	19,961	23,262	22,513	12,900	6,729	3,843	2,297	1,400	0,870	0,552	0,933	5,790	8,421
2001	13,497	21,971	19,997	12,053	6,300	3,557	2,116	1,287	0,800	0,500	1,383	9,487	7,746
2002	15,306	25,668	23,268	14,447	7,658	4,303	2,545	1,545	0,963	3,252	6,597	9,610	9,597
2003	12,900	14,711	20,594	12,227	6,271	3,517	2,090	1,268	0,783	0,494	3,620	10,719	7,433
2004	13,619	13,714	17,187	11,053	6,048	3,347	1,968	1,190	0,733	0,461	1,943	8,248	6,626
2005	12,110	19,814	20,548	14,503	8,013	4,407	2,574	1,545	0,957	0,594	3,603	11,084	8,313
2006	18,626	24,118	19,697	12,643	6,500	3,697	2,210	1,348	0,837	0,668	1,697	5,481	8,127
2007	13,981	17,007	20,929	12,683	6,561	3,673	2,174	1,313	0,820	0,923	6,453	13,419	8,328
2008	19,919	20,424	23,848	15,010	7,671	4,323	2,581	1,558	0,970	0,610	5,080	16,365	9,863
2009	19,397	18,071	20,500	14,170	7,474	4,170	2,455	1,484	0,917	0,581	1,500	10,097	8,401
2010	12,968	20,014	15,897	8,723	4,623	2,663	1,600	0,981	0,607	0,381	0,240	1,984	5,890
2011	9,961	13,818	13,532	9,123	4,594	2,577	1,523	0,923	0,577	0,352	1,943	11,445	5,864
2012	17,077	19,383	15,732	12,247	6,587	3,647	2,148	1,294	0,803	0,500	3,173	5,655	7,354
2013	15,058	15,436	10,371	6,023	3,258	1,897	1,139	0,706	0,440	0,268	0,903	6,861	5,197
2014	10,142	15,143	11,800	6,650	3,548	2,040	1,223	0,748	0,470	0,687	2,657	5,758	5,072
2015	14,503	22,221	22,523	13,833	7,381	4,127	2,429	1,477	0,910	0,574	1,617	5,239	8,069
PROM	14,802	18,152	18,225	11,328	6,038	3,384	2,005	1,216	0,754	0,707	3,089	8,887	7,382
MIN	10,597	10,186	6,261	3,333	1,877	1,113	0,674	0,416	0,257	0,168	0,737	5,239	3,521
MAX	22,345	25,668	24,845	14,960	8,013	4,407	2,594	1,577	0,980	3,252	6,597	13,665	9,597
DESV. ST.	3,015	4,047	4,010	2,804	1,450	0,776	0,451	0,269	0,167	0,587	1,768	2,518	1,238
C.V.	4,909	4,486	4,545	4,040	4,164	4,359	4,451	4,518	4,505	1,205	1,747	3,529	5,965

**Anexo 2:** Reporte de Climatool 4.0. para el análisis de homogeneidad de la serie de datos de precipitación diaria, 1979-2022.

# CLIMATOL 4.0.0

Homogenization  
graphic output of  
Pcp  
1979–2022

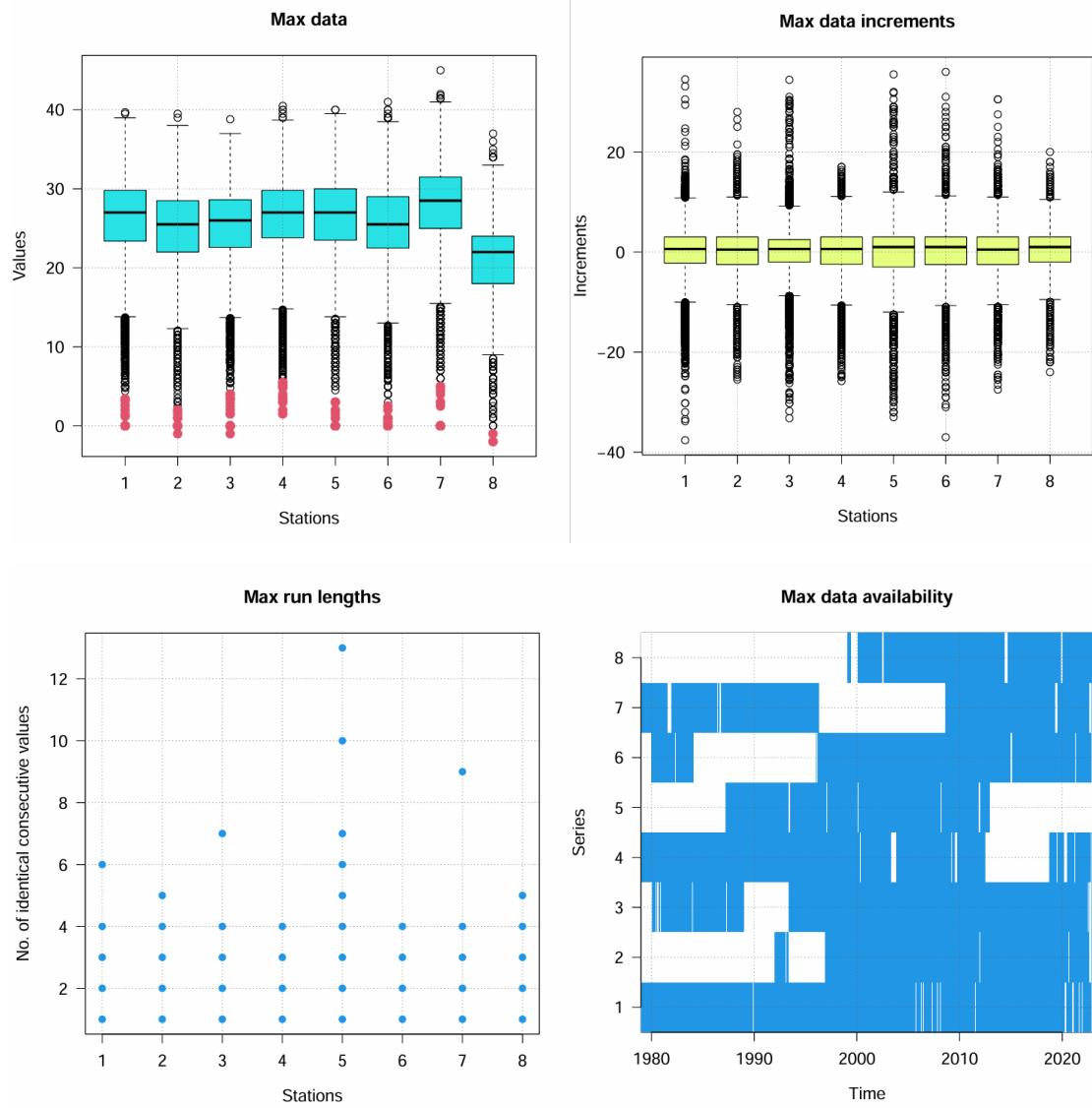


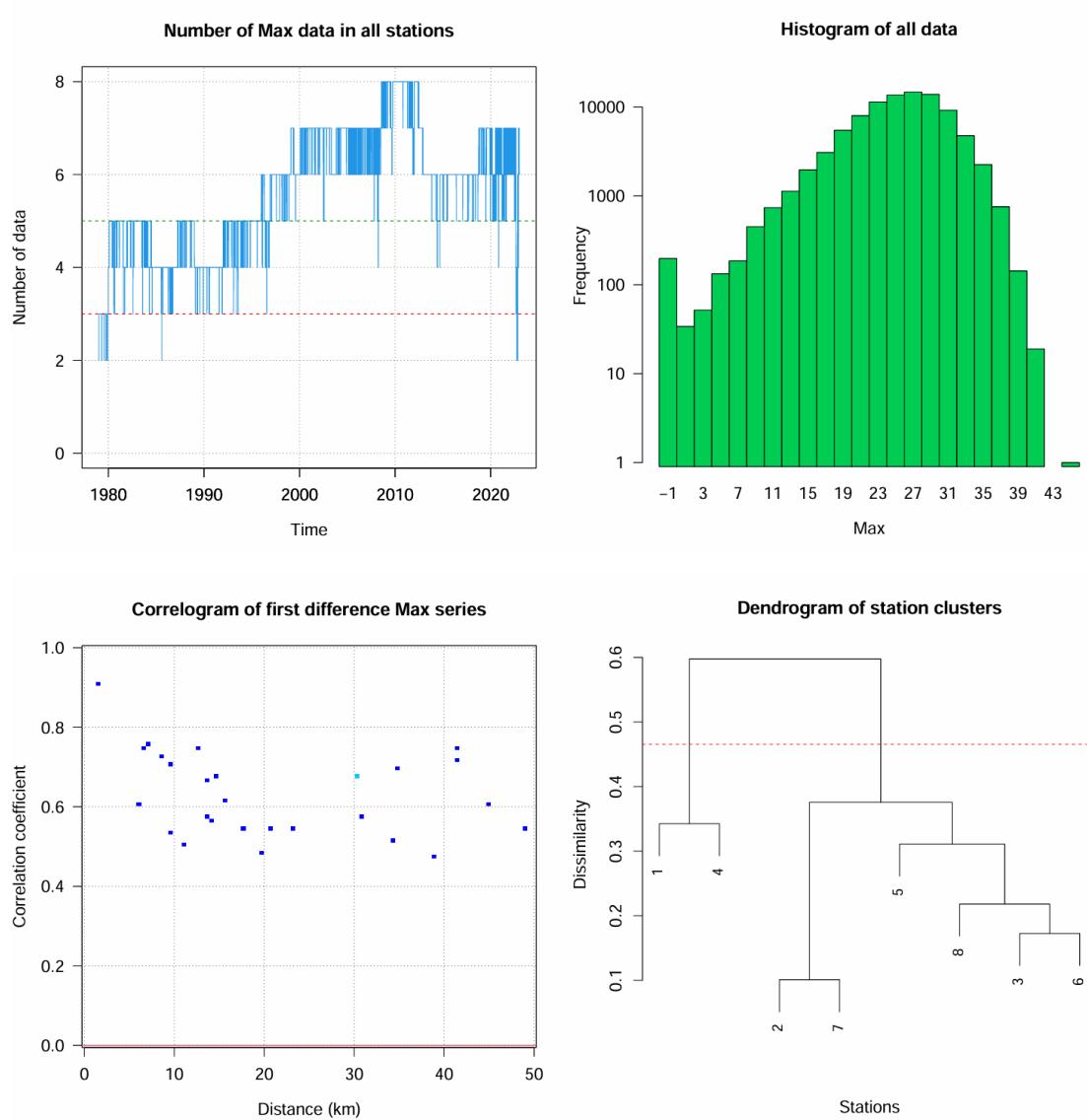


**Anexo 3:** Reporte de Climatool 4.0. para el análisis de homogeneidad de la serie de datos de temperatura máxima diaria 1979-2022.

# CLIMATOL 4.0.0

## Homogenization graphic output of Max 1979–2022

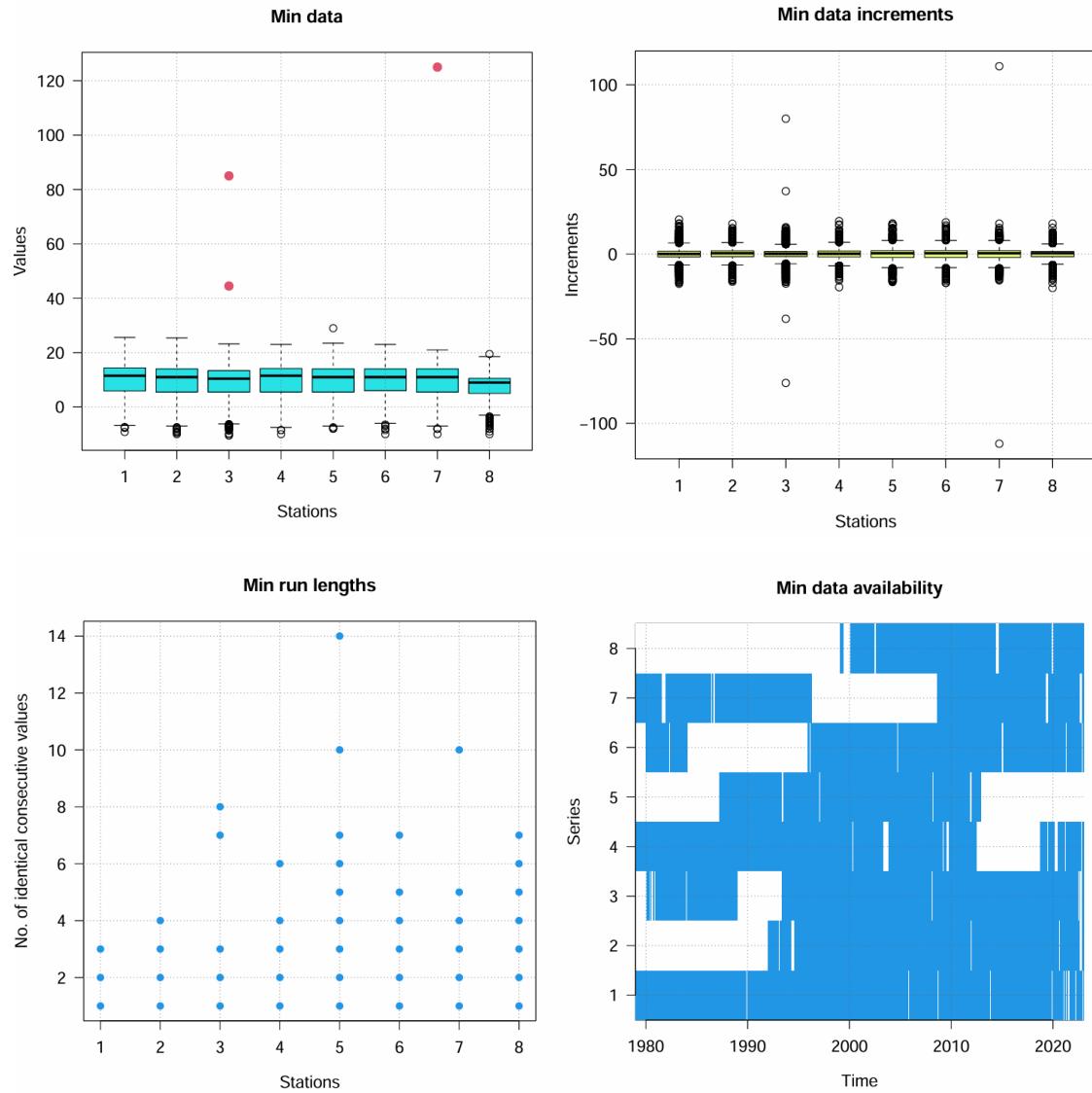


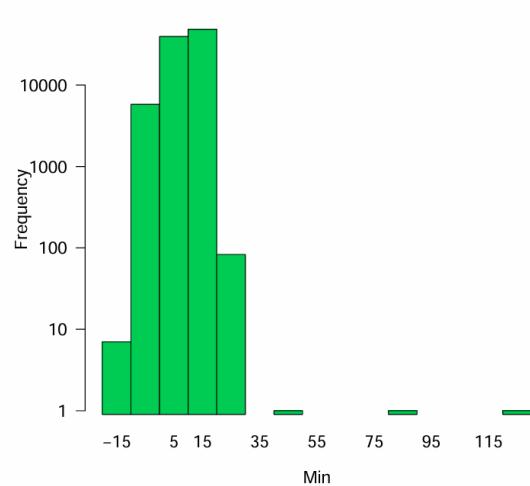
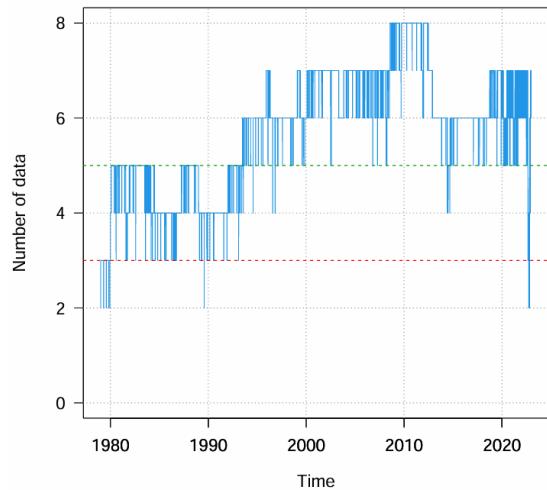


**Anexo 4:** Reporte de Climatool 4.0. para el análisis de homogeneidad de la serie de datos de temperatura mínima diaria 1979-2022.

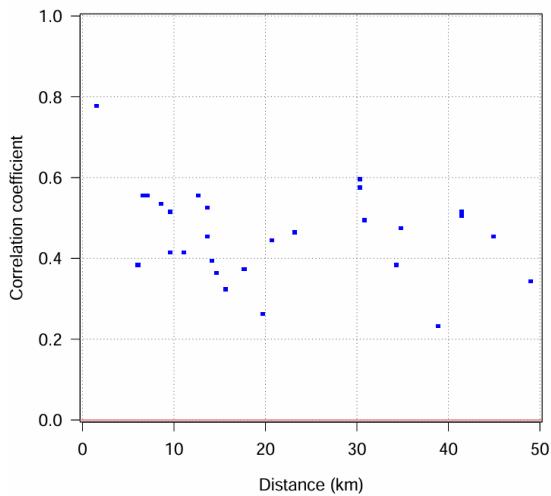
# CLIMATOL 4.0.0

## Homogenization graphic output of Min 1979–2022

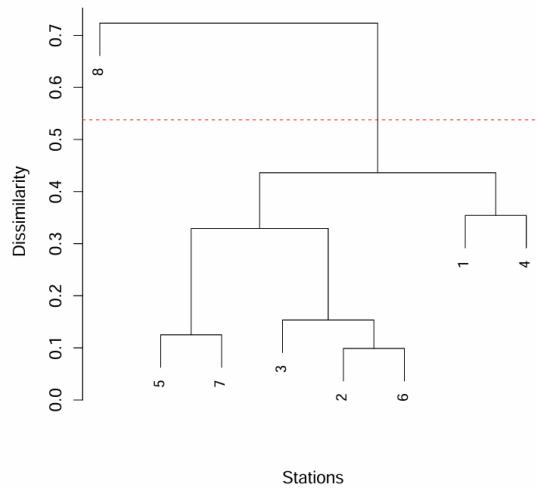




### Correlogram of first difference Min series



## Dendrogram of station clusters



**Anexo 5:** Reporte completo de anomalías en serie de datos de temperatura máxima y mínima diaria de las estaciones en estudio.

		Temperatura máxima		Temperatura mínima	
Estación	Fecha	Valor Observado	Sugerencia	Valor Observado	Sugerencia
Aeropuerto	06/12/1990	--	--	25.5	depurar
Aeropuerto	24/05/2002	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	05/10/2002	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	09/08/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	16/08/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	21/08/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	29/08/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	05/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	08/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	09/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	10/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	11/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	12/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	13/12/2011	0	depurar	0	depurar
Aeropuerto	24/12/2011	0	depurar	0	depurar
Cañas	07/03/1993	0	depurar	0	depurar
Cañas	01/12/1996	0	depurar	--	--
Cañas	02/12/1996	0	depurar	--	--
Cañas	11/07/2000	0	depurar	0	depurar
Cañas	27/07/2001	0	depurar	0	depurar
Cañas	27/01/2005	0	depurar	--	--
Cañas	17/07/2010	0	depurar	0	depurar
Cañas	19/05/2012	0	depurar	0	depurar
Coimata	07/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	08/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	09/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	10/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	11/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	12/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	13/07/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	01/12/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	02/12/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	03/12/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	04/12/1980	0	depurar	0	depurar

Coimata	05/12/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	06/12/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	07/12/1980	0	depurar	0	depurar
Coimata	01/03/1981	0	depurar	0	depurar
Coimata	02/03/1981	0	depurar	0	depurar
Coimata	03/03/1981	0	depurar	0	depurar
Coimata	08/03/1981	0	depurar	0	depurar
Coimata	08/07/1982	0	depurar	0	depurar
Coimata	25/10/1982	0	depurar	0	depurar
Coimata	06/12/1982	0	depurar	0	depurar
Coimata	02/05/1983	0	depurar	0	depurar
Coimata	03/05/1983	0	depurar	0	depurar
Coimata	06/07/1983	0	depurar	0	depurar
Coimata	07/07/1983	0	depurar	0	depurar
Coimata	08/07/1983	0	depurar	0	depurar
Coimata	02/05/1985	0	depurar	--	--
Coimata	21/04/1986	--	--	44.5	depurar
Coimata	26/09/1987	--	--	85	depurar
Coimata	06/12/1987	0	depurar	0	depurar
Coimata	19/01/1988	0	depurar	--	--
Coimata	01/03/1988	0	depurar	0	depurar
Coimata	02/03/1988	0	depurar	0	depurar
Coimata	17/03/1995	0	depurar	0	depurar
Coimata	05/12/1995	0	depurar	--	--
Coimata	02/01/1996	0	depurar	0	depurar
Coimata	29/01/1996	0	depurar	0	depurar
Coimata	25/05/1996	0	depurar	0	depurar
Coimata	01/01/1997	0	depurar	0	depurar
Coimata	11/05/1997	0	depurar	0	depurar
Coimata	01/01/1998	0	depurar	0	depurar
Coimata	30/08/1998	0	depurar	0	depurar
Coimata	09/10/1998	0	depurar	0	depurar
Coimata	29/12/1998	0	depurar	0	depurar
Coimata	25/07/1999	0	depurar	0	depurar
Coimata	04/12/1999	0	depurar	0	depurar
Coimata	08/01/2000	0	depurar	0	depurar
Coimata	06/03/2001	0	depurar	0	depurar
Coimata	07/07/2002	0	depurar	0	depurar
Coimata	11/12/2004	0	depurar	0	depurar
Coimata	01/12/2008	0	depurar	0	depurar

Coimata	05/03/2016	0	depurar	0	depurar
Juntas	27/07/1987	0	depurar	--	--
Juntas	28/07/1987	0	depurar	0	depurar
Juntas	18/01/1988	0	depurar	--	--
Juntas	18/07/1988	0	depurar	--	--
Juntas	22/05/1989	0	depurar	--	--
Juntas	21/01/1991	0	depurar	0	depurar
Juntas	08/07/1991	0	depurar	--	--
Juntas	07/10/1991	0	depurar	--	--
Juntas	04/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	05/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	06/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	07/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	08/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	09/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	10/05/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	01/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	02/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	03/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	04/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	05/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	06/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	07/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	08/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	09/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	10/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	11/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	12/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	13/12/1992	0	depurar	0	depurar
Juntas	17/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	18/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	19/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	20/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	21/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	22/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	23/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	24/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	25/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	26/01/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	12/07/1993	0	depurar	0	depurar

Juntas	13/07/1993	0	depurar	0	depurar
Juntas	18/08/1993	0	depurar	--	--
Juntas	23/08/1993	0	depurar	--	--
Juntas	20/12/1993	0	depurar	--	--
Juntas	08/03/1994	0	depurar	--	--
Juntas	28/03/1994	0	depurar	0	depurar
Juntas	16/05/1994	0	depurar	--	--
Juntas	22/08/1994	0	depurar	--	--
Juntas	12/12/1994	0	depurar	--	--
Juntas	26/12/1994	0	depurar	--	--
Juntas	27/12/1994	0	depurar	0	depurar
Juntas	28/12/1994	0	depurar	--	--
Juntas	22/01/1995	0	depurar	--	--
Juntas	20/03/1995	0	depurar	--	--
Juntas	21/03/1995	0	depurar	0	depurar
Juntas	25/10/1995	0	depurar	0	depurar
Juntas	01/01/1996	0	depurar	0	depurar
Juntas	13/05/1996	0	depurar	--	--
Juntas	07/07/1996	0	depurar	--	--
Juntas	10/03/1997	0	depurar	--	--
Juntas	16/08/1997	0	depurar	--	--
Juntas	17/08/1997	0	depurar	0	depurar
Juntas	15/12/1997	0	depurar	0	depurar
Juntas	27/07/1998	0	depurar	--	--
Juntas	09/07/1999	0	depurar	0	depurar
Juntas	15/03/2000	0	depurar	--	--
Juntas	16/03/2000	0	depurar	--	--
Juntas	17/03/2000	0	depurar	0	depurar
Juntas	18/03/2000	0	depurar	0	depurar
Juntas	21/03/2000	0	depurar	--	--
Juntas	22/03/2000	0	depurar	0	depurar
Juntas	24/05/2000	0	depurar	--	--
Juntas	26/05/2000	0	depurar	--	--
Juntas	11/12/2000	0	depurar	0	depurar
Juntas	25/12/2000	0	depurar	0	depurar
Juntas	06/08/2001	0	depurar	0	depurar
Juntas	07/08/2001	0	depurar	0	depurar
Juntas	08/08/2001	0	depurar	0	depurar
Juntas	18/12/2004	0	depurar	0	depurar
Juntas	19/12/2004	0	depurar	0	depurar

San Andrés	01/03/1996	0	depurar	0	depurar
San Andrés	11/05/1996	0	depurar	--	--
San Andrés	12/05/1996	0	depurar	--	--
San Andrés	05/10/1996	0	depurar	--	--
San Andrés	20/10/1996	0	depurar	0	depurar
San Andrés	27/01/1999	0	depurar	0	depurar
San Andrés	05/03/2000	0	depurar	--	--
San Andrés	10/08/2000	0	depurar	--	--
San Andrés	17/08/2000	0	depurar	--	--
San Andrés	25/12/2000	0	depurar	--	--
San Andrés	04/05/2001	0	depurar	--	--
San Andrés	10/08/2001	0	depurar	--	--
San Andrés	07/08/2005	0	depurar	0	depurar
San Andrés	24/01/2006	0	depurar	0	depurar
San Andrés	05/10/2013	0	depurar	0	depurar
San Andrés	12/10/2013	0	depurar	0	depurar
San Andrés	11/12/2013	0	depurar	0	depurar
San Andrés	14/12/2013	0	depurar	0	depurar
San Andrés	05/01/2014	0	depurar	0	depurar
San Andrés	17/05/2014	0	depurar	0	depurar
San Andrés	18/05/2014	0	depurar	0	depurar
San Andrés	01/08/2014	0	depurar	0	depurar
San Andrés	02/08/2014	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	01/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	02/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	03/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	04/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	05/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	06/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	07/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	08/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	09/12/1981	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	12/02/1986	--	--	125	depurar
San Jacinto	06/10/1995	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	01/12/2015	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	02/12/2015	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	04/12/2015	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	05/12/2015	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	06/12/2015	0	depurar	0	depurar
San Jacinto	07/12/2015	0	depurar	0	depurar

**Anexo 6:** Reporte de HydroBID; volumen mínimo operaciones a escala mensual para el periodo 2000-2015, volumen mínimo operacional medido y porcentajes de reducción de volúmenes a escala mensual.

Mes y Año	Volumen Simulado (m <sup>3</sup> )	Volumen medido (m <sup>3</sup> )	Diferencia (m <sup>3</sup> )	Porcentaje de reducción (%)
ene-2000	9917121,78	9920000,00	2878,22	-0,029
feb-2000	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2000	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2000	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2000	9919986,51	9920000,00	13,49	0,000
jun-2000	9919990,92	9920000,00	9,08	0,000
Jul-2000	9919980,56	9920000,00	19,44	0,000
ago-2000	9833157,43	9920000,00	86842,57	-0,875
sep-2000	9560265,94	9920000,00	359734,06	-3,626
oct-2000	9218142,41	9920000,00	701857,59	-7,075
nov-2000	9865307,04	9920000,00	54692,96	-0,551
dic-2000	9919988,40	9920000,00	11,60	0,000
ene-2001	9919971,96	9920000,00	28,04	0,000
feb-2001	9919964,90	9920000,00	35,10	0,000
mar-2001	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2001	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2001	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2001	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
Jul-2001	9919356,11	9920000,00	643,89	-0,006
ago-2001	9796741,02	9920000,00	123258,98	-1,243
sep-2001	9498375,01	9920000,00	421624,99	-4,250
oct-2001	9609704,63	9920000,00	310295,37	-3,128
nov-2001	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2001	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2002	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2002	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2002	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2002	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2002	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2002	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
Jul-2002	9919579,74	9920000,00	420,26	-0,004
ago-2002	9828696,25	9920000,00	91303,75	-0,920
sep-2002	9547383,63	9920000,00	372616,37	-3,756
oct-2002	9778400,13	9920000,00	141599,87	-1,427
nov-2002	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2002	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2003	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000

feb-2003	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2003	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2003	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2003	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2003	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2003	9919104,62	9920000,00	895,38	-0,009
ago-2003	9814965,06	9920000,00	105034,94	-1,059
sep-2003	9561347,79	9920000,00	358652,21	-3,615
oct-2003	9855959,21	9920000,00	64040,79	-0,646
nov-2003	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2003	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2004	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2004	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2004	9919961,80	9920000,00	38,20	0,000
abr-2004	9919974,92	9920000,00	25,08	0,000
may-2004	9919986,51	9920000,00	13,49	0,000
jun-2004	9919990,92	9920000,00	9,08	0,000
jul-2004	9919991,74	9920000,00	8,26	0,000
ago-2004	9881792,35	9920000,00	38207,65	-0,385
sep-2004	9642806,09	9920000,00	277193,91	-2,794
oct-2004	9918831,84	9920000,00	1168,16	-0,012
nov-2004	9919992,77	9920000,00	7,23	0,000
dic-2004	9919988,40	9920000,00	11,60	0,000
ene-2005	9919971,96	9920000,00	28,04	0,000
feb-2005	9919964,90	9920000,00	35,10	0,000
mar-2005	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2005	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2005	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2005	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2005	9919730,57	9920000,00	269,43	-0,003
ago-2005	9842210,24	9920000,00	77789,76	-0,784
sep-2005	9613473,12	9920000,00	306526,88	-3,090
oct-2005	9269578,70	9920000,00	650421,30	-6,557
nov-2005	9514298,76	9920000,00	405701,24	-4,090
dic-2005	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2006	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2006	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2006	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2006	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2006	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2006	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2006	9919991,76	9920000,00	8,24	0,000
ago-2006	9874908,42	9920000,00	45091,58	-0,455

sep-2006	9671412,25	9920000,00	248587,75	-2,506
oct-2006	9547019,28	9920000,00	372980,72	-3,760
nov-2006	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2006	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2007	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2007	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2007	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2007	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2007	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2007	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2007	9919765,18	9920000,00	234,82	-0,002
ago-2007	9835020,02	9920000,00	84979,98	-0,857
sep-2007	9836387,75	9920000,00	83612,25	-0,843
oct-2007	9919169,95	9920000,00	830,05	-0,008
nov-2007	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2007	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2008	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2008	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2008	9919961,80	9920000,00	38,20	0,000
abr-2008	9919974,92	9920000,00	25,08	0,000
may-2008	9919986,51	9920000,00	13,49	0,000
jun-2008	9919990,92	9920000,00	9,08	0,000
jul-2008	9919599,88	9920000,00	400,12	-0,004
ago-2008	9836443,69	9920000,00	83556,31	-0,842
sep-2008	9592943,37	9920000,00	327056,63	-3,297
oct-2008	9569357,63	9920000,00	350642,37	-3,535
nov-2008	9919992,77	9920000,00	7,23	0,000
dic-2008	9919988,40	9920000,00	11,60	0,000
ene-2009	9919971,96	9920000,00	28,04	0,000
feb-2009	9919964,90	9920000,00	35,10	0,000
mar-2009	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2009	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2009	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2009	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2009	9919977,09	9920000,00	22,91	0,000
ago-2009	9855558,71	9920000,00	64441,29	-0,650
sep-2009	9748163,24	9920000,00	171836,76	-1,732
oct-2009	9913016,82	9920000,00	6983,18	-0,070
nov-2009	9888293,74	9920000,00	31706,26	-0,320
dic-2009	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2010	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2010	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2010	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000

abr-2010	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2010	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2010	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2010	9912139,55	9920000,00	7860,45	-0,079
ago-2010	9780312,58	9920000,00	139687,42	-1,408
sep-2010	9466539,38	9920000,00	453460,62	-4,571
oct-2010	9096550,14	9920000,00	823449,86	-8,301
nov-2010	8706065,87	9920000,00	1213934,13	-12,237
dic-2010	9506188,35	9920000,00	413811,65	-4,171
ene-2011	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2011	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2011	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2011	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2011	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2011	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2011	9917916,95	9920000,00	2083,05	-0,021
ago-2011	9806364,88	9920000,00	113635,12	-1,146
sep-2011	9526926,86	9920000,00	393073,14	-3,962
oct-2011	9834297,00	9920000,00	85703,00	-0,864
nov-2011	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2011	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2012	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2012	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2012	9919961,80	9920000,00	38,20	0,000
abr-2012	9919974,92	9920000,00	25,08	0,000
may-2012	9919986,51	9920000,00	13,49	0,000
jun-2012	9919990,92	9920000,00	9,08	0,000
jul-2012	9919991,74	9920000,00	8,26	0,000
ago-2012	9860075,10	9920000,00	59924,90	-0,604
sep-2012	9607018,09	9920000,00	312981,91	-3,155
oct-2012	9222506,93	9920000,00	697493,07	-7,031
nov-2012	9857298,90	9920000,00	62701,10	-0,632
dic-2012	9919988,40	9920000,00	11,60	0,000
ene-2013	9919971,96	9920000,00	28,04	0,000
feb-2013	9919964,90	9920000,00	35,10	0,000
mar-2013	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2013	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2013	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2013	9918967,73	9920000,00	1032,27	-0,010
jul-2013	9829248,92	9920000,00	90751,08	-0,915
ago-2013	9607520,47	9920000,00	312479,53	-3,150
sep-2013	9307084,19	9920000,00	612915,81	-6,179
oct-2013	9400367,22	9920000,00	519632,78	-5,238

nov-2013	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2013	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2014	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2014	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2014	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2014	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2014	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2014	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2014	9894079,86	9920000,00	25920,14	-0,261
ago-2014	9704079,72	9920000,00	215920,28	-2,177
sep-2014	9370613,03	9920000,00	549386,97	-5,538
oct-2014	9764892,36	9920000,00	155107,64	-1,564
nov-2014	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2014	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000
ene-2015	9919971,42	9920000,00	28,58	0,000
feb-2015	9919964,67	9920000,00	35,33	0,000
mar-2015	9919961,70	9920000,00	38,30	0,000
abr-2015	9919975,38	9920000,00	24,62	0,000
may-2015	9919986,88	9920000,00	13,12	0,000
jun-2015	9919991,06	9920000,00	8,94	0,000
jul-2015	9919991,76	9920000,00	8,24	0,000
ago-2015	9908082,29	9920000,00	11917,71	-0,120
sep-2015	9710124,59	9920000,00	209875,41	-2,116
oct-2015	9565011,96	9920000,00	354988,04	-3,579
nov-2015	9919992,79	9920000,00	7,21	0,000
dic-2015	9919988,25	9920000,00	11,75	0,000

**Anexo 7:** Reporte de HydroBID; volúmenes mínimos de operación del embalse a nivel mensual del San Jacinto proyectados bajo escenarios de cambio climático, periodo 2023-2040.

Volúmenes mínimos de operación (m <sup>3</sup> )			
Fecha	SSP126	SSP245	SSP585
ene-23	18089998,13	18089998,13	18089998,13
feb-23	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-23	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-23	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-23	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-23	18088686,25	18089039,27	18087832,95
jul-23	17745361,06	17752963,31	17709159,26
ago-23	16653985,83	16666388,61	16588504,39
sep-23	15318818,55	15335203,60	15240411,62
oct-23	13835238,07	13851716,99	13752917,47
nov-23	14672907,77	14588467,83	14498241,58
dic-23	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-24	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-24	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-24	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-24	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-24	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-24	18089953,41	18089999,77	18089387,89
jul-24	17792715,26	17798722,22	17742483,70
ago-24	16733616,39	16745882,12	16642815,45
sep-24	15395867,06	15412806,40	15290911,43
oct-24	15184195,16	15185565,49	15005225,34
nov-24	18089999,86	18089999,86	18089999,86
dic-24	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-25	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-25	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-25	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-25	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-25	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-25	18054339,92	18058927,31	18042111,31
jul-25	17460506,20	17478548,50	17399654,78
ago-25	16305905,27	16327354,55	16221318,51
sep-25	15152990,40	15058333,57	14934943,28
oct-25	14932592,18	14632135,31	14443391,61
nov-25	18089999,86	18089999,86	18089999,86
dic-25	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-26	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-26	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-26	18089998,10	18089998,10	18089998,10

abr-26	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-26	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-26	18089331,33	18089563,77	18088663,21
jul-26	17715163,05	17723624,83	17679079,76
ago-26	16595538,08	16609918,97	16529397,91
sep-26	15245412,39	15264412,97	15166769,36
oct-26	14764827,24	14760084,78	14561080,58
nov-26	17470937,78	17409773,54	17093514,76
dic-26	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-27	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-27	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-27	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-27	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-27	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-27	18086998,03	18087747,68	18082031,94
jul-27	17685690,59	17700509,61	17623186,95
ago-27	16585492,25	16608017,82	16489312,25
sep-27	15199665,66	15225473,72	15089007,82
oct-27	13718594,23	13742712,08	13603578,37
nov-27	14007571,63	13932240,59	13799769,86
dic-27	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-28	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-28	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-28	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-28	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-28	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-28	17907273,75	17911319,99	17885098,39
jul-28	17001660,23	17008255,42	16950422,82
ago-28	15796292,06	15802357,98	15730009,97
sep-28	14355021,86	14364717,52	14279179,83
oct-28	12854515,57	12864834,52	12775730,73
nov-28	11365135,94	11370704,28	11280717,80
dic-28	14607334,80	14364390,63	13930073,81
ene-29	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-29	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-29	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-29	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-29	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-29	18021879,97	18028305,48	18001481,89
jul-29	17335432,02	17356009,48	17260036,53
ago-29	16087323,48	16110965,09	15987387,21
sep-29	14678694,06	14705534,55	14568214,49
oct-29	17067321,83	16997809,31	16861156,15
nov-29	18089999,86	18089999,86	18089999,86
dic-29	18089999,92	18089999,92	18089999,92

ene-30	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-30	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-30	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-30	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-30	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-30	18089999,77	18089999,77	18089916,92
jul-30	17870262,06	17878195,13	17820342,50
ago-30	16838000,28	16854538,24	16741575,41
sep-30	15429479,44	15451085,09	15317182,48
oct-30	13860136,49	13881089,45	13742486,27
nov-30	17343842,41	17322251,69	17238948,06
dic-30	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-31	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-31	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-31	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-31	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-31	18085064,20	18085697,64	18082942,85
jun-31	17675018,72	17687674,19	17624960,21
jul-31	16598334,32	16614418,29	16518733,69
ago-31	15310444,85	15325933,37	15215955,37
sep-31	13925761,33	13944172,00	13824032,09
oct-31	13031352,59	13031983,97	12841301,25
nov-31	14618214,30	14397763,86	13896806,00
dic-31	18077946,22	18040245,52	17972295,65
ene-32	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-32	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-32	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-32	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-32	18089999,73	18089999,73	18089967,32
jun-32	17865941,74	17878962,76	17825237,89
jul-32	16930650,30	16953893,42	16851747,03
ago-32	15641374,56	15665763,10	15544671,10
sep-32	14176168,22	14202625,16	14069258,33
oct-32	14039643,63	14020885,66	13801163,64
nov-32	18089999,86	18089999,86	18089999,86
dic-32	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-33	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-33	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-33	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-33	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-33	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-33	18089999,77	18089999,77	18089758,87
jul-33	17870015,39	17875158,95	17823932,19
ago-33	16803624,50	16816701,59	16710169,79
sep-33	15375189,32	15393757,92	15265269,74

oct-33	14283042,47	14279133,20	14054759,34
nov-33	17681024,05	17637635,70	17395720,43
dic-33	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-34	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-34	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-34	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-34	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-34	18075022,87	18079145,01	18062602,83
jun-34	17598056,41	17631006,72	17518933,88
jul-34	16505618,58	16547356,27	16398849,74
ago-34	16571702,56	16616005,77	16381335,41
sep-34	17465676,39	17509722,25	17149848,38
oct-34	17020202,92	16810099,29	16378063,93
nov-34	17339722,51	17082897,15	16754752,59
dic-34	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-35	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-35	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-35	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-35	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-35	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-35	18024181,41	18032806,87	18000022,85
jul-35	17261581,32	17291373,24	17176377,61
ago-35	15992250,71	16026631,17	15881199,36
sep-35	14536033,03	14569123,54	14408910,56
oct-35	14534800,36	14090381,78	13905930,95
nov-35	16335918,60	15494514,64	14986530,03
dic-35	18014201,84	17841778,20	17682049,48
ene-36	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-36	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-36	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-36	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-36	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-36	17981754,43	17986371,45	17957409,40
jul-36	17159042,65	17167906,26	17091056,91
ago-36	15938764,14	15947405,50	15851416,06
sep-36	14596226,76	14586733,69	14477916,74
oct-36	15623316,71	15133963,14	14983642,09
nov-36	18089999,86	18089999,86	18089999,86
dic-36	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-37	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-37	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-37	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-37	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-37	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-37	18085233,00	18086020,06	18082896,04

jul-37	17696533,22	17710436,46	17644996,92
ago-37	16993306,30	17013089,33	16907255,85
sep-37	15732517,65	15757038,82	15632517,09
oct-37	14648627,61	14654393,84	14448757,29
nov-37	17619860,28	17590858,76	17387637,10
dic-37	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-38	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-38	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-38	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-38	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-38	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-38	18030720,37	18036634,29	18017312,56
jul-38	17343995,32	17365066,23	17287752,14
ago-38	16105593,81	16129868,21	16027007,06
sep-38	15652561,60	15415145,45	15295140,81
oct-38	17560518,90	16566311,84	16400855,37
nov-38	18089999,86	18089999,86	18089999,86
dic-38	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-39	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-39	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-39	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-39	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-39	18089999,73	18089999,73	18089999,73
jun-39	18089999,77	18089999,77	18089999,77
jul-39	17906232,85	17912452,20	17872540,28
ago-39	16960227,44	16976872,43	16879010,00
sep-39	15618269,96	15605973,64	15484651,98
oct-39	14815655,89	14410415,96	14278381,66
nov-39	17421532,43	17156589,87	17095488,18
dic-39	18089999,92	18089999,92	18089999,92
ene-40	18089999,10	18089999,10	18089999,10
feb-40	18089998,10	18089998,10	18089998,10
mar-40	18089998,10	18089998,10	18089998,10
abr-40	18089999,59	18089999,59	18089999,59
may-40	18089893,39	18089949,94	18087850,21
jun-40	17827582,21	17833306,51	17756338,02
jul-40	16793510,84	16801213,36	16678334,03
ago-40	15461515,04	15468385,24	15328356,63
sep-40	14119542,65	14129266,04	13979006,62
oct-40	12701710,49	12711532,67	12560954,82
nov-40	11274543,84	11274147,11	11125850,62
dic-40	15839180,31	15726790,50	15547368,19

**Anexo 8:** Porcentaje de variación mensual de volúmenes mínimos de operación del embalse San Jacinto proyectados bajo escenarios climáticos, periodo 2023-2040.

Porcentaje de variación de volúmenes mínimos de operación (%)			
Fecha	SSP126	SSP245	SSP585
ene-23	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-23	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-23	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-23	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-23	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-23	-0,0625	-0,0606	-0,0672
jul-23	-0,3611	-0,3184	-0,5644
ago-23	-0,5253	-0,4512	-0,9164
sep-23	-0,5487	-0,4423	-1,0577
oct-23	-0,6504	-0,5320	-1,2415
nov-23	-2,9356	-3,4941	-4,0910
dic-23	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-24	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-24	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-24	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-24	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-24	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-24	-0,0555	-0,0552	-0,0586
jul-24	-0,4199	-0,3863	-0,7010
ago-24	-0,6812	-0,6084	-1,2201
sep-24	-0,7359	-0,6267	-1,4126
oct-24	-0,8823	-0,8733	-2,0505
nov-24	-0,0552	-0,0552	-0,0552
dic-24	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-25	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-25	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-25	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-25	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-25	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-25	-0,1419	-0,1166	-0,2096
jul-25	-0,4825	-0,3797	-0,8293
ago-25	-0,5933	-0,4625	-1,1090
sep-25	-1,7740	-2,3876	-3,1875
oct-25	-3,8807	-5,8147	-7,0297
nov-25	-0,0552	-0,0552	-0,0552
dic-25	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-26	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-26	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-26	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-26	-0,0553	-0,0553	-0,0553

may-26	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-26	-0,0589	-0,0577	-0,0626
jul-26	-0,2235	-0,1758	-0,4267
ago-26	-0,2788	-0,1924	-0,6762
sep-26	-0,3133	-0,1891	-0,8276
oct-26	-0,6275	-0,6594	-1,9988
nov-26	-0,8272	-1,1744	-2,9696
dic-26	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-27	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-27	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-27	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-27	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-27	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-27	-0,0718	-0,0677	-0,0993
jul-27	-0,8399	-0,7568	-1,1903
ago-27	-1,2579	-1,1238	-1,8305
sep-27	-1,7898	-1,6230	-2,5048
oct-27	-4,1954	-4,0270	-4,9987
nov-27	-6,3665	-6,8700	-7,7555
dic-27	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-28	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-28	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-28	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-28	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-28	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-28	-0,1453	-0,1228	-0,2690
jul-28	-0,2929	-0,2543	-0,5934
ago-28	-0,1865	-0,1482	-0,6053
sep-28	-0,1737	-0,1063	-0,7011
oct-28	-0,2778	-0,1977	-0,8890
nov-28	-0,4223	-0,3735	-1,1619
dic-28	-3,1799	-4,7902	-7,6690
ene-29	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-29	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-29	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-29	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-29	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-29	-0,2847	-0,2491	-0,3976
jul-29	-1,0680	-0,9506	-1,4983
ago-29	-1,3243	-1,1793	-1,9373
sep-29	-1,4191	-1,2389	-2,1611
oct-29	-1,0498	-1,4528	-2,2450
nov-29	-0,0552	-0,0552	-0,0552
dic-29	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-30	-0,0553	-0,0553	-0,0553

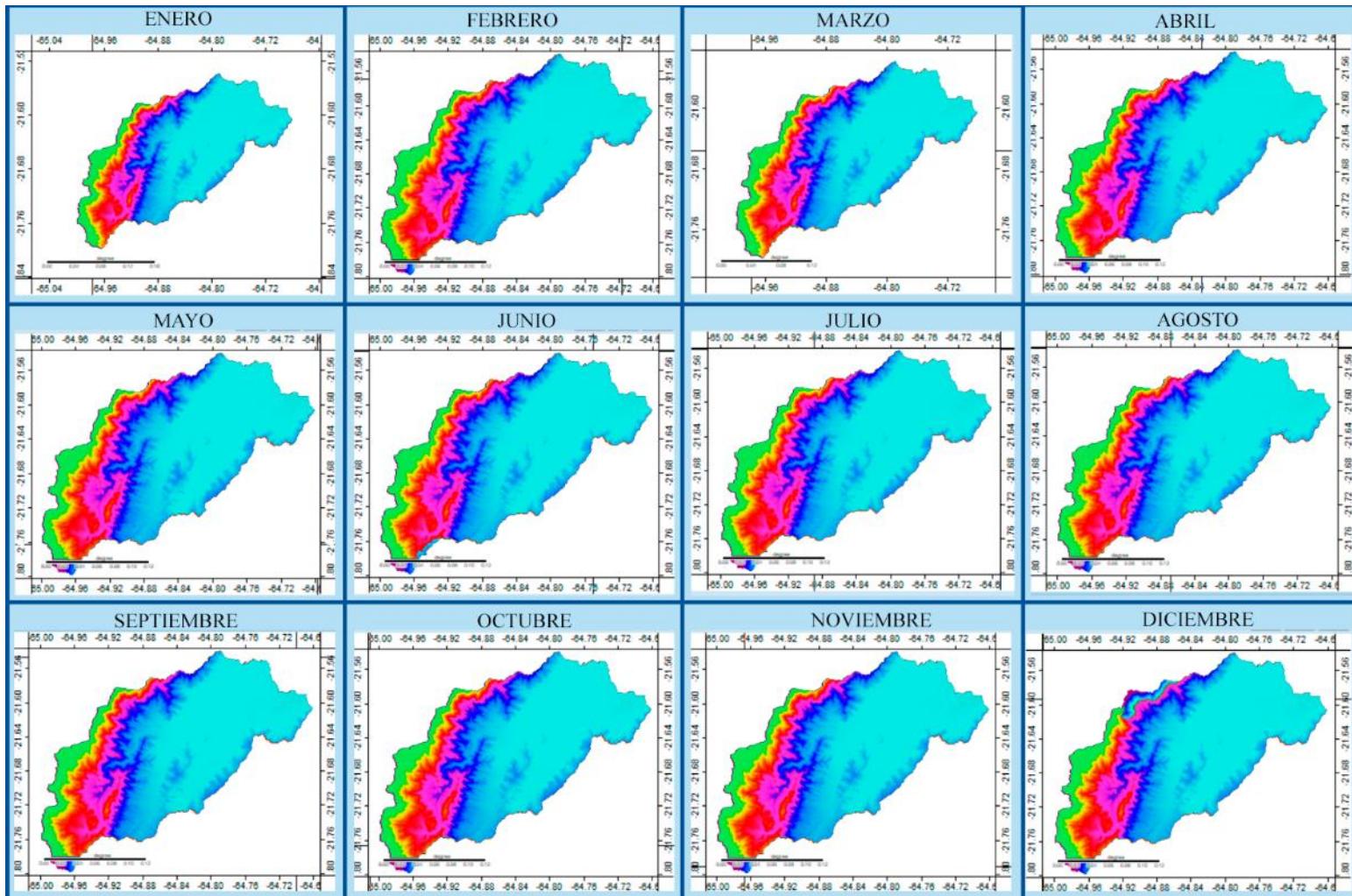
feb-30	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-30	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-30	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-30	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-30	-0,0552	-0,0552	-0,0557
jul-30	-0,5961	-0,5519	-0,8737
ago-30	-1,1780	-1,0809	-1,7439
sep-30	-1,4091	-1,2710	-2,1266
oct-30	-1,6562	-1,5075	-2,4909
nov-30	-0,8546	-0,9780	-1,4542
dic-30	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-31	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-31	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-31	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-31	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-31	-0,0825	-0,0790	-0,0942
jun-31	-0,7207	-0,6496	-1,0019
jul-31	-1,0484	-0,9525	-1,5229
ago-31	-1,0376	-0,9375	-1,6483
sep-31	-1,0720	-0,9412	-1,7947
oct-31	-1,3740	-1,3693	-2,8124
nov-31	-6,3735	-7,7855	-10,9940
dic-31	-0,1218	-0,3301	-0,7055
ene-32	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-32	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-32	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-32	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-32	-0,0553	-0,0553	-0,0554
jun-32	-0,2274	-0,1547	-0,4547
jul-32	-0,3701	-0,2334	-0,8344
ago-32	-0,3120	-0,1565	-0,9283
sep-32	-0,2615	-0,0753	-1,0137
oct-32	-0,8364	-0,9689	-2,5208
nov-32	-0,0552	-0,0552	-0,0552
dic-32	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-33	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-33	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-33	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-33	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-33	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-33	-0,0552	-0,0552	-0,0566
jul-33	-0,3829	-0,3543	-0,6398
ago-33	-0,7597	-0,6825	-1,3116
sep-33	-0,8905	-0,7708	-1,5990
oct-33	-1,2105	-1,2376	-2,7895

nov-33	-0,7056	-0,9493	-2,3078
dic-33	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-34	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-34	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-34	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-34	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-34	-0,1024	-0,0796	-0,1710
jun-34	-0,4635	-0,2771	-0,9110
jul-34	-0,6072	-0,3559	-1,2501
ago-34	-1,9800	-1,7180	-3,1060
sep-34	-3,0762	-2,8317	-4,8288
oct-34	-5,4603	-6,6273	-9,0271
nov-34	-3,2921	-4,7245	-6,5546
dic-34	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-35	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-35	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-35	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-35	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-35	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-35	-0,2903	-0,2426	-0,4240
jul-35	-1,0706	-0,8999	-1,5589
ago-35	-1,2037	-0,9913	-1,8898
sep-35	-1,3615	-1,1369	-2,2241
oct-35	-5,4598	-8,3504	-9,5502
nov-35	-7,0591	-11,8461	-14,7362
dic-35	-0,4740	-1,4266	-2,3091
ene-36	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-36	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-36	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-36	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-36	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-36	-0,1199	-0,0942	-0,2551
jul-36	-0,1632	-0,1117	-0,5588
ago-36	-0,0603	-0,0062	-0,6080
sep-36	-0,2308	-0,2957	-1,0395
oct-36	-3,9423	-6,9510	-7,8753
nov-36	-0,0552	-0,0552	-0,0552
dic-36	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-37	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-37	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-37	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-37	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-37	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-37	-0,0816	-0,0772	-0,0945
jul-37	-0,6353	-0,5572	-0,9247

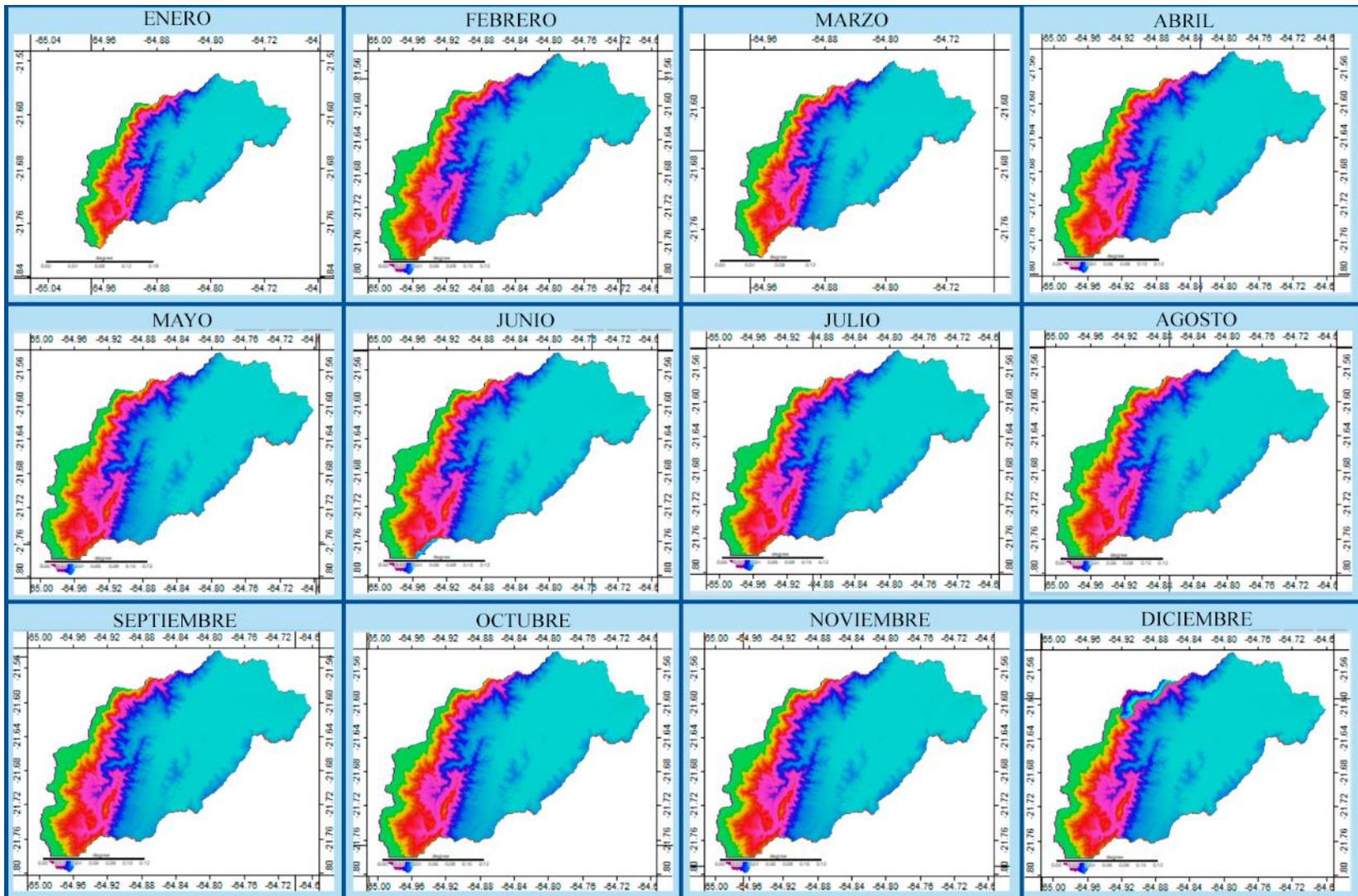
ago-37	-2,8237	-2,7106	-3,3158
sep-37	-3,9138	-3,7640	-4,5245
oct-37	-4,5190	-4,4815	-5,8218
nov-37	-1,3262	-1,4886	-2,6266
dic-37	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-38	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-38	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-38	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-38	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-38	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-38	-0,1253	-0,0925	-0,1995
jul-38	-0,3403	-0,2193	-0,6635
ago-38	-0,3446	-0,1944	-0,8309
sep-38	-2,1511	-3,6353	-4,3855
oct-38	-2,9806	-8,4734	-9,3875
nov-38	-0,0552	-0,0552	-0,0552
dic-38	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-39	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-39	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-39	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-39	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-39	-0,0553	-0,0553	-0,0553
jun-39	-0,0552	-0,0552	-0,0552
jul-39	-0,4674	-0,4328	-0,6547
ago-39	-1,2644	-1,1675	-1,7372
sep-39	-1,8336	-1,9109	-2,6735
oct-39	-5,3215	-7,9112	-8,7549
nov-39	-2,1995	-3,6868	-4,0298
dic-39	-0,0552	-0,0552	-0,0552
ene-40	-0,0553	-0,0553	-0,0553
feb-40	-0,0553	-0,0553	-0,0553
mar-40	-0,0553	-0,0553	-0,0553
abr-40	-0,0553	-0,0553	-0,0553
may-40	-0,0558	-0,0555	-0,0671
jun-40	-0,8109	-0,7791	-1,2073
jul-40	-1,5881	-1,5430	-2,2631
ago-40	-1,7411	-1,6974	-2,5873
sep-40	-1,8340	-1,7664	-2,8111
oct-40	-2,0027	-1,9270	-3,0887
nov-40	-2,6098	-2,6132	-3,8942
dic-40	-2,5184	-3,2101	-4,3144

**Anexo 9:** Downscaling de variables climáticas de precipitación y temperatura media, por escenario de cambio climático.

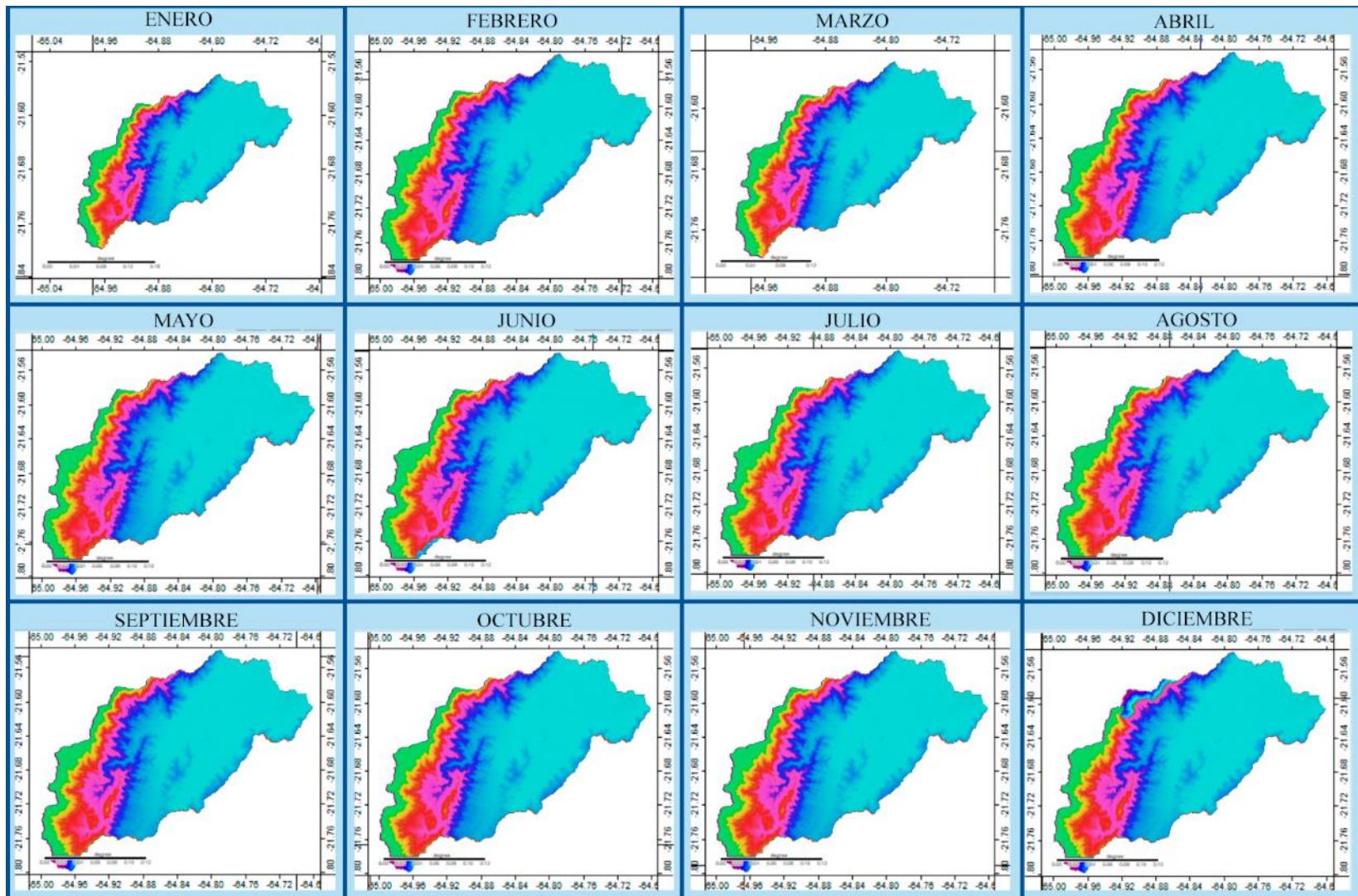
Precipitación mensual de la cuenca del río Tolomosa, periodo 2023-2040. Escenario SSP126



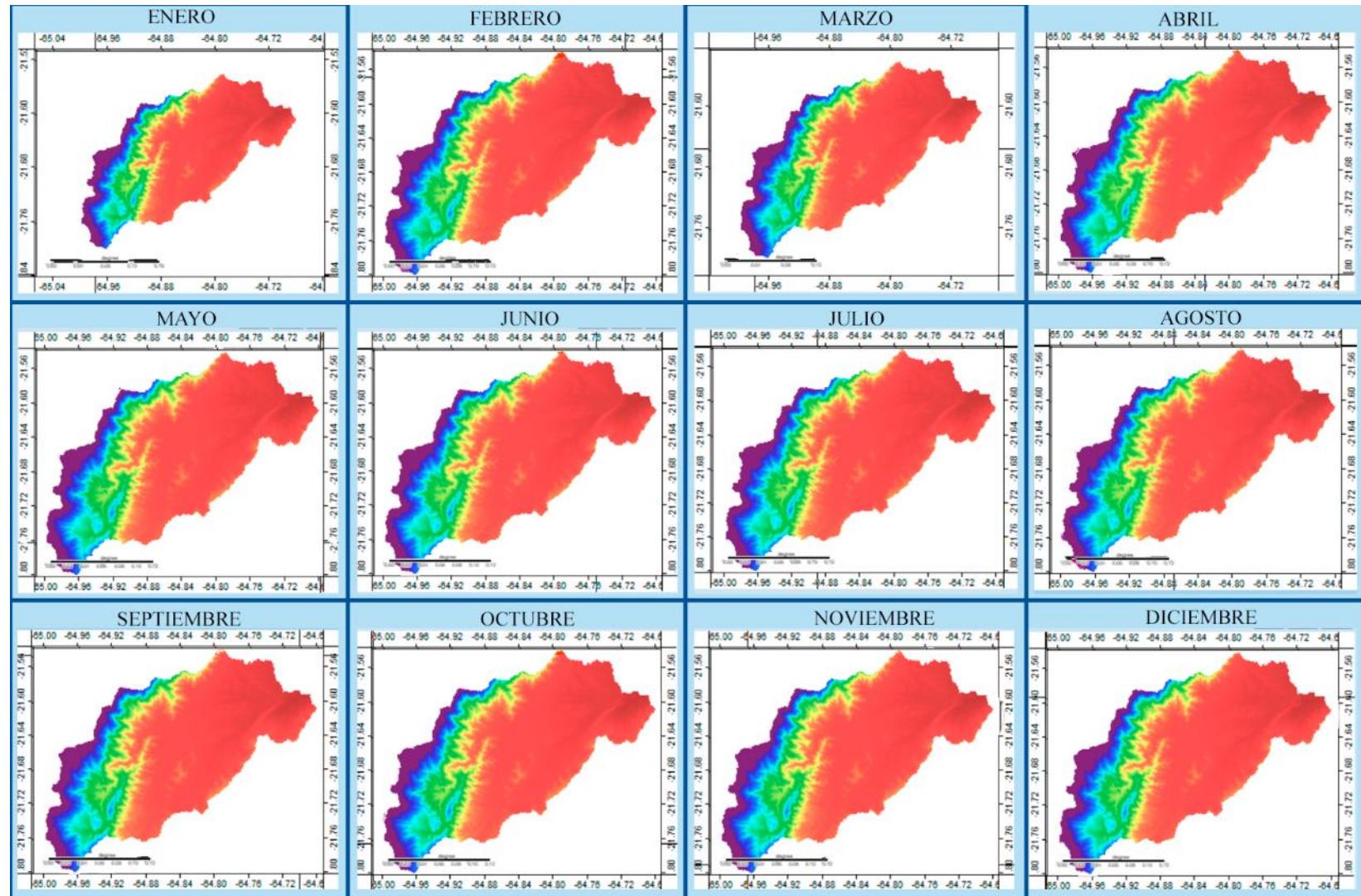
Precipitación mensual de la cuenca del río Tolomosa, periodo 2023-2040. Escenario SSP245



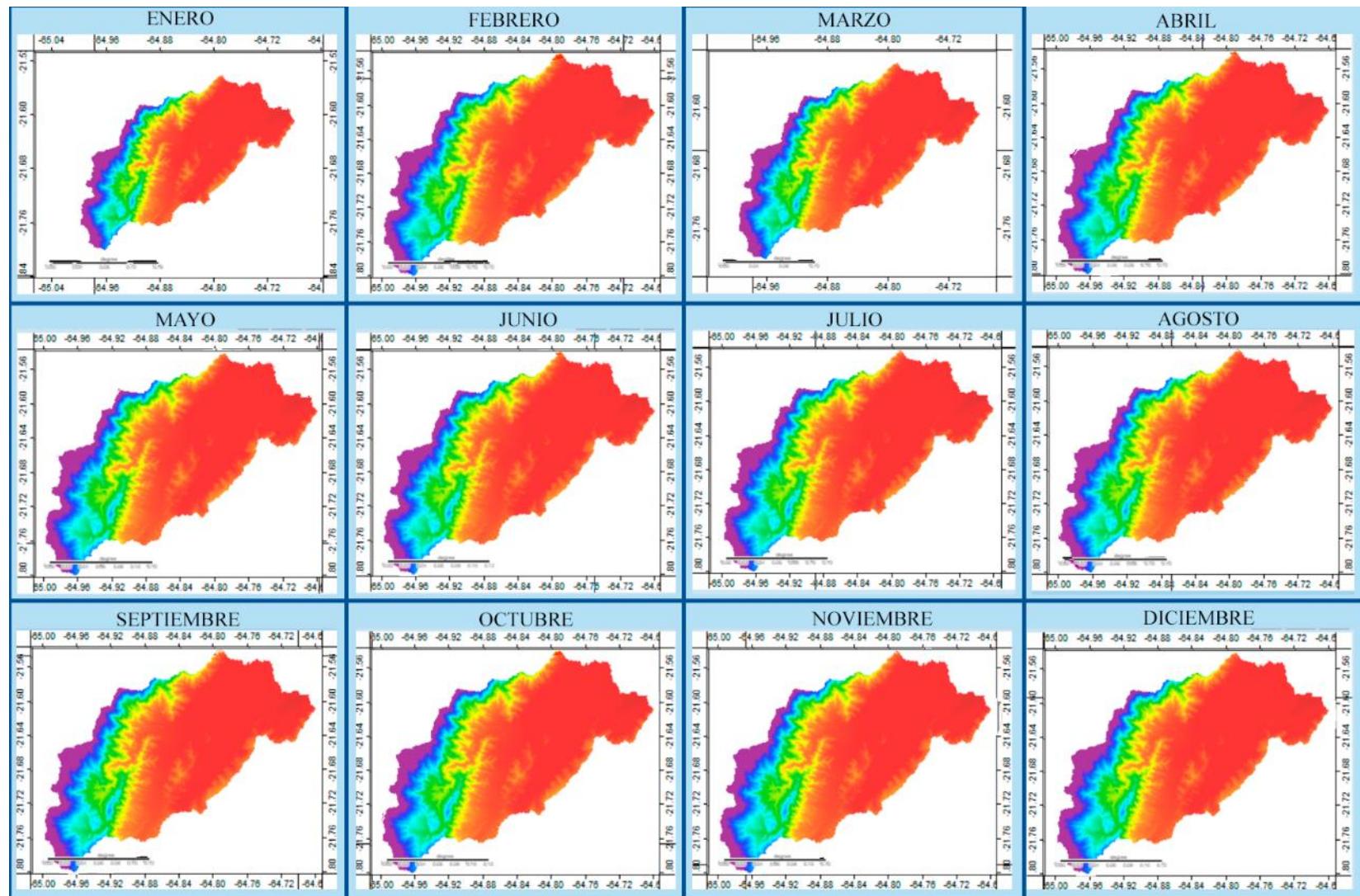
Precipitación mensual de la cuenca del río Tolomosa, periodo 2023-2040. Escenario SSP585



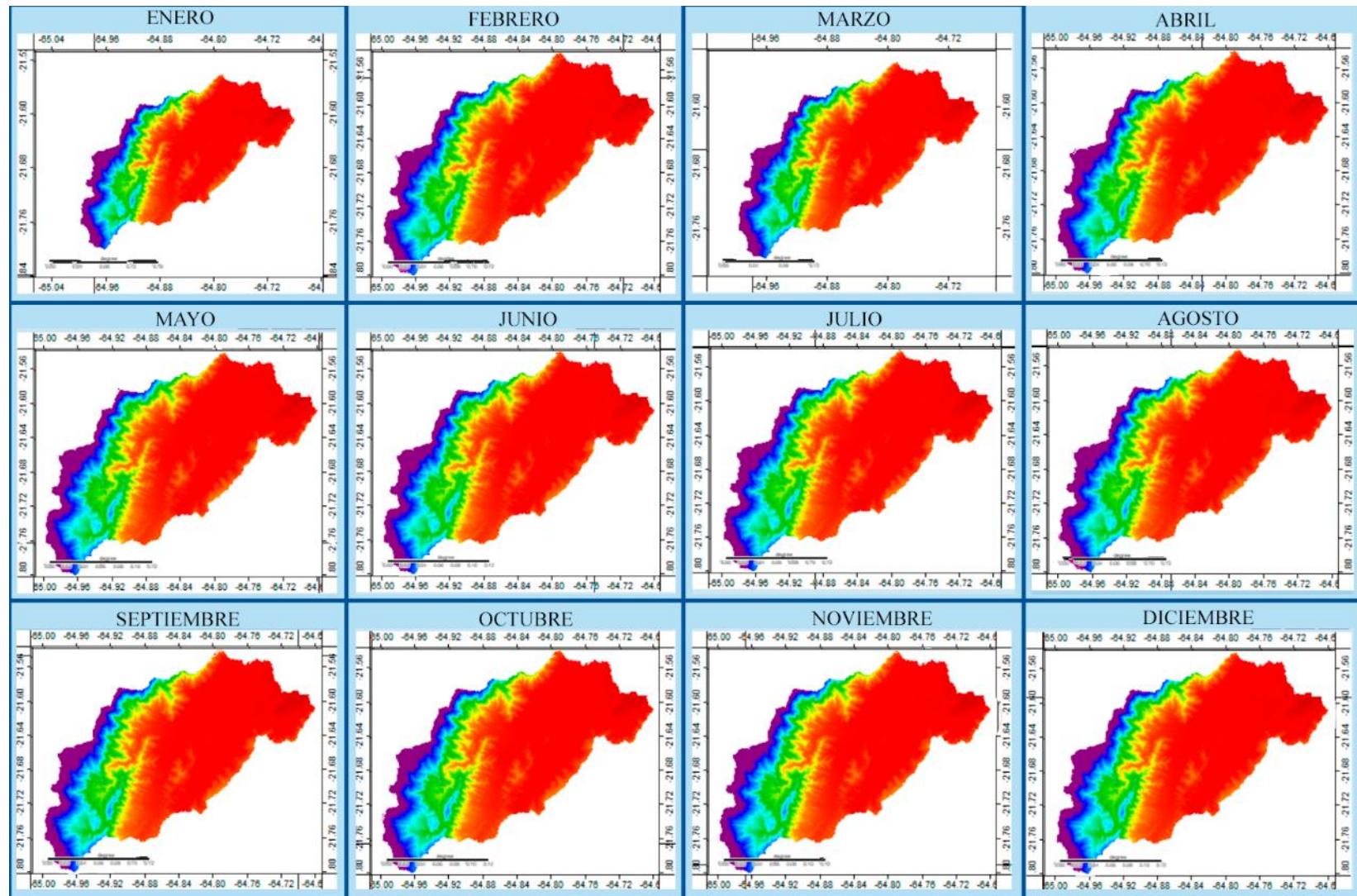
Temperatura media mensual de la cuenca del río Tolomosa, periodo 2023-2040. Escenario SSP126



Temperatura media mensual de la cuenca del río Tolomosa, periodo 2023-2040. Escenario SSP245



Temperatura media mensual de la cuenca del río Tolomosa, periodo 2023-2040. Escenario SSP585



**Anexo 10:** Script de RStudio para el análisis estadístico, validación y verificación de datos de las variables hidroclimáticas

```
#####Aclaración: en lenguaje de RStudio no se usa acento ni espacios en los comandos de corrida del lenguaje R#####
##graficas de Hidrogramas de precipitacion, Temperaturas máxima y minimas y caudales
##1ro vincular carpeta contenedora de la informacion con el programa
setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/completacion de datos R/pcp/prueba 3 wilo")
Datos<-read.csv("precipitacioncomp2.csv",stringsAsFactors =F,check.names=F)
##Señalar el periodo de trabajo y formato
Fechas <- seq(as.Date("1/1/1979",format="%m/%d/%Y"),
as.Date("12/31/2022",format="%m/%d/%Y"), "day")
library("colouR")
##Graficas de hidrogramas de precipitacion
plot(Fechas,Datos$`San Jacinto`, type = "l",main = "San Jacinto",xlab="",ylab = "Caudales(m3/s)")
plot(Fechas,Datos$Aeropuerto, type = "l",main = "Aeropuerto",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$Canas, type = "l",main = "Cañas",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$Coimata, type = "l",main = "Coimata",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$'El Tejar', type = "l",main = "El Tejar",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$Juntas, type = "l",main = "Juntas",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$'Pinos Sud', type = "l",main = "Pinos Sud",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$'San Andres', type = "l",main = "San Andrés",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
plot(Fechas,Datos$'San Jacinto', type = "l",main = "San_Jacinto",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")
```

```

plot(Fechas,Datos$Tucumillas, type = "l",main =
"Tucumillas",xlab="",ylab = "Precipitación (mm)")

##2do vincular carpeta contenedora de la informacion con el
programa

Datos<-read.csv("Tmaxima.csv",stringsAsFactors =F,check.names=F)

##Señalar el periodo de trabajo y formato

Fechas <- seq(as.Date("1/1/1979",format="%m/%d/%Y"),
as.Date("12/31/2022",format="%m/%d/%Y"), "day")

##Graficas de hidrogramas de Temperatura Maxima

plot(Fechas,Datos$Aeropuerto, type = "l",main =
"Aeropuerto",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Canas, type = "l",main = "Cañas",xlab="",ylab
= "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Coimata, type = "l",main =
"Coimata",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$'El Tejar', type = "l",main = "El
Tejar",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Juntas, type = "l",main =
"Juntas",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$'San Andres', type = "l",main = "San
Andrés",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$'San Jacinto', type = "l",main = "San
Jacinto",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Tucumillas, type = "l",main =
"Tucumillas",xlab="",ylab = "Temperatura Max. (°C)")

## 3ro vincular carpeta contenedora de la informacion con el
programa

Datos<-read.csv("Tminima.csv",stringsAsFactors =F,check.names=F)

##Señalar el periodo de trabajo y formato

Fechas <- seq(as.Date("1/1/1979",format="%m/%d/%Y"),
as.Date("12/31/2022",format="%m/%d/%Y"), "day")

##Graficas de hidrogramas de Temperatura Maxima

plot(Fechas,Datos$Aeropuerto, type = "l",main =
"Aeropuerto",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Canas, type = "l",main = "Cañas",xlab="",ylab
= "Temperatura Min. (°C)")

```

```

plot(Fechas,Datos$Coimata, type = "l",main =
"Coimata",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

plot(Fechas,Datos$"El Tejar', type = "l",main = "El
Tejar",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Juntas, type = "l",main =
"Juntas",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

plot(Fechas,Datos$"San Andres', type = "l",main = "San
Andrés",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

plot(Fechas,Datos$"San Jacinto', type = "l",main = "San
Jacinto",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

plot(Fechas,Datos$Tucumillas, type = "l",main =
"Tucumillas",xlab="",ylab = "Temperatura Min. (°C)")

#####
#####graficas de histogramas globales#####
#####graficas de histogramas globales#####

Datos<-read.csv("caudales.csv",stringsAsFactors
=F,check.names=F)

df<-read.csv("E:/CIV 502/Analisis de datos
R/Hidrogramas/precipitacion.csv")

getwd()

setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/Hidrogramas")

###visualizar los datos de precipitacion

view(df)

names(df)

dim(df)

class(df)

summary(df)

idx<-as.Date(df$date)

date.matrix<-as.data.frame(df[,-1])

str(date.matrix)

date.xts<-as.xts(date.matrix, order.by=idx)

date.xts

date.zoo<-as.zoo(date.xts)

date.zoo

```

```

summary(date.zoo)

Ymax<-max(date.zoo, na.rm=T)

Ymax

xyplot(date.zoo, main="Datos de las
precipitaciones",xlab="tiempo_anio", col=c("red", "black",
"midnightblue", "green", "mediumblue", "lightsalmon", "navy",
"mediumaquamarine","orange1","seagreen"),ylim=c(0,
Ymax),frecuency=80)

xyplot(date.zoo, main="Datos de las
precipitaciones",xlab="tiempo_anio", col=c("navy"),ylim=c(0,
Ymax),frecuency=80)

##Analisis anomalias y Homogeneidad entre estaciones por
Climatool para lenguaje R

##Instalacion de los paquetes

install.packages("climatol")

install.packages("maps")

install.packages("mapdata")

##Instalacion de las biblioteca de los paquetes

library(maps)

library(mapdata)

library(climatol)

##Vincular carpeta con informacion necesaria para correr el
programa

setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/Homogenizacion
Climatool/HmgCompletos")

##Leer el arcchivo .csv requerido y escribir en formato para su
analisis por climatool en R

dat<-as.matrix(read.table("Pcp_1979-2022.csv",sep = ","))

write(dat,'Pcp_1979-2022.dat')

##correr la funcion Homogen de Climatool 4.00 para su analisis y
control de calidad de la informacion de la variable

homogen('Pcp',1979,2022,expl = TRUE)

##Crear los agregados mensuales Pcp-m a partir de los agregados
diarios

dd2m('Pcp',1979,2022)

```

```

##Corrwr la homogeneizacion mensual como analisis exploratorio
homogen('Pcp',1979,2022, expl = TRUE)
load('Pcp_1979-2022.rda')
read.dat('Pcp_1979-2022.rda')
homogen('Pcp',1979,2022, metad = TRUE)

##generara los reportes a ser considerados
##Vincular carpeta con informacion necesaria para correr el
programa
setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/Homogenizacion
Climatool/Hmg T minima")
##Leer el archivo .csv requerido y escribir en formato para su
analisis por climatool en R
dat<-as.matrix(read.table("Min_1979-2022.csv",sep = ","))
write(dat,'Min_1979-2022.dat')

##correr la funcion Homogen de Climatool 4.00 para su analisis
de la variable
homogen('Min',1979,2022,expl = TRUE)
##Crear los agregados mensuales Pcp-m a partir de los agregados
diarios
dd2m('Min',1979,2022)
##Corrwr la homogeneizacion mensual como analisis exploratorio
homogen('Min-m',1979,2022, expl = TRUE)

### Analisis graficos de la data con depuracion de anomalias con
HydroTSM
##Instalar y cargar los paquetes de hydroTSM
install.packages("hydroTSM")
install.packages("zoo")
library("hydroTSM")
library("zoo")

```

```

##preparar la data de precipitacion

#####cargar la informacion de la precipitacion en formato csv
usando el comando read.csv

setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/HydroTSM/HydroTSM pcp")

gpr<-read.csv("Aeropuerto.csv",stringsAsFactors
=F,check.names=F)

gpr

head(gpr)

names(gpr)

####crear una fecha-hora posix de lluvia usando strptime

#"Funciones para convertir entre representaciones de caracteres
y objetos de las clases "POSIXlt" y "POSIXct" que representan
fechas y horas de calendario. »

Date.gpr<-strptime(gpr$Year, format = "%Y-%m-%d")

Date.gpr

head(Date.gpr)

####Crear una serie de tiempo de precipitacion

Dates.gpr=format(Date.gpr, "%Y-%m-%d")



####AHORA agrega las precipitaciones en bases temporales diarias

gpr.daily<- aggregate(gpr$precip, by=list(Dates.gpr), FUN=sum)

names(gpr.daily)

##sustituirllo por otros nombres (mejor)

names(gpr.daily)<-c("Dates.gpr", "Precipitación")

gpr.daily$Dates.gpr=as.Date(gpr.daily$Dates.gpr, "%Y-%m-%d")

####1ro en graficar los datos

plot(Date.gpr, gpr$precip, type= "l")

plot(Date.gpr, gpr$precip, type= "l", xlab="year",
ylab="Precipitación (mm)")

##generar una serie temporal de precipitaciones convirtiendo la
serie temporal de precipitaciones en una clase «zoo» que son
observaciones ordenadas que incluyen series temporales
irregulares##

```

```

gpr.daily.ts=zoo(gpr.daily$Precipitación, order.by =
gpr.daily$Dates.gpr)

head(gpr.daily.ts)

gpr.daily.ts

####graficar la serie de precipitaciones

plot(gpr.daily.ts)

plot(gpr.daily.ts, xlab="year", ylab="precipitación diaria, mm")

#####grafica diaria, mensual o anual de la serie de tiempo de
precipitacion

hydroplot(gpr.daily.ts, var.type = "Precipitation", var.unit =
"mm", xlab = "tiempo", ylab = "Precipitación en mm")

####Para precipitacion se corre el paquete de la misma forma que
precipitacion, con la nomenclatura para Temperatura

setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/HydroTSM/HydroTSM Tmax")

gpr<-read.csv("San_Jacinto.csv",stringsAsFactors
=F,check.names=F)

gpr

head(gpr)

names(gpr)

Date.gpr<-strptime(gpr$Year, format = "%Y-%m-%d")

Date.gpr

head(Date.gpr)

Dates.gpr=format(Date.gpr, "%Y-%m-%d")

gpr.daily<- aggregate(gpr$precip, by=list(Dates.gpr), FUN=sum)

names(gpr.daily)

names(gpr.daily)<-c("Dates.gpr", "Temperatura máxima")

gpr.daily$Dates.gpr=as.Date(gpr.daily$Dates.gpr, "%Y-%m-%d")

plot(Date.gpr, gpr$precip, type= "l")

plot(Date.gpr, gpr$precip, type= "l", xlab="year", ylab="T
máxima (°C)")

gpr.daily.ts=zoo(gpr.daily$`Temperatura máxima`, order.by =
gpr.daily$Dates.gpr)

head(gpr.daily.ts)

```

```

gpr.daily.ts
plot(gpr.daily.ts)
plot(gpr.daily.ts, xlab="year", ylab="Temperatura máxima, °C")
hydroplot(gpr.daily.ts, var.type = "Temperature", var.unit =
"°C", xlab = "tiempo", ylab = "T máxima")
###Para precipitacion se corre el paquete de la misma forma que
precipitacion, con la nomenclatura para Temperatura minima
setwd("E:/CIV 502/Analisis de datos R/HydroTSM/HydroTSM Tmin")
gpr<-read.csv("Tucumillas.csv",stringsAsFactors
=F,check.names=F)
gpr
head(gpr)
names(gpr)
Date.gpr<-strptime(gpr$Year, format = "%Y-%m-%d")
Date.gpr
head(Date.gpr)
Dates.gpr=format(Date.gpr, "%Y-%m-%d")
gpr.daily<- aggregate(gpr$Tminima, by=list(Dates.gpr), FUN=sum)
names(gpr.daily)
names(gpr.daily)<-c("Dates.gpr", "Temperatura mínima")
gpr.daily$Dates.gpr=as.Date(gpr.daily$Dates.gpr, "%Y-%m-%d")
plot(Date.gpr, gpr$Tminima, type= "l")
plot(Date.gpr, gpr$Tminima, type= "l", xlab="year", ylab="T
mínima (°C)")
gpr.daily.ts=zoo(gpr.daily$`Temperatura mínima`, order.by =
gpr.daily$Dates.gpr)
head(gpr.daily.ts)
gpr.daily.ts
plot(gpr.daily.ts)
plot(gpr.daily.ts, xlab="year", ylab="Temperatura mínima, °C")
hydroplot(gpr.daily.ts, var.type = "Temperature", var.unit =
"°C", xlab = "tiempo", ylab = "T mínima")

```

**Anexo 11:** Manual de uso de biblioteca Homogeneización de series climáticas con Climatol para RStudio

# Homogeneización de series climáticas con Climatol

Versión 3.1.1

<https://CRAN.R-project.org/package=climatol>

José A. Guijarro

*Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), D.T. en Islas Baleares,  
España*

Versión de esta guía: 1.3.1 (Agosto de 2018)

*English version available at [http://www.climatol.eu/homog\\_climatol-en.pdf](http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf)*



Esta guía está disponible bajo licencia Creative Commons AtribuciónNoDerivadas 3.0, pero se permite su traducción a otras lenguas distintas del español y el inglés.

## 1. Introducción

Las series de observaciones meteorológicas son de capital importancia para el estudio de la variabilidad climática. Sin embargo, estas series se ven frecuentemente contaminadas por eventos ajenos a dicha variabilidad: errores en la toma de medidas o en su transmisión, y cambios en el instrumental utilizado, en la ubicación del observatorio o en su entorno. Estos últimos pueden ser cambios bruscos, como el incendio de un bosque colindante, o graduales, como la posterior recuperación de la vegetación. Estas alteraciones de las series, denominadas inhomogeneidades, enmascaran los verdaderos cambios del clima y hacen que el estudio de las series conduzca a conclusiones erróneas.

Para abordar este problema se han desarrollado desde hace muchos años metodologías de homogeneización que permitan eliminar o reducir en lo posible estas alteraciones indeseadas. Inicialmente consistían en comparar una serie problema con otra supuestamente homogénea, pero como esta suposición es muy arriesgada, se pasó a construir una serie de referencia a partir del promedio de otras seleccionadas por su proximidad o elevada correlación, diluyendo así sus posibles inhomogeneidades. Como esto no garantiza que la serie de referencia sea homogénea, otros métodos proceden a comparar todas las series disponibles por parejas, de modo que la repetida detección de una inhomogeneidad permita identificar las series erróneas. Para mayor información pueden consultarse trabajos como los de Peterson et al. (1998) y Aguilar et al. (2003), que pasan revista a estas metodologías.

Existen muchos paquetes de programación que implementan estos métodos para que puedan ser usados por la comunidad climatológica (<http://www.climatol.eu/tt-hom/index.html>). La Acción COST ES0601 (*Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach, “HOME”*) financió un esfuerzo internacional de comparación de los mismos (Venema et al., 2012). Posteriormente el proyecto MULTITEST (<http://www.climatol.eu/MULTITEST/>) realizó otra comparación de los métodos actualizados que pudieran ejecutarse en modo totalmente automático. Hasta ese momento la atención estuvo centrada en la homogeneización de series mensuales, principalmente de temperatura y precipitación, pero se ha suscitado un interés creciente en la homogeneización de series diarias, necesarias para el estudio de la variabilidad de los fenómenos extremos, y actualmente el proyecto europeo INDECIS está tratando de aplicar varios métodos a series diarias de diversas variables climáticas.

El paquete de R *Climatol* (<https://CRAN.R-project.org/package=climatol>) contiene funciones para el control de calidad, homogeneización y relleno de los datos faltantes en un conjunto de series de cualquier variable climática. La documentación estándar del paquete proporciona detallada información sobre cada una de sus funciones y sus parámetros de control, así como breves ejemplos de aplicación. Este manual es un complemento a dicha documentación pues, sin dar tantos detalles sobre cada una de las funciones disponibles, explica primero los fundamentos de las metodologías empleadas, y luego proporciona una guía práctica sobre cómo abordar la homogeneización de series diarias o mensuales de distintas variables.



## 2. Metodología

En sus inicios, este programa estaba enfocado a llenar los datos ausentes mediante estimas calculadas a partir de las series más próximas. Para ello se adaptó el método de Paulhus y Kohler (1952) para llenar precipitaciones diarias mediante promedios de valores de alrededor, normalizados mediante división por sus respectivas precipitaciones medias. Este método se escogió por su simplicidad y por permitir el uso de series próximas aunque no dispongan de un periodo común de observación con la serie problema, cosa que no permitiría ajustar modelos de regresión.

Además de normalizar los datos mediante división por sus valores medios, *Climatol* ofrece también hacerlo restando las medias o mediante una estandarización completa. Así, denominando  $m_X$  y  $s_X$  a la media y desviación típica de una serie  $X$ , tenemos estas opciones para su normalización:

1. Restar la media:  $x = X - m_X$
2. Dividir por la media:  $x = X / m_X$
3. Estandarizar:  $x = (X - m_X) / s_X$

El principal problema de esta metodología es que las medias (y desviaciones típicas en el tercer caso) de las series en el periodo de estudio no se conocen si las series no están completas, que es lo más frecuente en las bases de datos reales. Entonces *Climatol* calcula primero estos parámetros con los datos disponibles en cada serie, rellena los datos ausentes usando estas medias y desviaciones típicas provisionales, y vuelve a calcularlas con las series llenadas. Después se vuelven a calcular los datos inicialmente ausentes usando los nuevos parámetros, lo que dará lugar a nuevas medias y desviaciones típicas, repitiendo el proceso hasta que ninguna media cambia al redondearla con la precisión inicial de los datos.

Una vez estabilizadas las medias, se normalizan todos los datos y se procede a estimarlos (tanto si existen como si no, en todas las series) mediante la sencilla expresión:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{j=n} w_j}$$

en la que  $\hat{y}$  es un dato estimado mediante los correspondientes  $n$  datos  $x_j$  más próximos disponibles en paso temporal, y  $w_j$  es el peso asignado a cada uno de ellos.

Estadísticamente,  $\hat{y}_i = x_i$  es un modelo de regresión lineal denominado *Eje Mayor Reducido* o *Regresión Ortogonal*, en el que la recta se ajusta minimizando las distancias

de los puntos medidas en dirección perpendicular a la misma (regresión tipo II) en lugar de en dirección vertical (regresión tipo I) como se hace generalmente (figura 1), cuya formulación (con series normalizadas) es  $\hat{y}_i = r \cdot x_i$ , siendo  $r$  el coeficiente de correlación entre las series  $x$  e  $y$ . Nótese que este tipo de ajuste se basa en la presunción de que la variable independiente  $x$  se mide sin error (Sokal y Rohlf, 1969), presunción que no se sostiene cuando ambas son series climáticas.

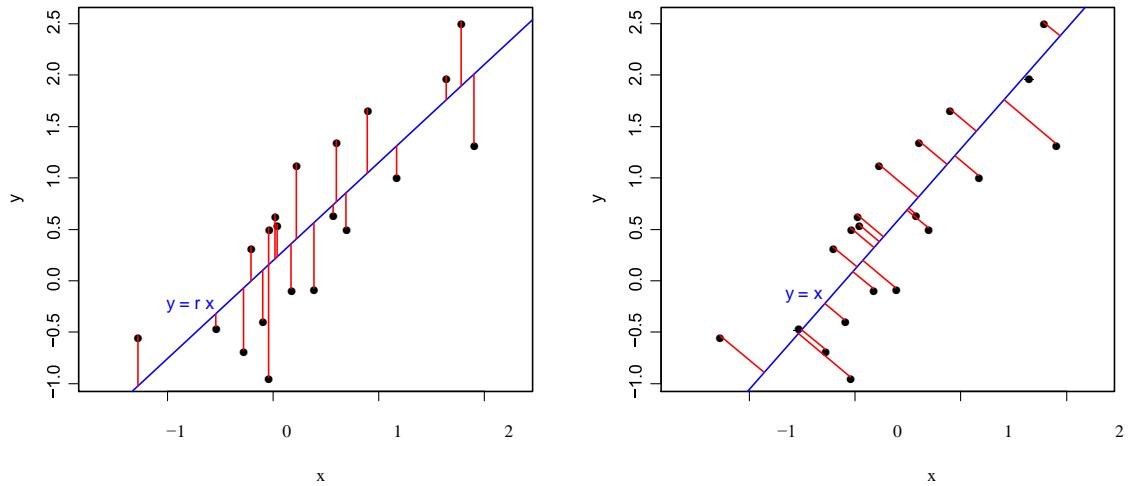


Figura 1: En rojo, desviaciones de la recta de regresión lineal (azul) minimizadas por mínimos cuadrados en los tipos I (izquierda) y II (derecha).

Las series estimadas a partir de las demás sirven como referencias para sus correspondientes series observadas, de forma que el siguiente paso es obtener series de anomalías restando los valores estimados a los observados (siempre en forma normalizada). Estas series de anomalías van a permitir:

- Controlar la calidad de las series y eliminar aquellas anomalías que superen un umbral prefijado.
- Comprobar su homogeneidad mediante la aplicación del *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT: Alexandersson, 1986).

Cuando los máximos valores SNHT de las series son mayores que un umbral predefinido, la serie se divide por el punto de máximo SNHT, pasando todos los datos antes del cambio a una nueva serie que se añade a las demás con las mismas coordenadas pero añadiendo un sufijo numérico al código y al nombre de la estación. Este procedimiento se realiza de forma iterativa, partiendo solo las series con mayores valores SNHT en cada ciclo, hasta que no se encuentren más inhomogeneidades. Además, como SNHT es una prueba originalmente ideada para encontrar un solo punto de ruptura en una serie, la existencia de dos o más saltos en la media de un tamaño similar podría enmascarar sus

resultados. Para minimizar este problema, en una primera pasada se aplica SNHT sobre ventanas temporales solapadas, y después en una segunda pasada se aplica SNHT a las series completas, que es cuando la prueba tiene más poder de detección. Finalmente, una tercera pasada se dedica a llenar todos los datos ausentes en todas las series y sub-series homogéneas con el mismo procedimiento de estimación de datos explicado anteriormente. Por lo tanto, aunque la metodología subyacente del programa es muy simple, su operación se complica a través de una serie de procesos iterativos anidados, como se muestra en el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.

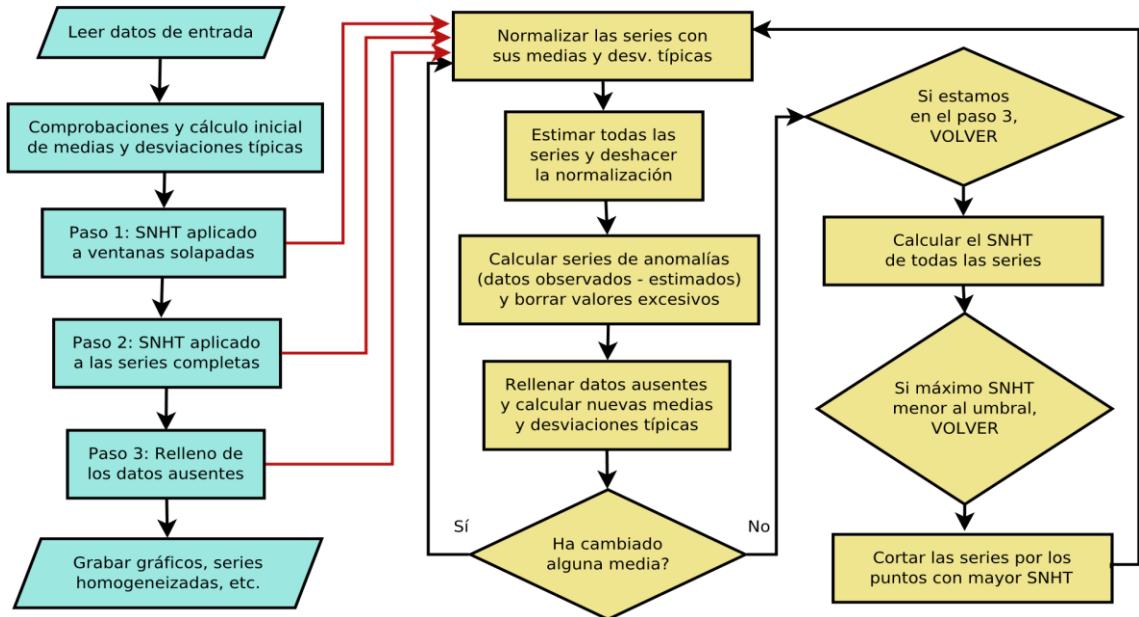


Figura 2: Diagrama de flujo del funcionamiento de *Climatol*, mostrando sus procesos iterativos.

Aunque se han publicado umbrales de SNHT para distintas longitudes de serie y niveles de significación estadística, la experiencia demuestra que esta prueba puede arrojar valores muy diferentes según la variable climática estudiada, el grado de correlación entre las series y su frecuencia temporal. *Climatol* adopta por defecto el valor SNHT = 25, apropiado para valores mensuales de temperatura aunque un poco conservador, tratando de no detectar falsos saltos en la media a costa de dejar pasar los de menor importancia. Sin embargo, para otras variables y en particular para valores diarios, es necesario elevar ese umbral por encima de 100 para evitar un excesivo número de cortes en las series. Lo mismo sucede con el umbral para rechazar datos anómalos, establecido por defecto en 5 desviaciones típicas, pues con datos diarios de precipitación, dada su gran variabilidad espacial, puede ser necesario elevarlo hasta 20 o más. Por todo ello, en lugar de fijar dichos umbrales según niveles de significación, imposibles de establecer con carácter general, se da al usuario la opción de escogerlos subjetivamente,

inspeccionando los histogramas de los valores encontrados tras una primera aplicación de *Climatol* a su problema concreto.

### 3. Procedimientos de homogeneización

Tras haber expuesto la metodología seguida por el paquete *Climatol*, esta sección se dedicará a ilustrar su aplicación práctica a través de algunos ejemplos.

#### 3.1.Preparación de los ficheros de entrada

*Climatol* solo necesita dos ficheros de entrada, uno con la lista de coordenadas, códigos y nombres de las estaciones, y otro con todos los datos, en orden cronológico desde la primera estación hasta la última. Como el fichero de datos carece de toda referencia temporal, todos los datos deben estar presentes, para todo el periodo de estudio, representando los datos ausentes con NA u otro código distintivo. Además, para evitar complicaciones, el periodo de estudio debería abarcar años completos, comenzando en enero (el día 1 si son datos diarios) del año inicial y terminando en diciembre (el día 31 en el caso de datos diarios) del año final. Ambos archivos comparten el mismo nombre básico VAR\_aaaa-AAAA donde VAR es un acrónimo de la variable a estudiar, aaaa el primer año y AAAA el último de los datos, pero tienen distintas extensiones: dat para los datos y est para las estaciones. Ambos son ficheros de texto plano, de modo que los usuarios de Windows pueden asociar abrirlos con el bloc de notas u otro editor de texto plano. (Si se editan con LibreOffice o Word, téngase cuidado de grabarlos como texto sencillo para evitar problemas).

**Solo con el propósito de realizar los ejemplos que siguen,** estos archivos se pueden generar en el directorio de trabajo por medio de estas órdenes (todo lo que sigue a # son comentarios):

```
library(climatol) # cargar las funciones del
paquete data(Ttest) #cargar los datos de ejemplo
en memoria write(dat, 'Ttest_1981-2000.dat')
#grabar los datos #grabar el fichero de
estaciones:
write.table(est.c, 'Ttest_1981-2000.est', row.names=FALSE,
col.names=FALSE) rm(dat, est.c) #borrar los datos cargados en
memoria
```

Estos archivos contienen 20 años de temperaturas diarias de prueba de 12 estaciones inventadas.

Se pueden inspeccionar para ver su estructura. Las primeras líneas del fichero de estaciones Ttest\_1981-2000.est son:

```
-108.035 44.38 1169.5 "WY003" "Small Horn"  
-108.9006 44.4139 1599.6 "WY018" "Narrow Canyon"  
-108.5931 44.8919 1251.2 "WY020" "Wide Meadows"  
-108.3906 44.4972 1355.8 "WY027" "Greenbull"
```

Como se puede ver, cada línea tiene, en formato libre separado por espacios, las coordenadas X, Y, Z de la estación, seguidas por el código y el nombre. Normalmente X e Y son la longitud y la latitud, en grados con decimales (no en grados, minutos y segundos) y con el signo adecuado para indicar Oeste, Este, Norte o Sur. Z es la altitud en metros.

Las primeras líneas del fichero de datos Ttest\_1981-2000.dat son:

```
-1.8 2.7 0.4 8 2.4  
1.4 1.2 3.3 1.5 0.7  
-0.8 -0.6 4 2.6 -1.6  
-4.8 -3.1 -0.8 -0.6 -4
```

Estos 20 datos son las temperaturas medias de los primeros 20 días de enero de 1981 en la primera estación (Small Horn). Las siguientes líneas del fichero contienen el resto de datos de esta estación hasta el 31 de diciembre de 2000, seguidos por todos los datos de las otras estaciones relacionadas en el fichero Ttest\_1981-2000.est.

Para ayudar en la preparación de los ficheros de entrada con este formato, *Climatol* provee algunas funciones útiles (ver la documentación de R para más detalles sobre su uso):

- `db2dat` genera los ficheros extrayendo las series de una base de datos a través de una conexión ODBC.
- `daily2climatol` puede usarse cuando cada estación tiene los datos diarios almacenados en archivos individuales.
- `rclimdex2climatol` puede convertir ficheros en formato RClimDex.

### 3.2. Primer análisis exploratorio de los datos

La función de homogeneización de *Climatol* se llama `homogen`, y su aplicación más trivial solo requiere especificar tres parámetros: el acrónimo de la variable, y los años inicial y final del periodo de estudio:

```
homogen('Ttest', 1981, 2000)
```

Esta orden se puede aplicar tanto si los datos son diarios, mensuales, bimestrales, trimestrales, semestrales o anuales: la función estimará la frecuencia a partir de la cantidad de datos presentes. Pero como se explica en la sección de metodología, los umbrales para el rechazo de valores atípicos y la detección de punto de inflexión pueden ser muy diferente dependiendo de la periodicidad de los datos y las correlaciones cruzadas de las series. Por lo tanto, es aconsejable hacer una primera aplicación en modo exploratorio:

```
homogen('Ttest', 1981, 2000, expl=TRUE)
```

Ahora podemos abrir el archivo de salida Ttest\_1981-2000.pdf para revisar sus diferentes gráficos de diagnóstico. Primero vemos la disponibilidad de datos, en todas las estaciones y globalmente (figura 3). Idealmente, debería haber 5 o más datos disponibles en cada paso temporal, o un mínimo de tres, niveles marcados con líneas de trazos verdes y rojos en la parte derecha de la figura, pero la función no se parará excepto cuando no haya datos disponibles en ninguna estación en uno o más pasos temporales, situación que detendrá el proceso con un mensaje de error. En este caso se deberían añadir nuevas series que tuvieran datos en esos momentos “huérfanos”, o reducirse el período de estudio para evitar esa condición.

Cuando se trabaja con variables limitadas por cero y con una distribución de probabilidad sesgada (como la precipitación o la velocidad del viento), la normalización por proporción respecto a la media (establecida con std=2) es preferible a la estandarización por defecto.

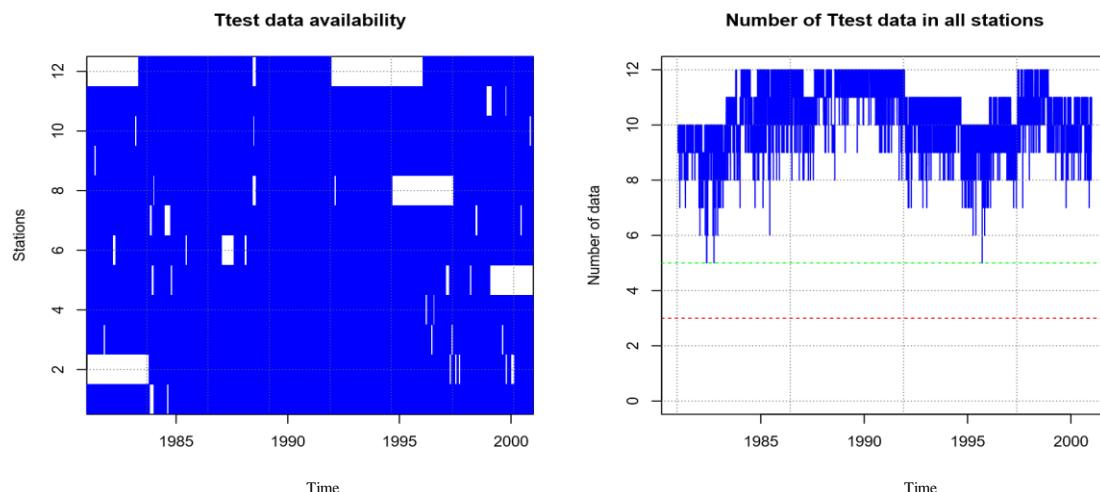


Figura 3: Disponibilidad de datos, por estaciones (izquierda) y globalmente (derecha).

Es importante ejecutar estos análisis exploratorios sobre los datos originales para un control de calidad confiable, ya que la detección de valores atípicos en series derivadas puede enmascarar los errores de observación. Por ejemplo, si hay un error de  $10^{\circ}\text{C}$  en una temperatura máxima diaria, se reducirá a  $5^{\circ}\text{C}$  en la media diaria si se calcula como  $(T_{\max} + T_{\min})/2$ , y a alrededor de  $10/30 = 0.33^{\circ}\text{C}$  en la máxima media mensual o  $5/30 = 0.17^{\circ}\text{C}$  en la media mensual.

Los siguientes gráficos muestran diagramas de caja de los datos en cada estación y un histograma del conjunto de todos los datos (figura 4). La presencia de valores muy anómalos sería evidente en estos gráficos, lo que permitiría al usuario tomar medidas correctivas. También el histograma de frecuencias será útil para decidir si la distribución de probabilidad es casi normal o muy sesgada. En el segundo caso, puede ser preferible utilizar la normalización por proporción respecto a la media (utilizando el parámetro `std=2`) en lugar de la estandarización por defecto.

Los gráficos que siguen se centran en las correlaciones entre las series y su clasificación en grupos con variabilidad similar, que luego se representan en un mapa (figura 5). Las correlaciones son generalmente más bajas cuando la distancia entre estaciones es mayor, como en este ejemplo. Cuanto más altas sean las correlaciones, mayor será la fiabilidad de la homogeneización y el relleno de datos ausentes. En particular, las correlaciones deben ser siempre positivas, al menos dentro de un rango de distancias razonables. De lo contrario, probablemente haya discontinuidades geográficas que produzcan diferencias climáticas (por ejemplo, una cresta montañosa puede producir regímenes de precipitación opuestos a ambos lados de la misma). Esto puede confirmarse con el mapa de estaciones, en el que los grupos de variabilidad similar se ubicarían en distintas zonas. En áreas de topografía compleja y/o baja densidad de estaciones, las correlaciones pueden estar lejos de ser óptimas. En esta situación, los datos rellenados se verán afectados individualmente por errores importantes, pero es de esperar que sus propiedades estadísticas generales sean aceptables.

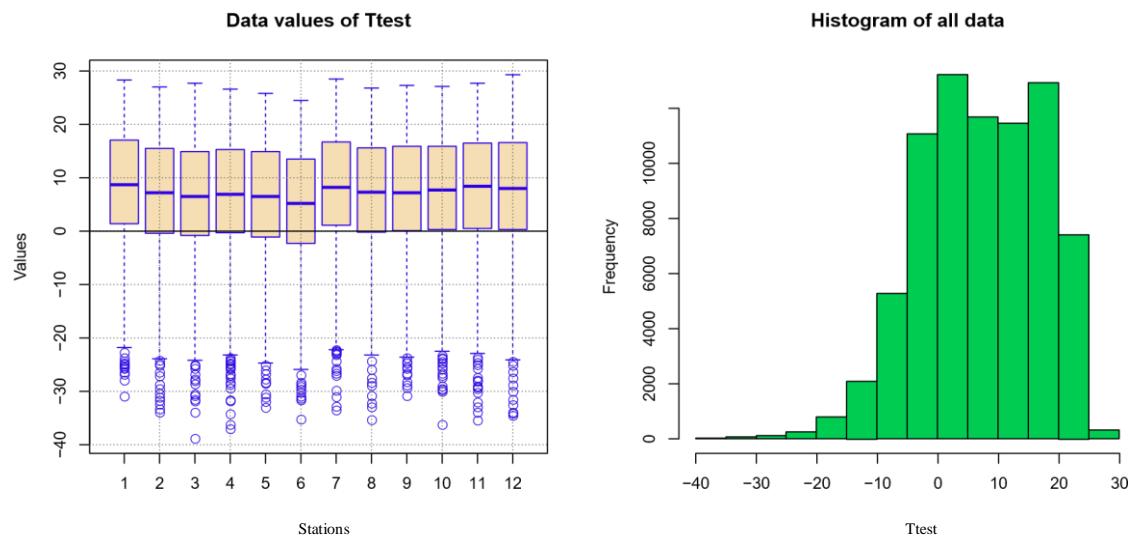


Figura 4: diagramas de caja de los datos en cada estación (izquierda) e histograma de todos los datos (derecha).

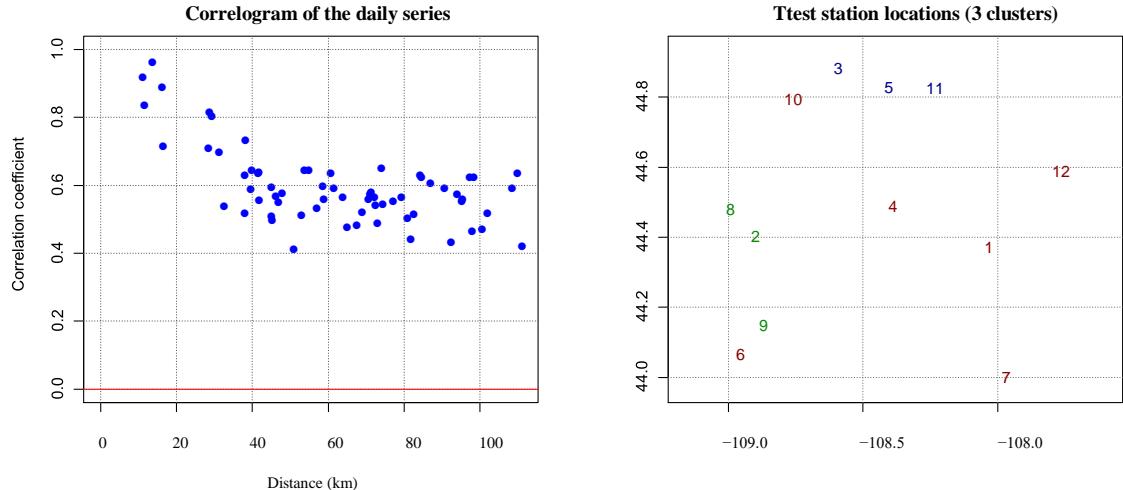


Figura 5: Correlograma de las series (izquierda) y mapa de las estaciones (derecha; los colores identifican grupos de estaciones con variabilidad similar).

Para evitar el procesamiento de matrices de correlación demasiado grandes, el número de series utilizado para este análisis de conglomerados está limitado por defecto a 100, y se utiliza una muestra aleatoria de este tamaño cuando el número de series es mayor, pero el usuario puede modificar este número.

Después de estos gráficos iniciales dedicados a verificar los datos, las siguientes páginas del documento muestran gráficos de anomalías estandarizadas. Cuando se opera normalmente, estos gráficos se muestran para cada una de las etapas: 1, detección en ventanas escalonadas superpuestas; 2, detección en las series completas; y 3, anomalías finales de las series homogeneizadas. Las gráficas de las dos primeras etapas muestran las series de anomalías de las inhomogeneidades detectadas, marcando los puntos de ruptura por donde son cortadas, pero en este modo exploratorio se omiten las dos primeras etapas, y solo se muestran las anomalías de todas las series originales.

La figura 6 muestra dos de estos gráficos. La serie de la izquierda parece bastante homogénea, con un SNHT máximo de 12 sobre ventanas escalonadas superpuestas marcadas en verde sobre una línea a trazos del mismo color en el punto donde se alcanza ese máximo, y un SNHT máximo de 17 en toda la serie debajo de una línea negra en su paso de tiempo correspondiente. Por el contrario, la serie de la derecha es claramente heterogénea, con SNHT máximos de 117 y 1561 alcanzados en el mismo punto. Dos líneas adicionales en la parte inferior informan sobre la distancia mínima de los datos vecinos (en verde) y el número de datos de referencia utilizados (en naranja), ambos utilizando la escala logarítmica del eje derecho.

Después de los gráficos de anomalías se encuentran las gráficas de las series ajustadas y las correcciones aplicadas, pero como no se realizan modificaciones en las series en modo exploratorio, aparte de completar todos los datos ausentes, estas gráficas se explicarán más adelante.

El documento gráfico termina con histogramas de anomalías estandarizadas y SNHT de las series finales, y una figura que indica su calidad o singularidad. El histograma de anomalías (figura 7) ayuda a elegir umbrales adecuados para rechazar datos muy anómalos, suponiendo que son errores y pueden eliminarse. Nuestro histograma de ejemplo muestra algo de sesgo a la izquierda, pero no es muy pronunciado, y por tanto podrían aceptarse todos los datos configurando `dz.max=9`, ya que el valor predeterminado eliminaría los datos con anomalías absolutas superiores a 5 desviaciones típicas.

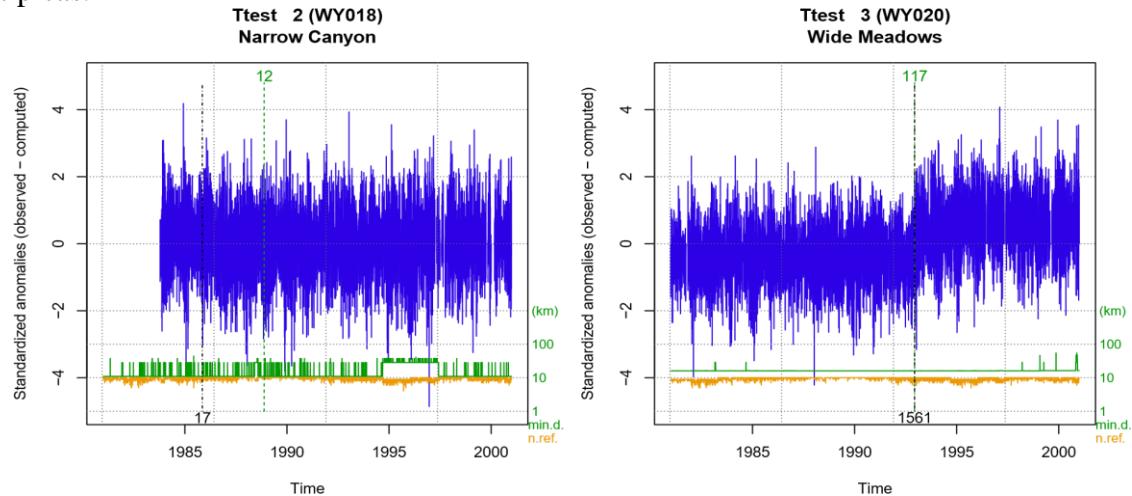


Figura 6: Anomalías de una serie homogénea (izquierda) y una muy inhomogénea (derecha).

Los histogramas de SNHT máximo (ya sea en ventanas o completos) tienen como objetivo elegir los umbrales de detección de cambios en el promedio de las series. Si estuviéramos procesando un gran número de series, estos histogramas mostrarían una alta frecuencia de valores bajos, correspondientes a series bastante homogéneas, y uno o más grupos secundarios de barras debidos a casos no homogéneos. Cuando hay una separación (o un mínimo claro) entre estas condiciones, es muy fácil establecer un valor entre ellas como umbral para las etapas de detección. En nuestro caso, con solo 12 series, las barras de frecuencia están separadas en varios sitios, lo que dificulta la decisión. Para la etapa de ventanas solapadas, la configuración `snht1=60` parece razonable, pero está lejos de ser clara en el histograma de SNHT aplicado en las series completas. En este caso, la inspección visual de los diagramas de anomalías puede ayudar a elegir `snht2=70` como valor adecuado.

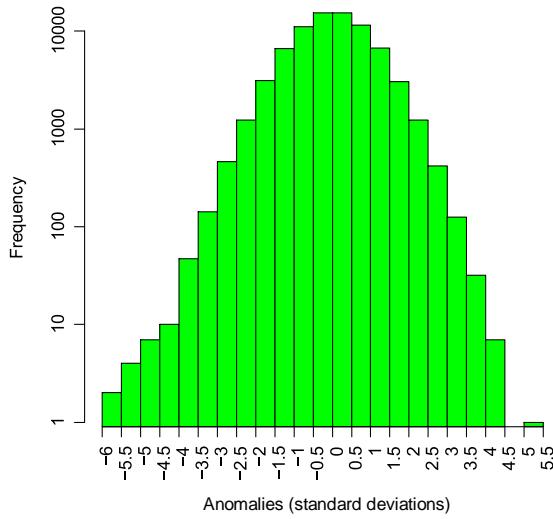


Figura 7: Histograma de anomalías (todos los datos conjuntamente).

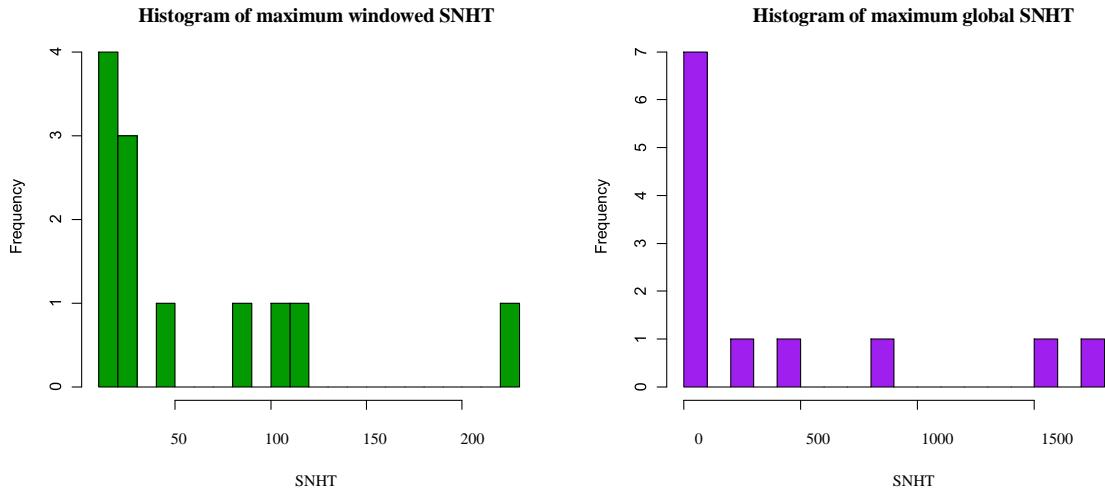


Figura 8: Histogramas de los valores máximos de SNHT encontrados en ventanas escalonadas superpuestas (izquierda) y en las series completas (derecha).

La última página del documento muestra un diagrama de números de estación (su orden en el archivo `Ttest_1981-2000.est`) de acuerdo con sus errores típicos (RMSE por sus siglas en inglés) finales y los valores de SNHT (figura 9). Los RMSE se calculan al comparar los datos estimados y los observados en cada serie. Un valor alto puede indicar una mala calidad, pero también podría deberse a que la estación se encuentra en un sitio peculiar con un microclima distinto. De todos modos, las series homogéneas de estaciones que comparten el clima común de la región tenderán a agruparse en la parte inferior izquierda del gráfico.

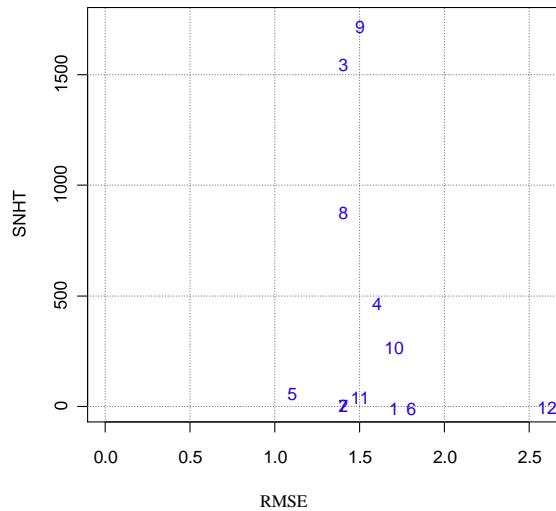


Figura 9: Gráfico de la calidad/singularidad de las series finales.

Después de todas estas consideraciones, procederíamos a homogeneizar la serie

```
aplicando: homogen('Ttest', 1981, 2000, dz.max=9, snht1=60,
snht2=70)
```

Pero dado que nuestro ejemplo se basa en datos diarios y este tipo de series muestran una alta variabilidad que reduce la eficiencia de la detección de sus inhomogeneidades, es mejor agregarlas y homogeneizar primero las series mensuales. *Climatol* ayuda a obtener datos mensuales de la serie diaria mediante la función dd2m, que podemos aplicar aquí de esta manera:

```
# (Con precipitaciones, añadir el parámetro valm=1
para # calcular totales mensuales en lugar de
valores medios) dd2m('Ttest', 1981, 2000)
```

Esta orden guarda en Ttest-m\_1981-2000.dat y Ttest-m\_1981-2000.est las series mensuales, listas para ser homogeneizadas. (El sufijo -m se ha agregado al nombre de la variable para evitar sobrescribir la serie diaria original).

### 3.3.Homogeneización de las series mensuales

Si el usuario está trabajando con datos mensuales, no hay necesidad de usar el sufijo -m, pero aquí vamos a homogeneizar las series mensuales que se obtuvieron a partir de los

valores diarios en el apartado anterior. Podríamos comenzar con una aplicación exploratoria de homogen como hicimos con los datos diarios, pero aquí probaremos la función con sus valores predeterminados:

```
homogen('Ttest-m', 1981, 2000)
```

La inspección de los gráficos de salida `Ttest-m_1981-2000.pdf` revela que los valores predeterminados de `snht1=snht2=25` parecen apropiados para los valores mensuales. La mayoría de los gráficos ya se han discutido anteriormente. La única diferencia es que ahora tenemos gráficos de anomalías para las etapas de detección 1 y 2, donde los cambios detectados en la media están marcados en rojo (ver un ejemplo en la figura 10 izquierda). Los histogramas de SNHT al final de estas etapas se refieren a los valores de la prueba después de que las series se hayan dividido en los puntos de ruptura detectados.

Después de los gráficos de anomalías de la etapa 3, los “gráficos finales” ilustran la reconstrucción de series completas a partir de cada sub-periodo homogéneo. La figura 10 (derecha) muestra un ejemplo de una serie que se dividió en dos fragmentos. La parte superior del gráfico traza las medias anuales móviles de las series reconstruidas, con los datos originales en negro y los rellenados en diferentes colores para cada serie resultante. (Téngase en cuenta que en presencia de datos faltantes, las medias móviles de los datos originales que no se puedan calcular no aparecerán en el gráfico). La parte inferior muestra las correcciones aplicadas a las series, trazadas en diferentes colores. Como se puede ver, las correcciones presentan variaciones estacionales (se pueden lograr correcciones constantes en este caso si no se usan las desviaciones típicas en la normalización estableciendo `std=1`), y las puntas se deben a rechazos de valores atípicos.

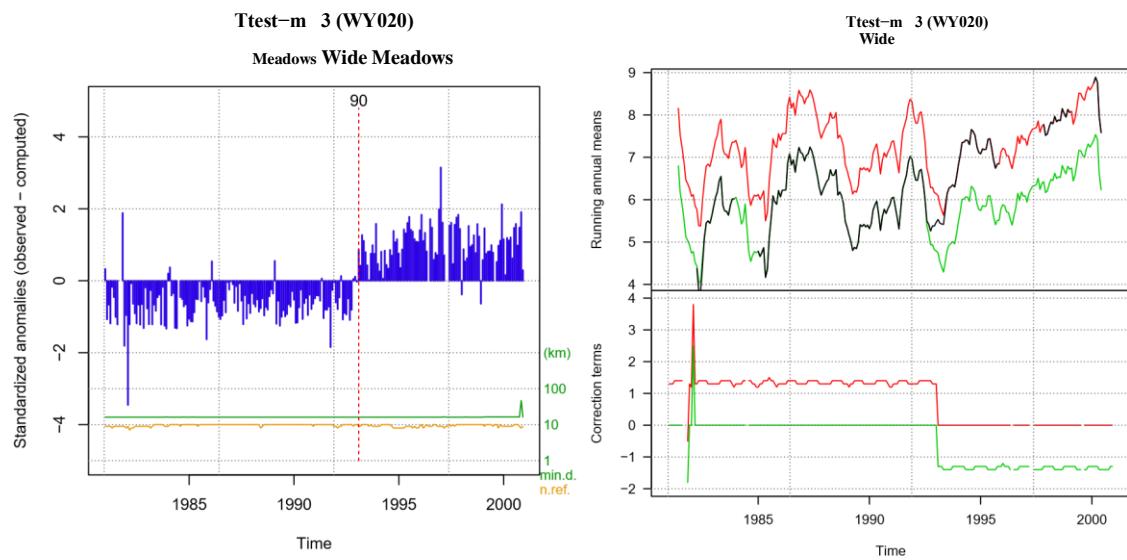


Figura 10: Ejemplo de detección de un cambio en la media de una serie con SNHT=90 (izquierda) y reconstrucción de series completas para ambos sub-periodos homogéneos (derecha).

Después de ejecutar con éxito la función `homogen`, el usuario puede encontrar los siguientes archivos en su directorio de trabajo R (sin el sufijo `-m` si la serie original tuvo una periodicidad mensual o mayor):

- `Ttest-m_1981-2000.txt`: Fichero de texto con todos los mensajes emitidos en la consola durante el proceso. Incluye los grupos de estaciones y resúmenes finales de los valores de SNHT and RMSE de las series resultantes.
- `Ttest-m_1981-2000_out.csv`: Fichero de texto (valores separados por comas, CSV) con la lista de valores atípicos corregidos. Nótese que los valores sugeridos (“Suggested”) solo son primeras estimas en el momento del rechazo del valor. Por tanto, los valores finales pueden diferir, e incluso haber más de uno (cuando las series se han cortado).
- `Ttest-m_1981-2000_brk.csv`: Fichero de texto (CSV) con la lista de puntos de corte y sus correspondientes valores SNHT.
- `Ttest-m_1981-2000.pdf`: Los gráficos de diagnóstico comentados previamente.

`Ttest-m_1981-2000.rda`: Fichero binario de R conteniendo los resultados de la homogeneización. (Ver la documentación de `homogen` para más detalles).

Cuando el usuario tiene acceso directo a los datos originales, vale la pena inspeccionar la lista de valores atípicos rechazados en el archivo `Ttest-m_1981-2000_out.csv` y verificar si son errores o valores creíbles. Después de haber corregido la base de datos, se pueden volver a compilar los archivos de entrada para `Climatol` y repetir todo el procedimiento.

Además, si hay metadatos sobre cambios históricos en los observatorios, es muy conveniente editar el archivo `Ttest-m_1981-2000_brk.csv` para ajustar las fechas de los puntos de corte detectados a los de los eventos que puede haber alterado las observaciones y ejecutar de nuevo la función `homogen` con el parámetro `metad=TRUE` (y `sufbrk=''` si las series originales estaban compuestas de datos mensuales). Pero téngase en cuenta que no todos los cambios deben necesariamente tener un impacto en la variable climática estudiada, y que lo más frecuente es que los meta-datos estén incompletos o se carezca de ellos.

### **3.4. Ajuste de las series diarias con los puntos de corte mensuales**

Si los datos iniciales eran diarios en lugar de mensuales, procederemos a su ajuste empleando los puntos de corte detectados con los agregados mensuales, para lo que aplicaremos nuevamente la función homogen con el parámetro metad=TRUE:

```
homogen('Ttest', 1981, 2000, dz.max=7, metad=TRUE)
```

De esta forma, homogen omite las dos etapas de detección y procede a dividir la serie diaria por los puntos de corte listados en el archivo Ttest-m\_1981-2000\_brk.csv, y luego pasa directamente a la tercera etapa de reconstrucción de todas las series a partir de sus sub-periodos homogéneos por medio de la rutina de relleno. Este proceso crea los archivos de salida habituales, excepto el Ttest\_1981-2000\_brk.csv, ya que esta vez no se ha realizado ninguna detección de saltos en la media.

## **4. Obtención de productos con los datos homogeneizados**

El usuario puede cargar los resultados de la homogeneización en la memoria de trabajo de R para su posterior procesado manual mediante la orden:

```
load('Ttest_1981-2000.rda')
```

Pero *Climatol* provee las funciones de post-proceso dahstat y dahgrid para facilitar la obtención de productos de uso corriente a partir de las series homogeneizadas, bien directamente de las diarias, bien de sus agregados mensuales homogeneizados, que se pueden generar con:

```
# (Con precipitaciones, añadir el parámetro valm=1
para # calcular totales mensuales en lugar de
valores medios) dd2m('Ttest', 1981, 2000,
homog=TRUE)
```

Con el parámetro homog=TRUE se generarán agregados mensuales a partir de las series homogeneizadas, y no con las series originales como se hizo anteriormente. Ahora los nuevos ficheros creados son Ttest-mh\_1981-2000.dat y Ttest-mh\_1981-2000.est, que contienen los agregados mensuales de las series diarias ajustadas.

## **4.1.Series homogeneizadas y resúmenes estadísticos**

Las series homogeneizadas pueden volcarse a dos ficheros de texto CSV de este modo:

```
dahstat('Ttest', 1981, 2000, stat='series')
```

Uno de los ficheros, `Ttest_1981-2000_series.csv`, contiene todas las series homogeneizadas, y el otro, `Ttest_1981-2000_flags.csv`, códigos que indican si los datos son observados (0), rellenados (1, ausentes originalmente) o corregidos (2, por inhomogeneidades o por excesiva anomalía).

Los resúmenes estadísticos se crean con la misma función. Aquí se presentan algunos ejemplos (más información en la documentación de R de `dahstat`):

```
dahstat('Ttest',1981,2000) #medias de las series diarias  
dahstat('Ttest',1981,2000,mh=TRUE) #medias de los valores  
mensuales  
dahstat('Ttest',1981,2000,mh=TRUE,stat='tnd') #tendencias y p-  
valores  
dahstat('Ttest',1981,2000,stat='q',prob=.2) #primer quintil  
(diarios)
```

Esta función incluye parámetros para escoger un subconjunto de las series, bien dando una lista con los códigos deseados (como `con cod=c('WY020','WY055')`) o especificando que queremos las series reconstruidas desde el último sub-periodo homogéneo (`last=TRUE`), desde el subperiodo más largo (`long=TRUE`), etc.

## **4.2.Series de rejillas homogeneizadas**

La otra función de post-proceso, `dahgrid`, provee rejillas calculadas a partir de las series homogeneizadas (sin usar datos rellenos). Pero antes de aplicar esta función, el usuario debe definir los límites y la resolución de la rejilla, como en este ejemplo:

```
grd=expand.grid(x=seq(-109,-107.7,.02), y=seq(44,45,.02))  
#rejilla deseada library(sp) #paquete necesario para la siguiente  
orden: coordinates(grd) <- ~ x+y #convertir la rejilla en un objeto  
espacial
```

La función de R `expand.grid` se ha usado para definir las secuencia de coordenadas X e Y, y luego se aplica `coordinates` (del paquete `sp`) para convertir la rejilla, guardada como `grd` (se podría haber usado cualquier otro nombre), en un objeto de clase espacial.

Ahora las rejillas pueden generarse (en formato NetCDF) con:

```

dahgrid('Ttest', 1981, 2000, grid=grd) #grids with daily time
steps dahgrid('Ttest', 1981, 2000, grid=grd, mh=TRUE) #id. with
monthly steps

```

Estas rejillas se han construido con valores normalizados, adimensionales. Se pueden obtener nuevas rejillas con las temperaturas en °C por medio de herramientas externas, como las *Climate Data Operators* (CDO):

```

#Esto no son órdenes de R! Ejemplo para una terminal
linux/unix: cdo add -mul Ttest-mh_1981-2000.nc Ttest-
mh_1981-2000_s.nc \ Ttest-mh_1981-2000_m.nc Ttest-mu_1981-
2000.nc

```

Pero las nuevas rejillas contenidas en `Ttest-mu_1981-2000.nc` solo estarán basadas en interpolaciones geométricas, y por tanto deberían obtenerse mejores rejillas de medias y desviaciones típicas en `Ttest-mh_1981-2000_m.nc` y `Ttest-mh_1981-2000_s.nc` mediante métodos geoestadísticos antes de usarlas para deshacer la normalización de las rejillas proporcionadas por `dahgrid`.

## 5. Recetas adicionales

Los ejemplos anteriores muestran y comentan las aplicaciones más frecuentes de las funciones de *Climatol*. No obstante, pueden surgir preguntas relativas a cómo proceder cuando tratamos con otras variables climáticas o resoluciones temporales. Esta sección está dedicada a responder esas preguntas, y pueden añadirse más respuestas en el futuro fruto de la interacción con los usuarios.

### 5.1.Cómo modificar los pesos y el número de referencias

Los pesos  $w_j$  dados a los datos próximos para estimar los valores de las series dependen de las distancias  $d_j$  a través de la función  $w_j = 1/(1 + d_j^2/h^2)$ , donde  $h$  es la distancia a la que el peso se reduce a la mitad. Por defecto,  $h = 100$  km, pero se puede cambiar asignando otro valor al parámetro `wd` (distancia de ponderación), que es como se llama  $h$  dentro de la función `homogen`. Por defecto, `wd=0` en las dos primeras etapas de detección, indicando que no se van a aplicar pesos diferentes a los datos, puesto que correríamos el peligro de asignar mucho peso a una estación muy próxima pero potencialmente inhomogénea. Pero el usuario puede especificar `wd` para las tres etapas, como fijando `wd=c(0, 1000, 25)`, que no pondrá los datos en la primera etapa, asigna  $h = 1000$  a la segunda y  $h = 25$  a la tercera. La figura 11 muestra cómo varían los pesos en función de la distancia para diferentes valores de  $h$  ( $=wd$ ) .

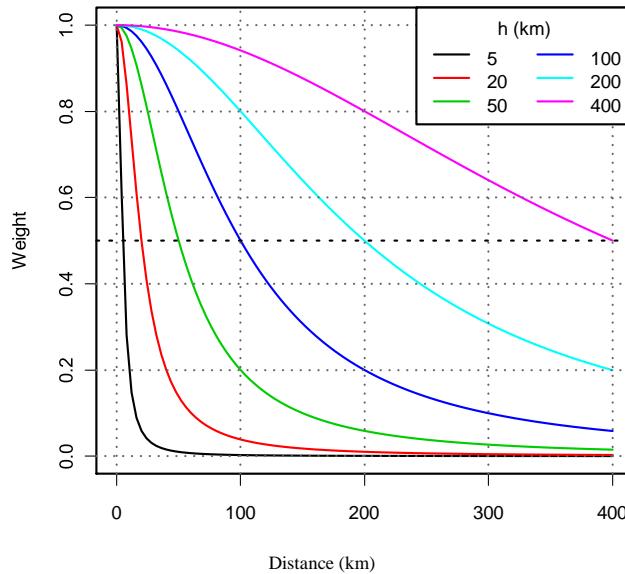


Figura 11: Variación de los pesos para distintos valores de  $h$  (parámetro wd).

En cuanto al número de datos más próximos usados en cada paso temporal, por defecto se usan hasta 10 (si los hay) en las etapas de detección, y 4 en la última etapa de reconstrucción de series. Esto se puede cambiar con el parámetro nref, como en `nref=c(8, 8, 2)`.

Los parámetros escogidos pueden ser óptimos o no dependiendo del objetivo final del análisis de las series. Por ejemplo, si se quiere obtener normales climáticas, los ajustes de la varianza no tienen importancia, mientras que serán cruciales para calcular períodos de retorno de valores extremos. En el último caso se puede limitar la disminución de las estimas ponderadas estableciendo distancias ponderales más cortas, especialmente en la tercera etapa (ejemplo: `wd=c(100, 100, 15)`), y/o reduciendo el número de referencias, e incluso usando solo una, en la última etapa (`nref=c(5, 5, 1)`), como puede ser preferible al ajustar precipitaciones diarias.

## 5.2. Cómo guardar los resultados de diferentes pruebas

Si se ejecuta `homogen` con diferentes parámetros para explorar cuáles dan mejores resultados, puede evitarse sobre-escribir las salidas anteriores renombrándolas con la ayuda de la función `outrename`. Por ejemplo, la orden

```
outrename('Ttest-m', 1981, 2000, 'old')
```

renombrará todos los ficheros de salida `Ttest-m_1981-2000*` a `Ttest-m-old_1981-2000*`.

### 5.3.Cómo cambiar el nivel de corte en el análisis de agrupamiento

*Climatol* aplica un análisis de agrupamiento en su comprobación inicial de los datos, pero el número de grupos se determina automáticamente. Mirando el dendrograma cerca del principio del documento de salida en PDF se puede elegir un nivel de corte mejor. En el ejemplo de la figura 12 se generan tres grupos de estaciones al cortar por el nivel de disimilaridad 0.058. Pero podríamos preferir cortar el dendrograma por el valor 0.04 para obtener cinco grupos. En ese caso, lo único que hay que hacer es repetir la orden de homogeneización añadiendo el parámetro `cutlev=0.04`. Por defecto se usan hasta 100 series en el análisis de agrupamiento, y se extrae una muestra aleatoria de ese tamaño si el número de series estudiado excede ese límite. Pero si ese número no es muy grande, se puede forzar a usarlas todas estableciendo, por ejemplo, `nclust=136`. Nótese también que el número de grupos será de nueve como máximo..

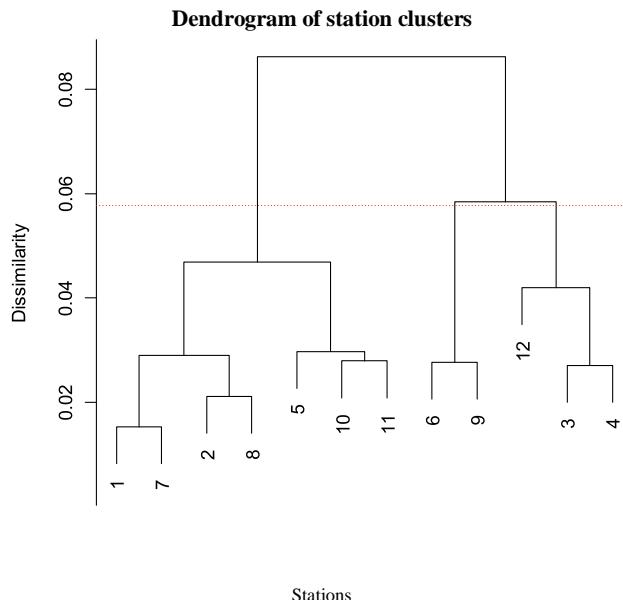


Figura 12: Dendrograma de las estaciones, basado en sus coeficientes de correlación.

### 5.4.Las coordenadas de mis estaciones son UTM

*Climatol* supone que las coordenadas están en grados si los valores absolutos de X e Y no superan 180 y 90 respectivamente. De lo contrario, si la media de X o Y es mayor que

10000 supondrá que están en metros, y las convertirá a kilómetros para el resto del proceso.

### **5.5. Cómo aplicar una transformación a mis datos sesgados**

La función homogen puede aplicar transformaciones  $\log(x + 1)$  (`trf=1`) o de cualquier raíz (`trf=2` para raíz cuadrada, `trf=3` para la cúbica, etc. Se admiten valores fraccionarios). Reduciendo suficientemente su sesgo, los datos se podrían estandarizar (`std=3`, la opción por defecto), pero los resultados de pruebas intensivas con series de precipitación mensual durante el proyecto MULTITEST mostraron resultados claramente mejores al normalizar los datos dividiéndolos por sus valores medios (`std=2`) sin necesidad de transformarlos.

### **5.6. Cómo limitar los valores posibles de una variable**

Se pueden usar los parámetros `vmin` and `vmax` para que homogen limite el rango de valores posibles. Esto puede ser útil si tratamos humedades relativas (poner `vmin=0` y `vmax=100`) o cualquier otra variable con un rango truncado de posibles valores. Nótese que cuando se usa la normalización `std=2`, automáticamente se establece `vmin=0`, porque la esa normalización normalmente se aplica a variables con la precipitación o la velocidad del viento, que no pueden tener valores negativos.

### **5.7. ¿Pueden usarse salidas de reanálisis como series de referencia?**

Cuando los datos están muy fragmentados y algunos pasos temporales de nuestro periodo de estudio no tienen datos en ninguna serie, una posible solución es usar series procedentes de productos de reanálisis para servir como referencias que provean datos en esos huecos críticos. Esas series deben estar correlacionadas positivamente con nuestra variable. Ejemplo: Las temperaturas a 2 m sobre el suelo pueden añadirse a nuestras series termométricas, pero si no están disponibles también podrían servir los espesores geopotenciales próximos a la superficie o variables similares. Las series de precipitación pueden no tener equivalencias en los reanálisis, y entonces podría probarse alguna variable derivada (¿advección de vorticidad? ¿velocidad vertical? ¿una combinación de ambas?), pero su correlación con nuestras precipitaciones debería ser comprobada antes de usarlas como referencias.

Aunque la aparición de nuevos sistemas de observación (como los satélites) introduce inhomogeneidades en la cantidad de datos disponibles para su asimilación por los modelos, podemos considerar que los productos de reanálisis son más homogéneos en general que las series observacionales. Para usar estos productos como referencias, las

series de uno o más puntos de rejilla localizados en el dominio de estudio deben añadirse al fichero de datos \*.dat, y las coordenadas de esos puntos añadirse al fichero de estaciones \*.est. Sus códigos deben empezar por un asterisco (ejemplo: \*R43) para que los controles de calidad y homogeneidad se salten esas series más confiables.

### **5.8.        ¿Con qué series cortadas debería quedarme?**

La mayoría de métodos de homogeneización devuelven las series ajustadas desde el último subperiodo homogéneo, pero *Climatol* genera reconstrucciones completas de cada sub-periodo (a no ser que sea demasiado corto para que dicha reconstrucción sea fiable). Por tanto, el usuario puede preguntarse cuál utilizar en su estudio climático. La respuesta depende del objetivo de la investigación. Para obtener valores normales con los que calcular las anomalías de nuevos datos entrantes para monitorización climática, esas normales deberían estar ajustadas al último sub-periodo homogéneo. Pero si el objetivo es crear un mapa de valores normales, deberían usarse los de todas las series, puesto que algunas pueden ajustarse mejor a la variabilidad espacial a la escala del mapa, mientras que otras pueden estar afectadas por microclimas locales y obtendríamos un mapa más ruidoso.

### **5.9.        ¡Tengo tantas series diarias largas que el proceso dura días!**

Una posibilidad para acortar el tiempo de cálculo es aplicar homogen a sub-áreas, tratando de agrupar aquellas estaciones que comparten los mismos factores climáticos. Si no hay claras discontinuidades climáticas (por ejemplo, crestas montañosas cruzando el dominio de estudio), homogsplit puede generar sub-áreas solapadas y homogeneizarlas automáticamente. El usuario solo tiene que suministrar las coordenadas X e Y de división del territorio, teniendo especial cuidado en que ninguna sub-área tenga muy pocas estaciones (aunque pueden estar vacías). También aumenta la posibilidad de que en alguna sub-área haya pasos temporales sin ningún dato en sus estaciones, lo que detendría el proceso. (Esta función puede considerarse experimental).

**Anexo 12:** Manual de uso y modelación de HydroBID



## **GUIA PASO A PASO**

Mauro Nalesto

Pedro Coli

División de Agua y Saneamiento

Banco Interamericano de Desarrollo

Palabras Claves: Gestión Hídrica, Hydrobid, Recurso Hídrico, Latinoamérica, Agua y Saneamiento, manual Hydrobid, Planificación del Recurso hídrico, iniciativa Hydrobid.

Banco Interamericano de Desarrollo  
1300 New York Avenue, NW  
Washington, DC 20577

Copyright © 2017 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



## Tabla de Contenidos

<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>1. ¿Cómo Instalar el Software de Soporte de Hydro-BID? .....</b>	<b>4</b>
¿Cómo Instalar QGIS?.....	4
¿Cómo Instalar SQLite Data Browser? .....	9
¿Cómo Instalar Java Runtime Environment? .....	13
<b>2. Organización del material .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Como instalar la herramienta de navegación AHD-Tool .....</b>	<b>20</b>
<b>4. Visualización de la AHD-LAC en QGIS .....</b>	<b>22</b>
<b>5. Visualización de la Base de Datos SQLITE .....</b>	<b>25</b>
<b>6. Cómo utilizar la herramienta de navegación AHD-TOOL .....</b>	<b>28</b>
<b>7. Utilizando la Interfaz de Hydro-BID para Realizar una Simulación.....</b>	<b>32</b>
<b>8. Calibración del Modelo.....</b>	<b>42</b>
<b>9. Simulación de Escenarios de Cambio Climático .....</b>	<b>53</b>

## Introducción

El siguiente manual ha sido elaborado con la idea de facilitar el proceso de aprendizaje en el uso del modelo Hydro-BID y de la Base de Datos Hidrográfica Analítica de América Latina y el Caribe (*LAC-AHD, por sus siglas en inglés*). Las instrucciones que se encuentran a continuación se soportan en el material que se distribuye en el paquete de instalación de Hydro-BID y que se basa en el caso de estudio simplificado de la cuenca del Río Una en el estado de Pernambuco, Brasil.

Siguiendo las instrucciones podrás entender como configurar una simulación en Hydro-BID, como realizar la interpolación de datos climáticos, como calibrar el modelo y como poder visualizar los resultados obtenidos.

La información técnica relativa al modelo y a la base de datos LAC-AHD la puedes obtener descargando las notas técnicas en nuestra página web [www.hydrobidlac.org](http://www.hydrobidlac.org).

Links a las notas técnicas:

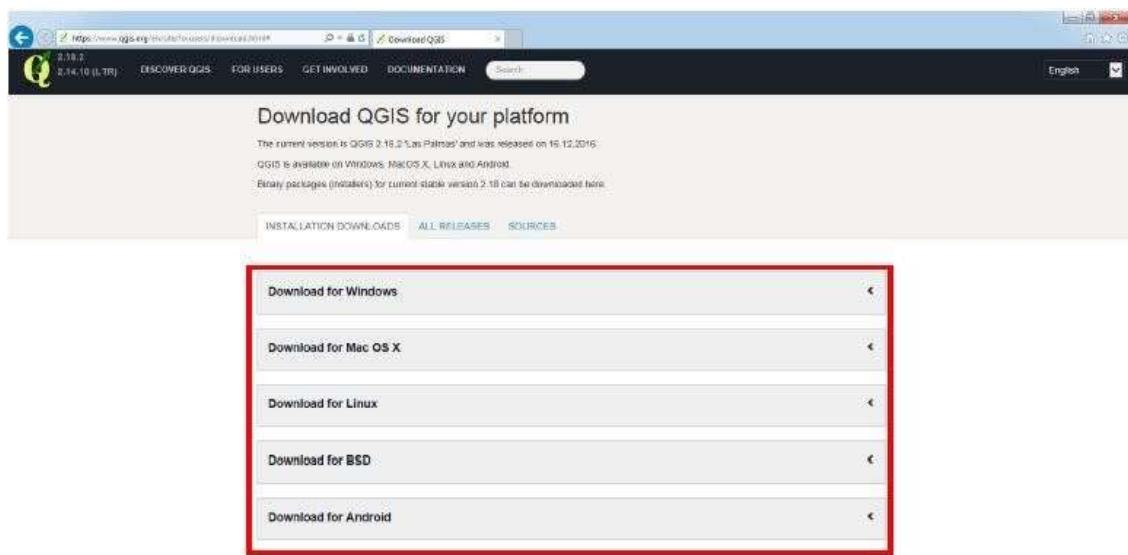
- [Hydro-BID Funcionalidad del Sistema y Uso](#)
- [Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe \(LAC AHD\)](#)
- [Hydro-BID: Nuevas Funcionalidades \(Módulos de Simulación de Embalses, Transporte de Sedimentos y de Aguas Subterráneas\)](#)

## 1. ¿Cómo Instalar el Software de Soporte de Hydro-BID?

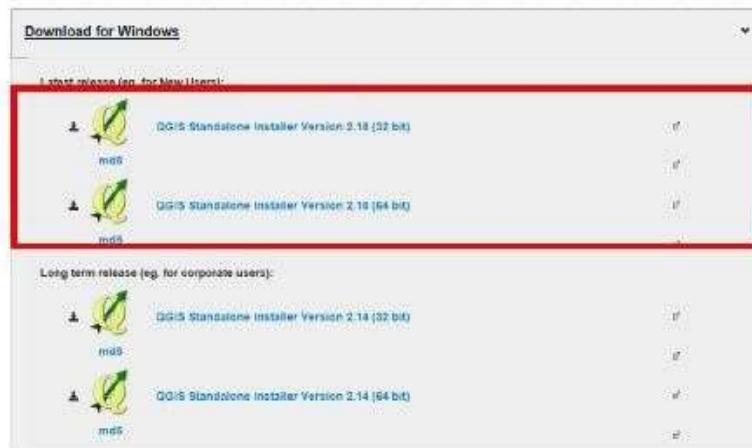
En este capítulo encontrará un tutorial de cómo instalar QGIS, SQLite y Java software.

### ¿Cómo Instalar QGIS?

1. Ingresa a: <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html#>
2. Haz clic en el sistema operativo que usas en tu ordenador



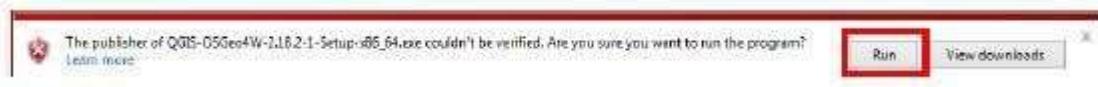
3. Bajo “Latest release”, selecciona “**QGIS Standalone installer version 2.18**” de 32 bit o 64 bit de acuerdo con tu sistema operativo.



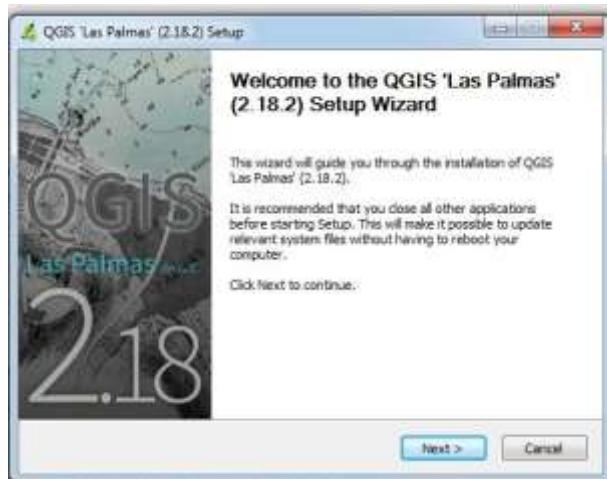
4. Haz clic en “Run” o “Ejecutar” en el mensaje que aparece



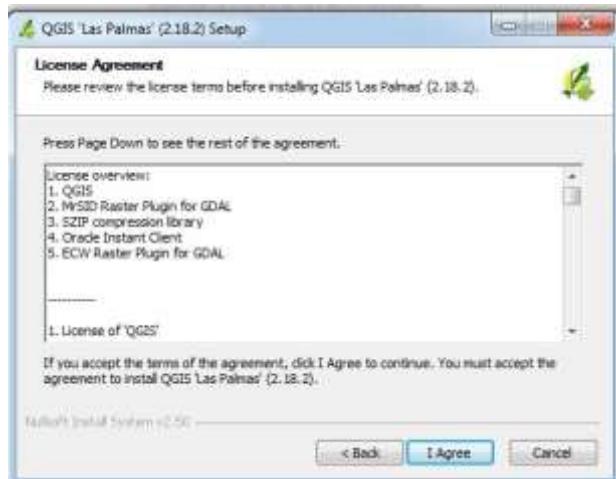
Si un mensaje de advertencia aparece, clic “Run” o “Ejecutar” de nuevo



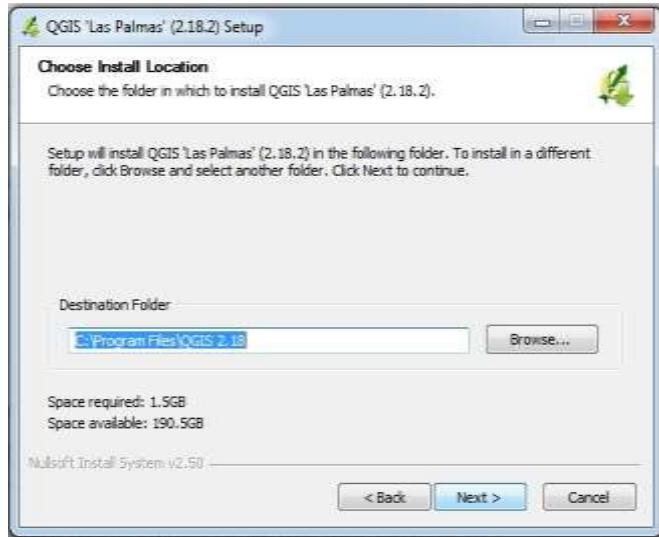
5. En la ventana de “Setup” o “Configuración” de QGIS, haz clic en “Next” o “Siguiente”



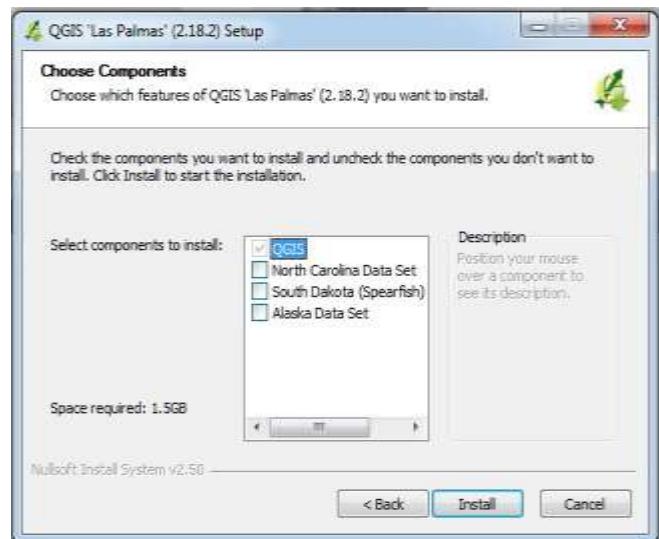
6. Clic “I Agree” o “Acepto” para aceptar el acuerdo de licencia



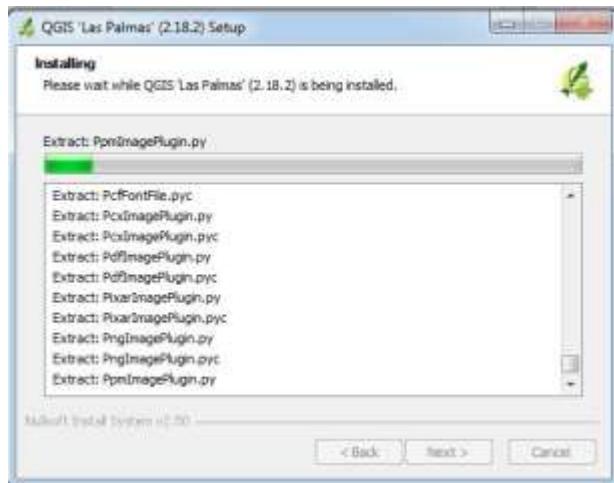
7. Clic “**Browse**” o “**Examinar**” si quieres cambiar la carpeta de destino donde se instalará el programa QGIS. Luego haz clic en “**Next**” o “**Siguiente**”



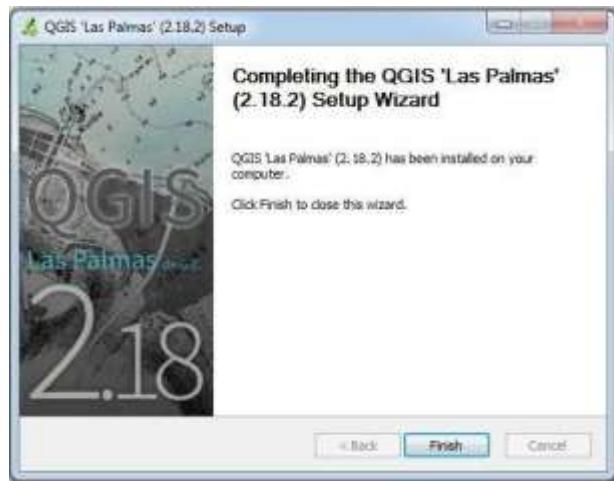
8. En la ventana “**Choose Components**” o “**Selección de Componentes**”, haz clic en “**Install**” o “**Instalar**”



9. Automáticamente se iniciará la instalación de QGIS



10. Para culminar la instalación, haz clic en “Finish” o “Terminar”



11. Como Instalar el Complemento (Plugin) OpenLayer:

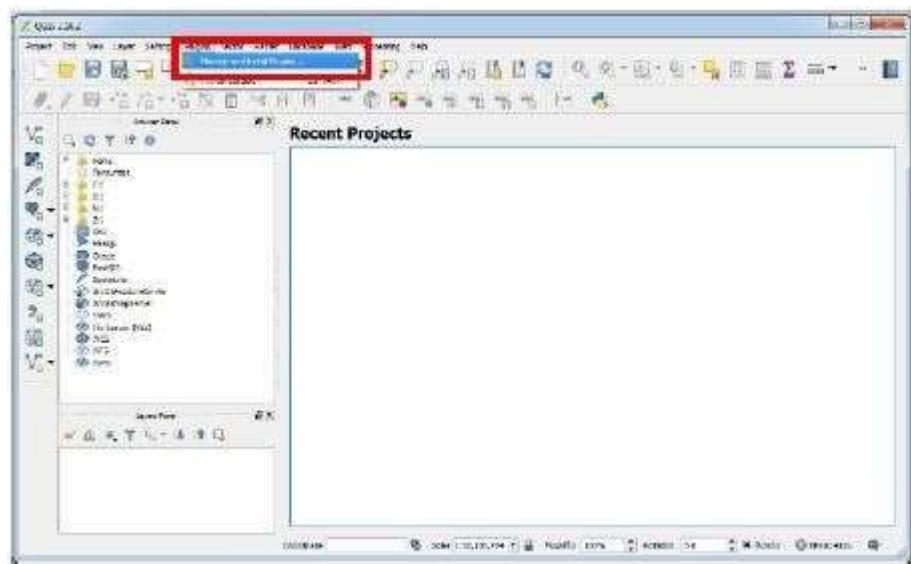
- Inicie QGIS yendo al Menú de Inicio y escribiendo “**QGIS**” en la barra de búsqueda. Haz clic en el ícono “QGIS Desktop 2.18.2<sup>1</sup>”



- Dentro de QGIS, selecciona “**Plugins**” o “**Complementos**” y luego haz clic en “**Manage and Install Plugins**” o “**Administrar e Instalar Complementos**”

---

<sup>1</sup> La versión de QGIS puede variar, esto no afectará el funcionamiento de la AHDTTool



- c. En la barra de búsqueda, escribe “**Open layer**” y haz clic en “**Install Plugin**” o “**Instalar Complemento**”



## ¿Cómo Instalar SQLite Data Browser?

1. Ingresa a: <http://sqlitebrowser.org/>
2. Clic en el sistema operativo que usas en tu ordenador



3. Haz clic en “Run” o “Ejecutar” en el mensaje que aparece



4. En la ventana de “**Setup**” o “**Configuración**”, haz clic en “**Next**” o “**Siguiente**”



5. Clic “**I Agree**” o “**Acepto**” para aceptar el acuerdo de licencia



6. Clic “**Browse**” o “**Examinar**” si quieres cambiar la carpeta de destino donde se instalará el programa DB Browser for SQLite. Luego haz clic en “**Next**” o “**Siguiente**”



7. En la ventana “**Choose Smart Menu Folder**” o “**Elegir Carpeta del Menú Inicio**”, haz clic en “**Install**” o “**Instalar**”



- Una vez completada la instalación, haz clic en “Finish” o “Terminar”



## ¿Cómo Instalar Java Runtime Environment?

1. Ingresa a:  
<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>
2. Haz clic sobre el recuadro “**Java Download**”. Estarás instalando Java Platform (JDK) 8u111 / 8u112



3. Haz clic en “**Accept License Agreement**” para aceptar el acuerdo de licencia



4. Bajo la columna “**Download**”, selecciona el sistema operativo que usas en tu ordenador. Si tienes Windows e instalaste la versión de 32 bit de QGIS, deberás instalar la versión para “**Windows x86**”.

Product / File Description	File Size	Download
Linux ARM 32 Hard Float ABI	77.88 MB	<a href="#">jdk-8u121-linux-arm32-vfp-hflt.tar.gz</a>
Linux ARM 64 Hard Float ABI	74.83 MB	<a href="#">jdk-8u121-linux-arm64-vfp-hflt.tar.gz</a>
Linux x86	162.41 MB	<a href="#">jdk-8u121-linux-i586.rpm</a>
Linux x86	177.13 MB	<a href="#">jdk-8u121-linux-i586.tar.gz</a>
Linux x86	159.98 MB	<a href="#">jdk-8u121-linux-x86.rpm</a>
Linux x86	174.78 MB	<a href="#">jdk-8u121-linux-x86.tar.gz</a>
Mac OS X	223.21 MB	<a href="#">jdk-8u121-macosx-x86.dmg</a>
Solaris SPARC 64-bit	139.84 MB	<a href="#">jdk-8u121-solaris-sparcv9.tar.Z</a>
Solaris SPARC 64-bit	99.07 MB	<a href="#">jdk-8u121-solaris-sparcv9.tar.gz</a>
Solaris x86	140.42 MB	<a href="#">jdk-8u121-solaris-x86.tar.Z</a>
Solaris x86	98.9 MB	<a href="#">jdk-8u121-solaris-x86.tar.gz</a>
Windows x86	189.38 MB	<a href="#">jdk-8u121-windows-i586.exe</a>
Windows x86	195.51 MB	<a href="#">jdk-8u121-windows-x86.exe</a>

5. Haz clic en “**Run**” o “**Ejecutar**” en el mensaje que aparece



4. En la ventana de “**Setup**”, haz clic en “**Next**”



5. En la ventana de “**Custom Setup**”, haz clic en “**Next**”



6. Clic “**Change**” si quieres cambiar la carpeta de destino donde se instalará el programa Java. Luego haz clic en “**Next**”



7. Click “**Close**” para completar el proceso de instalación



## **2. Organización del material**

Este manual paso a paso se apoya en material que se encuentra dividido en 2 carpetas, la carpeta **GIS\_Una** y la carpeta **Hydro-BID**.

La carpeta **GIS\_Una** contiene 2 sub-carpetas **AHDTTool** y **Rio Una**



En la sub-carpeta **AHDTTool** se encuentra la herramienta de navegación de la base de datos hidrográfica de Latinoamérica y el Caribe (AHD-LAC). El procedimiento para instalar esta herramienta se explicará en el capítulo siguiente.

En la sub-carpeta **Rio Una** se encuentran los shape files (archivos de cuencas) relativos a la AHD-LAC para el caso de la cuenca del río Una (Estado de Pernambuco, Brasil). Dentro de la carpeta se encuentran los siguientes archivos:

- **Rio Una Example.qgs** (proyecto de la cuenca en QGIS)
- **Rio Una\_Catchments** (delineación de las cuencas)
- **Rio Una\_Streamline** (delineación de los cauces)
- **AHDFlow.dbf** (conectividades entre cuencas y entre cauces)
- **climate stations** (vectorial con la ubicación de las estaciones climáticas)
- **Flow stations** (vectorial con la ubicación de las estaciones hidrométricas)
- **Reservoirs** (vectorial con la ubicación de los embalses)
- 

La carpeta **Hydro-BID**, por su parte, contiene sub-carpetas con archivos de datos y el ejecutable.



Las sub-carpetas internas tienen la siguiente estructura:

1. **Carpeta “Climate” o “Clima”**: esta carpeta contiene los datos climáticos y localización de estaciones climáticas y centroides de las cuencas, y presenta la siguiente estructura



- **precip** es la carpeta que contiene los datos históricos de precipitación
- **temp** es la carpeta que contiene los datos históricos de temperatura
- **catchment\_centroids\_una.csv** es el archivo con las coordenadas de los centroides de las cuencas
- **stations\_coords.csv** es el archivo con las coordenadas de las estaciones climáticas

**Nota:** los archivos en las carpetas **precip** y **temp** deben corresponder a las mismas estaciones y deben coincidir en nombre.

Los archivos son archivos separados por coma “csv” con la siguiente estructura:

<b>precip</b>		
Encabezado	Date	precip
Formato/unidades	DD/MM/AAAA	cm

<b>temp</b>		
Encabezado	Date	Temp
Formato/unidades	DD/MM/AAAA	Celsius

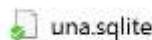
<b>catchment_centroids_una.csv</b>			
Encabezado	Centroid_x	Centroid_y	COMID
Formato/unidades	grados	grado	Identificador de cuenca

**COMID**: es el número identificador único de cada cuenca en la base de datos LAC-AHD.

<b>stations_coords.csv</b>			
Encabezado	Name	Lat_deg	Long_deg
Formato/unidades	Nombre de la estación	rad	rad

- 2. Carpeta “db” o “base de datos”:** esta carpeta contiene la base de datos con los parámetros de las cuencas.

Encontraras la base de datos con parámetros para la cuenca de Una en formato SQLITE.



- 3. Carpeta “Flow” o “Caudales”:** esta carpeta contiene los datos de caudales necesarios para la calibración del modelo.

Los archivos son archivos separados por coma “csv” con la siguiente estructura:

<b>station.csv</b>		
Encabezado	date_format	Flow
Formato/unidades	DD/MM/AAAA	m <sup>3</sup> /s

- 4. Carpeta “Out” o “Salida”:** esta carpeta se encuentra inicialmente vacía y en ella se almacenan los archivos de salida luego de correr el modelo.

- **Monthlysummary.csv** (Series de tiempo mensuales de precip., temp., caudales simulados y observados)
- **Outlet.csv** (Series de tiempo simuladas de variables de salida por cuenca)
- **summary.csv** (Número total de cuencas, área de drenaje, tiempo de computación, y COMID de la cuenca de salida)
- **spacial\_file.csv** (Promedios por cuenca de precipitación, temperatura, escorrentía, y carga de sedimentos)
- **Anual\_file.csv** (Series de tiempo anuales de precip., temp., escorrentía, y carga de sedimentos)
- **Settings.txt** (Todos los parámetros de entrada y configuración del modelo correspondientes a la última simulación realizada)
- **flowDurationObs** (Datos observados para la curva de duración) - **flowDurationSim** (Datos simulados para la curva de duración)

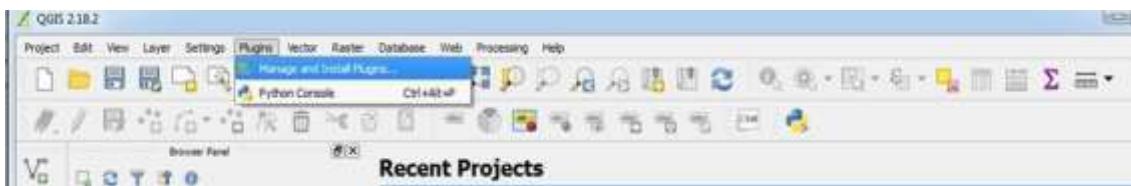
- 5. Archivo “cdit.ini”:** archivo de la herramienta de navegación hidrográfica

- 6. Archivo “Hyd\_err.log”:** archivo de registro de los errores de las simulaciones

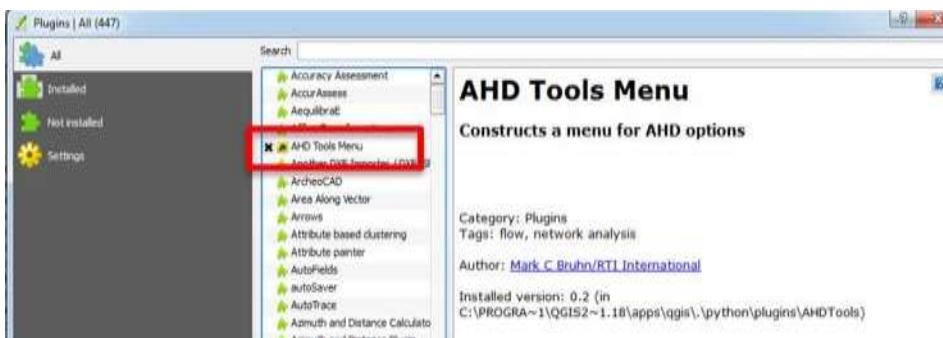
- 7. Archivo ejecutable “HydroBID-2.0.jar”:** ejecutable de Hydro-BID (hacer doble-clic para lanzar la interfaz de Hydro-BID)
- 8. Archivo “launchIWRM.bat”:** batch file pre cargado con los archivos del caso de estudio.
- 9. Archivo “settings.txt”:** archivo con los parámetros de entrada y configuración del modelo
- 10. Imagen “Una Basin Map.PNG”:** imagen de pre-visualización de la cuenca (colocada solo como referencia)

### 3. Como instalar la herramienta de navegación AHD-Tool

1. Copia la carpeta “**AHDTools**” en el siguiente directorio: C:\Program Files\QGIS 2.18\apps\qgis\python\plugin (El directorio puede variar respecto a la versión del QGIS instalada)
2. En QGIS Selecciona “**Plugins**” o “**Complementos**” y luego “**Manage and Install Plugins**” o “**Administrar e instalar Complementos**”



3. Buscar y hacer Clic en “**AHD Tools Menu**” para instalar la Herramienta AHD



4. Ahora, la herramienta AHD estará visible en la barra de herramientas



5. Siguiendo las instrucciones del punto 2, desplázate hacia abajo hasta “**OpenLayers Plugin**”.

Haz clic sobre el plugin para tener acceso a Google Earth



6. OpenLayers Plugin tiene soporte para impresión del área de trabajo, si deseas realizar impresiones derivadas del procesamiento de datos en QGIS con imágenes georreferenciadas debes utilizar el procedimiento explicado en el punto 2 para instalar el **QuickMapServices**
7. Una vez instalado este plugin debes desplegar su menú de opciones, seleccionar “**Settings**”, ir a la etiqueta “**More Services**” y hacer clic en “**Get contributed pack**” para tener acceso a las herramientas de mapeo de Google.



## 4. Visualización de la AHD-LAC en QGIS

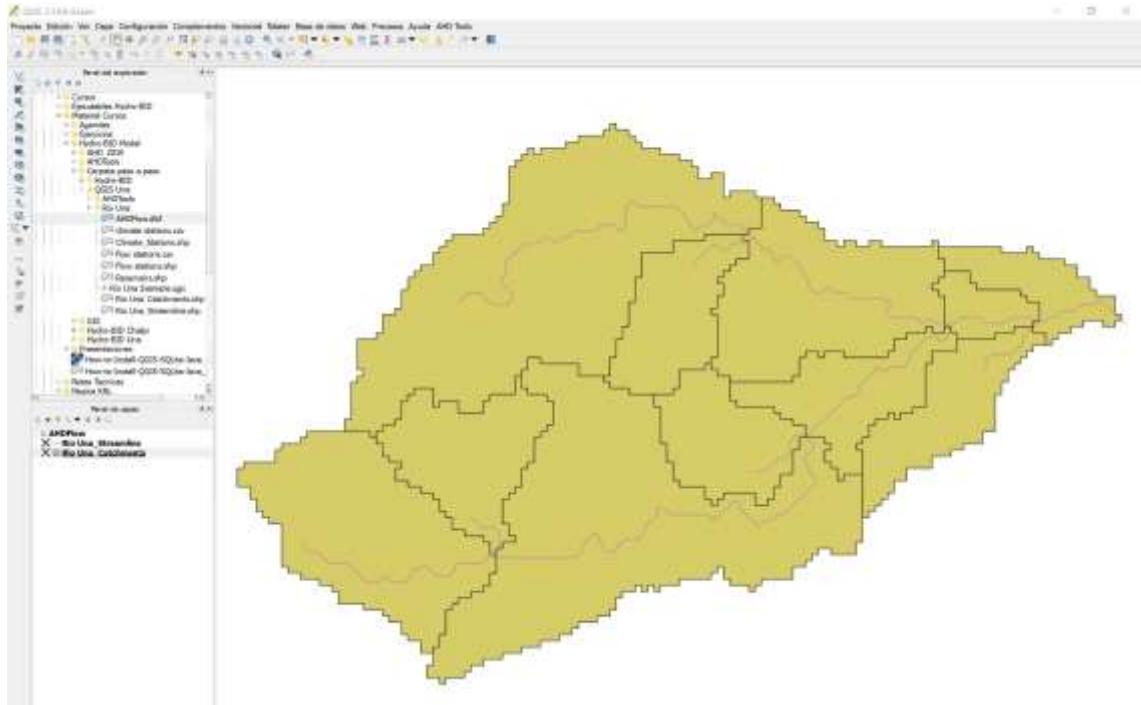
Para poder tener acceso a las bases de datos hidrográficas de la AHD-LAC debes cargar en QGIS los archivos que caracterizan la delimitación de cuencas, cauces y adicionalmente deberás cargar el archivo que contiene la conectividad entre cuencas y entre canales (**AHDFlow.dbf**).

Para cargar los archivos debes simplemente buscarlos en el panel del explorador del QGIS y hacer doble clic sobre cada uno de ellos.

Para el caso de la cuenca de UNA, es necesario cargar los archivos localizados en la sub carpeta Rio Una dentro de la carpeta QGIS Una:

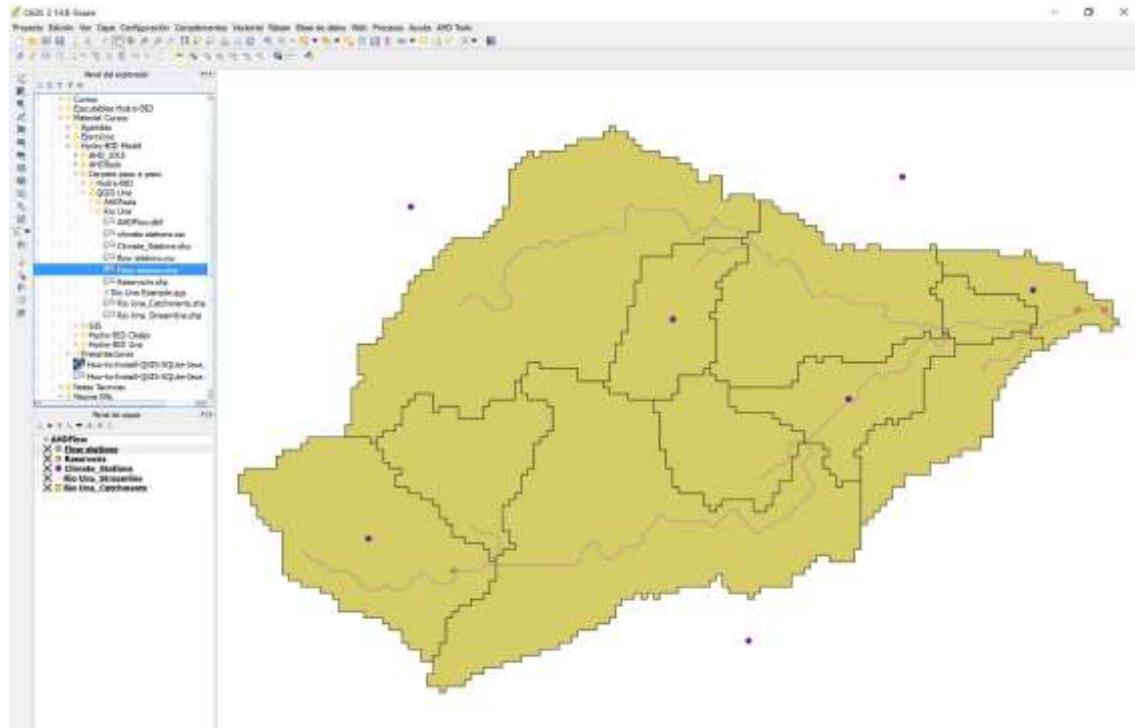
- Rio Una\_Catchments.shp
  - Rio Una\_Streamline.shp
  - AHDFlow.dbf

La siguiente imagen aparecerá cargada en el panel de trabajo de QGIS.

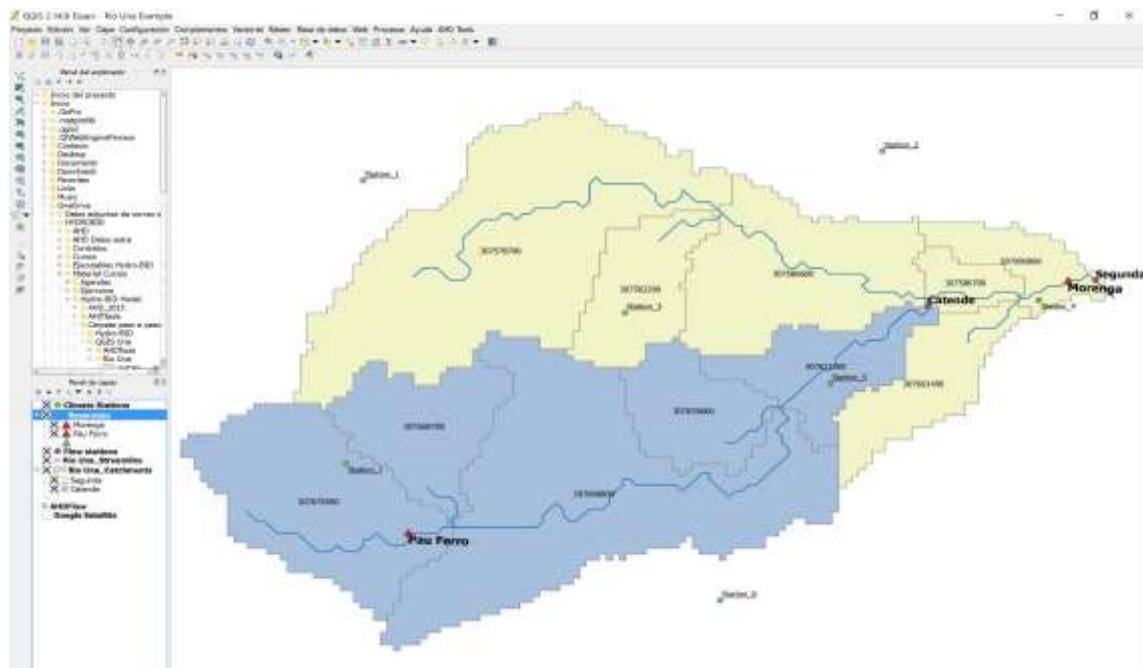


Adicionalmente deberás cargar los siguientes archivos que sirven de referencia para las simulaciones:

- **Climate\_Stations.shp**
- **Flow stations.shp**
- **Reservoirs.shp**



Eventualmente puedes utilizar la ventana de propiedades que aparece al hacer clic con el botón derecho del mouse sobre cada uno de los archivos shape (shp) para personalizar gráficamente cada capa. Si lo deseas, esta configuración final se encuentra ya pre-elaborada en el archivo de proyecto **Rio Una Example.qgs**



## 5. Visualización de la Base de Datos SQLITE

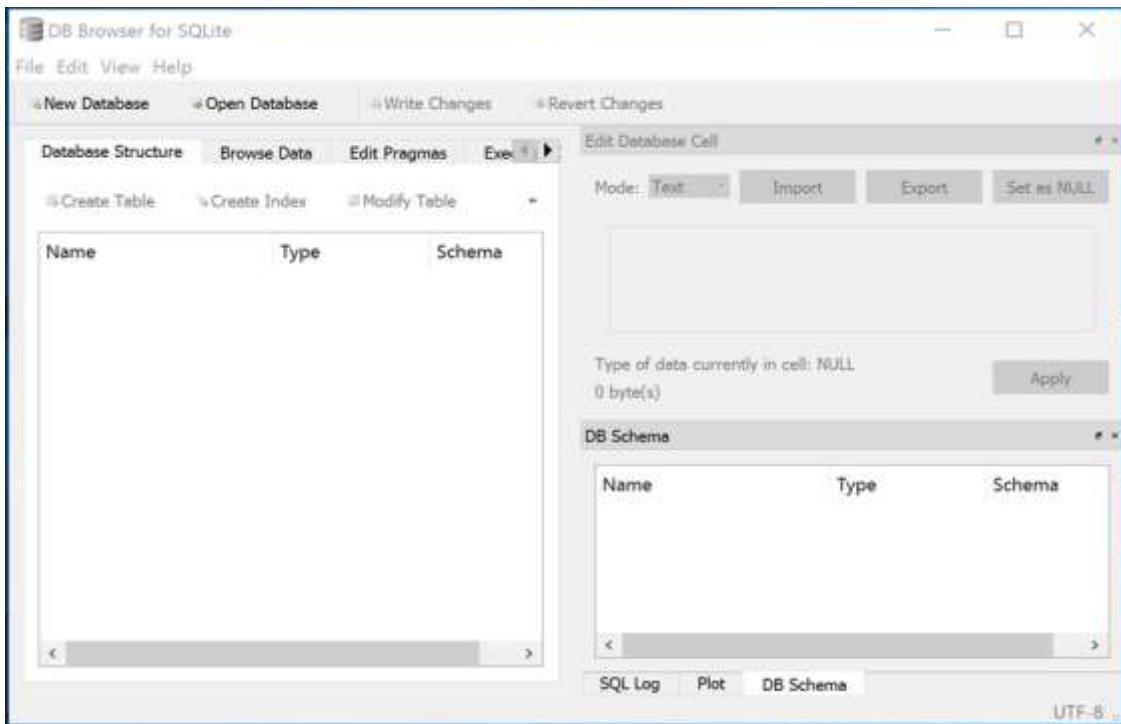
La base de datos con las variables pre-cargadas y pre-validadas se encuentra almacenada en formato sqlite, para visualizar su estructura y los valores de las variables correspondientes se puede utilizar el programa **DB Browser for SQLite**. El archivo para este caso de estudio se encuentra dentro de la carpeta **db**.

Para visualizar la base de datos de la cuenca de Una deberás seguir los siguientes pasos:

1. Inicie el navegador yendo al Menú de Inicio y escribiendo “**DB Browser for SQLite**” en la barra de búsqueda. Haz clic en el icono:



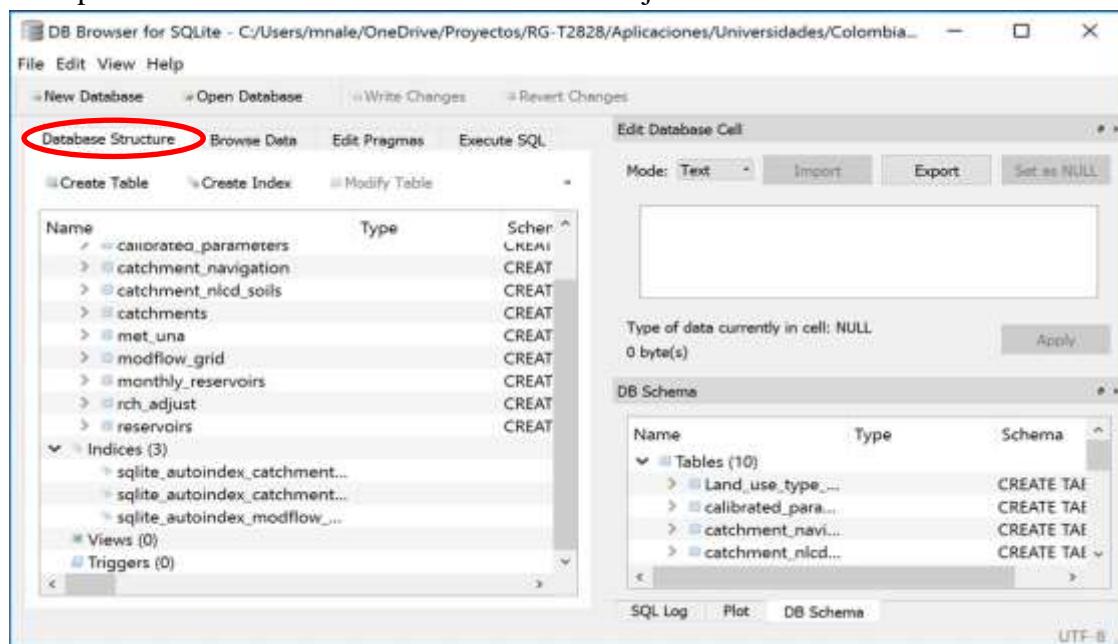
2. Se abrirá el DB Browser en su ventana inicial



3. Para abrir la base de datos, haz clic en “File” y “Open Database”



4. Navega hasta el archivo de SQLite que deseas abrir, En este caso selecciona “**una.sqlite**”. Todos los datos de entrada para esta Cuenca están guardados en esta base de datos
5. Para visualizar la estructura de los datos, en la pestaña “**Database Structure**”, expande las tablas haciendo clic en las flechas junto al nombre



6. Para buscar, consultar y editar las tablas, haz clic en la pestaña “**Browse Data**” y selecciona la tabla del menú “**Table**”

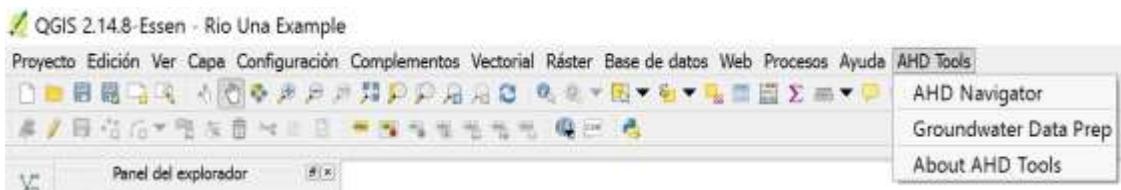
The screenshot shows the DB Browser for SQLite interface. The title bar reads "DB Browser for SQLite - C:/Users/mnale/OneDrive/Proyectos/RG-T2B28/Aplicaciones/Universidades/Colombia...". The menu bar includes File, Edit, View, Help, New Database, Open Database, Write Changes, and Revert Changes. The main toolbar has buttons for Database Structure, Browse Data (circled in red), Edit Pragmas, and Execute SQL. Below the toolbar is a table view with columns USQS, wf, Code, and Sno. The table contains 24 rows of data. To the right of the table is an "Edit Database Cell" panel with "Mode: Text" and buttons for Import, Export, and Set as NULL. Below this is a message about the current data type in a cell. At the bottom right is a "DB Schema" panel showing tables and their creation scripts. The status bar at the bottom right shows "UTF-8".

USQS	wf	Code	Sno
1	24	90	900
2	23	31	830
3	22	50	850
4	21	50	810
5	20	50	820
6	19	31	770
7	18	70	610

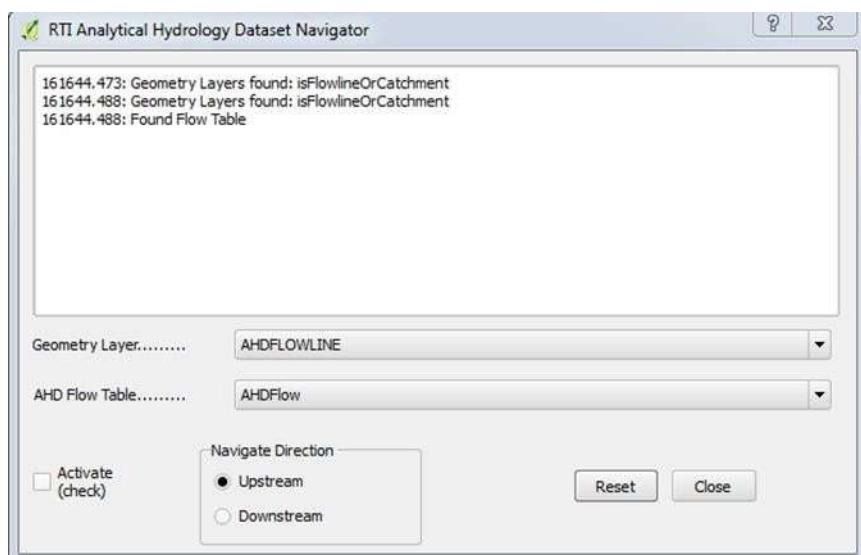
## 6. Cómo utilizar la herramienta de navegación AHD-TOOL

La herramienta de navegación AHD-TOOL te permite identificar los patrones de drenaje aguas arriba o aguas abajo de cualquiera de las cuencas o cauces definidos en la AHD-LAC.

1. Una vez abierto el proyecto en QGIS abre la Herramienta haciendo clic en AHD Tools > AHD Navigator



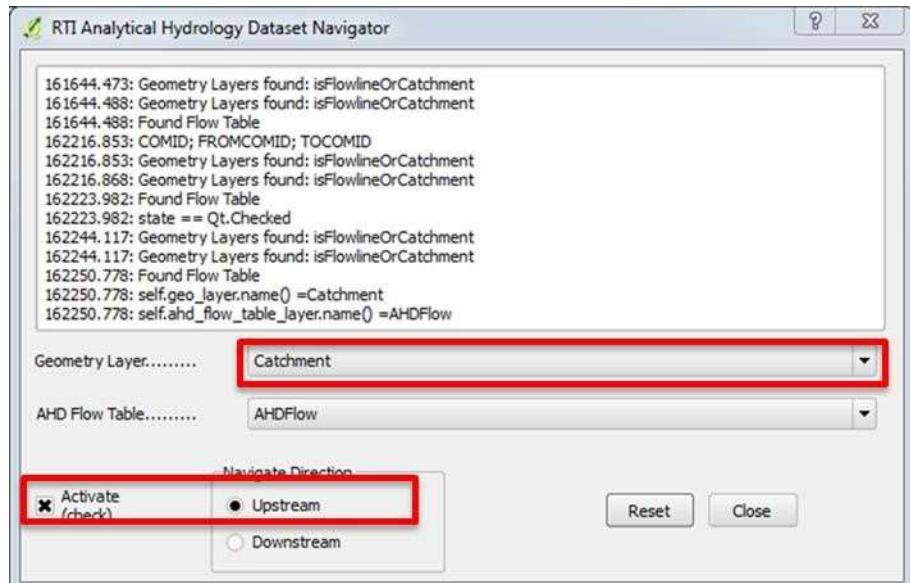
2. El Navegador AHD, siguiendo las conectividades que se encuentran almacenadas en el archivo **AHDFlow.dbf**, seleccionará las cuencas o ríos de acuerdo a la dirección del caudal y proveerá importantes estadísticas



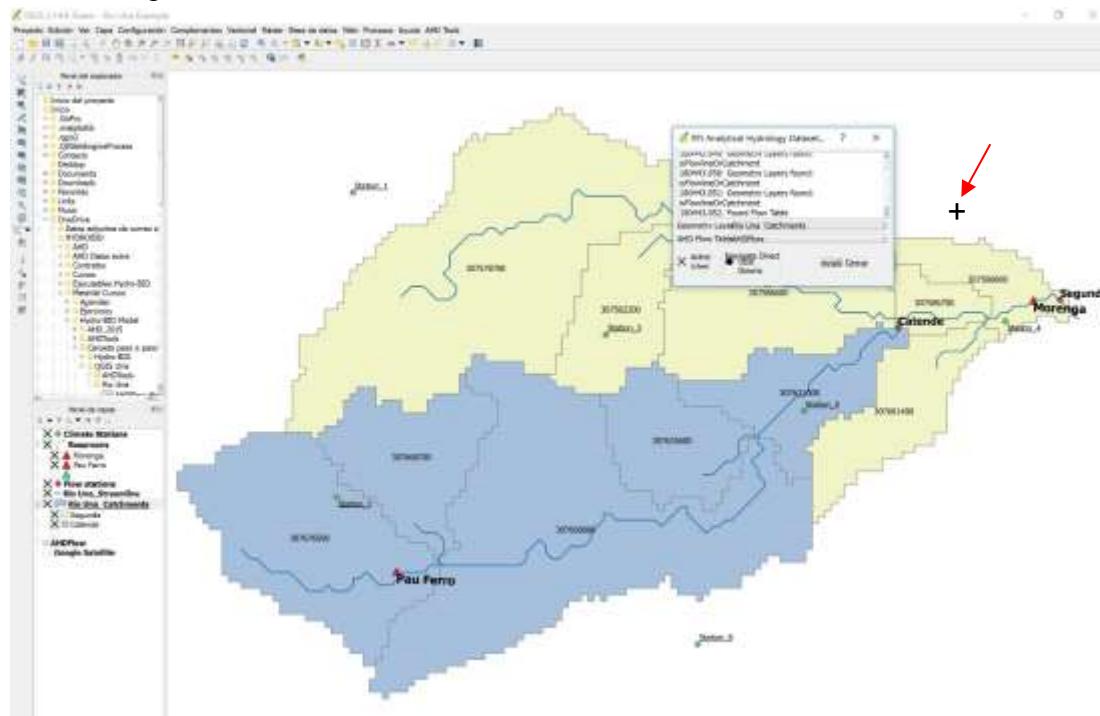
3. Selección de cuencas aguas arriba a- Activa la capa “**Catchment**” haciendo clic sobre ella



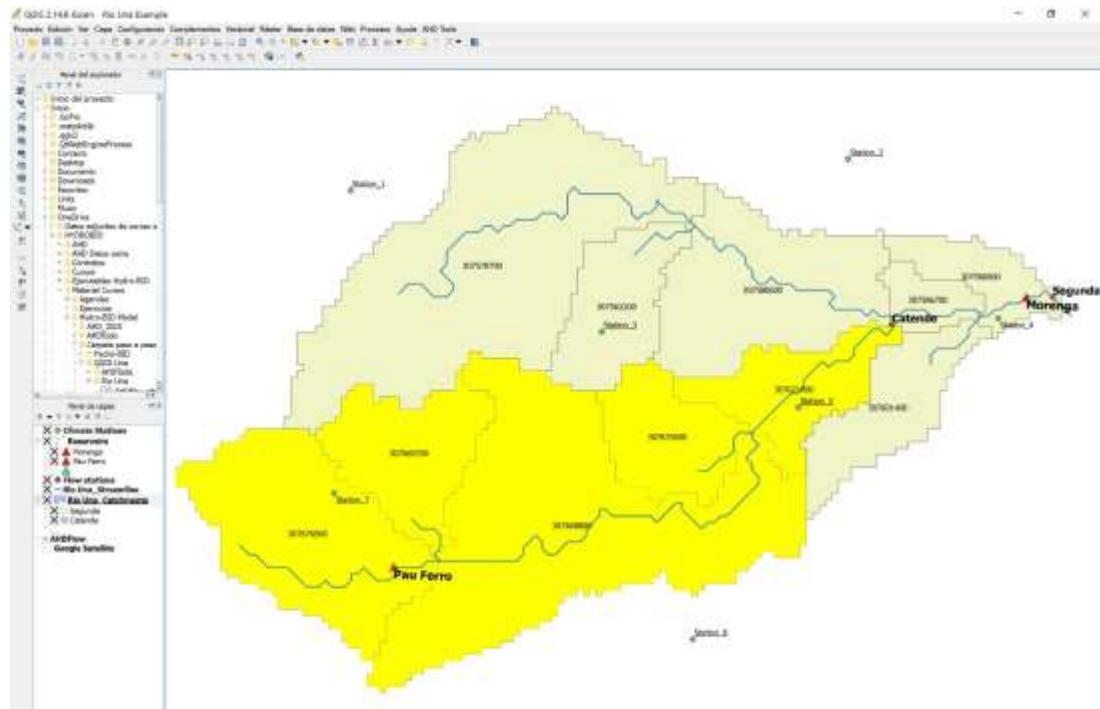
- b- Abre el Navegador AHD, selecciona la opción “**Rio Una Catchments**” del menú Geometry Layer, asegúrate que la dirección de navegación está ajustada para “**Upstream**” y la casilla “**Activate**” está activada



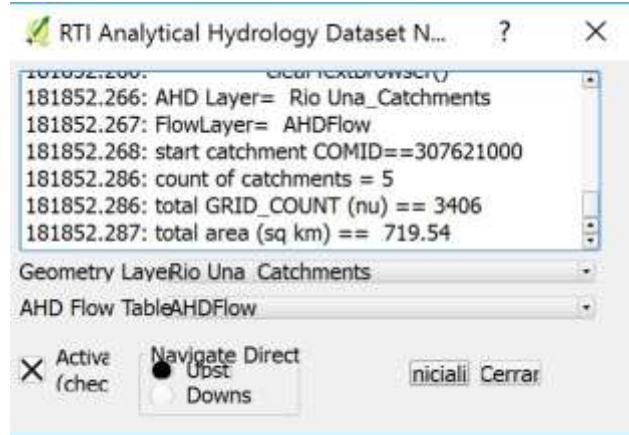
- c- Mueve el cursor sobre el mapa, verás que se ha convertido en una cruz negra



- d- Haz clic en la cuenca que contiene la estación “**Catende**”, el Navegador AHD seleccionara todas las sub-cuencas que drenan hacia la estación



- e- La ventana del Navegador AHD mostrará el COMID de la sub-cuenca más aguas abajo, numero de sub-cuencas seleccionadas y área total de la cuenca.



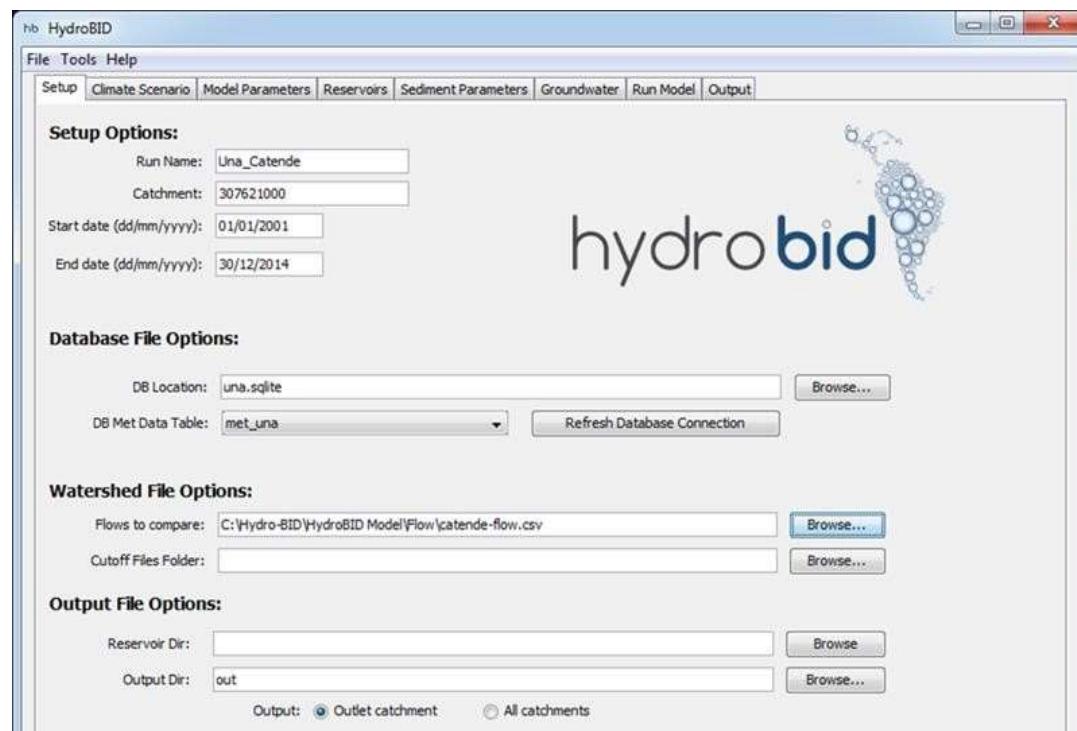
- f- El procedimiento es el mismo para drenaje hacia aguas abajo y para el Geometry Layer de canales (Flowlines)

## 7. Utilizando la Interfaz de Hydro-BID para Realizar una Simulación.

La herramienta AHD-Tool se utiliza no solo para visualizar las cuencas, visualizar la ubicación de estaciones y embalses y con ello confinar el área de estudio, sino que también es importante para ubicar el COMID (identificador único de cuenca) de la cuenca más aguas abajo del sistema a analizar. El COMID es vital para identificar en la interfaz de Hydro-BID la cuenca inicial del estudio y en la cual se obtendrá el balance hídrico total.

En este capítulo estaremos utilizando los archivos y sub-carpetas que se encuentran en la carpeta “**Hydro-BID**”

1. Para activar la interfaz de Hydro-BID del caso de estudio hacer doble clic en el archivo “**launchIWRM.bat**” que ya tiene pre-cargados los datos respectivos implementados en el archivo “**settings.txt**”. Si deseas comenzar un análisis desde cero debes utilizar el ejecutable  
**“Hydro-BID 2.0.jar”**



**Nota:** El archivo .bat no utiliza un patrón de guardado relativo para las carpetas, de tal modo debes verificar que los directorios pre-cargados correspondan a la ubicación de dichos archivos en tu computador, de no ser así utiliza el botón “**Browse**” para ubicar el directorio correcto.

En la ventana principal de la interfaz se encuentran las siguientes variables:

**a) Setup Options:**

- **Run Name:** el nombre de la simulación
- **Catchment:** el COMID de la cuenca más aguas abajo del sistema en estudio. En este caso corresponde a la subcuenca de la estación hidrométrica de **Catende** identificada con el **COMID “307621000”**
- **Start date:** fecha de inicio de la simulación
- **End date:** fecha de finalización de la simulación

**Nota:** El periodo de simulación debe estar dentro de la disponibilidad de datos climáticos. El primer año se considera como periodo de calentamiento.

**b) Database File Options:**

- **DB Location:** Nombre de la base de datos (BD o DB) para el proyecto. Clic “Browse” para navegar a la carpeta donde esta guardada la BD. En este caso el nombre es **Una.sqlite**
- **DB Met Data Table:** Selecciona la tabla con los datos meteorológicos que se van a utilizar. Un capítulo posterior cubrirá la creación de esta BD.

**NOTA:** Una vez que se proporciona la ruta de acceso a la BD, haz clic en “**Refresh Database Connection**” para actualizar las opciones de “**DB Met Data Table**”

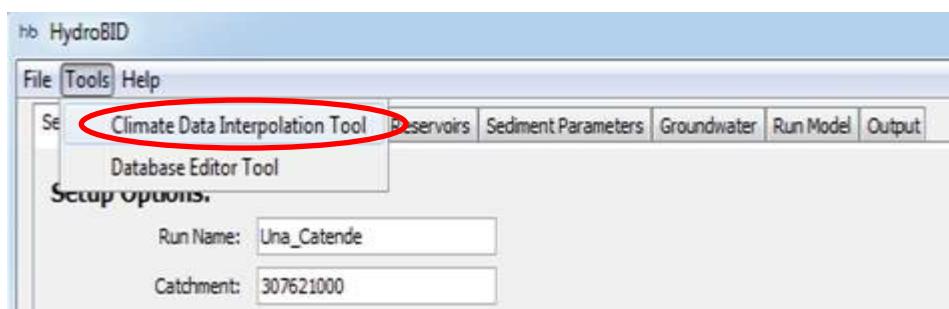
**c) Watershed File Options:**

- **Flows to Compare:** Archivo de entrada con la serie de tiempo de caudales observados. Este archivo se utiliza para comparar los caudales simulados. Las series temporales pueden ser diarias o mensuales.
- **Cutoff Files Folder:** Contiene una lista de archivos con series de tiempo de caudales de cuencas aguas arriba (este archivo es opcional).  
Esta opción permite añadir contribuciones de agua a la cuenca y/o substraer perdidas.

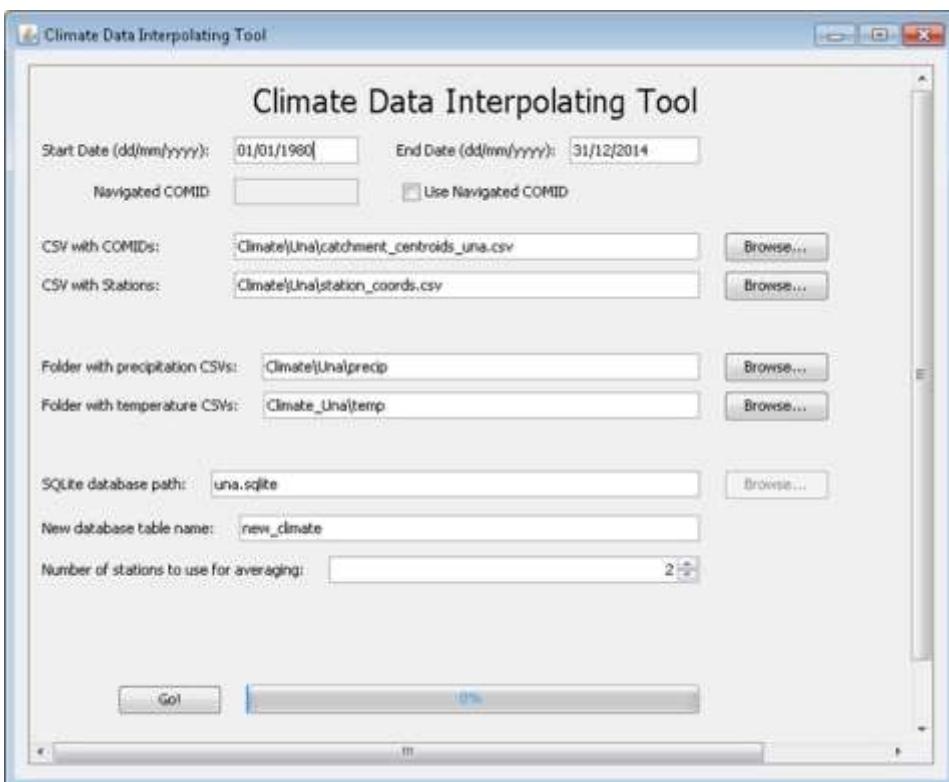
**d) Output File Options:**

- **Reservoir Dir:** Si los embalses son incluidos en el modelo, en este directorio se encontrarán los datos de demanda, caudales de ingreso y salida del embalse.
- **Output Dir:** Directorio donde se guardan los resultados de la modelación.
- **Outlet Catchments:** Seleccione esta opción para guardar los archivos de salida sólo para la cuenca más aguas abajo. Utilice esta opción para el proceso de calibración.
- **All Catchments:** Seleccione esta opción para guardar los archivos de salida de todas las cuencas incluidas en la simulación.

2. Para poder realizar una simulación lo primero que se necesita son datos climáticos en el centroide de cada una de las cuencas, para esto utilizaremos el “**interpolador climático de Hydro-BID**”, un preprocesador que interpola las series de tiempo diarias de temperatura y lluvia de las estaciones climáticas a cada una de las cuencas utilizando el método de distancia media ponderada.
  
3. Haz clic en “**Tools**” en la esquina superior izquierda de Hydro-BID, selecciona “**Climate Data Interpolation Tool**”.



4. Al hacer clic aparecerá la ventana emergente del interpolador.



- Asegúrate que tanto la fecha inicial (Start date) como la fecha final (End date) correspondan al periodo para el cual deseas realizar la simulación (en este caso con el pre-assignado que puedes observar en la ventana principal de Hydro-BID).

Start Date (dd/mm/yyyy):  End Date (dd/mm/yyyy):

Navigated COMID  Use Navigated COMID

- Carga en la opción “**CSV with COMIDS**” el archivo “**catchment\_centroids.csv**” con los COMIDs de las cuencas y sus coordenadas latitude/longitude que se encuentra en la carpeta “**climate**”. Repite la misma operación en la opción “**CSV with Stations**”, cargando el archivo “**station\_coord.csv**” con las estaciones meteorológicas y sus coordenadas latitude/longitude.

CSV with COMIDs:

CSV with Stations:

- Carga en las opciones “**Folder with precipitation CSVs**” and “**Folder with temperature CSVs**” las carpetas que contienen datos diarios de cada estación en formato .csv (subcarpetas **Precip** and **Temp** en la carpeta **climate**).

Folder with precipitation CSVs:

Folder with temperature CSVs:

- La opción “**SQLite database path**” contiene la ruta de la base de datos que se utilizará en la corrida de la herramienta. Aquí es donde se guarda la tabla con los datos climáticos interpolados. La ubicación de la base de datos debería corresponder automáticamente con la impuesta en la ventana inicial de Hydro-BID sin embargo se aconseja verificar que esté correcta, en caso contrario, para buscar la base de datos SQLite, debes buscar la dirección correcta de “**una.sqlite**” en la carpeta principal del ejercicio.

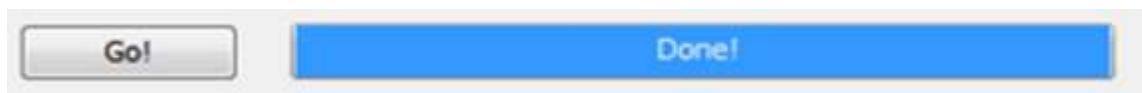
En la opción “**New database table name**” debes escribir el nombre de la tabla que contendrá los datos climáticos interpolados. Esta tabla luego se selecciona en “**DB Met Data Table**” en la ventana principal cuando se vaya a correr Hydro-BID para utilizar los valores interpolados. Para este ejercicio la nombraremos “**new\_climate**”.

SQLite database path:	<input type="text" value="una.sqlite"/>	<input type="button" value="Browse..."/>
New database table name:	<input type="text" value="new_climate"/>	

9. En la ventana “**Number of stations to use for averaging**” se especifica el número de estaciones cercanas utilizadas para calcular la variable climática interpolada. Los valores más altos resultarán en una mayor precisión, pero harán que el modelo tarde más en ejecutarse. Se recomienda utilizar un numero de entre 2 y 4 estaciones.

Number of stations to use for averaging:	<input type="text" value="2"/>
--	--------------------------------

10. ¡Ahora tienes que hacer Clic en “**Go!**” para correr la herramienta CDIT. Cuando HydroBID termina de correr satisfactoriamente, la barra de progreso se vuelve azul y aparece el mensaje “**Done!**”



11. Una vez interpoladas las variables climáticas ya puedes realizar tu primera simulación con Hydro-BID.

**Nota:** para entender más sobre las capacidades y limitaciones del interpolador climático de Hydro-BID te invitamos a leer la nota técnica: **Hydro-BID: Un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos**, que puedes descargar en este [link](#).

Si quieras observar las series temporales interpoladas para cada subcuenca debes hacer Clic en “**Tools**” en la parte superior izquierda y selecciona “**Database Editor Tool**”<sup>2</sup>.



<sup>2</sup> **Nota:** puede que necesites reiniciar Hydro-BID para cargar la tabla nueva.

12. Una vez en la ventana emergente selecciona de la lista de tablas, la tabla que acabas de crear. En este caso “**new\_climate**” o cualquier nombre que hayas asignado a la tabla en el paso 8 de este capítulo.

The screenshot shows the 'Database Editor' window with the title bar 'Database Editor'. Below it is a table titled 'new\_climate'. The table has columns 'Land\_use\_type\_CN', 'reservoirs', 'monthly\_reservoirs', 'met\_una', 'rch\_adjust', 'modflow\_grid', and 'new\_climate'. The 'new\_climate' column is highlighted with a red box. The table contains 18 rows of data. The first few rows show values for 'avg\_temp' and 'avg\_precip'. The last few rows show dates from '19800107' to '19800118' and corresponding values for 'avg\_temp' and 'avg\_precip'.

Land_use_type_CN	reservoirs	monthly_reservoirs	met_una	rch_adjust	modflow_grid	new_climate
						25.979 0
						26.059 0
						26.579 0.27
						25.999 0.379
						25.979 0
						25.332 0
307562200	19800107					26.043 0.565
307562200	19800108					25.119 0.816
307562200	19800109					24.899 0.649
307562200	19800110					25.519 0
307562200	19800111					25.979 0
307562200	19800112					26.159 0
307562200	19800113					26.279 0
307562200	19800114					25.679 0
307562200	19800115					26.079 0.501
307562200	19800116					25.239 0.013
307562200	19800117					26.279 0.392
307562200	19800118					25.039 0

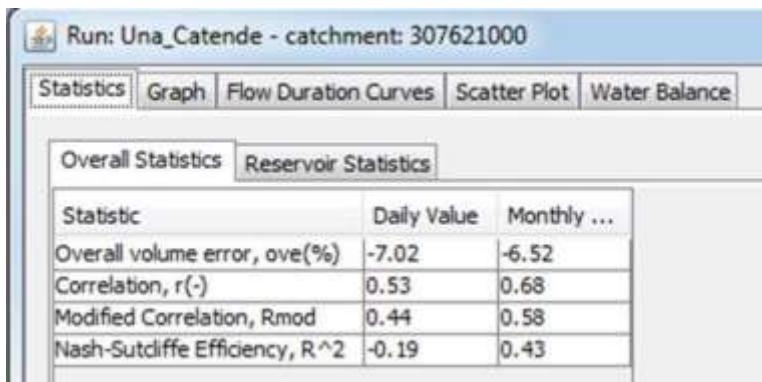
13. Una vez que estás listo para realizar la primera simulación selecciona el módulo “**Run Model**” en la ventana principal de Hydro-BID y haz clic en “**GO**”. Automáticamente iniciará a correr el modelo.



14. Para observar los resultados debes hacer clic en la “**Output Tab**” en la ventana principal de Hydro-BID. Posteriormente haz clic en “**View Stats and Graphs**”



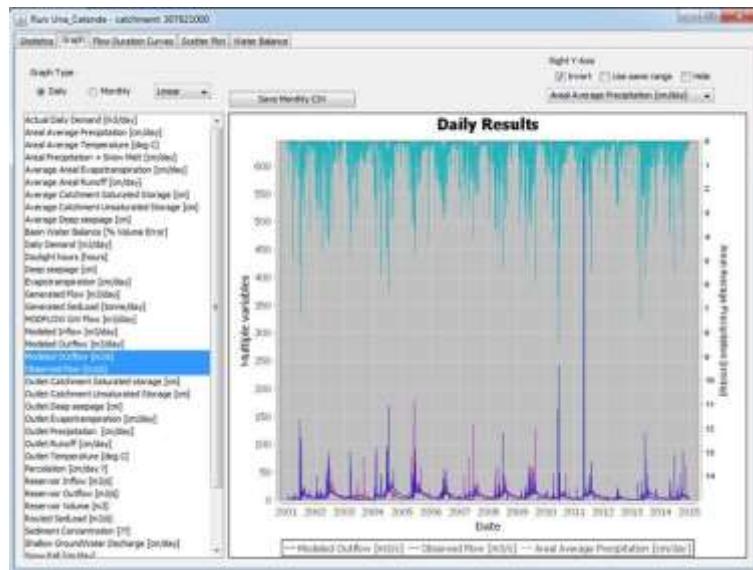
15. En la ventana emergente verás todas las opciones de visualización de resultados. Adicionalmente Hydro-BID proporciona estadísticas diarias y mensuales para evaluar el desempeño del modelo, tales como: **Error general de volumen**, Ove (%), **Correlación r**, **Correlación modificada Rmod (%)** y **Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe**.



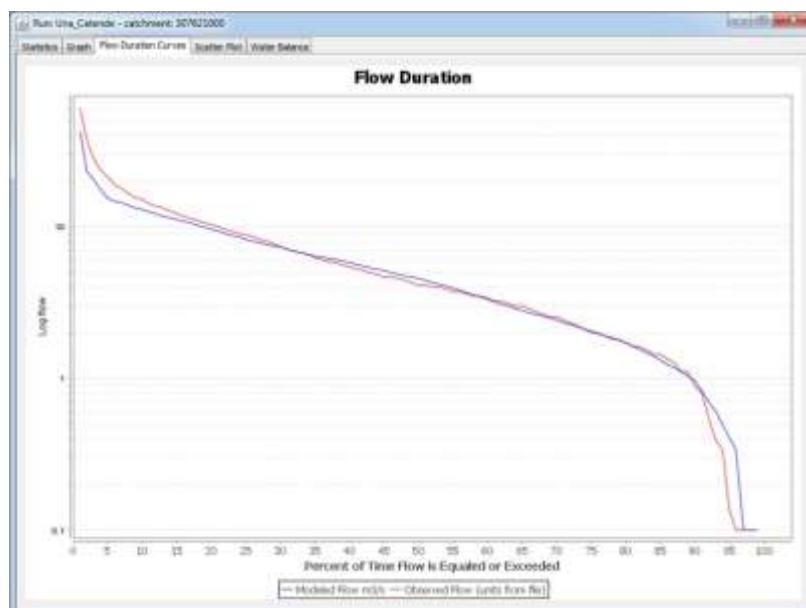
16. También se proporcionan errores de volumen mensuales y anuales.

Monthly volume error			
Month	Observed Mean (m^3/s)	Simulated Mean (m^3/s)	Ove(%)
January	3.38	4.1	21.4
February	3.72	3.84	3.46
March	3.8	3.41	-10.27
April	5.04	2.74	-45.71
May	9.06	5.81	-35.92

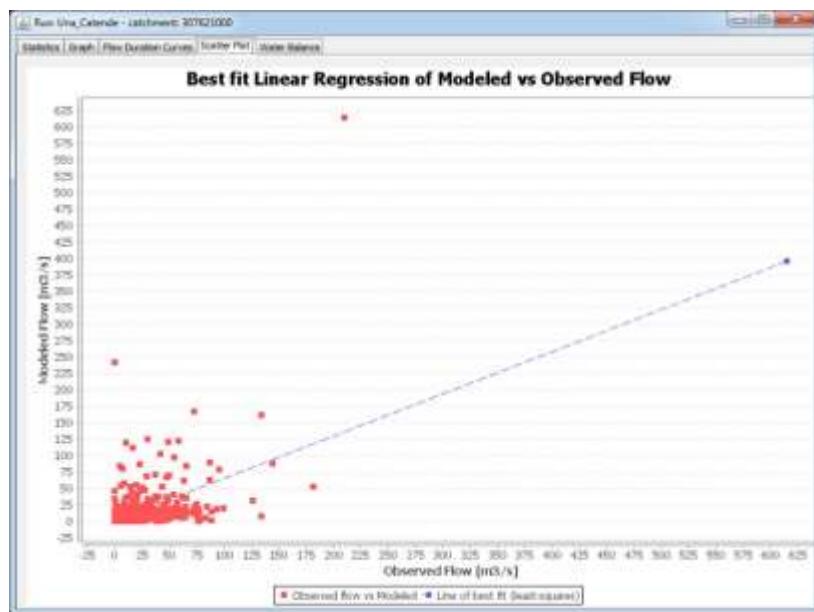
17. La pestaña “**Graph**” muestra un hidrograma y permite que otras series de tiempo sean visualizadas en la escala de tiempo diaria o mensual y con la escala logarítmica o normal.



18. **Flow Duration Curve o Curva de Duración de Flujo:** Grafico que muestra el porcentaje de tiempo que un caudal determinado sea igualado o excedido. Es útil para evaluar el desempeño del modelo durante la calibración.



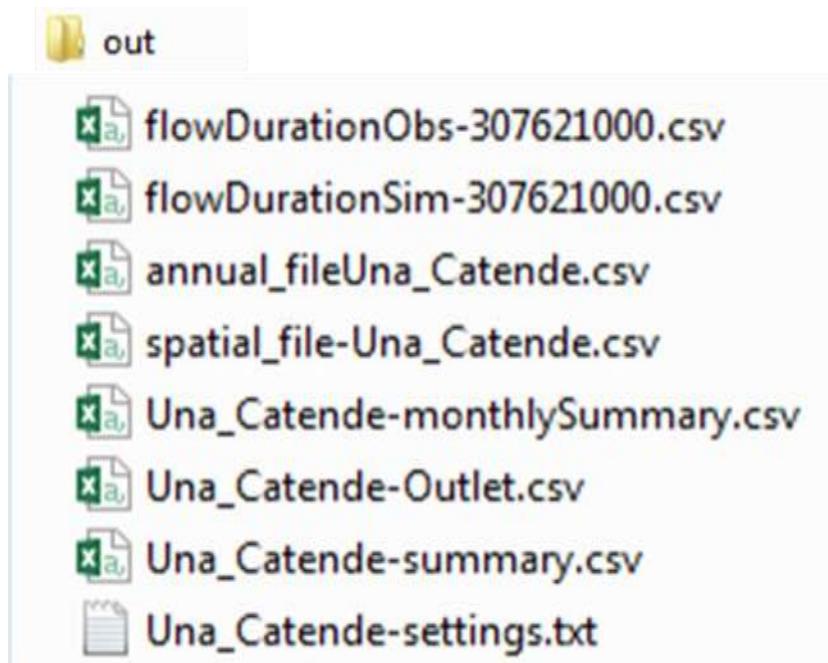
19. **Scatter Plot:** el patrón de los puntos revela cualquier correlación entre los caudales observados y modelados.



20. **Water Balance o Balance Hídrico:** Proporciona un resumen anual de todos los parámetros incluidos en el balance hídrico.

Run: Una_Catende - catchment: 307621000											
Water Balance											
Units:	Millions m³	Aggregate to:	Year								
<b>Surface Water Balance</b>											
Date Range	Precipitation	Evapotransp...	Runoff	Shallow GW ...	Total Flow	Δ Unsaturat...	Δ Saturated...	Net GW Con...	Recharge	Volume Balan...	
2001	2.33425E-4	1.81112E-4	8.93873E-6	2.76045E-5	3.65432E-1	5.18418E-3	3.95507E-3	0.0	3.9159E-6	1.64705E-8	
2002	2.81437E-4	2.08103E-4	8.0055E-6	5.53123E-5	6.33179E-1	8.55403E-3	7.90421E-3	0.0	7.8464E-6	3.01553E-9	
2003	1.95858E-4	1.90071E-4	4.24548E-6	1.21279E-5	1.63737E-1	5.36450E-3	1.7195E-3	0.0	1.72037E-6	-1.71022E-8	
2004	3.65197E-4	2.04851E-4	1.81113E-5	9.73628E-5	1.15678E0	9.07909E-3	1.39653E-2	0.0	1.384E-5	3.83656E-8	
2005	2.57089E-4	1.71948E-4	8.49168E-6	7.59888E-5	8.44805E-1	5.67106E-3	1.08454E-2	0.0	1.07796E-5	-1.40635E-8	

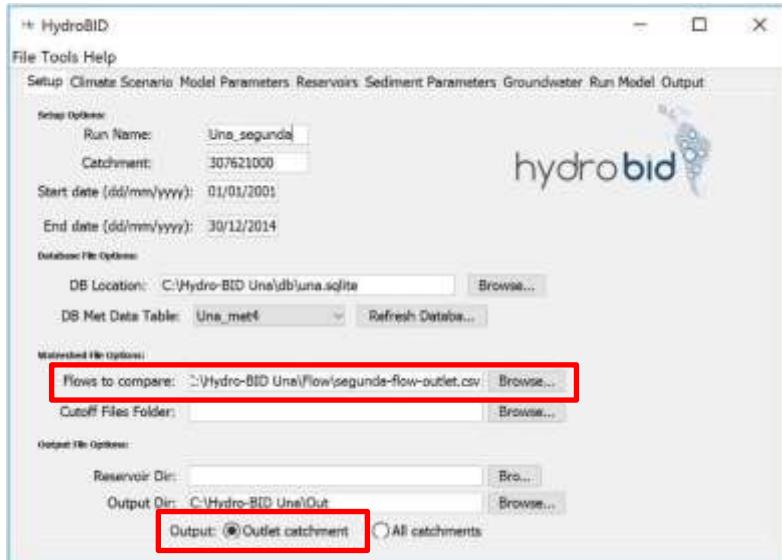
21. Cada ejecución o “**corrida**” del modelo, produce cuatro archivos con el nombre de la corrida (**Run Name**) proporcionado por el usuario en la ventana de configuración (**Setup**). Los archivos se guardan en la carpeta “**out**”. Adicionalmente produce archivos relativos a las curvas de duración.



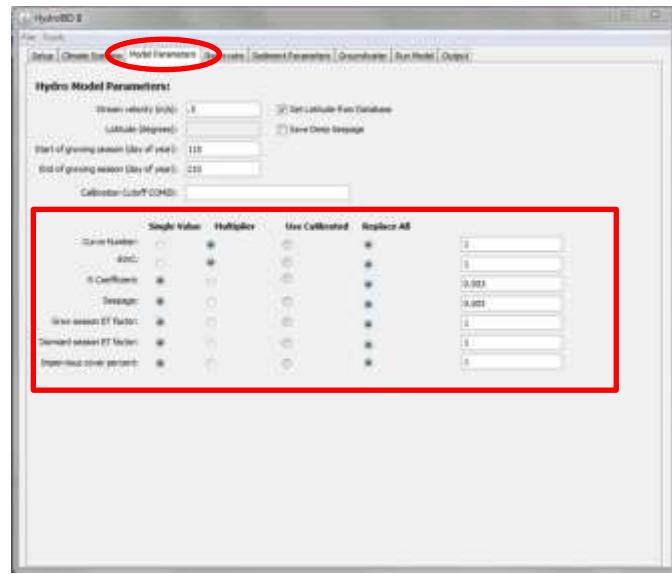
- **MonthlySummary**: Series de tiempo mensuales de precipitación, temperatura, caudales simulados y observados.
- **Outlet**: Series de tiempo simuladas de variables de salida por cuenca.
- **Summary**: Número total de cuencas, área de drenaje, tiempo de computación, y COMID de la cuenca de salida.
- **Settings**: Todos los parámetros de entrada y configuración del modelo.

## 8. Calibración del Modelo

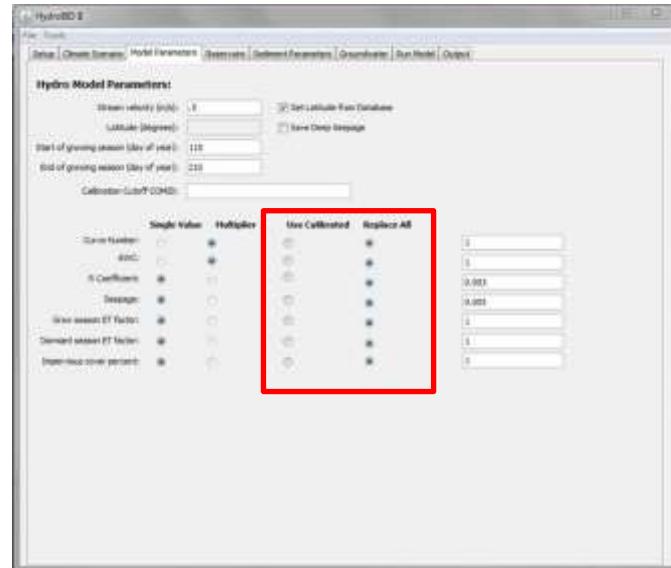
1. La base de datos de Hydro-BID se encuentra parametrizada y pre-calibrada utilizando valores provenientes de bases de datos regionales, por esta razón el proceso de calibración y validación es necesario para garantizar que el modelo represente lo más correctamente posible a la realidad.
2. Durante la calibración se utilizan los valores de caudales medidos que se encuentran en los archivos de flujo localizados en la carpeta “**Flow**” para compararlos a los caudales simulados por Hydro-BID.
3. En primer lugar, asegúrate que la opción “**Outlet Catchment**” este activada en la ventana principal. Una vez finalizado el proceso se puede activar la opción “**All Catchment**” si se quiere información detallada en cada sub-cuenca del sistema analizado. Asegúrate también que en la opción “**Flows to Compare**” se encuentre cargado el archivo correspondiente a la estación de medición de flujos que se desea calibrar.



4. Para calibrar debes hacer clic en la pestaña “**Model Parameters**” en la ventana principal de Hydro-BID y en la parte inferior encontraras todos los parámetros de calibración.



5. Para calibrar un parámetro determinado debes activar la opción “**Replace All**”, una vez calibrado el parámetro deberás activar la opción “**Use Calibrated**” para fijar el valor e impedir que se siga modificando.



6. Los parámetros a calibrar son los siguientes:

- **Numero de Curva:** Parámetro usado para caracterizar el tipo de uso de suelo y representar la hidrología en el suelo. Un numero de curva es asignado a cada sub-Cuenca en la base de datos.
- **Contenido Disponible de Agua (AWC):** AWC estima el monto de agua que se puede almacenar en el suelo para ser usado por las plantas, afectando la infiltración hacia las aguas subterráneas. Un valor es asignado para cada sub-Cuenca en la base de datos.
- **Coeficiente de Recesión (R):** El coeficiente R caracteriza como agua subterránea cerca de la superficie contribuye a los caudales en los ríos después de un evento de grandes caudales.
- **Perdidas (Seepage):** es el intercambio entre agua subterráneas cerca de la superficie y las más profundas.

7. Para verificar las simulaciones de calibración puedes utilizar las variables de error, la gráfica de las series temporales y la curva de duración de flujo.
8. Las siguientes son las variables utilizadas para la determinación estadística de los errores en las simulaciones de Hydro-BID:

- **Overall Volume Error:** indica la media del porcentaje de error entre los valores simulados y los valores observados. Valor óptimo cercano al % de error máximo permitido.
- **Correlation, (r):** analiza las desviaciones estándar de las series de tiempo de flujos observadas y simuladas. Valor óptimo cercano a 1.
- **Modified Correlation Coefficient ( $r_{mod}$ ):** analiza las desviaciones estándar de las series de tiempo de flujos observadas y simuladas, aplicando un factor que relaciona los valores mínimos y los máximos. Valor óptimo cercano a 1.
- **Nash-Sutcliffe Efficiency Index ( $R^2$ ):** analiza la magnitud de la relación entre las varianzas de los flujos simulados y las varianzas de los flujos observados. Valor óptimo cercano a 1.

**Nota:** para entender más sobre los parámetros de calibración y las estadísticas presentadas para las simulaciones con Hydro-BID te invitamos a leer la nota técnica: “**Hydro-BID: Un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos**”, que puedes descargar en este [link](#).

9. El caso de estudio predeterminado ya se encuentra calibrado, si deseas practicar el proceso de calibración debes seguir los siguientes pasos:

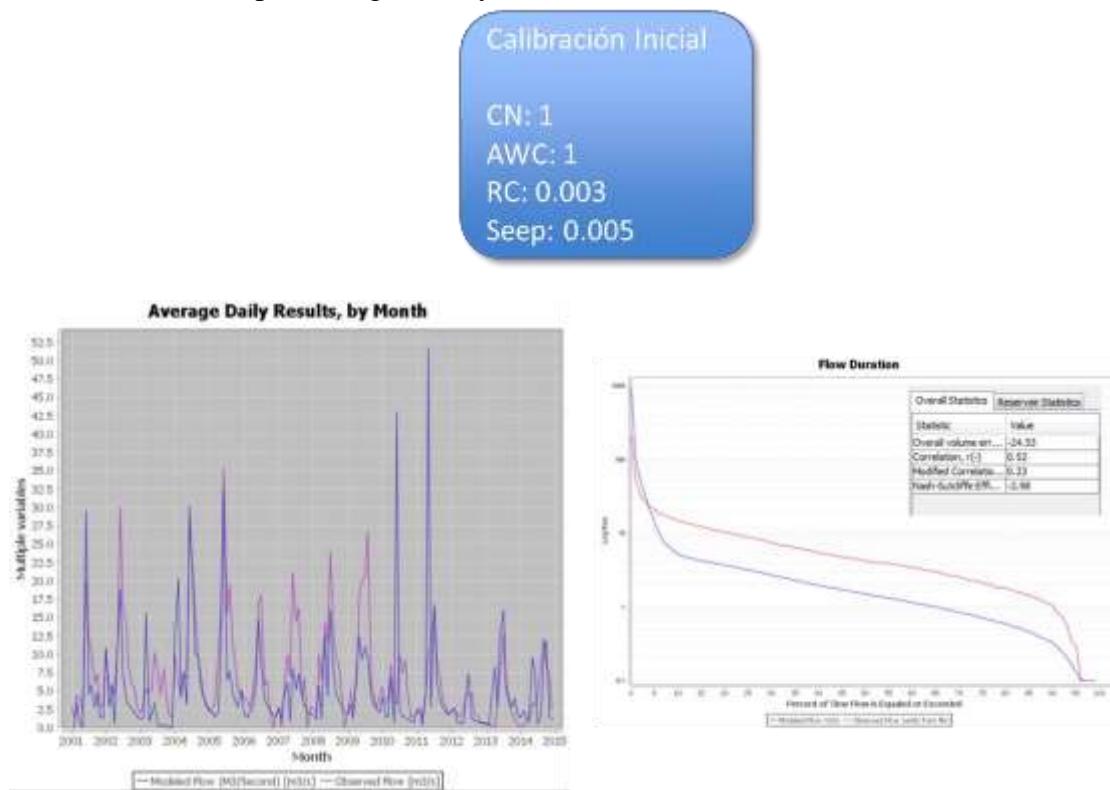
- La corrida inicial corresponde a la subcuenca identificada por la hidrométrica “**CATENDE**” identificada con el **COMID “307621000”** y es la que se utiliza a continuación para ilustrar la influencia de cada parámetro en el proceso de calibración.
- Para practicar el proceso de calibración debe utilizarse la cuenca identificada con la hidrométrica “**SEGUNDA**”, caracterizada con el **COMID “307586800”**. Esta es la cuenca más aguas abajo de la cuenca del río UNA y es la que, una vez calibrada, permite la obtención de los balances hídricos para toda la cuenca.



10. En los siguientes puntos se ilustra la relevancia de cada uno de los parámetros utilizados en el proceso de calibración de la cuenca identificada con el **COMID “307621000”** que es la que hemos estado utilizando a lo largo de este tutorial.

**Nota:** No existe un orden específico para calibrar cada parámetro, esto dependerá de cada simulación a calibrar dependiendo de la primera comparación entre valores observados y simulados.

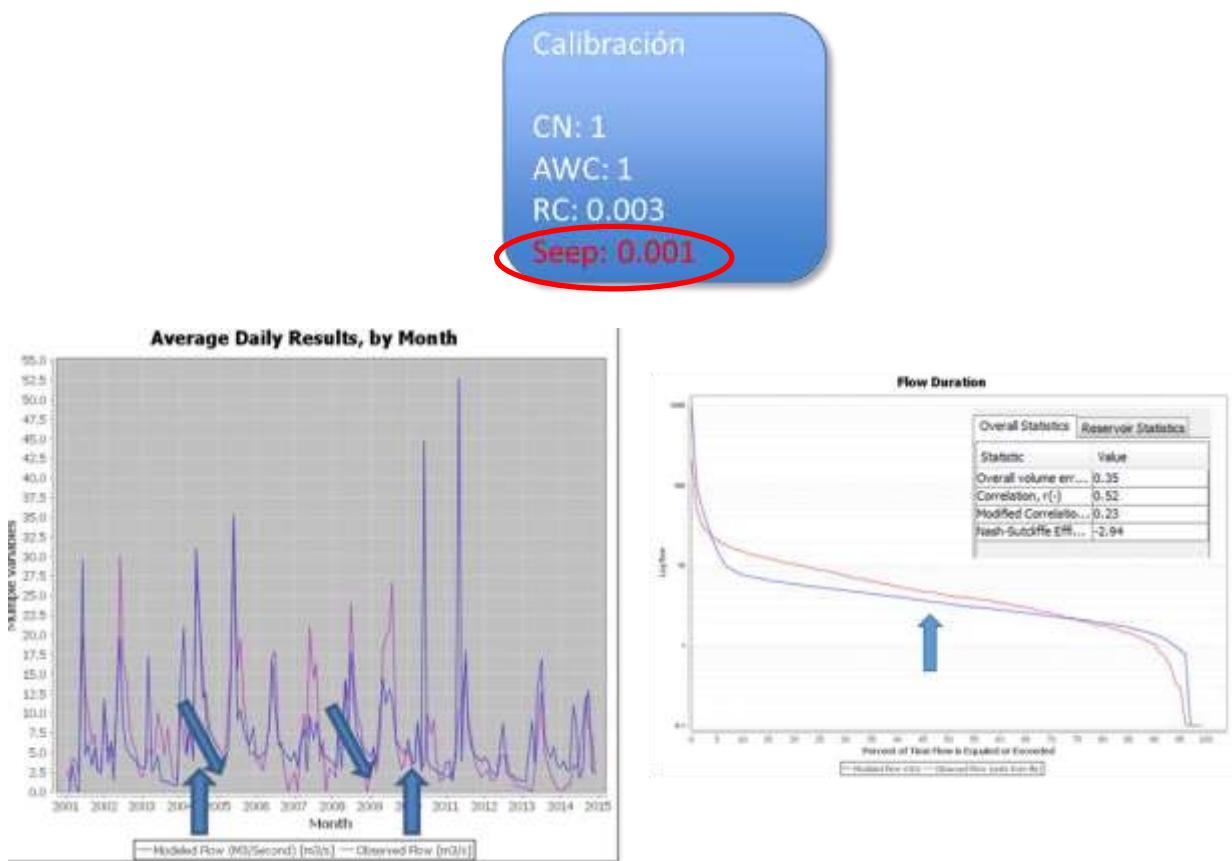
- La siguiente figura muestra la parametrización inicial de la simulación con sus respectivas gráficas y errores finales de simulación:



- En la gráfica de duración de flujo de esta simulación inicial se observa como el volumen simulado es menor al volumen observado, adicionalmente se puede observar la discordancia en los picos de caudal en la gráfica de hidrograma medio mensual.

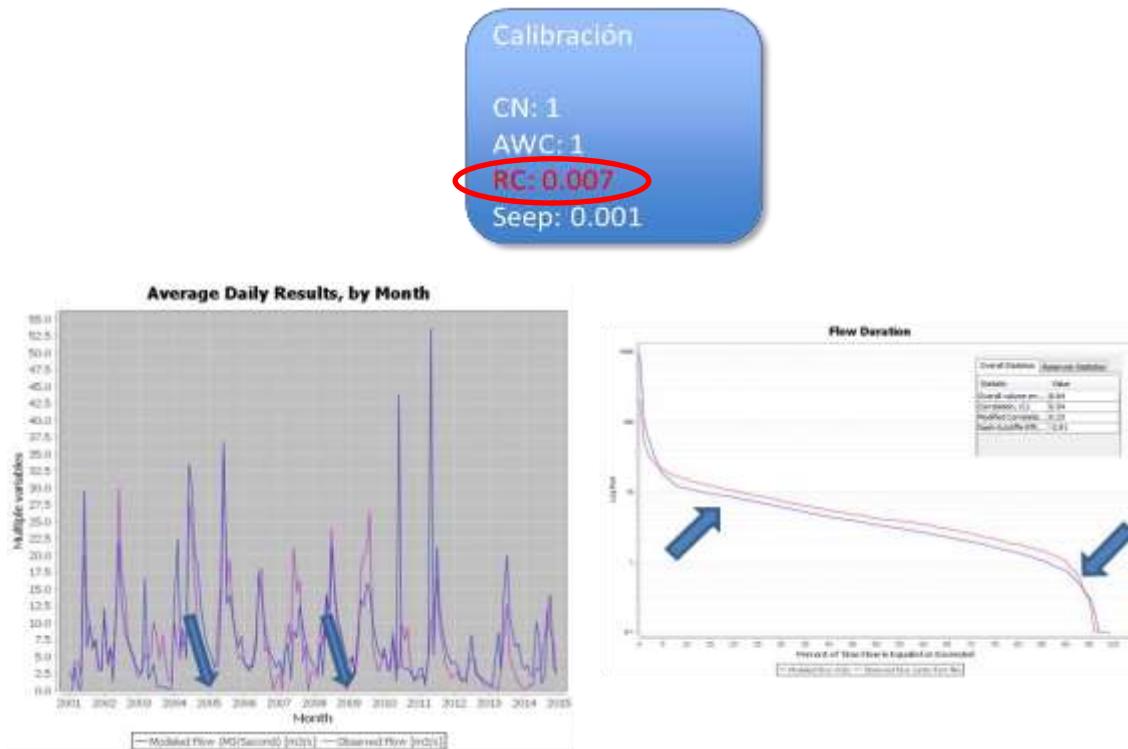
En este caso en particular el primer problema a resolver fue el del volumen total por lo que como primer paso se redujo el parámetro “**SEEPAGE (SEEP)**” para de esta manera disminuir la infiltración y aumentar la escorrentía.

- El nuevo valor de “**SEEPAGE**” se redujo de 0.005 a **0.001**.



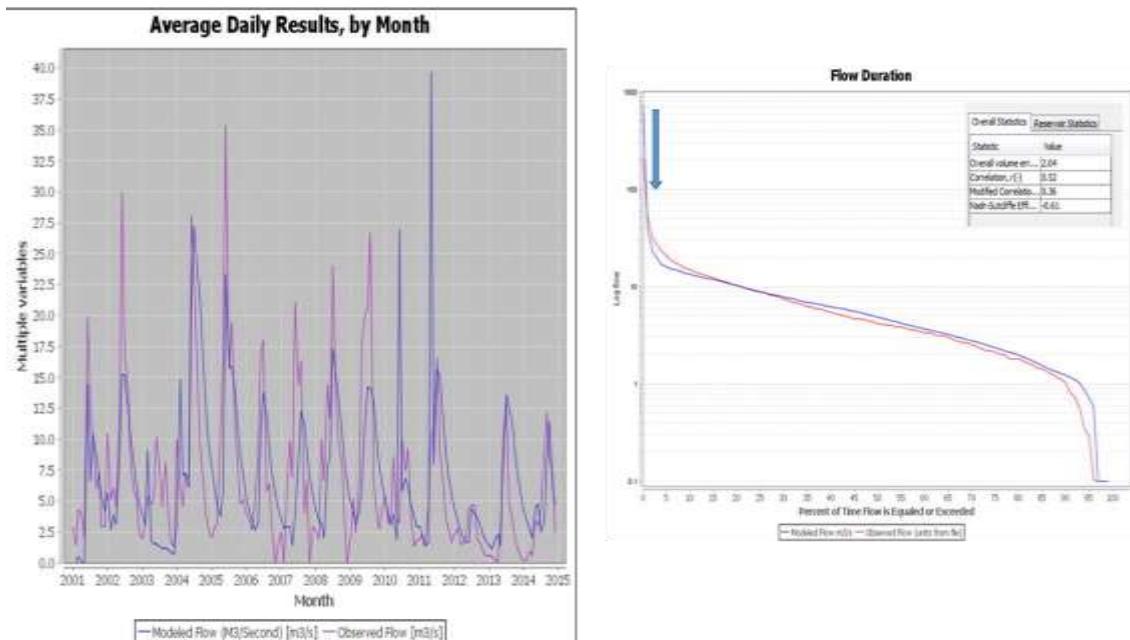
- Si bien esta variación mejoró considerablemente la diferencia en volumen, se observa que la simulación sobreestimaba los valores de caudales más bajos y subestimaba los de rango más elevados.

Por esta razón, el segundo paso fue el de aumentar el parámetro de “**Coeficiente de recesión (RC)**” de 0.003 a **0.007**, para de esta manera forzar a que los caudales más altos tengan una mayor repetitividad y del mismo modo se reduzcan los caudales menores. El efecto también puede notarse en la longitud de los picos en la gráfica de hidrogramas mensuales.

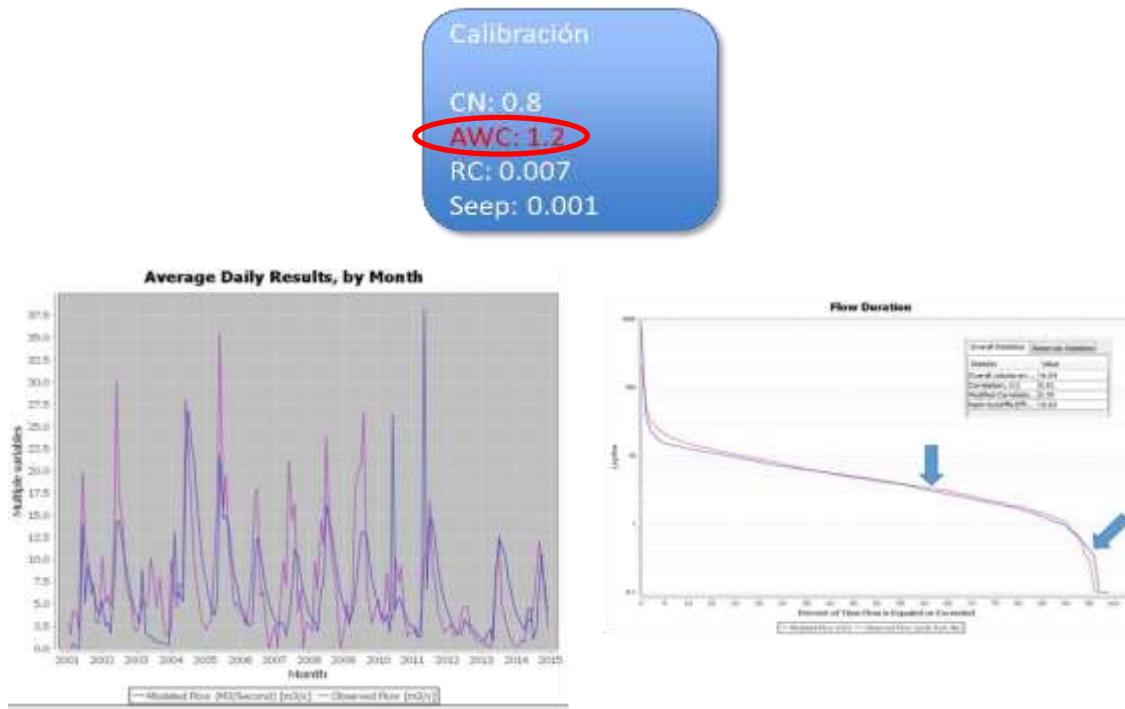


- Una vez ajustada la pendiente de la curva de duración de flujo fue necesario terminar de ajustar en primer lugar los picos sobreestimados que se observan tanto en la curva de los hidrogramas mensuales como en la curva de duración de flujo.

Esto se lleva a cabo reduciendo los “**Números de curva (CN)**”, lo cual reduce la escorrentía y la sensibilidad a los eventos de precipitación, en este caso se redujo un 20%, lo que representa un valor de **0.8** al incluirlo en la interfaz.



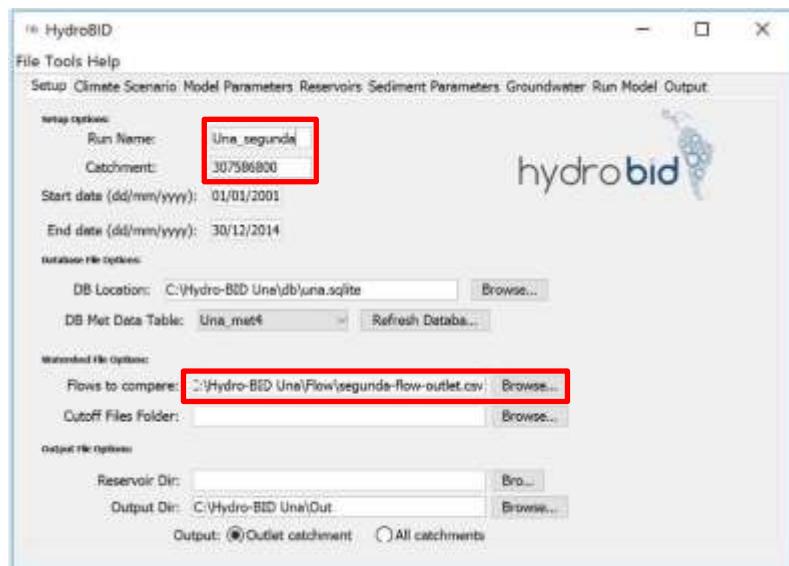
Finalmente se utilizó el “**Contenido disponible de agua (AWC)**” para terminar de ajustar las pequeñas diferencias en los extremos. En este caso se aumentó el parámetro AWC en un 20%, lo que sería un valor de **1.2** para reducir un poco los caudales más grandes.



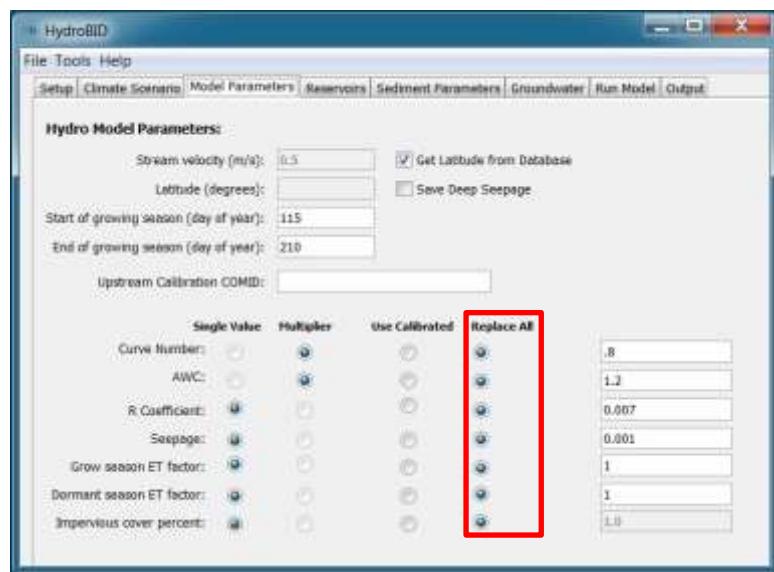
**Nota:** A partir de este momento, modificando **AWC** y **Rc** se puede terminar de dar la exactitud deseada a la calibración, esto dependerá de cada especialista, la calidad de los datos existentes y la sensibilidad preestablecida para el estudio (porcentaje máximo de error permitido).

11. Como se indicó anteriormente, el procedimiento anterior se encuentra ya implementado en el caso de estudio que acompaña este manual de modo que a continuación, se presenta el procedimiento que permite llevar a cabo el ejercicio de calibración de la cuenca identificada con el **COMID “307586800”** y que representa el cierre de la cuenca total del río UNA:

- En “**Run Name**” cambia el nombre a **Una\_Segunda**, en y en “**COMID**” coloca el identificador de la cuenca SEGUNDA “**307586800**”.
- En “**Flows to Compare**” utiliza “**Browse**” para cargar el archivo correspondiente a esta estación, el cual puedes encontrar en la carpeta “**FLOW**”.
- Las fechas “**Start date**” y “**End date**” deben mantenerse iguales ya que la simulación pertenece al mismo período de simulación.



- En la ventana de “**Model Parameters**” coloca el COMID de la cuenca **CATENDE** “**307621000**” en la etiqueta “**Upstream Calibration COMID**” esto impedirá que el modelo vuelva a modificar los parámetros ya calibrados para esta subcuenca.
- Activa la opción “**Replace All**” en los parámetros que quieras calibrar.



- Ahora puedes correr Hydro-BID y comenzar a calibrar el modelo completo de la cuenca del Río Una.
- Una vez finalizado el proceso, no es necesario volver a repetir la calibración a menos que en las cuencas de estudio se produzca una alteración considerable en uso de suelo, o que se planifique la construcción de una obra de infraestructura considerable (embalse, canal artificial, trasvase, etc.).

## 9. Simulación de Escenarios de Cambio Climático.

Hydro-BID incluye una herramienta para la implementación de simulaciones para el análisis de escenarios de cambio climático, esta herramienta permite incluir variaciones de precipitación y temperatura de manera anual o mensual.

A continuación, veremos cómo simular un escenario de cambio climático para la cuenca del río Una.

1. Para obtener el escenario de cambio climático se empleará información proveniente de Climate Wizard ([www.climatewizard.org](http://www.climatewizard.org)) una plataforma implementada por The Natural Conservancy (TNC) para acceder a información de modelos de circulación global.



2. Hydro-BID necesita el incremento de temperatura (Celsius) y el cambio de precipitación (%).

**Nota:** si se quiere utilizar la opción de “**Precipitation Adjustment**” recordar que Climate Wizard ofrece resultados en **pulgadas** y deben ser llevadas a **cm**.

3. Para obtener los valores asumiremos las siguientes hipótesis:
  - a. En la casilla de “**Analysis Area**” seleccionar “Global”.
  - b. En la casilla de “**Emission Scenario**” seleccionar “**Medium A1B**” y en la casilla de “**General Circulation Model**” seleccionar “**Ensemble Average**”



- c. En la casilla de “**Time Period**” seleccionar “**Mid Century (2050s)**”



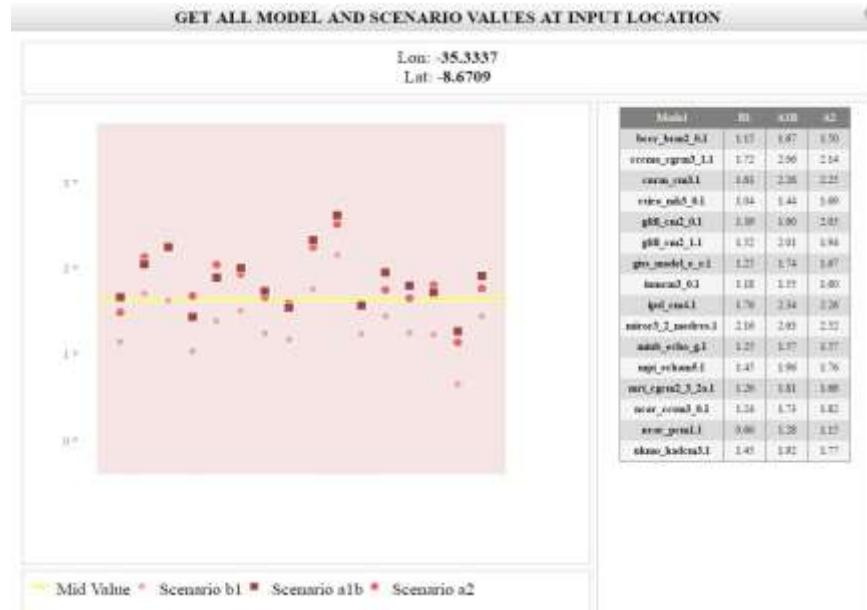
- d. Hacer un “zoom in” al estado de Pernambuco en Brasil, y utilizar como referencia el punto que identifica a la población de “**Catende**” (*Lat: -8.67°, Lon: -35.69°*) que se ubica al sur oeste de la ciudad de Recife



- e. Para encontrar el valor de la temperatura en primer lugar seleccionar “**Map of Change**” en la casilla de “**Map Options**” luego seleccionar “**Average Temperature**” en la casilla de “**Measurement**” y posteriormente hacer clic en “**Get Values**” y hacer clic sobre la zona seleccionada.



- f. En la ventana emergente seleccionar el valor que se encuentre sobre el “**Mid Value**” en este caso podría indicar un incremento en **1.6 Celsius**



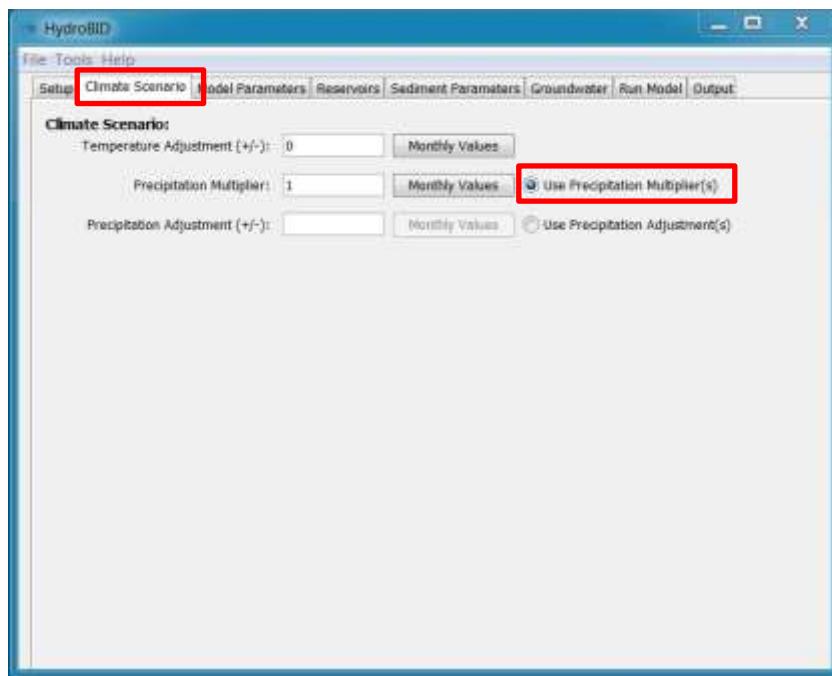
- g. Para encontrar el valor de la precipitación en primer lugar seleccionar “**Map of Change**” en la casilla de “**Map Options**” luego seleccionar “**Precipitation**” en la casilla “**Measurement**” y posteriormente hacer clic en “**Get Values**” y hacer clic sobre la zona seleccionada.



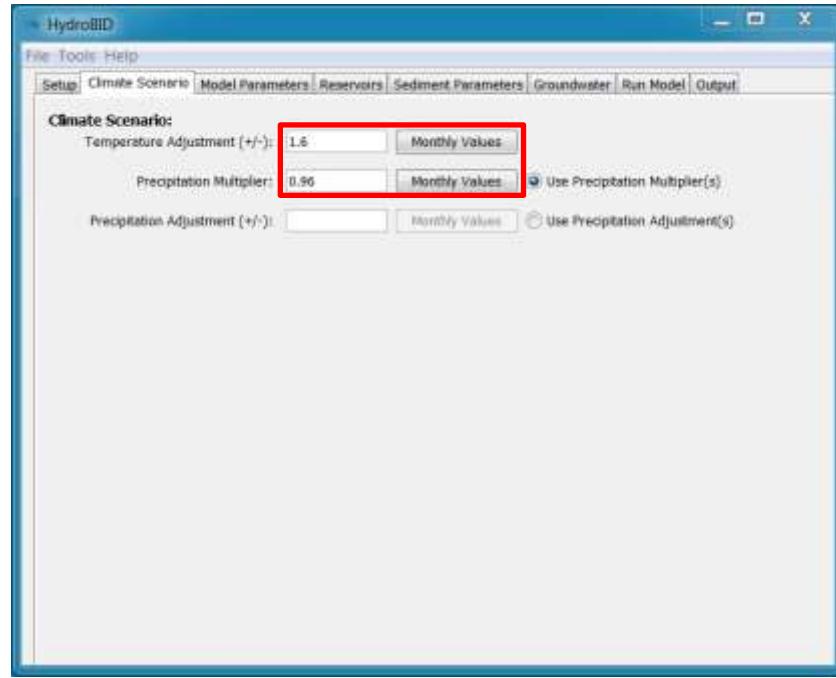
- h. En la ventana emergente seleccionar el valor que se encuentre sobre el “**Mid Value**” en este caso podría indicar una reducción de un **4%** en la precipitación



4. En la interfaz de Hydro-BID seleccionar “Climate Scenario”, en este caso solo realizaremos una simulación con valores totales de cambio. Verificar que la opción “Use Precipitation Multiplier” se encuentre activa.

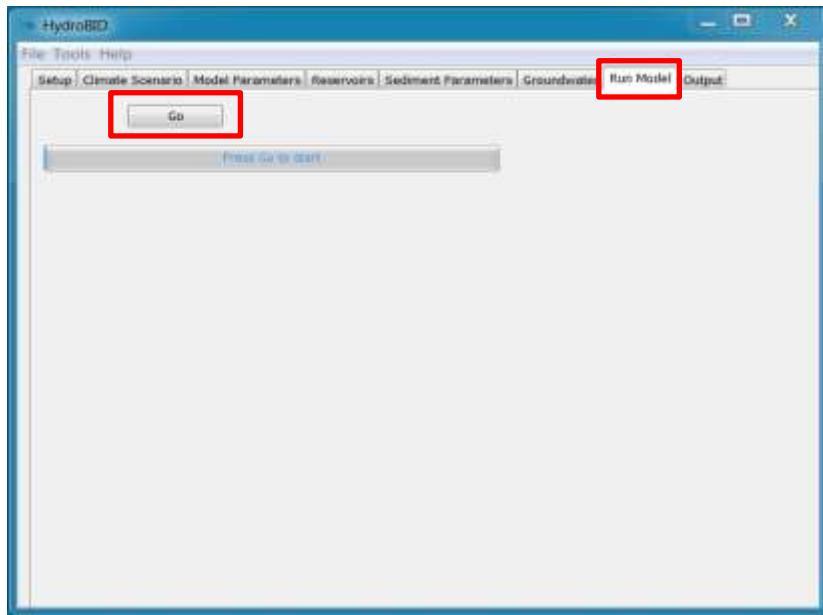


5. Ahora incluimos el valor de **1.6** en la casilla “**Temperature Adjustment**” e incluiremos **0.96** (representando una reducción de 4%) en la la casilla “**Precipitation Multiplier**”



**Nota:** el valor que incluimos en la casilla “**Precipitation multiplier**” es un multiplicador que refleja un aumento o disminución en la precipitación. Por ejemplo, si ponemos un valor de 1, significa que no habrá ninguna variación en la precipitación. En cambio, si sabemos que la precipitación aumentara en un 20%, tendríamos que poner un valor 1.2.

6. Finalmente se puede proceder a la ventana “Run Model” para correr la simulación y poder verificar los cambios en volumen disponible debido al escenario de cambio climático seleccionado



7. Es importante entender que Hydro-BID simulará la misma serie temporal que se encuentra en la simulación original pero los resultados representarán en este caso la misma serie temporal, pero partiendo desde 2050 como primer año y modificada con los cambios implementados. En este caso el valor de caudales observados con los que se construye la curva de duración de caudales ayudará a tener una buena imagen del posible cambio de comportamiento de la cuenca debido a los efectos del cambio climático



2017