



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



EJEMPLO DE SIMULACIÓN CON GEOAQUATOOL.

Ejercicio 5 USO DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE OBJETIVOS AMBIENTALES. CAUDECO

Equipo [Aquatool](#).

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos

[IIAMA](#)

[UPV](#)

septiembre de 2025

Autores:

Abel Solera Solera

Javier Paredes Arquiola

Joaquin Andreu Álvarez

Rafael Bergillos

Andrea Momblanch Benavent

**GRUPO DE INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS
INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Contenido

1. Introducción.....	1
2. Ejercicio propuesto.....	2
3. Activación del módulo CaudEco.....	7
3.1. Series temporales de hábitat y curvas de duración de hábitat.....	7
3.2. Fundamentos de CaudEco	9
4. Definición de datos para el cálculo con CaudEco.	12
4.1. Especies.....	12
4.2. Etapas de desarrollo por especies y bioperiodos.....	12
4.3. Masas de agua.	13
4.4. Curvas caudal - hábitat potencial.	14
5. Simulación e interpretación de resultados.....	16
5.1. Criterios para el cálculo de garantías.....	18
5.2. Indicador para etapas de desarrollo.	19
5.3. Series de hábitat por especie en masa de agua.	20
5.4. Series de hábitat agregadas por masa de agua.	21
6. Análisis del cumplimiento de objetivos ambientales.	22
6.1. Edición de datos de caudales mínimos para AqtSim.....	23
6.2. Simulación de un escenario y copia de resultados.	24
6.3. Comparación de resultados entre simulaciones.....	25
6.3.1. Comparación de series temporales de hábitat.	25
6.3.2. Comparación de curvas de duración de hábitat.....	25
6.3.3. Comparación de indicadores de garantía de hábitat.....	26
6.3.4. Comparación de garantía en el suministro a las demandas consuntivas.....	27
7. Análisis de resultados.....	29

1. Introducción.

El establecimiento del régimen de caudales ecológicos en los distintos tramos de un río en un sistema de recursos hídricos es una tarea compleja, ya que debe garantizar la existencia de un hábitat adecuado para albergar a la fauna acuática sin perjudicar en exceso a los usos económicos del agua. Existen numerosas metodologías para determinar estos regímenes de caudales, de las cuales en España se aplican las metodologías estadísticas complementadas con métodos de simulación de hábitat, tal como indica la legislación (IPH, 2008). En los métodos de simulación de hábitat el indicador de la mejora del estado ecológico en los tramos de río es el aumento del hábitat potencial útil (HPU) de las especies piscícolas presentes.

Las series temporales de hábitat (STH) representan la variación temporal del HPU disponible en un tramo de río para los individuos de cierta especie piscícola en una determinada etapa del desarrollo vital. La determinación de las STH requiere las series de caudales circulantes por los tramos de estudio y las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal. Mediante el módulo CaudEco se combinan estos datos y se generan las series totales de hábitat. Para una mejor interpretación de la información que ofrecen las STH es habitual emplear índices o simplificaciones de estas curvas. Uno de los más utilizados son las Curvas de Duración de Hábitat (CDH), que son curvas de probabilidad de superación de hábitat que indican el porcentaje de tiempo en el que se supera un determinado valor del HPU en el periodo de estudio.

En este ejercicio se va a implementar un modelo de simulación de hábitat y se van a analizar los resultados de distintas simulaciones para mostrar las posibilidades que ofrece el módulo CaudEco.

2. Ejercicio propuesto.

Con este ejercicio se probará el uso del módulo CaudEco para la evaluación del cumplimiento de objetivos ambientales en la gestión de un sistema de recursos hídricos.

Como caso de trabajo para el ejemplo se continuará con el sistema descrito en el ejercicio primero. La Figura 1 muestra un esquema gráfico de la misma elaborado con GEOAQUATOOL según se describe en el documento referido. En el mismo documento se detallan también todos los datos de la cuenca necesarios para la confección del modelo.

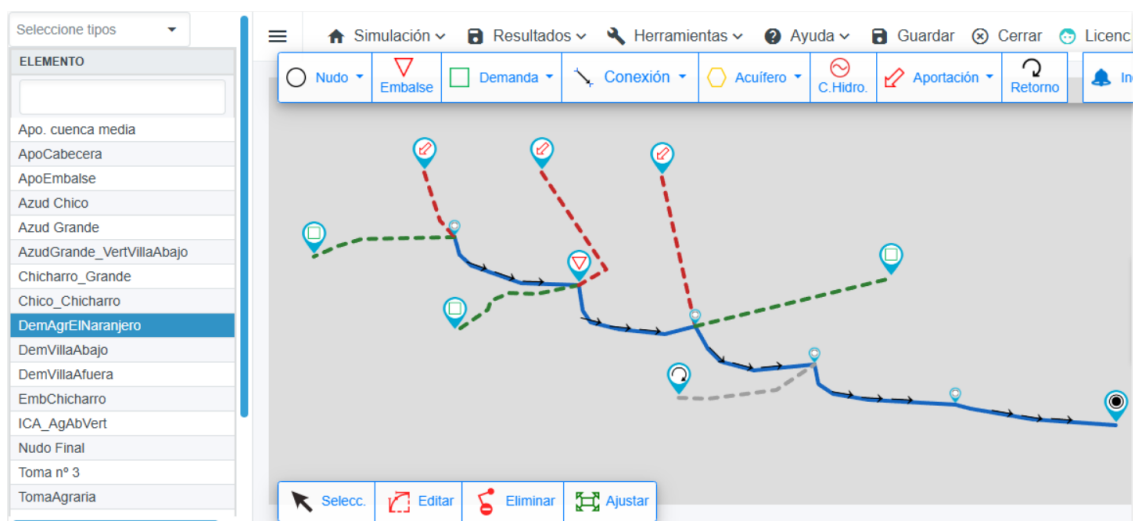


Figura 1: Modelo de simulación de la cuenca de estudio.

El objetivo del ejercicio consiste en fijar los caudales ecológicos en dos tramos de río "Chicharro_Grande" y "AzudGrande_VertVillaAbajo". En estos tramos se considera las siguientes especies objetivo con las características que se muestran en la tabla:

Tramo de río	Especie	Estadio	Bioperiodo	Curva Q-HPU
Chicharro_Grande	Trucha	Adulto	Unidad	TruchaAdulto
	Barbo	Juvenil	Biop_1	BarboJuvenil
	Barbo	Adulto	Unidad	BarboAdulto
AzudGrande_VertVillaAbajo	Trucha	Juvenil	Biop_1	TruchaJuvenil
	Trucha	Freza	Biop_2	TruchaFreza
	Bordallo	Alevín	Biop_2	BordalloAlevin

Tabla 1. Datos de las especies estadio a considerar en cada tramo de estudio.

Otro de los datos que incluye la metodología son los "bioperiodos". Se trata de series mensuales que representan la presencia temporal de las especies-estadio en la zona a lo largo del año.

Las series utilizadas en este ejercicio son las siguientes:

Bioperíodo	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.
Unidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Biop_1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Biop_2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Tabla 2. Series de bioperiodos de las especies estadio consideradas.

Finalmente, el dato clave para realizar la simulación de hábitat son las curvas Q-HPU. Estas curvas reflejan el grado de aprovechamiento del cauce que pueden realizar las especie-estadio presentes en cada tramo de río para su desarrollo vital. Las curvas Q-HPU se obtienen a partir de las curvas de idoneidad o preferencias, que a su vez se obtienen por conteo de peces en el río evaluando la profundidad, la velocidad y el sustrato. Las curvas Q-HPU consideradas en el problema son las siguientes:

Chicharro Grande						AzudGrande VerVillAbajo					
Barbo/Adulto			Barbo/Juvenil			Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevin	
Q	HPU		Q	HPU		Q	HPU	Q	HPU	Q	HPU
m³/s	m²/m	m³/s	m³/s	m²/m	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.01	0.7	0.02	0.7	0.02	30.61	0.53	39.47	0.72	256.16	0.39	361.4
0.02	1.04	0.04	1.04	0.04	42.38	1.07	198.84	1.43	630.39	0.79	776.1
0.03	1.39	0.07	1.39	0.07	56.37	1.6	491.96	2.15	751.56	1.18	1515.0
0.05	1.6	0.09	1.6	0.09	72.07	2.13	752.74	2.86	705.34	1.58	2423.4
0.06	1.81	0.11	1.81	0.11	87.63	2.66	863.39	3.58	600.51	1.97	3157.0
0.07	2.02	0.13	2.02	0.13	102.68	3.2	811.95	4.29	580.51	2.37	3554.6
0.08	2.23	0.15	2.23	0.15	117.2	3.73	724.39	5.01	514	2.76	3768.0
0.09	2.51	0.17	2.51	0.17	130.8	4.26	613.32	5.72	460.74	3.16	3891.9
0.1	2.72	0.2	2.72	0.2	143.35	4.8	503.93	6.44	444.12	3.55	3895.8
0.12	2.92	0.22	2.92	0.22	155.13	5.33	418.47	7.15	445.52	3.95	3899.8
0.13	3.2	0.24	3.2	0.24	166.25	5.86	364.09	7.87	442.71	4.34	3934.3
0.14	3.48	0.26	3.48	0.26	176.58	6.4	332.59	8.58	444.96	4.74	3950.8
0.15	3.9	0.28	3.9	0.28	186.13	6.93	311.59	9.3	443.83	5.13	3975.1
0.16	4.25	0.3	4.25	0.3	194.76	7.46	296.9	10.01	441.86	5.53	4025.2
0.17	4.73	0.33	4.73	0.33	202.61	7.99	288.92	10.73	441.86	5.92	4064.1
0.19	5.22	0.35	5.22	0.35	209.93	8.53	282.62	11.44	444.12	6.32	4079.6
0.2	5.78	0.37	5.78	0.37	216.6	9.06	275.06	12.16	445.81	6.71	4090.2
0.21	6.34	0.39	6.34	0.39	222.75	9.59	270.65	12.87	446.93	7.11	4105.6
0.22	6.96	0.41	6.96	0.41	228.24	10.13	267.71	13.59	448.34	7.5	4117.1
0.23	7.66	0.43	7.66	0.43	233.34	10.66	264.98	14.3	450.03	7.9	4126.1
0.24	8.29	0.46	8.29	0.46	238.05	11.19	264.14	15.02	452.57	8.29	4137.2
0.25	8.91	0.48	8.91	0.48	242.37	11.72	263.3	15.73	453.98	8.69	4146.5
0.27	9.61	0.5	9.61	0.5	246.42	12.26	262.88	16.45	455.11	9.08	4155.5
0.28	10.3	0.52	10.3	0.52	250.22	12.79	262.46	17.17	456.23	9.48	4163.9
0.29	11.07	0.54	11.07	0.54	254.01	13.32	262.04	17.88	457.36	9.87	4171.1
0.3	11.77	0.56	11.77	0.56	257.67	13.86	262.04	18.6	458.77	10.27	4175.8
0.31	12.53	0.59	12.53	0.59	261.21	14.39	261.83	19.31	459.9	10.66	4180.4
0.32	13.23	0.61	13.23	0.61	264.47	14.92	262.04	20.03	461.31	11.06	4185.0
0.34	14	0.63	14	0.63	267.48	15.45	262.25	20.74	462.43	11.45	4189.6
0.35	14.69	0.65	14.69	0.65	270.36	15.99	262.46	21.46	463.56	11.84	4194.8
0.36	15.39	0.67	15.39	0.67	272.98	16.52	262.88	22.17	464.69	12.24	4199.6
0.37	16.15	0.7	16.15	0.7	275.33	17.05	263.3	22.89	465.81	12.63	4203.8
0.38	16.92	0.72	16.92	0.72	277.55	17.59	263.51	23.6	466.94	13.03	4207.7
0.39	17.69	0.74	17.69	0.74	279.52	18.12	263.93	24.32	468.07	13.42	4211.2
0.4	18.45	0.76	18.45	0.76	281.22	18.65	264.35	25.03	468.91	13.82	4214.5
0.42	19.29	0.78	19.29	0.78	282.66	19.19	264.77	25.75	470.04	14.21	4218.4
0.43	20.19	0.8	20.19	0.8	283.83	19.72	265.19	26.46	471.17	14.61	4221.8
0.44	21.1	0.83	21.1	0.83	284.88	20.25	265.61	27.18	472.58	15	4225.1
0.45	22	0.85	22	0.85	285.8	20.78	266.03	27.89	473.7	15.4	4229.9
0.46	22.91	0.87	22.91	0.87	286.45	21.32	266.45	28.61	475.11	15.79	4237.4
0.47	23.81	0.89	23.81	0.89	286.97	21.85	266.66	29.32	476.8	16.19	4245.8
0.49	24.65	0.91	24.65	0.91	287.36	22.38	267.29	30.04	478.78	16.58	4255.4
0.5	25.41	0.93	25.41	0.93	287.63	22.92	267.71	30.75	480.19	16.98	4268.0
0.51	26.11	0.96	26.11	0.96	287.89	23.45	268.34	31.47	481.88	17.37	4283.1
0.52	26.81	0.98	26.81	0.98	288.15	23.98	268.97	32.19	483	17.77	4299.4
0.53	27.43	1	27.43	1	288.41	24.51	269.6	32.9	484.13	18.16	4315.9
0.54	28.06	1.02	28.06	1.02	288.54	25.05	270.02	33.62	485.26	18.56	4331.8
0.56	28.62	1.04	28.62	1.04	288.8	25.58	270.44	34.33	486.1	18.95	4346.6

Chicharro Grande					
Barbo/Adulto				Barbo/Juvenil	
Q	HPU	Q	HPU	Q	HPU
m³/s	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m
0.57	29.24	1.06	29.24	1.06	288.93
0.58	29.73	1.09	29.73	1.09	289.06
0.59	30.29	1.11	30.29	1.11	289.33
0.6	30.85	1.13	30.85	1.13	289.46
0.61	31.33	1.15	31.33	1.15	289.72
0.62	31.82	1.17	31.82	1.17	289.85
0.64	32.31	1.19	32.31	1.19	290.11
0.65	32.73	1.22	32.73	1.22	290.24
0.66	33.14	1.24	33.14	1.24	290.37
0.67	33.56	1.26	33.56	1.26	290.5
0.68	33.98	1.28	33.98	1.28	290.5
0.69	34.4	1.3	34.4	1.3	290.63
0.71	34.74	1.33	34.74	1.33	290.77
0.72	35.16	1.35	35.16	1.35	290.9
0.73	35.58	1.37	35.58	1.37	290.9
0.74	35.93	1.39	35.93	1.39	290.9
0.75	36.35	1.41	36.35	1.41	290.9
0.76	36.69	1.43	36.69	1.43	290.9
0.77	37.04	1.46	37.04	1.46	290.77
0.79	37.39	1.48	37.39	1.48	290.63
0.8	37.74	1.5	37.74	1.5	290.37
0.81	38.09	1.52	38.09	1.52	289.98
0.82	38.36	1.54	38.36	1.54	289.59
0.83	38.71	1.56	38.71	1.56	289.06
0.84	38.99	1.59	38.99	1.59	288.41
0.86	39.34	1.61	39.34	1.61	287.76
0.87	39.62	1.63	39.62	1.63	287.1
0.88	39.9	1.65	39.9	1.65	286.32
0.89	40.18	1.67	40.18	1.67	285.53
0.9	40.38	1.69	40.38	1.69	284.62
0.91	40.66	1.72	40.66	1.72	283.7
0.93	40.87	1.74	40.87	1.74	282.79
0.94	41.15	1.76	41.15	1.76	281.87
0.95	41.36	1.78	41.36	1.78	280.96
0.96	41.57	1.8	41.57	1.8	280.04
0.97	41.78	1.82	41.78	1.82	279.26
0.98	41.99	1.85	41.99	1.85	278.47
0.99	42.13	1.87	42.13	1.87	277.69
1.01	42.33	1.89	42.33	1.89	277.03
1.02	42.54	1.91	42.54	1.91	276.38
1.03	42.75	1.93	42.75	1.93	275.72
1.04	42.89	1.96	42.89	1.96	275.2
1.05	43.1	1.98	43.1	1.98	274.68
1.06	43.24	2	43.24	2	274.02
1.08	43.38	2.02	43.38	2.02	273.5
1.09	43.52	2.04	43.52	2.04	272.98
1.1	43.66	2.06	43.66	2.06	272.45
1.11	43.8	2.09	43.8	2.09	272.06
1.12	43.94	2.11	43.94	2.11	271.54
1.13	44.07	2.13	44.07	2.13	271.01
1.14	44.14	2.15	44.14	2.15	270.62
1.16	44.28	2.17	44.28	2.17	270.1
1.17	44.42	2.19	44.42	2.19	269.58
1.18	44.49	2.22	44.49	2.22	269.18
1.19	44.56	2.24	44.56	2.24	268.66
1.2	44.63	2.26	44.63	2.26	268.14
1.21	44.7	2.28	44.7	2.28	267.61
1.23	44.84	2.3	44.84	2.3	267.09
1.24	44.91	2.32	44.91	2.32	266.57
1.25	44.98	2.35	44.98	2.35	266.04
1.26	45.05	2.37	45.05	2.37	265.65
1.27	45.05	2.39	45.05	2.39	265.13
1.28	45.12	2.41	45.12	2.41	264.74
1.3	45.19	2.43	45.19	2.43	264.34
1.31	45.19	2.45	45.19	2.45	263.95
1.32	45.26	2.48	45.26	2.48	263.56
1.33	45.26	2.5	45.26	2.5	263.04
1.34	45.33	2.52	45.33	2.52	262.64
1.35	45.33	2.54	45.33	2.54	262.12
1.36	45.4	2.56	45.4	2.56	261.73
1.38	45.4	2.59	45.4	2.59	261.21
1.39	45.47	2.61	45.47	2.61	260.81
1.4	45.47	2.63	45.47	2.63	260.29
1.41	45.54	2.65	45.54	2.65	259.9
1.42	45.54	2.67	45.54	2.67	259.37
1.43	45.61	2.69	45.61	2.69	258.98
1.45	45.68	2.72	45.68	2.72	258.46
1.46	45.68	2.74	45.68	2.74	257.93
1.47	45.75	2.76	45.75	2.76	257.54
1.48	45.82	2.78	45.82	2.78	257.02
1.49	45.82	2.8	45.82	2.8	256.63
1.5	45.89	2.82	45.89	2.82	256.1
1.51	45.89	2.85	45.89	2.85	255.71
1.53	45.95	2.87	45.95	2.87	255.19
1.54	45.95	2.89	45.95	2.89	254.67
1.55	45.95	2.91	45.95	2.91	254.27
1.56	45.89	2.93	45.89	2.93	253.75
1.57	45.89	2.95	45.89	2.95	253.23
1.58	45.82	2.98	45.82	2.98	252.7
1.6	45.75	3	45.75	3	252.18
1.61	45.68	3.02	45.68	3.02	251.66
1.62	45.61	3.04	45.61	3.04	251.13
1.63	45.54	3.06	45.54	3.06	250.61
1.64	45.47	3.08	45.47	3.08	250.09

AzudGrande VerVillaAbajo					
Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevin	
Q		Q		Q	HPU
m³/s	HPU m²/m	m³/s	HPU m²/m	m³/s	m²/m
26.11	270.86	35.05	487.23	19.35	4360.0
26.65	271.28	35.76	488.08	19.74	4372.1
27.18	271.49	36.48	488.92	20.14	4382.8
27.71	271.7	37.19	489.77	20.53	4392.9
28.24	272.12	37.91	490.61	20.93	4402.7
28.78	272.33	38.62	491.46	21.32	4411.8
29.31	272.75	39.34	492.3	21.72	4420.0
29.84	272.96	40.05	493.15	22.11	4428.4
30.38	273.38	40.77	493.99	22.51	4437.4
30.91	273.8	41.48	495.12	22.9	4447.7
31.44	274.01	42.2	496.53	23.29	4459.1
31.98	274.43	42.91	498.22	23.69	4474.9
32.51	274.85	43.63	499.91	24.08	4491.4
33.04	275.06	44.34	502.17	24.48	4507.7
33.57	275.48	45.06	503.58	24.87	4526.4
34.11	275.9	45.77	504.14	25.27	4549.6
34.64	276.32	46.49	504.7	25.66	4573.5
35.17	276.74	47.2	505.55	26.06	4594.5
35.71	276.95	47.92	506.68	26.45	4612.1
36.24	277.37	48.64	507.52	26.85	4629.2
36.77	277.79	49.35	508.65	27.24	4644.9
37.3	278.21	50.07	509.49	27.64	4660.4
37.84	278.42	50.78	510.62	28.03	4675.6
38.37	278.84	51.5	511.75	28.43	4691.0
38.9	279.26	52.21	512.59	28.82	4707.5
39.44	279.68	52.93	513.72	29.22	4724.8
39.97	279.89	53.64	514.85	29.61	4742.3
40.5	280.31	54.36	515.97	30.01	4759.4
41.03	280.73	55.07	517.1	30.4	4777.0
41.57	280.94	55.79	518.23	30.8	4794.6
42.1	281.36	56.5	519.07	31.19	4813.0
42.63	281.78	57.22	520.2	31.59	4831.6
43.17	281.99	57.93	521.05	31.98	4850.3
43.7	282.41	58.65	521.89	32.38	4868.8
44.23	282.62	59.36	523.02	32.77	4886.8
44.77	283.04	60.08	523.86	33.17	4904.7
45.3	283.25	60.79	524.71	33.56	4922.6
45.83	283.67	61.51	525.56	33.96	4940.1
46.36	283.88	62.22	526.4	34.35	4957.3
46.9	284.3	62.94	527.25	34.74	4974.9
47.43	284.51	63.66	528.09	35.14	4992.3
47.96	284.72	64.37	529.22	35.53	5009.6
48.5	285.14	65.09	530.06	35.93	5026.4
49.03	285.35	65.8	530.91	36.32	5042.9
49.56	285.56	66.52	531.76	36.72	5059.2
50.09	285.98	67.23	532.6	37.11	5075.7
50.63	286.19	67.95	533.45	37.51	5092.2
51.16	286.4	68.66	534.29	37.9	5109.0
51.69	286.61	69.38	535.14	38.3	5126.1
52.23	287.03	70.09	535.98	38.69	5143.2
52.76	287.24	70.81	536.55	39.09	5160.2
53.29	287.45	71.52	537.39	39.48	5176.7
53.82	287.66	72.24	537.95	39.88	5192.8
54.36	287.87	72.95	538.8	40.27	5208.6
54.89	288.29	73.67	539.36	40.67	5224.6
55.42	288.5	74.38	540.21	41.06	5240.9
55.96	288.71	75.1	541.05	41.46	5256.9
56.49	288.92	75.81	541.62	41.85	5273.0
57.02	289.13	76.53	542.18	42.25	5289.1
57.56	289.34	77.24	543.03	42.64	5305.3
58.09	289.55	77.96	543.59	43.04	5321.5
58.62	289.76	78.67	544.15	43.43	5337.5
59.15	289.97	79.39	544.72	43.83	5353.4
59.69	290.18	80.11	545.28	44.22	5369.6
60.22	290.39	80.82	546.13	44.62	5385.9
60.75	290.6	81.54	546.69	45.01	5402.1
61.29	290.81	82.25	547.25	45.41	5418.1
61.82	291.02	82.97	547.82	45.8	5434.0
62.35	291.23	83.68	548.38	46.19	5450.0
62.88	291.44	84.4	548.95	46.59	5465.9
63.42	291.65	85.11	549.51	46.98	5481.1
63.95	291.86	85.83	550.07	47.38	5496.2
64.48	292.07	86.54	550.64	47.77	5511.3
65.02	292.28	87.26	551.2	48.17	5526.5
65.55	292.49	87.97	551.76	48.56	5541.9
66.08	292.7	88.69	552.33	48.96	5557.5
66.61	292.91	89.4	552.89	49.35	5573.2
67.15	293.12	90.12	553.45	49.75	5588.7
67.68	293.33	90.83	554.02	50.14	5604.3
68.21	293.54	91.55	554.3	50.54	5619.7
68.75	293.75	92.26	554.86	50.93	5635.3
69.28	293.75	92.98	555.43	51.33	5650.8
69.81	293.96	93.69	555.71	51.72	5666.7
70.35	294.17	94.41	556.27	52.12	5682.4
70.88	294.38	95.13	556.84	52.51	5698.1
71.41	294.59	95.84	557.12	52.91	5713.7
71.94	294.8	96.56	557.68	53.3	5729.2
72.48	295.01	97.27	557.96	53.7	5744.6
73.01	295.01	97.99	558.53	54.09	5760.3
73.54	295.22	98.7	558.81	54.49	5775.9
74.08	295.43	99.42	559.37	54.88	5791.6
74.61	295.64	100.13	559.65	55.28	5807.3
75.14	295.85	100.85	560.22	55.67	5822.9
75.67	295.85	101.56	560.5	56.07	5838.6

Chicharro Grande						AzudGrande VerVilllaAbajo					
Barbo/Adulto				Barbo/Juvenil		Trucha/Juvenil		Trucha/Freza		Bordallo/Alevin	
Q	HPU	Q	HPU	Q	HPU	Q	HPU	Q	HPU	Q	HPU
m³/s	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m	m³/s	m²/m
1.65	45.4	3.11	45.4	3.11	249.56	76.21	296.06	102.28	561.06	56.46	5854.3
1.67	45.26	3.13	45.26	3.13	249.04	76.74	296.27	102.99	561.34	56.86	5870.2
1.68	45.12	3.15	45.12	3.15	248.52	77.27	296.48	103.71	561.91	57.25	5886.0
1.69	45.05	3.17	45.05	3.17	248.13	77.81	296.48	104.42	562.19	57.65	5902.2
1.7	44.91	3.19	44.91	3.19	247.6	78.34	296.69	105.14	562.47	58.04	5918.2
1.71	44.77	3.22	44.77	3.22	247.08	78.87	296.9	105.85	563.04	58.43	5934.4
1.72	44.63	3.24	44.63	3.24	246.56	79.4	297.11	106.57	563.32	58.83	5950.7
1.73	44.49	3.26	44.49	3.26	246.03	79.94	297.11	107.28	563.88	59.22	5967.1
1.75	44.35	3.28	44.35	3.28	245.51	80.47	297.32	108	564.16	59.62	5983.6
1.76	44.14	3.3	44.14	3.3	244.99	81	297.53	108.71	564.44	60.01	5999.7
1.77	44	3.32	44	3.32	244.46	81.54	297.74	109.43	564.73	60.41	6015.9
1.78	43.87	3.35	43.87	3.35	244.07	82.07	297.74	110.14	565.29	60.8	6032.1
1.79	43.73	3.37	43.73	3.37	243.55	82.6	297.95	110.86	565.57	61.2	6048.1
1.8	43.52	3.39	43.52	3.39	243.02	83.14	298.16	111.58	565.85	61.59	6064.3
1.82	43.38	3.41	43.38	3.41	242.63	83.67	298.37	112.29	566.42	61.99	6080.3
1.83	43.24	3.43	43.24	3.43	242.11	84.2	298.37	113.01	566.7	62.38	6096.5
1.84	43.03	3.45	43.03	3.45	241.72	84.73	298.58	113.72	566.98	62.78	6112.5
1.85	42.89	3.48	42.89	3.48	241.19	85.27	298.79	114.44	567.26	63.17	6128.7
1.86	42.75	3.5	42.75	3.5	240.8	85.8	298.79	115.15	567.83	63.57	6144.7
1.87	42.54	3.52	42.54	3.52	240.41	86.33	299	115.87	568.11	63.96	6160.9
1.88	42.4	3.54	42.4	3.54	239.88	86.87	299.21	116.58	568.39	64.36	6176.9
1.9	42.33	3.56	42.33	3.56	239.49	87.4	299.21	117.3	568.67	64.75	6193.1
1.91	42.19	3.58	42.19	3.58	239.1	87.93	299.42	118.01	569.23	65.15	6209.1
1.92	42.06	3.61	42.06	3.61	238.71	88.46	299.63	118.73	569.52	65.54	6225.2
1.93	41.92	3.63	41.92	3.63	238.31	89	299.63	119.44	569.8	65.94	6241.3
1.94	41.85	3.65	41.85	3.65	237.92	89.53	299.84	120.16	570.36	66.33	6257.5
1.95	41.78	3.67	41.78	3.67	237.53	90.06	300.05	120.87	570.64	66.73	6273.8
1.97	41.64	3.69	41.64	3.69	237.14	90.6	300.05	121.59	570.93	67.12	6290.3
1.98	41.57	3.71	41.57	3.71	236.75	91.13	300.26	122.3	571.21	67.52	6306.7
1.99	41.5	3.74	41.5	3.74	236.22	91.66	300.26	123.02	571.77	67.91	6323.3
2	41.43	3.76	41.43	3.76	235.83	92.19	300.47	123.73	572.05	68.31	6340.0
2.01	41.36	3.78	41.36	3.78	235.44	92.73	300.68	124.45	572.33	68.7	6356.3
2.02	41.36	3.8	41.36	3.8	235.05	93.26	300.68	125.16	572.62	69.1	6372.8
2.04	41.29	3.82	41.29	3.82	234.65	93.79	300.89	125.88	572.9	69.49	6389.3
2.05	41.29	3.85	41.29	3.85	234.26	94.33	300.89	126.6	573.18	69.88	6405.5
2.06	41.22	3.87	41.22	3.87	233.87	94.86	301.1	127.31	573.46	70.28	6421.5
2.07	41.22	3.89	41.22	3.89	233.48	95.39	301.31	128.03	573.74	70.67	6437.5
2.08	41.15	3.91	41.15	3.91	233.08	95.93	301.31	128.74	574.03	71.07	6453.5
2.09	41.08	3.93	41.08	3.93	232.69	96.46	301.52	129.46	574.59	71.46	6469.5
2.1	41.08	3.95	41.08	3.95	232.3	96.99	301.52	130.17	574.87	71.86	6485.4
2.12	41.01	3.98	41.01	3.98	231.91	97.52	301.73	130.89	575.15	72.25	6501.4
2.13	40.94	4	40.94	4	231.51	98.06	301.94	131.6	575.43	72.65	6517.3
2.14	40.87	4.02	40.87	4.02	231.12	98.59	301.94	132.32	575.72	73.04	6533.2
2.15	40.8	4.04	40.8	4.04	230.73	99.12	302.15	133.03	576	73.44	6549.2
2.16	40.8	4.06	40.8	4.06	230.34						
2.17	40.73	4.08	40.73	4.08	229.94						
2.19	40.66	4.11	40.66	4.11	229.55						
2.2	40.59	4.13	40.59	4.13	229.16						
2.21	40.59	4.15	40.59	4.15	228.9						
2.22	40.52	4.17	40.52	4.17	228.51						
2.23	40.45	4.19	40.45	4.19	228.11						
2.24	40.38	4.21	40.38	4.21	227.72						
2.26	40.38	4.24	40.38	4.24	227.33						
2.27	40.31	4.26	40.31	4.26	226.94						
2.28	40.25	4.28	40.25	4.28	226.54						
2.29	40.18	4.3	40.18	4.3	226.15						
2.3	40.11	4.32	40.11	4.32	225.76						
2.31	40.11	4.34	40.11	4.34	225.37						

Tabla 3. Curvas Q-HPU de las especies-estadio consideradas en los tramos de estudio.

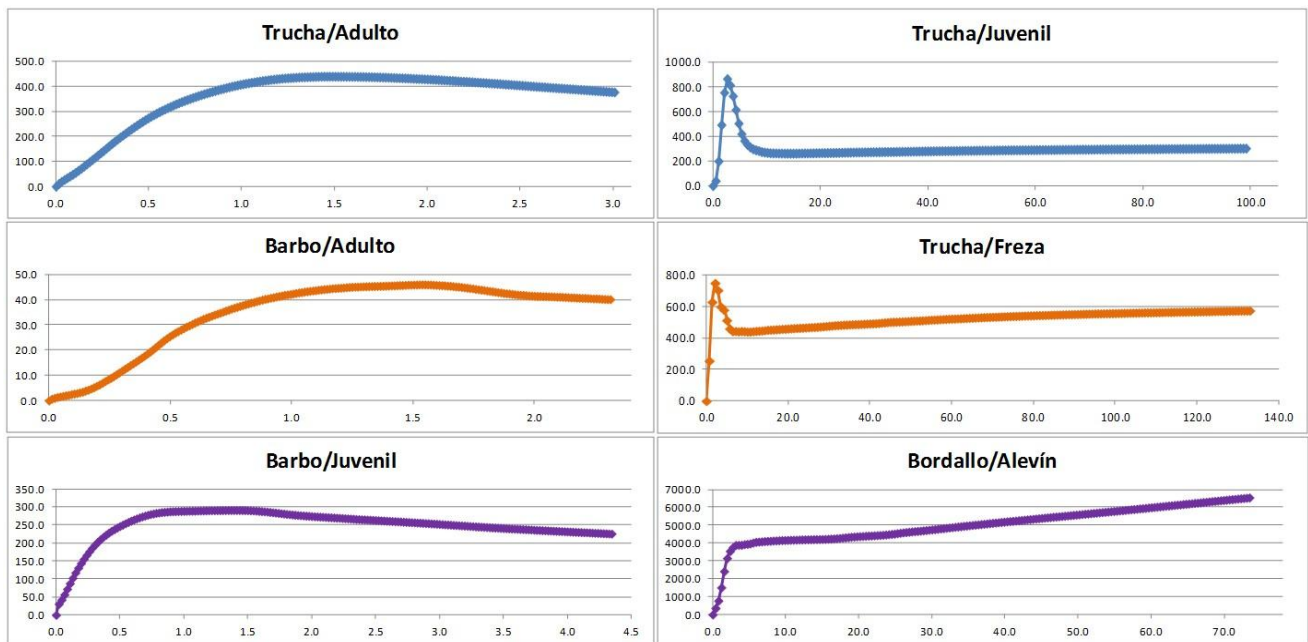


Figura 2. Gráficas de las curvas Q-HPU de las especies-estadio consideradas en los tramos de estudio.

El objetivo de este ejercicio es evaluar la influencia del caudal mínimo "ecológico" en dos tramos de río sobre los valores ambientales aportados, medidos según los indicadores de hábitat descritos.

3. Activación del módulo CaudEco.

Para este ejercicio se parte del modelo ya desarrollado en GeoAquaTool para AqtSim. Mediante la opción de [Simulación] → [Configuración] se activa el módulo de cálculo [Hábitat] (Figura 3). En esta ficha se establecerá previamente la escala temporal de cálculo en paso diario (ya que el módulo CAUDECO solo está disponible en pasos de tiempo semanal o inferior). Desde esta pantalla se puede acceder a la configuración de datos para el módulo CAUDECO mediante el botón [Modelo CAUDECO].

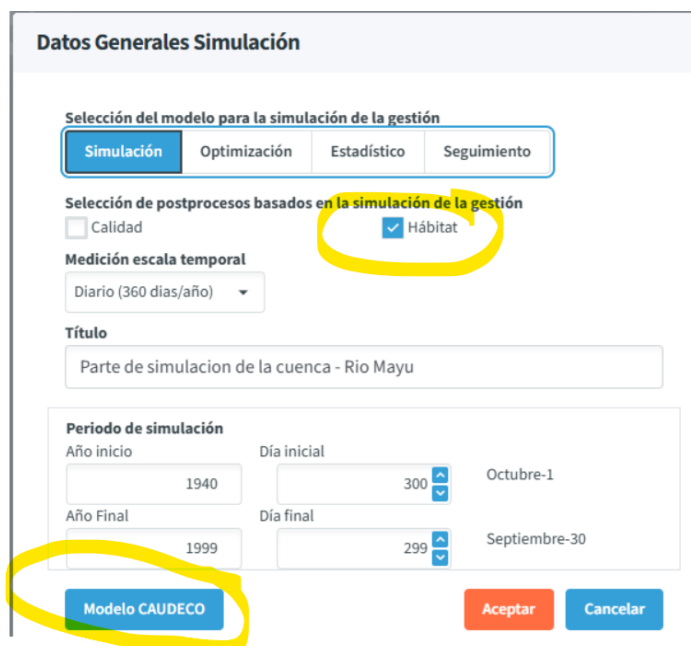


Figura 3: Pantalla de datos generales para la simulación y activación de la simulación con CaudEco.

3.1. Series temporales de hábitat y curvas de duración de hábitat.

La aplicación CaudEco tiene como objetivo ayudar en los estudios de planificación y gestión de cuencas hidrográficas, en particular, cuando se tratan problemas de concertación de caudales ecológicos en sistemas de recursos hídricos complejos.

El producto final de los estudios de hábitat son las curvas de Hábitat Potencial Útil (HPU) como las mostradas en la Tabla 3, que asocian los caudales circulantes con valores de hábitat potencial útil para los individuos de una especie determinada, generalmente piscícola, en una etapa de desarrollo vital concreta (juvenil, adulto, etc.) y en una determinada masa de agua. En sistemas de recursos hídricos complejos es habitual estudiar diferentes especies en varios puntos de la cuenca con lo que finalmente se

disponen de múltiples curvas Q-HPU en múltiples puntos. Una vez que se dispone de esta información, la técnica más sencilla es fijar los caudales en los distintos puntos de la cuenca analizando las curvas para las especies y etapas más sensibles, estableciendo un caudal que permita un hábitat mínimo para esa especie-etapa. Otras metodologías basan la elección de los caudales ecológicos en el análisis de las series de HPU a partir de los caudales que pueden circular en las masas de agua. La aplicación CaudEco se basa en esta última tendencia.

El programa permite la estimación de las Series Temporales de Hábitat (STH) y de las Curvas de Duración de Hábitat (CDH) para diferentes etapas vitales de diversas especies en varias masas de agua, conocidos los caudales circulantes por las mismas. Las STH indican la variación del hábitat disponible para cada especie y estadio en una masa de agua a lo largo del tiempo (ver Figura 4). Las CDH representan el porcentaje de tiempo en el que se supera un determinado valor del HPU en el periodo estudiado (ver Figura 5) Además permite realizar distintas agregaciones de los resultados para facilitar el análisis global del sistema.

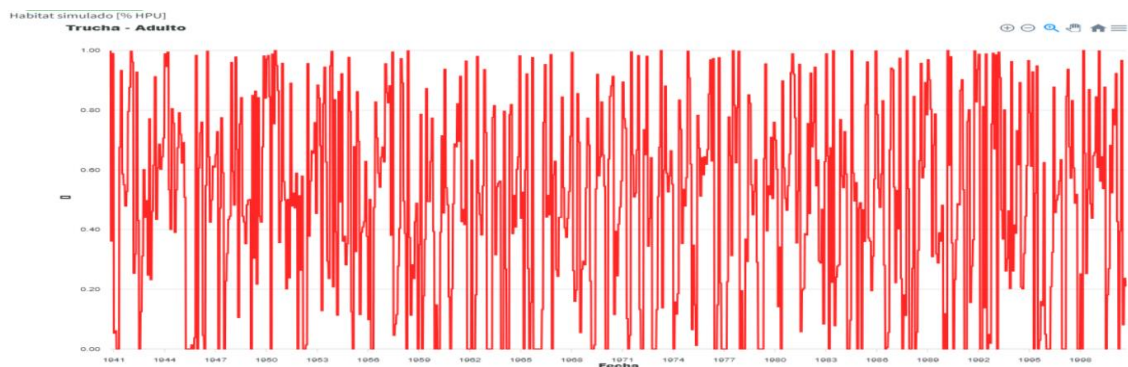


Figura 4: Serie Temporal de Hábitat obtenida con CaudEco en GeoAquaTool.

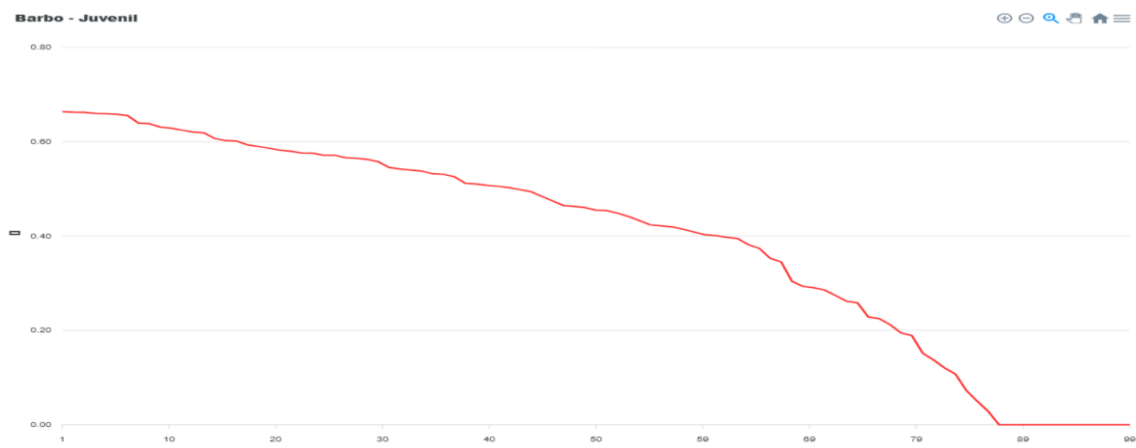


Figura 5: Curva de Duración de Hábitat obtenida con CaudEco en GeoAquaTool.

Con el estudio conjunto de la gestión llevada a cabo en los sistemas de recursos hídricos y de las curvas STH y CDH resultantes, se puede analizar un mejor modo de gestionar el sistema para mantener el equilibrio entre la disponibilidad de hábitat para las especies acuáticas y la satisfacción de las demandas humanas.

3.2. Fundamentos de CaudEco

Las STH se obtienen mediante la estimación del HPU de cada uno de los caudales que han circulado por la masa de agua multiplicada por la longitud del tramo:

$$STH(i) = SPU(Q(i)) * BIOP(i) * Long * \sum_{j=1}^m i_j(c_j(i))$$

donde: $STH(i)$ es el valor que toma la serie temporal de hábitat en el momento temporal i ; $SPU(Q(i))$ es el valor de la curva de Hábitat Potencial Útil para el caudal circulante $Q(i)$ en el momento temporal i ; $BIOP(i)$ es una función que define si esa especie-etapa está presente en el momento temporal i ; $Long$ es la longitud de la masa de agua en la que se está trabajando; i_j es la capacidad de esa especie-etapa para soportar un contaminante j cuya concentración en el momento temporal i es $c_j(i)$.

Para el cálculo de las STH la aplicación sigue los siguientes pasos:

- Lee los archivos de datos, entre los que se encuentran: el archivo de coeficientes, el archivo de datos y el archivo de caudales de las masas de agua de la simulación dada.
- Seguidamente, realiza las siguientes acciones para cada curva Q-HPU definida y para todos los meses de la simulación:
 - a. Se localiza la masa de agua a la que corresponde esa curva HPU y su serie de caudales.
 - b. Se localizan la especie y la etapa definidas en la curva y se lee el bioperiodo.
 - c. En caso de que el bioperiodo muestre un valor diferente a cero se calcula el valor del Hábitat Potencial Útil. Para ello se entra en la curva Q-HPU con el valor del caudal correspondiente a ese momento temporal y se obtiene el valor del HPU. Este valor se multiplica por el coeficiente

del bioperiodo (generalmente 1) y por la longitud de la masa de agua. En caso de que el valor del bioperiodo para ese momento temporal sea cero, el valor asignado será el valor definido en el archivo de coeficientes para momentos en que la etapa no actúa ("Valor si No hay datos").

- d. En caso de que se pidan los resultados en porcentaje, se estima el valor de HPU correspondiente al 100%¹ y se determina la serie temporal de hábitat en porcentaje respecto a ese valor.

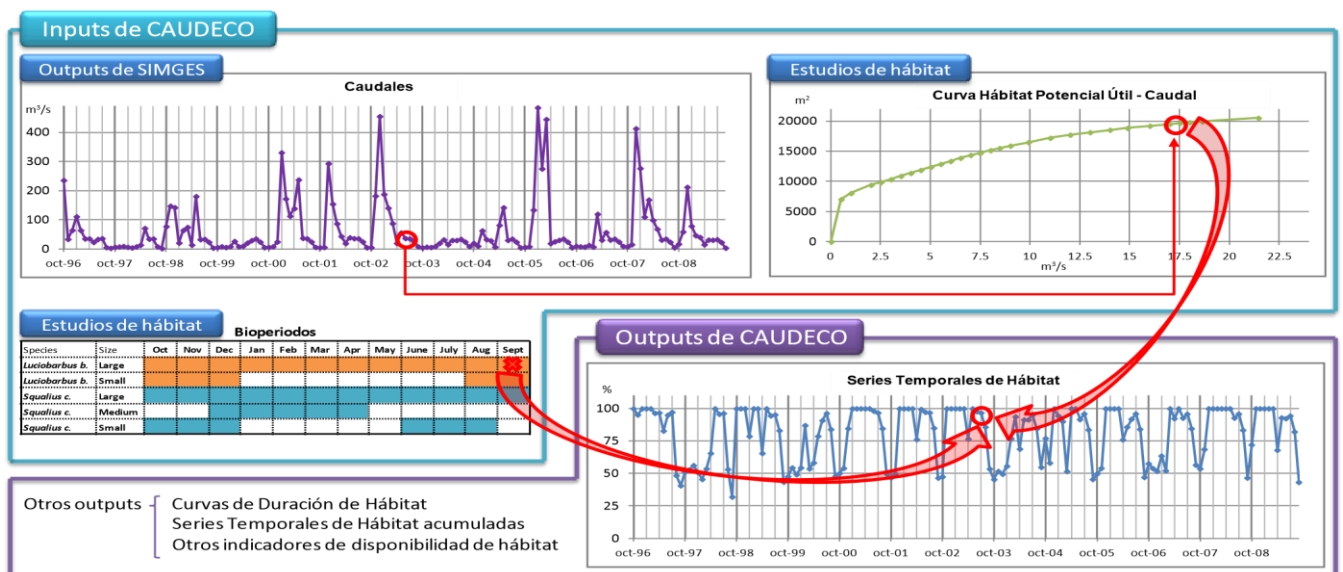


Figura 6: Esquema de cálculo de las Series Temporales de Hábitat.

En resumen, para cada una de las curvas HPU (cada curva está asociada a una masa de agua, una especie y una etapa) se estima su STH. Partiendo de la serie de caudales de la masa de agua para cada caudal se entra en la curva

¹ Para la selección del máximo de HPU, la Instrucción de la Planificación Hidrológica (MARM, 2008) propone los siguientes criterios:

- En aquellos tramos en los que las especies presentan un máximo en su curva, se asume ese máximo, siempre contrastándolo con los datos hidrológicos, de tal manera que se encuentre dentro de un rango lógico de caudales ecológicos, que puedan ser asumidos por el tramo.
- En los casos en que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, el valor máximo se asume como el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el percentil 10%-25% de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.

Como complemento a los análisis anteriores se deben estudiar también los puntos de cambio de pendiente de las curvas.

HPU y se obtiene el hábitat potencial útil que proporcionaría la masa de agua para los individuos de la especie-etapa en ese mes (o período temporal).

Partiendo de las series STH se obtienen las CDH que proporcionan información sobre los valores de hábitat potencial útil igualados o superados durante un determinado porcentaje de tiempo respecto del periodo total de simulación. Esta curva se obtiene para cada una de las curvas STH calculadas. Los intervalos de superación para los que se estima la curva (eje de abscisas) pueden ser especificados por el usuario como se verá más adelante.

4. Definición de datos para el cálculo con CaudEco.

Los datos presentados anteriormente (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3) han de ser introducidos al programa mediante el [Modelo CAUDECO] referido arriba.

Este módulo requiere la entrada de datos para la descripción de las curvas de hábitat potencial referidas y los elementos sobre los que se calculan. Estos son los siguientes:

1. Especies
2. Bioperiodos
3. Etapas
4. Masas de agua
5. Curvas de hábitat

A continuación se describe los datos requeridos en cada caso.

4.1. Especies.

Se trata de la definición de las especies piscícolas con las que se va a calcular. Estas se definen mediante un nombre identificador (Figura 7). También se requiere un parámetro "peso" para la ponderación con otras especies en la misma masa de agua. Y la selección de un método de comparación para la obtención de indicadores por especie basados en los cálculos de hábitat para cada una de sus etapas de desarrollo (estos datos se aclararán en el apartado sobre resultados).

Datos Generales Simulación CAUDECO

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos CAUDECO

[Especies](#)
[bioperiodos](#)
[Etapas](#)
[Masas de agua](#)
[curvas HPU](#)

ID	Nombre de la especie	Peso ponderación en Masa de agua	Tipo ponderación indicador por especie
1	Trucha	2	Priorizado
2	Barbo	1	Ponderado
3	Bordallo	1	Ponderado

Figura 7: Definición de especies para cálculo con CaudEco en GeoAquaTool.

4.2. Etapas de desarrollo por especies y bioperiodos.

Para cada especie piscícola definida se ha de definir al menos una etapa de desarrollo (Figura 8). Estas necesitan también un nombre descriptor, la vinculación a la especie a que corresponde y también la asignación de un bioperiodo, el cual necesita ser definido previamente en la solapa

correspondiente (Figura 9). Los bioperiodos se definen por meses con un parámetro [0 / 1] mensual que indica si la etapa correspondiente se debe tener en cuenta (1) o no (0) durante ese mes.

Datos Generales Simulación CAUDECO

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos CAUDECO

Especies bioperiodos Etapas Masas de agua curvas HPU

ID	Especie	Nombre de la etapa	Bioperiodo	Peso ponderación
1	Trucha	Adulto	Unidad	3
2	Trucha	Juvenil	Biop_1	2
3	Barbo	Juvenil	Biop_1	1
4	Trucha	Freza	Biop_2	1
5	Barbo	Adulto	Unidad	1
6	Bordallo	Alevin	Biop_2	1

Figura 8: Definición de etapas de desarrollo de las especies y bioperiodos correspondientes para cálculo con CaudEco en GeoAquaTool.

Datos Generales Simulación CAUDECO

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos CAUDECO

Especies bioperiodos Etapas Masas de agua

ID	Nombre bioperiodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Unidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Biop_1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	Biop_2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 9: Definición de bioperiodos para cálculo con CaudEco en GeoAquaTool.

4.3. Masas de agua.

Aunque la simulación de la gestión se realiza para todo un sistema, CaudEco solo realiza cálculos para los tramos de río escogidos. Estos se seleccionan en esta ficha (Figura 10). Al igual que para las especies y etapas, aquí se solicita también un peso para su ponderación que se explica más adelante. También se requiere un dato de longitud de la masa que se utilizará para el cálculo de hábitat en m².

Datos Generales Simulación CAUDECO

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos CAUDECO

Especies bioperiodos Etapas Masas de agua **curvas HPU**

ID	Tramo de río	Peso ponderación	Longitud (m)
6	Chico_Chicharro	1	1
8	AzudGrande_VertVillaAbajo	1	1
		1	1000

Figura 10: Selección de masas de agua para cálculo con CaudEco en GeoAquaTool.

4.4. Curvas caudal – hábitat potencial.

Las series de HPU referidas anteriormente han de ser definidas en este apartado vinculando cada una de ellas a la especie, etapa de desarrollo y masa de agua sobre las que se aplican (Figura 11).

Datos Generales Simulación CAUDECO

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos CAUDECO

Especies bioperiodos Etapas Masas de agua **curvas HPU**

ID	Especie	Etapas	Masa de agua	Máximo HPU	Curva
1	Trucha	Adulto	AzudGrande_VertVillaAbajo		
2	Barbo	Juvenil	Chicharro_Grande		
3	Trucha	Juvenil	AzudGrande_VertVillaAbajo		
4	Trucha	Freza	AzudGrande_VertVillaAbajo		
5	Bordallo	Alevin	AzudGrande_VertVillaAbajo	3159	
6	Barbo	Adulto	Chicharro_Grande		

Figura 11: Definición de curvas de HPU para cálculo con CaudEco en GeoAquaTool.

Tras completar la definición de cada curva se deberá clicar en el botón "Curva"  para definir cada una de ellas (Figura 12). En esta ficha se ha habilitado la opción de pegar valores desde el portapapeles [Pegar]. Esto permite mantener las series de datos en una hoja de cálculo para trasladarlos aquí con facilidad. En el caso de que la curva no alcance el caudal circulante en el tramo, el programa aplicará el HPU asignado para el caudal más alto.

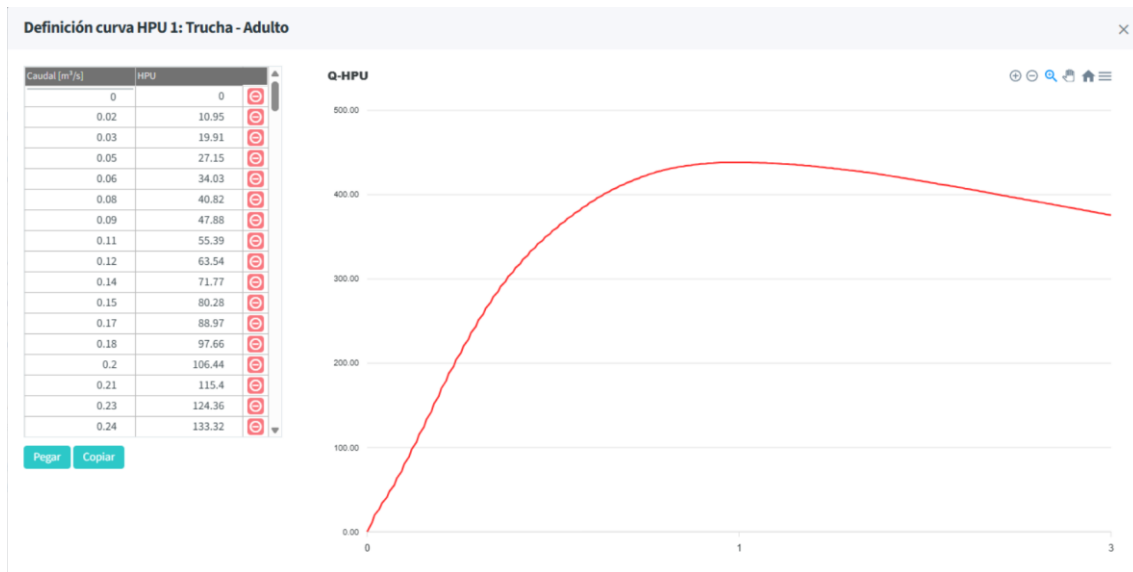
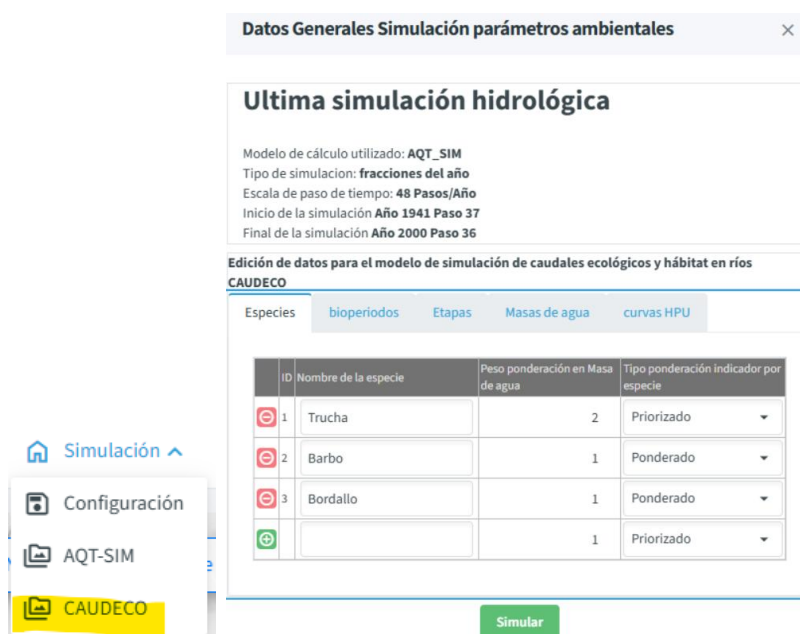


Figura 12: Definición de datos para una curva de HPU para cálculo con CaudEco en GeoAquaTool.

También, para el caso de curvas HPU crecientes se permite la definición de un parámetro de "máximo HPU" (Figura 11). En caso de no incluir este dato, el programa obtendrá el máximo de la serie.

5. Simulación e interpretación de resultados.

La simulación se realiza de igual manera que los módulos ya vistos (mediante el menú [Simulación]→ [CaudEco]). Pero este módulo requiere la simulación previa de la gestión del sistema. Por este motivo la pantalla de simulación muestra en primer lugar los datos generales de la última simulación de la gestión. Igualmente, si existiera alguna discrepancia entre aquella y la configuración de simulación actual informaría de un error en los datos.



Datos Generales Simulación parámetros ambientales

Ultima simulación hidrológica

Modelo de cálculo utilizado: **AQT_SIM**
 Tipo de simulación: **fracciones del año**
 Escala de paso de tiempo: **48 Pasos/Año**
 Inicio de la simulación **Año 1941 Paso 37**
 Final de la simulación **Año 2000 Paso 36**

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos

CAUDECO

Especies bioperíodos Etapas Masas de agua curvas HPU

ID	Nombre de la especie	Peso ponderación en Masa de agua	Tipo ponderación indicador por especie
1	Trucha	2	Priorizado
2	Barbo	1	Ponderado
3	Bordallo	1	Ponderado
		1	Priorizado

Simular

Figura 13: Menú para la simulación con CaudEco.

Una vez finalizada la simulación, se puede obtener los resultados de hábitat simulado mediante la opción [gráfico resultados] tras seleccionar una conducción para la cual se ha solicitado el cálculo del hábitat. Los resultados gráficos que puede verse son los siguientes.

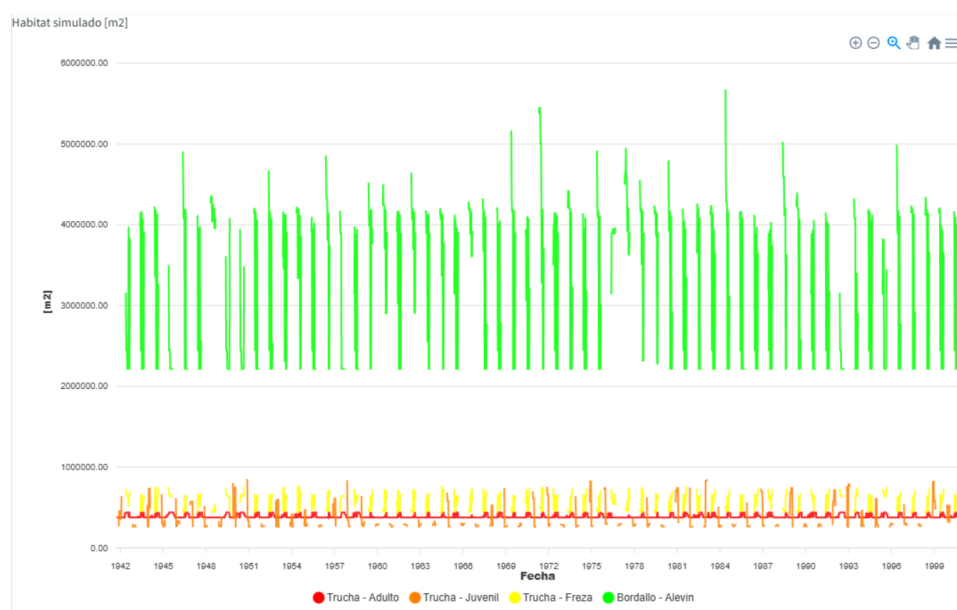


Figura 14: Gráfico de resultados de hábitat calculado en m2.

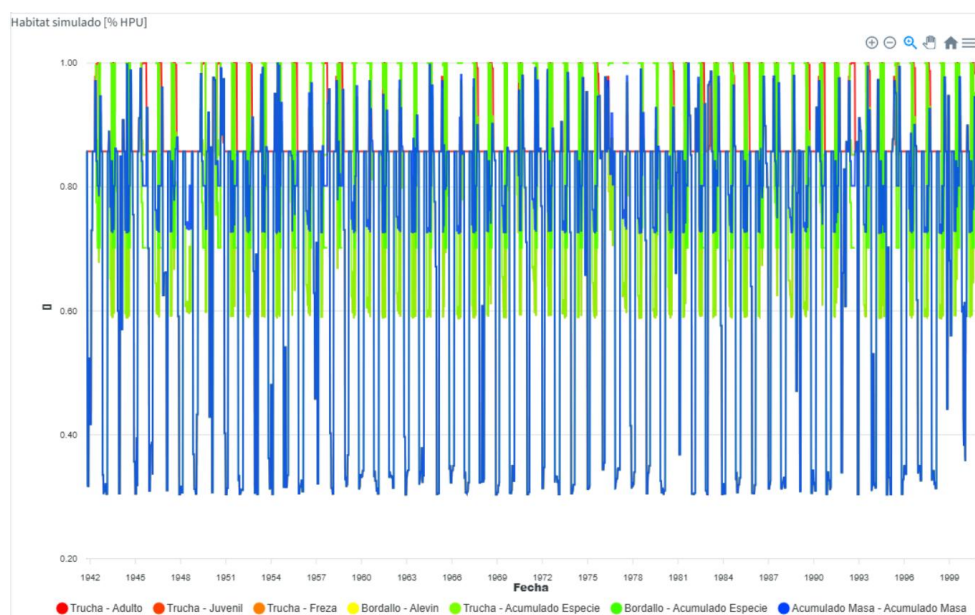


Figura 15: Gráfico de resultados de hábitat calculado en % respecto al hábitat potencial máximo.

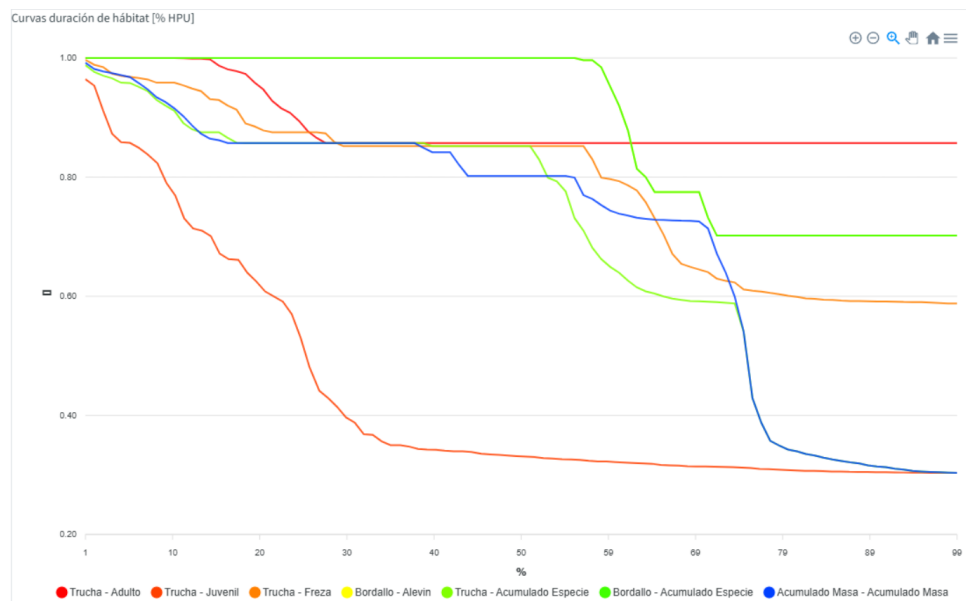


Figura 16: Gráfico de curvas de probabilidad de superación del hábitat para un tramo de río.

Además, el programa proporciona indicadores numéricos resumidos según diferentes criterios y niveles en la agregación de resultados.

Las series temporales de hábitat potencial que calcula el modelo pueden resultar confusas en su manejo por la gran cantidad de valores contenidos. Por esto se hace necesaria la obtención de indicadores agregados que simplifiquen toda esta información y faciliten su interpretación. Se define indicadores a escala de etapa de desarrollo, de especie, por masa de agua y por sistema.

Se propone los indicadores como una medida de la probabilidad de que se den situaciones negativas para los objetivos ambientales buscados.

5.1. Criterios para el cálculo de garantías.

Para una definición objetiva de un indicador se ha de definir en primer lugar un criterio de medida. Para ello el programa utiliza un **concepto de "fallo"** definido mediante los siguientes dos criterios combinados.

- En primer lugar, se entiende por fallo cuando el hábitat potencial calculado queda por debajo de un porcentaje dado respecto del Hábitat potencial máximo.
- En segundo lugar, se extiende la definición del fallo mediante una medida de su resiliencia o duración del mismo.

Numéricamente se podría expresar de la siguiente forma:

$$\exists \text{Fallo}_T \text{ si } \{H_t < X\% \text{MaxHPU} \quad \forall t = \{T, T-1, \dots, T-n\}\}$$

Siendo:

T: paso de cálculo

H_t: porcentaje de hábitat calculado en el paso de tiempo t

X%MaxHPU: umbral en porcentaje de HPU para considerar que está en fallo

n: número de pasos de tiempo definidos en fallo para definir un fallo

Obtenido el número de fallos, la garantía se obtiene como el inverso del porcentaje de estos.

$$G_{H_t,n} = \left(1 - \frac{n^{\circ} \text{pasos en fallo}}{n^{\circ} \text{pasos total}}\right) \%$$

El modelo calcula varios indicadores según diferentes umbrales y duraciones predefinidos. Se calcula el fallo para umbrales del 20%, 30%, 60% y 80% del hábitat y periodos de tiempo de 1 día, 7 días (1 semana), 30 días (1 mes) y 90 días (3 meses). La elección de cual o cuales de estos indicadores utilizar en un caso de estudio real corresponderá al tomador de decisión correspondiente.

5.2. Indicador para etapas de desarrollo.

Para cada etapa de desarrollo se obtiene el recuento total de fallos obtenido según cada uno de los umbrales y periodos definidos. Estos resultados se presentan en formato tabulado para ser utilizado en informes (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

RESUMEN SIMULACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS - AQT CAUDECO

Fecha de generación del informe: 6/10/2025 17:29:22

Informe del grado de cumplimiento de objetivos ambientales

Estadísticos por etapas de desarrollo en especies y masas de agua

Masa: Chicharro_Grande, Especie: Trucha , Etapa: Adulto

Garantía por umbrales de HP mínimo y permanencia bajo el umbral:

Duración	Umbral 30.0%HPU	Umbral 60.0%HPU	Umbral 80.0%HPU	Umbral 90.0%HPU
Más de 1 días	100.00	31.11	30.59	4.47
Más de 7 días	100.00	37.36	36.84	6.45
Más de 30 días	100.00	51.30	50.68	12.17
Más de 90 días	100.00	68.16	67.74	24.87

Masa: Chicharro_Grande, Especie: Barbo , Etapa: Juvenil

Garantía por umbrales de HP mínimo y permanencia bajo el umbral:

Duración	Umbral 30.0%HPU	Umbral 60.0%HPU	Umbral 80.0%HPU	Umbral 90.0%HPU
----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Figura 17: Ejemplo de resultados de cumplimiento de HPU mínimos por etapa, especie y masa de agua "rsCEGarantias.html"².

5.3. Series de hábitat por especie en masa de agua.

En el caso de la modelación de especies piscícolas mediante varias etapas de desarrollo debería tratarse todas sus etapas en conjunto, puesto que existe una relación entre ellas. Con esta finalidad, el programa proporciona un indicador agregado de todas las etapas y permite obtenerlo por varios métodos o criterios a elección. Estos son los siguientes:

- **Agregación ponderada según pesos.** En la definición de datos para las etapas de desarrollo se requiere un parámetro de "Peso" para cada etapa definida. Este parámetro es utilizado como factor de ponderación para combinar todas las etapas de una especie modeladas en cada tramo de río.
- **Representación selectiva según prioridades.** Esta opción de agregación se basa en la consideración de que es mejor para el mejor desarrollo de la especie el favorecer las primeras etapas de desarrollo, frente a etapas adultas, que puedan actuar como depredadores de las menores. Este método seleccionaría en cada mes la etapa de desarrollo menor según son activadas mediante los bioperiodos. En esta opción, el parámetro "peso" dado en la etapa de desarrollo se considerará como prioridad, poniendo en primer lugar la prioridad 1, seguido de la 2, ... Para su correcta aplicación se debe definir (por ejemplo) prioridad=1 para "freza", 2 para "alevín", 3 para "juvenil" y 4 para "adulto". De esta

² Estos resultados se tienen también en formato de tabla en el archivo "rsCEGarantias.csv"

forma en el bioperiodo de la etapa freza el HPU de la especie lo daría esta etapa. Cuando la etapa freza se encuentre inactiva (bioperiodo=0) el valor del HPU lo daría la siguiente etapa (alevín) y así sucesivamente.

- **Representación por la etapa con mínimo %HPU.** En esta opción para cada paso de tiempo se toma el valor mínimo de HPU (%) de los valores obtenidos para todas las etapas de la especie, con independencia de cuál sea la etapa.

Las agregaciones anteriores se realizan en valores de %HPU³. Sin tener en consideración cual es este valor para cada etapa. La ponderación definida proporcionará una nueva STH sobre la que se aplicará el cálculo de fallos o garantía descrito en el punto anterior.

5.4. Series de hábitat agregadas por masa de agua.

Para la agregación por masas de agua se utiliza el indicador agregado por especie. En este caso, al tratarse de combinación o competencia entre especies solo se aplica la ponderación por pesos. En estos casos se admite también el uso de **pesos negativos**, que tendrían sentido en el caso de modelar **especies invasoras** que puedan reducir las posibilidades de desarrollo para las especies de interés.

³ No se realiza la agregación ponderada por etapas para una especie en unidades de superficie, debido a que cada etapa podría tener una curva de HPU en diferente escala.

6. Análisis del cumplimiento de objetivos ambientales.

El objetivo planteado en este ejercicio es evaluar la influencia del caudal mínimo "ecológico" en dos tramos de río sobre los valores ambientales aportados, medidos según los indicadores de hábitat descritos.

Como ejemplo se va a analizar el efecto de los caudales mínimos que proporcionan el 30%, el 50% y el 80% del HPU máximo de la especie-estadio más restrictiva en cada tramo de río estudiado. Estos porcentajes se han elegido en base al rango de caudales establecido por la legislación (IPH, 2008), 50%-80% en situación normal y 30%-80% en caso de masas muy alteradas hidrológicamente o en épocas de sequía:

Nombre	CaudalChicharro_Grande (m ³ /s)	AzudGrande_VertVillaAbajo (m ³ /s)
Q ₁	0.332	1.175
Q ₂	0.463	1.489
Q ₃	0.766	2.005

Tabla 4. Caudales ecológicos a simular.

El patrón temporal con el que se va a distribuir mensualmente cada uno de los caudales mínimos anteriores se ha obtenido a partir de la variabilidad del régimen natural en cada tramo de río:

Mes	Coeficiente Chicharro_Grande	Coeficiente AzudGrande_VertVillaAbajo
Octubre	1.00	1.00
Noviembre	1.12	1.04
Diciembre	1.14	1.07
Enero	1.03	1.12
Febrero	1.16	1.12
Marzo	1.15	1.24
Abril	1.29	1.36
Mayo	1.37	1.32
Junio	1.19	1.07
Julio	1.00	1.00
Agosto	1.00	1.00
Septiembre	1.00	1.00

Tabla 5. Patrones de distribución mensual de los caudales ecológicos (%1).

Con estos datos, los caudales mínimos a definir para las distintas simulaciones serían: (= Q_i·Patrón de distribución)

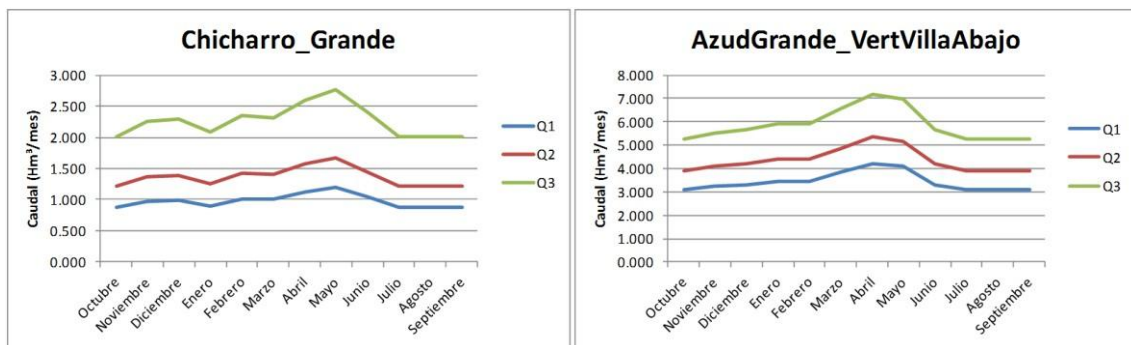


Figura 18. Regímenes de caudales ecológicos considerados.

Por lo tanto será necesario realizar 3 simulaciones de la gestión (cada una con los caudales mínimos definidos para cada tramo de río) seguidas de las correspondientes simulaciones del hábitat con CaudEco.

6.1. Edición de datos de caudales mínimos para AqtSim.

Para cada uno de los 3 escenarios de caudales ecológicos será necesario modificar los caudales mínimos en ambas conducciones (Figura 19) incluyendo los valores indicados en la Tabla 4 modulados mensualmente según la Tabla 5. Estos parámetros pueden obtenerse con facilidad mediante una hoja de cálculo para copiar a las fichas de la conducción a través del portapapeles del sistema.

Caudal mínimo requerido en el tramo de río [m³/s]

Año medio en meses ?

Mes	Valor
Enero	0.342
Febrero	0.385
Marzo	0.382
Abril	0.428
Mayo	0.455
Junio	0.395
Julio	0.332
Agosto	0.332
Septiembre	0.332
Octubre	0.332
Noviembre	0.372
Diciembre	0.378

Valor promedio: 11.734 [hm³/año]

Pegar Ver gráfico

Figura 19. Ficha para la edición de caudales mínimos en conducciones. Datos para Q1 en Chicharro_grande.

6.2. Simulación de un escenario y copia de resultados.

Para la simulación de los escenarios se realizará en primer lugar una simulación con AqtSim estableciendo el paso de tiempo en semanal y por un periodo desde el paso 37 (semana 1 de octubre) de 1940 al paso 36 (semana 4 de septiembre) del año 2000 Y a continuación la simulación con CaudEco para los datos ya definidos.



Datos Generales Simulación

Selección del modelo para la simulación de la gestión

Simulación Optimización Estadístico Seguimiento

Selección de postprocesos basados en la simulación de la gestión

Calidad ☐ Hábitat ☒

Medición escala temporal

Semanal (48 semanas/año)

Título

Simulación caudales ecológicos Q1

Periodo de simulación

Año inicio 1940 Semana inicio 37 Octubre-1

Año Final 2000 Semana final 36 Septiembre-4

Ultima simulación hidrológica

Modelo de cálculo utilizado: AQT_SIM

Tipo de simulación: fracciones del año

Escala de paso de tiempo: 48 Pasos/Año

Inicio de la simulación Año 1940 Paso 37

Final de la simulación Año 2000 Paso 36

Edición de datos para el modelo de simulación de caudales ecológicos y hábitat en ríos CAUDECO

Especies bioperiodos Etapas Masas de agua curvas HPU

ID	Nombre de la especie	Peso ponderación en Masa de agua	Tipo ponderación indicador por especie
1	Trucha	2	Priorizado
2	Barbo	1	Ponderado
3	Bordallo	1	Ponderado
		1	Priorizado

Simular

Figura 20. Ficha para la simulación con AqtSim y CaudEco.

Una vez finalizada la simulación interesa extraer una copia de los resultados para posteriores comparaciones con los otros escenarios. Esto se puede realizar de diversas formas.

- Mediante la herramienta de gestión de resultados gráficos de GeoAquaTool. Que se encuentra en el menú [Resultados]→[Gráficos]. Aquí se puede generar una copia de los resultados de la simulación para comparar con otros resultados. Tales copias se diferenciarán entre sí por el título que se define en la ventana de simulación de la gestión.
- Generando tres copias del proyecto en carpetas de trabajo diferentes. De esta forma quedará guardadas las tres simulaciones con sus datos y sus resultados.
- Mediante una hoja de cálculo, copiando en esta los resultados de interés tras cada una de las simulaciones.

6.3. Comparación de resultados entre simulaciones.

Al aumentar el caudal mínimo en desembalses se está modificando el balance del sistema y por tanto habrá diferencias tanto en los resultados de la gestión (reservas en embalses, garantías en demandas) como los de hábitat. A continuación se prestará atención a los resultados sobre cumplimiento de objetivos ambientales. En un análisis completo se debe atender a todos los resultados.

6.3.1. Comparación de series temporales de hábitat.

La figura siguiente presenta los resultados comparados de HPU% para una etapa adulto de la trucha en el tramo de río "Chicharro_grande". El programa proporciona resultados similares para todas las etapas, especies y tramos asignados. Para la comparativa ha sido necesario exportar los resultados de las 3 simulaciones a una hoja de cálculo y configurar el gráfico en esta.

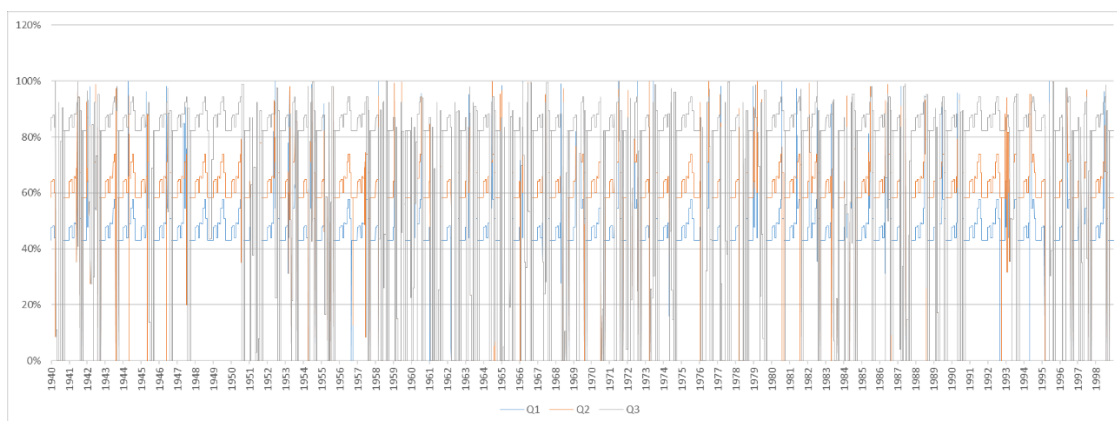


Figura 21. Comparación STH para trucha adulto en Chicharro_grande.

6.3.2. Comparación de curvas de duración de hábitat.

La figura anterior puede resultar confusa por la longitud de la serie y la variabilidad de los datos. Por esto, otra forma más fácil de analizar los resultados mediante las CDH, en las que al ordenar los datos se puede apreciar los rangos alcanzados con más claridad, aunque se pierde la secuencia temporal.

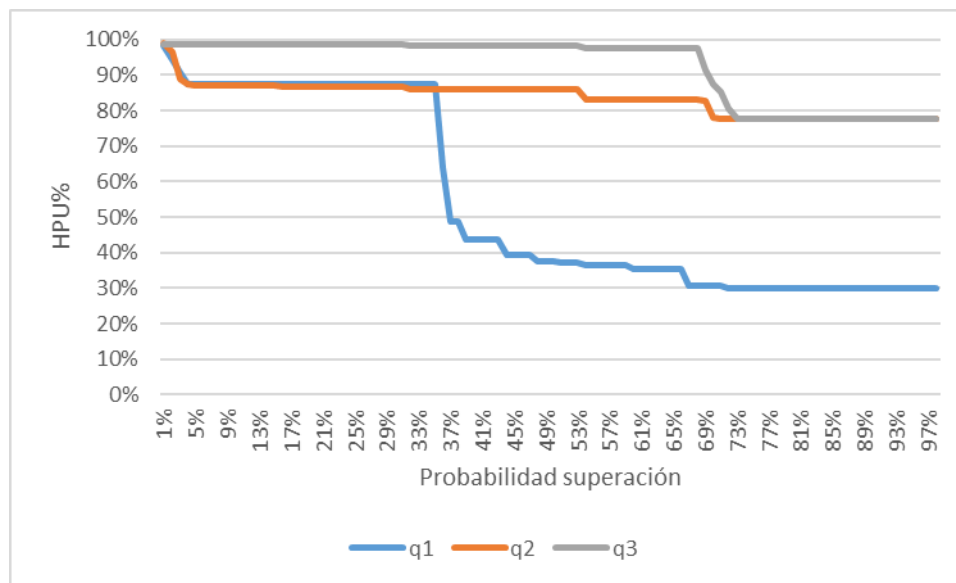


Figura 22. Comparación CDH para barbo adulto en Chicharro_grande.

6.3.3. Comparación de indicadores de garantía de hábitat.

Un método alternativo para resumir información sin perder el control de la secuencia temporal es el uso de índices de cumplimiento de hábitat mínimo (ver apartado 5.1 en este texto). Mediante estos índices se puede obtener una medida numérica objetiva que describa el grado de cumplimiento de objetivos. Una comparación de los mismos entre diferentes escenarios puede proporcionar una lectura significativa de la diferencia de eficiencia entre los mismos. Como ejemplo, en la Figura 23 se representa los resultados comparados para los 3 escenarios de garantía de cumplimiento de objetivos para el Barbo Adulto en Chicharro_Grande con diferentes umbrales de fallo y periodos de duración del fallo. Se comprueba que para umbrales de control bajos, solo hay fallos en el escenario Q1, mientras que al aumentar el umbral de control los fallos aumentan, presentando diferencias significativas entre escenarios. La elección del indicador a considerar debiera realizarse tras un adecuado estudio de la vulnerabilidad de la especie a diferentes situaciones.

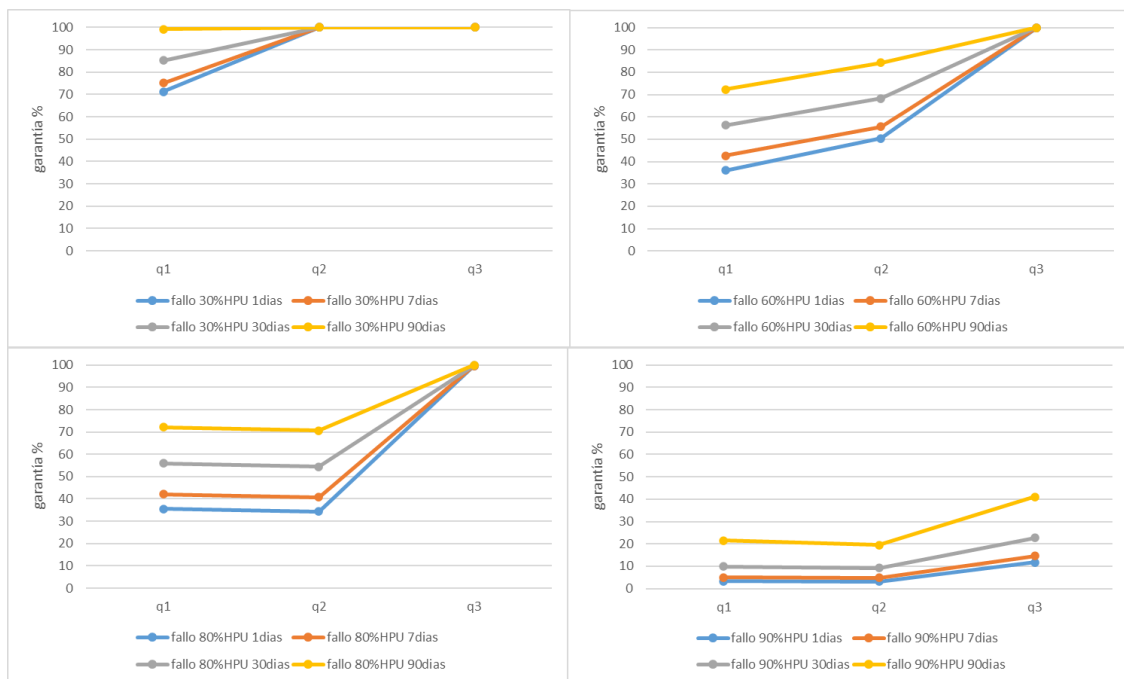


Figura 23. Comparación indicadores garantía para Barbo Adulto en tramo "Chicharro_Grande".

6.3.4. Comparación de garantía en el suministro a las demandas consuntivas.

El modelo de simulación de la gestión genera un resumen de resultados en formato de informe que puede editarse mediante cualquier editor de texto (Figura 24). En este archivo se incluye los resultados del año medio para todos los elementos del sistema, y para demandas, también los resultados de cumplimiento de garantías. Estos resultados se incluyen también en un archivo formateado para su uso en hoja de cálculo (Figura 25).

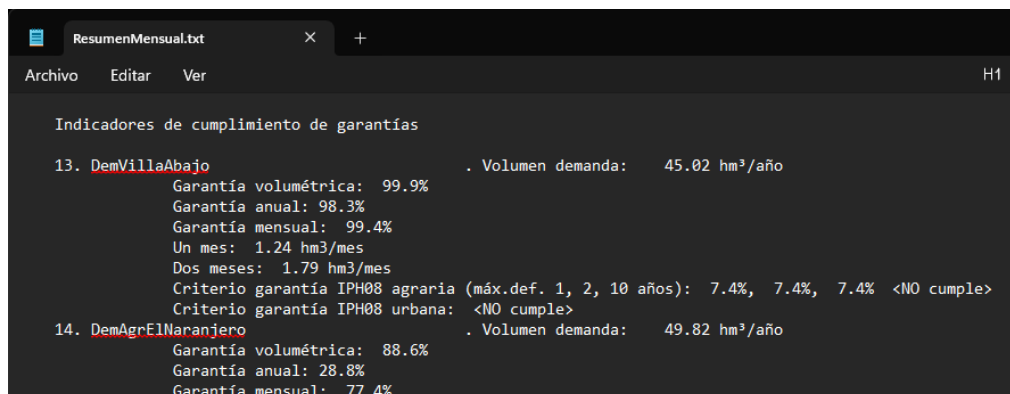


Figura 24. Archivo resumen de la simulación obtenido con el modelo de balance "ResumenMensual.txt".

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		Media anual hm3	Garantía- volumétrica	Garantía- anual	Garantía- mensual	Máximo déficit 1 mes	Máximo déficit 2 meses	Máximo déficit 1 año	Máximo déficit 2 años	Máximo déficit 10 años	Criterio IPH98 urbanas	Criterio IPH98 agrícolas
1	Demanda											
2	DemVillaAbajo	45.02	99.90%	98.30%	99.40%	1.24	1.79	7.40%	7.40%	7.40%	NO cumple	NO cumple
3	DemAgrElNaranjero	49.82	88.60%	28.80%	77.40%	5.97	10.49	26.00%	47.00%	166.10%	NO cumple	NO cumple
4	DemVillaAfuera	13.02	99.80%	100.00%	95.80%	0.19	0.24	2.10%	2.90%	5.20%	NO cumple	CUMPLE

Figura 25. Archivo de texto con resultados de garantías en formato csv visto con una hoja de cálculo "GarantiaDemandas.csv".

Se utilizará esta segunda opción para la comparación de resultados de garantías en demandas. Tras cada simulación se abrirá este archivo y se copiará su contenido en una nueva hoja de cálculo. Así, por ejemplo, se puede obtener comparaciones gráficas sobre cómo varía la garantía en las demandas al variar el caudal mínimo (Figura 26)

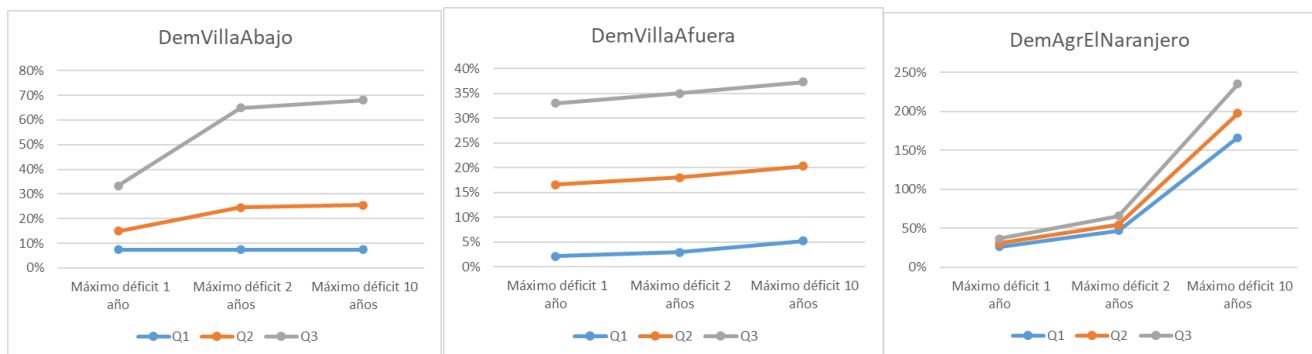


Figura 26. Comparación de resultados de máximo déficit a 1, 2 y 10 años para los 3 caudales mínimos en las 3 demandas.

7. Análisis de resultados.

Un análisis de resultados de la simulación de caudales ecológicos debe ser precedido de un estudio del río, desde el punto de vista del estado de la fauna y una definición de objetivos racional desde el punto de vista de las especies deseadas y sus condiciones idóneas de desarrollo.

Para este ejercicio se ha seleccionado la especie "trucha" en el tramo "AzudGrande_VertVillaAbajo", de la cual se ha considerado 3 etapas de desarrollo ("freza", "juvenil" y "adulto"). Los resultados para las 3 etapas de desarrollo en el escenario de caudales Q1 pueden verse en la figura siguiente.



Figura 27. Curvas de duración de hábitat para las 3 etapas simuladas para la especie trucha en el tramo AzudGrande_VertVillaAbajo.

En esta figura puede apreciarse que la etapa *adulto* permanece con resultados de hábitat siempre por encima del 80%, mientras que sus etapas anteriores están muy por debajo de este valor durante una gran parte del tiempo. Aparentemente, el valor obtenido para la etapa *adulto* puede interpretarse como demasiado optimista, ya que el desarrollo de la especie depende en mayor medida de la supervivencia de las etapas primeras. En este sentido, la IPH de 1998 en su apartado 3.4.1.3.1.c indica que "Para alcanzar los objetivos anteriores, el régimen de caudales ecológicos deberá incluir ... una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea **compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales** de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua."

Con este propósito, el modelo proporciona varios criterios para obtener primero un indicador por especie y después un indicador por tramo. El criterio de agregación a utilizar debería ser también estudiado con atención,

atendiendo a la evolución de etapas en cada especie y a la interacción que se da entre especies y etapas.

Para este ejercicio se ha escogido una ponderación de tipo priorizada, con valores de prioridad ordenados de más joven a más mayor: 1 (*freza*), 2 (*juvenil*) y 3 (*adulto*). Además, las etapas *freza* y *juvenil* tienen definida una curva de preferencia que solo las hace activas durante unos meses al año. De este modo, si la etapa *freza* está activa se tomará como representativo el HPU% de esta, después la fase *juvenil* y por último la *adulto*. La aplicación de esta elección se muestra en la Figura 7 (tipo de ponderación) y la Figura 8 (prioridad/peso ponderación).

Los resultados comparados para las CDH se presentan en la Figura 28. Aunque se aprecian algunas mejoras, es difícil concluir que un caudal mínimo mayor tenga consecuencias positivas apreciables en el hábitat proporcionado para esta especie.

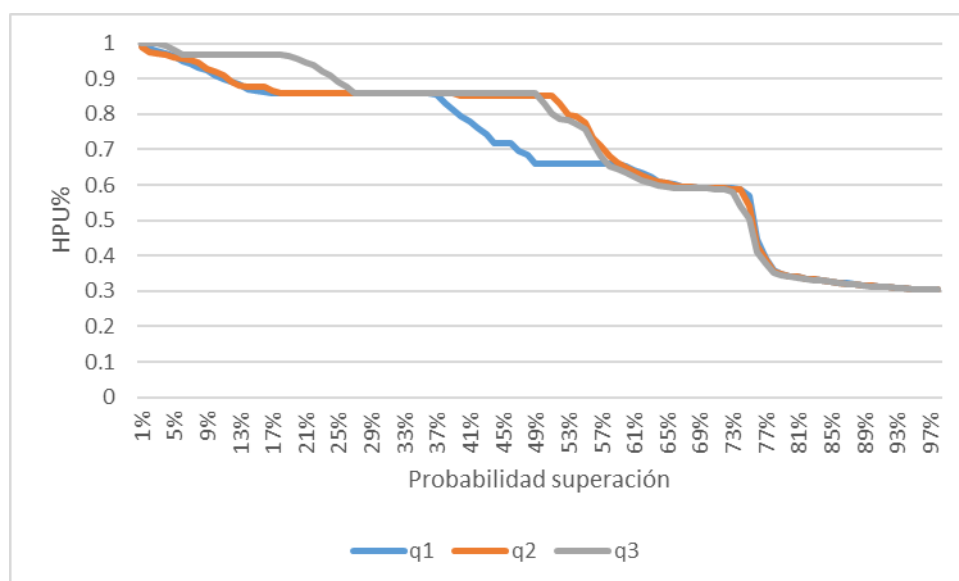


Figura 28. Curvas de duración de hábitat para los 3 escenarios con la especie trucha en el tramo "AzudGrande_VertVillaAbajo".

Como se ha indicado en 6.3.3. la curva anterior podría simplificarse mediante el uso de indicadores. Estos se muestran en la Figura 29, aunque, como se podría prever a la vista del gráfico anterior, estas presentan pocas diferencias. En este punto sería necesario un criterio justificado para seleccionar el % de HPU a tomar como referencia y la duración del fallo para el cálculo de esta garantía (ver apartado 5.1).

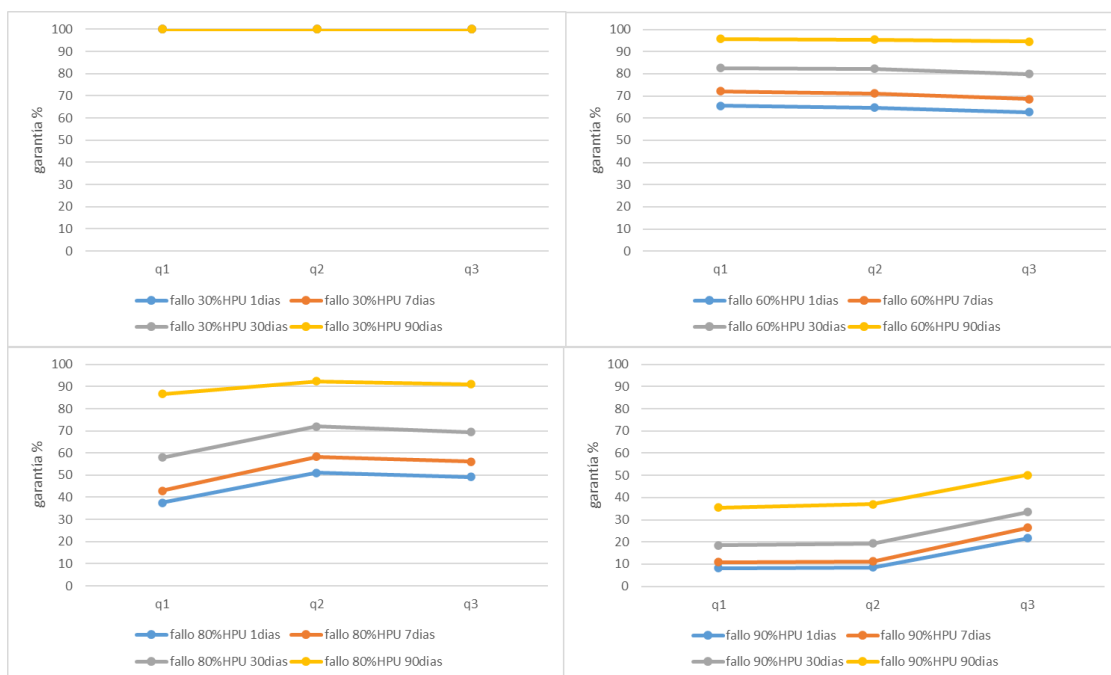


Figura 29. Comparación indicadores garantía para la especie Trucha en tramo "AzudGrande_VertVillaAbajo".