

II.3.3.3.2. Dinámica temporal

Al incluir la variable tiempo en los análisis de la sección anterior, es decir, se discriminan los 16.380 polígonos no sólo por su pertenencia a una *forma de relieve* particular (Tablas II.13 a la II.15) sino también a su presencia en un año particular se obtiene la serie de Tablas de la II.18 a la II.26.

Sobre esta reclasificación de datos se realizaron *ANOVAS anidados* para cada establecer la significación de la dinámica temporal presente entre los años 1938, 1961, 1978 y 1997. Estos análisis se realizaron para cada *forma de relieve* (A_I , A_{III} , A_{III} , LL_I , LL_{II} , LL_{III} , LL_{IV} , A_I-LL_I y $A_{III}-LL_{III}$), para cada una de las *fases* (*Fase-I*, *Fase-II*, *Fase-III* y *Fase-Bosque*) y en las tres variables poligonales: *número*, *área* y *perímetro*. Para cada situación, se estimó el *incremento relativo anual (IRA)* entre los diferentes pares de años continuos (1938-1961, 1961-1978 y 1978-1997) así como el *IRA* medio que resulta para la serie completa (1938-1997). Los resultados de este esfuerzo se presentan en la serie de Tablas de la II.27 a la II.35 y de las Figuras de la II.35 a la II.43.

Tabla II.18. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de escorrentía o *run-off*: afloramiento alto (A_I).

Clase de Frecuencia												
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	124	16	7	160	808,8	124,8	60,5	1.111,0	1.406,4	198,8	91,1	1.808,9
10,0-19,9	145	57	96	306	2.132,6	859,8	1.501,5	4.498,3	2.311,0	929,0	1.606,1	4.780,2
20,0-29,9	68	48	148	165	1.702,6	1.183,5	3.620,7	3.977,8	1.385,7	977,3	2.995,2	3.270,9
30,0-39,9	35	33	92	119	1.212,7	1.141,7	3.197,8	4.012,4	828,8	787,0	2.189,0	2.768,9
40,0-49,9	16	19	68	80	710,0	850,5	3.056,7	3.561,4	426,1	513,8	1.823,7	2.139,4
50,0-59,9	12	15	47	54	667,7	833,0	2.573,1	2.915,6	358,6	442,2	1.392,7	1.609,7
60,0-69,9	5	12	23	29	316,5	761,5	1.495,5	1.887,1	157,6	382,1	736,0	921,9
70,0-79,9	2	6	15	25	146,4	454,4	1.124,5	1.836,0	68,1	209,1	516,6	869,5
80,0-89,9	4	5	11	22	342,5	420,1	928,2	1.851,3	158,7	181,2	398,9	801,0
90,0-99,9	2	8	5	12	196,2	767,7	466,0	1.137,4	78,8	311,3	190,0	490,4
100,0-199,9	9	17	34	31	1.077,5	2.293,1	4.483,2	4.189,2	397,5	757,9	1.553,5	1.432,6
200,0-299,9	0	3	4	5	0,0	688,2	880,7	1.095,0	0,0	188,7	248,8	305,1
300,0-399,9	0	1	2	2	0,0	391,6	743,5	635,5	0,0	102,3	178,7	175,2
400,0-499,9	1	0	0	0	417,6	0,0	0,0	0,0	83,2	0,0	0,0	0,0
500,0-599,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
600,0-699,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
700,0-799,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	706,1	0,0	0,0	0,0	136,2
800,0-899,9	0	1	0	0	0,0	813,2	0,0	0,0	0,0	144,1	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000,0-1999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000,0-2999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m ²	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	423	241	662	1.011	9.731,1	11.683,1	24.131,8	33.414,0	7.660,6	6.124,8	13.920,4	21.610,0

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	413	219	512	972	8.236,0	7.396,9	18.024,4	26.788,2	7.179,8	4.931,9	11.939,3	19.460,9
Fase-II	10	22	40	39	1.495,1	4.186,2	6.107,4	6.625,7	480,7	1.193,0	1.981,0	2.049,1
Fase-III	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	423	241	662	1.011	9.731,1	11.683,1	24.131,8	33.414,0	7.660,6	6.124,8	13.920,4	21.610,0

Tabla II.19. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de escorrentía o *run-off*: afloramiento medio (A_{II}).

Clase de Frecuencia												
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	17	1	3	46	126,4	9,3	22,4	325,1	203,5	14,8	36,7	555,3
10,0-19,9	43	8	21	90	618,9	135,6	320,6	1.336,5	679,7	139,9	348,6	1.433,1
20,0-29,9	25	5	40	64	616,7	120,6	1.006,6	1.524,1	502,6	99,6	822,8	1.258,9
30,0-39,9	13	16	24	28	450,9	559,9	825,7	988,7	309,8	376,2	930,7	667,4
40,0-49,9	10	12	14	16	449,0	557,7	628,2	704,5	267,2	323,2	497,3	419,5
50,0-59,9	2	7	17	10	109,9	366,0	931,1	544,5	60,0	194,8	282,8	287,9
60,0-69,9	3	6	9	7	199,0	394,1	573,0	463,0	93,5	192,0	272,6	228,7
70,0-79,9	2	5	8	4	147,4	369,6	610,7	287,7	71,7	170,8	253,5	133,4
80,0-89,9	1	7	7	2	83,0	597,1	589,6	163,6	37,7	256,5	188,3	71,4
90,0-99,9	1	5	5	3	99,4	472,0	464,9	285,2	38,6	191,3	491,4	111,1
100,0-199,9	1	17	11	8	181,5	2.280,1	1.425,0	974,7	49,5	785,5	302,3	345,1
200,0-299,9	0	5	5	0	0,0	1.174,0	1.090,9	0,0	0,0	338,4	0,0	0,0
300,0-399,9	0	0	0	4	0,0	0,0	0,0	1.463,4	0,0	0,0	0,0	342,4
400,0-499,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
600,0-699,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000,0-1999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000,0-2999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m ²	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	118	94	164	282	3.082,0	7.036,0	8.488,7	9.041,2	2.313,9	3.083,0	4.426,9	6.864,2

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	117	72	148	270	2.900,5	3.581,9	5.972,9	6.603,0	2.264,4	1.959,2	4.124,6	5.166,7
Fase-II	1	22	16	12	181,5	3.454,1	2.515,8	2.438,2	49,5	1.123,9	302,3	687,5
Fase-III	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	118	94	164	282	3.082,0	7.036,0	8.488,7	9.041,2	2.313,9	3.083,0	4.426,9	6.864,2

Tabla II.20. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de escorrentía o *run-off*: afloramiento bajo (A_{III}).

Clase de Frecuencia												
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	22	0	0	42	146,4	0,0	0,0	290,0	252,3	0,0	0,0	488,1
10,0-19,9	44	4	9	111	642,3	70,4	156,3	1.610,8	695,0	73,5	152,0	1.769,5
20,0-29,9	34	10	23	87	830,5	245,1	573,1	2.140,1	669,1	200,9	475,7	1.757,1
30,0-39,9	20	15	31	56	698,1	517,2	1.085,1	1.929,7	485,6	355,8	735,8	1.334,1
40,0-49,9	16	7	27	39	714,5	318,4	1.218,0	1.756,1	429,5	189,6	731,9	1.060,8
50,0-59,9	9	15	20	21	484,2	814,2	1.087,9	1.152,4	260,4	448,6	587,5	642,1
60,0-69,9	8	12	14	16	510,6	782,9	931,6	1.054,2	255,9	380,9	445,1	511,0
70,0-79,9	5	6	9	15	379,0	450,5	660,0	1.142,4	181,0	200,8	309,7	543,2
80,0-89,9	4	10	14	13	349,0	862,6	1.170,5	1.094,2	145,3	367,7	492,3	484,7
90,0-99,9	6	8	10	9	577,9	768,5	948,7	846,5	236,1	302,2	398,7	376,2
100,0-199,9	16	33	39	46	2.293,0	4.935,5	5.409,4	6.168,3	755,9	1.629,0	1.832,0	2.244,2
200,0-299,9	11	9	22	13	2.732,6	2.317,0	5.163,9	3.274,7	758,9	598,6	1.348,3	911,3
300,0-399,9	4	5	6	9	1.236,4	1.820,8	2.116,1	2.976,3	305,3	429,0	462,7	690,6
400,0-499,9	0	5	7	7	0,0	2.215,7	3.282,7	3.219,9	0,0	445,6	593,7	759,9
600,0-699,9	0	4	1	2	0,0	2.120,1	548,9	1.014,6	0,0	407,9	97,4	190,9
800,0-899,9	1	2	1	4	622,1	1.302,7	639,5	2.629,7	104,3	254,8	115,6	467,0
900,0-999,9	3	2	0	4	2.205,0	1.491,5	0,0	2.985,2	362,0	264,2	0,0	488,2
1000,0-1999,9	0	1	0	0	0,0	894,9	0,0	0,0	0,0	170,0	0,0	0,0
2000,0-2999,9	1	1	1	1	952,4	927,1	978,4	999,0	163,6	121,6	132,5	183,0
3000,0-3999,9	3	3	2	6	4.062,8	4.383,3	2.731,4	8.465,5	490,5	582,9	306,1	1.203,7
4000,0-4999,9	1	2	2	1	2.142,1	5.065,7	4.842,5	2.783,2	237,0	613,1	551,2	308,5
6000,0-6999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	3.349,9	0,0	0,0	0,0	312,5
8000,0-8999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	4.314,7	0,0	0,0	0,0	306,8	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m ²	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	208	164	239	603	21.678,6	32.283,8	37.838,6	60.882,6	6.787,7	8.034,6	10.076,0	16.726,8

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	168	87	157	409	5.332,4	4.829,8	7.811,1	13.016,3	3.610,1	2.519,8	4.328,7	8.966,9
Fase-II	36	62	77	86	10.041,3	18.025,1	18.138,8	23.267,7	2.450,0	4.318,7	4.582,1	5.935,1
Fase-III	4	5	5	8	6.204,9	9.429,0	11.888,6	14.598,5	727,6	1.196,1	1.164,1	1.824,8
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	208	164	239	603	21.678,6	32.283,8	37.838,6	60.882,6	6.787,7	8.034,6	10.076,0	16.726,8

Tabla II.21. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: canal de explayamiento (LL₁).

Clase de Frecuencia	1938				1961				1978				1997			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	64	13	5	146	429,3	99,9	46,1	1 059,6	726,8	156,2	69,9	1 681,0				
10,0-19,9	101	24	46	221	1 449,9	354,1	732,9	3 231,9	1 591,5	388,3	771,6	3 443,1				
20,0-29,9	59	32	92	178	1 456,7	791,6	2 301,3	4 349,5	1 221,0	645,3	1 877,8	3 541,3				
30,0-39,9	51	42	66	105	1 769,6	1 486,7	2 291,9	3 627,9	1 209,2	1 004,6	1 560,9	2 469,5				
40,0-49,9	35	34	47	85	1 548,6	1 519,1	2 077,5	3 783,8	940,7	923,1	1 246,9	2 269,8				
50,0-59,9	24	28	37	53	1 309,9	1 528,1	2 026,5	2 888,2	721,5	827,0	1 079,8	1 572,5				
60,0-69,9	21	21	35	32	1 349,2	1 352,9	2 266,2	2 084,3	680,1	675,3	1 113,5	1 034,3				
70,0-79,9	20	12	22	21	1 493,0	909,1	1 615,3	1 569,6	686,8	410,0	762,6	723,7				
80,0-89,9	9	12	22	16	766,7	1 015,0	1 822,8	1 350,0	341,8	424,5	773,6	610,9				
90,0-99,9	10	19	11	13	942,0	1 805,1	1 030,6	1 224,6	394,7	722,8	423,7	495,1				
100,0-199,9	33	53	58	54	4 317,2	7 306,2	8 419,1	7 409,6	1 492,2	2 459,5	2 773,9	2 570,6				
200,0-299,9	6	18	19	10	1 452,7	4 313,8	4 782,5	2 302,6	407,6	1 164,8	1 247,4	648,4				
300,0-399,9	1	6	9	9	358,4	2 042,5	3 203,4	3 138,1	96,9	484,3	760,3	716,0				
400,0-499,9	2	1	2	1	882,1	441,9	872,4	445,9	227,7	89,8	162,6	102,6				
500,0-599,9	0	0	4	2	0,0	0,0	2 184,1	1 088,5	0,0	0,0	407,0	233,2				
600,0-699,9	1	2	1	1	647,1	1 326,2	655,9	610,2	96,3	283,9	101,2	113,7				
700,0-799,9	0	1	0	0	0,0	739,0	0,0	0,0	0,0	109,0	0,0	0,0				
800,0-899,9	0	0	1	0	0,0	0,0	865,7	0,0	0,0	0,0	203,6	0,0				
900,0-999,9	1	0	0	0	913,7	0,0	0,0	0,0	197,3	0,0	0,0	0,0				
1000,0-1999,9	1	1	1	3	1 407,2	1 113,9	1 408,6	4 240,5	232,6	230,9	218,5	519,4				
2000,0-2999,9	1	0	0	0	2 929,5	0,0	0,0	0,0	530,6	0,0	0,0	0,0				
3000,0-3999,9	0	0	1	1	0,0	0,0	3 107,4	3 573,5	0,0	0,0	439,6	423,3				
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
5000,0-5999,9	0	1	0	0	0,0	5 178,6	0,0	0,0	0,0	543,2	0,0	0,0				
6000,0-6999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	6 588,0	0,0	0,0	0,0	429,8	0,0				
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
8000,0-8999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	8 354,0	0,0	0,0	0,0	526,9				
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
>10000,0 m ²	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Total	440	320	480	952	26.422,7	33.323,6	48.296,1	66.332,3	11.796,4	11.642,4	16.424,4	23.696,1				

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	394	237	383	870	12 514,8	10 861,6	16 211,1	25 169,4	8 514,2	6 177,1	9 680,4	17 841,1
Fase-II	44	81	94	77	8 571,2	16 169,6	20 983,0	14 994,9	2 518,1	4 591,1	5 656,0	4 384,4
Fase-III	2	2	3	5	4 336,7	6 292,5	11 102,0	16 168,0	763,2	774,1	1 087,9	1 469,6
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	440	320	480	952	26.422,7	33.323,6	48.296,1	66.332,3	11.796,4	11.642,4	16.424,4	23.696,1

Tabla II.22. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: abanico de explayamiento (LL_{II}).

Clase de Frecuencia	1938				1961				1978				1997			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	132	12	12	213	913,7	89,6	104,0	1 616,8	1 529,7	152,0	159,4	2 552,7				
10,0-19,9	229	70	128	641	3 339,3	1 075,1	2 059,0	9 434,0	3 649,4	1 161,3	2 176,5	10 078,1				
20,0-29,9	174	137	204	387	4 243,2	3 414,3	5 061,8	9 512,2	3 495,1	2 808,5	4 137,2	7 741,8				
30,0-39,9	143	132	178	243	4 984,1	4 581,4	6 107,7	8 384,4	3 407,3	3 162,0	4 181,8	5 697,1				
40,0-49,9	87	117	146	155	3 865,9	5 264,1	6 532,6	6 916,7	2 334,8	3 157,2	3 885,3	4 094,9				
50,0-59,9	54	93	100	127	2 957,5	5 081,4	5 461,1	6 966,2	1 646,0	2 736,8	2 930,8	3 757,8				
60,0-69,9	33	47	85	94	2 136,1	3 048,5	5 486,3	6 046,9	1 057,4	1 522,6	2 720,0	2 991,6				
70,0-79,9	41	64	67	58	3 044,4	4 820,4	5 003,7	4 366,3	1 436,9	2 233,6	2 332,4	1 990,1				
80,0-89,9	31	40	47	67	2 606,2	3 383,3	4 005,2	5 670,2	1 166,2	1 441,9	1 741,7	2 485,9				
90,0-99,9	22	28	31	38	2 088,3	2 654,4	2 921,8	3 623,3	873,3	1 088,7	1 195,2	1 525,7				
100,0-199,9	62	172	170	154	8 587,5	23 933,5	22 990,8	21 953,0	2 980,1	8 133,4	8 036,6	7 435,4				
200,0-299,9	18	42	46	45	4 221,8	9 994,4	11 110,7	10 574,4	1 193,5	2 667,0	2 920,4	3 002,8				
300,0-399,9	5	10	19	16	1 752,7	3 345,7	6 527,6	5 729,3	435,8	778,9	1 533,7	1 409,6				
400,0-499,9	7	15	9	10	3 022,8	6 613,7	4 005,0	4 388,8	694,6	1 512,5	824,6	987,5				
500,0-599,9	3	10	4	7	1 709,3	5 430,5	2 280,6	3 749,4	375,2	1 083,2	476,5	714,1				
600,0-699,9	2	2	8	8	1 317,3	1 342,3	5 110,8	5 168,8	216,7	272,4	913,1	1 012,4				
700,0-799,9	0	3	5	1	0,0	2 243,6	3 762,9	765,9	0,0	446,9	675,7	114,7				
800,0-899,9	1	2	3	3	827,4	1 633,1	1 713,8	2 467,8	151,9	341,9	322,8	408,5				
900,0-999,9	1	4	2	2	936,5	3 887,9	1 925,8	1 928,7	152,1	645,4	329,5	313,4				
1000,0-1999,9	5	2	16	10	7 249,9	2 754,7	22 186,9	14 570,7	1 128,8	409,9	3 220,9	2 053,5				
2000,0-2999,9	2	3	2	2	5 489,1	7 108,7	4 334,5	5 505,9	593,0	923,3	473,5	710,0				
3000,0-3999,9	0	1	1	0	0,0	3 137,9	3 036,9	0,0	0,0	328,2	331,7	0,0				
4000,0-4999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	4 164,5	0,0	0,0	0,0	316,5	0,0				
5000,0-5999,9	0	0	1	2	0,0	0,0	5 659,1	11 280,3	0,0	0,0	523,5	1 451,6				
6000,0-6999,9	0	1	1	2	0,0	6 658,2	6 372,5	12 679,5	0,0	834,3	581,2	1 255,8				
7000,0-7999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	7 445,0	0,0	0,0	0,0	891,4				
8000,0-8999,9	0	1	0	0	0,0	8 987,6	0,0	0,0	0,0	742,9	0,0	0,0				
9000,0-9999,9	0	1	0	1	0,0	9 191,8	0,0	9 321,7	0,0	852,0	0,0	642,7				
>10000,0 m ²	2	2	6	7	100 199,2	131 231,8	197 489,4	186 577,9	2 485,9	3 418,2	7 208,0	7 671,0				
Total	1.054	1.011	1.289	2.294	166.492,3	260.888,2	346.416,2	366.644,1	31.003,7	42.864,9	64.148,6	72.990,2				

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	946	740	998	2 023	30 178,7	33 392,6	42 743,1	62 537,1	20 596,1	19 484,6	25 460,2	42 915,7
Fase-II	99	260	265	246	22 375,3	58 424,8	59 428,1	56 726,1	6 199,9	15 881,6	16 032,9	15 398,5
Fase-III	7	9	22	18	12 739,0	37 839,0	45 754,5	60 803,1	1 721,8	4 090,5	5 447,4	7 005,1
Bosque	2	2	6	7	100 199,2	131 231,8	197 489,4	186 577,9	2 485,9	3 418,2	7 208,0	7 671,0
Total	1.054	1.011	1.289	2.294	166.492,3	260.888,2	346.416,2	366.644,1	31.003,7	42.864,9	64.148,6	72.990,2

Tabla II.23. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: llanura coluvial (LL_{III}).

Clase de Frecuencia	1938				1961				1978				1997			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	106	2	2	61	735,9	16,3	19,3	439,0	1.215,2	25,0	28,2	728,8				
10,0-19,9	149	17	44	231	2.111,8	264,6	736,8	3.400,6	2.308,0	293,6	756,3	3.697,3				
20,0-29,9	71	49	83	184	1.727,8	1.238,5	2.085,8	4.592,9	1.441,7	1.009,3	1.700,6	3.761,2				
30,0-39,9	60	47	78	126	2.057,7	1.653,2	2.711,5	4.393,1	1.412,8	1.133,7	1.850,2	3.039,1				
40,0-49,9	28	36	71	81	1.243,2	1.608,6	3.135,3	3.616,0	767,6	995,6	1.885,0	2.217,4				
50,0-59,9	23	39	43	71	1.269,1	2.135,9	2.385,9	3.865,8	707,7	1.169,7	1.275,2	2.106,4				
60,0-69,9	11	32	42	43	716,5	2.066,2	2.708,0	2.761,7	368,1	1.054,1	1.323,6	1.375,4				
70,0-79,9	4	25	20	35	310,2	1.883,3	1.498,1	2.636,2	161,1	889,4	682,9	1.241,9				
80,0-89,9	7	22	22	26	600,5	1.867,8	1.856,3	2.187,8	272,8	799,2	835,0	959,2				
90,0-99,9	5	30	19	25	482,0	2.834,1	1.813,0	2.374,2	195,4	1.186,7	737,1	992,6				
100,0-199,9	38	101	111	92	5.173,8	13.895,8	15.761,2	12.388,9	1.883,7	4.810,4	5.224,6	4.375,7				
200,0-299,9	28	31	35	45	6.725,0	7.459,3	8.343,0	10.801,0	1.832,1	2.012,0	2.178,7	2.993,1				
300,0-399,9	5	13	13	23	1.774,6	4.504,2	4.502,5	7.844,4	436,5	1.114,4	1.037,7	1.899,7				
400,0-499,9	2	5	6	4	893,6	2.338,3	2.596,1	1.895,5	204,4	524,5	579,0	429,6				
500,0-599,9	3	4	3	5	1.620,0	2.318,8	1.608,5	2.643,8	325,1	483,9	295,0	540,8				
600,0-699,9	1	6	2	3	620,0	3.946,5	1.227,9	2.023,7	111,3	681,4	213,6	350,8				
700,0-799,9	1	4	5	4	706,9	3.046,3	3.785,3	3.103,7	169,6	500,4	588,0	531,3				
800,0-899,9	0	5	2	0	0,0	4.146,7	1.618,0	0,0	0,0	677,8	250,5	0,0				
900,0-999,9	0	4	4	2	0,0	3.841,9	3.831,4	1.842,5	0,0	600,4	580,9	295,6				
1000,0-1999,9	5	7	7	13	8.373,8	9.848,8	10.629,2	17.720,5	935,6	1.424,9	1.495,1	2.446,7				
2000,0-2999,9	3	0	1	1	6.787,1	0,0	2.645,2	2.112,7	865,3	0,0	288,6	247,6				
3000,0-3999,9	1	3	0	1	3.156,4	10.845,8	0,0	3.620,9	321,6	1.220,3	0,0	430,7				
4000,0-4999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	4.932,2	0,0	0,0	0,0	272,6	0,0				
5000,0-5999,9	1	0	0	0	5.342,9	0,0	0,0	0,0	407,9	0,0	0,0	0,0				
6000,0-6999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	6.096,1	0,0	0,0	0,0	365,5				
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
8000,0-8999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	8.563,7	0,0	0,0	0,0	962,8				
9000,0-9999,9	0	0	2	0	0,0	0,0	19.349,4	0,0	0,0	0,0	1.810,7	0,0				
>10000,0 m ²	2	1	1	4	187.670,6	363.909,2	436.813,4	540.503,9	7.050,4	10.123,4	10.219,5	16.153,1				
Total	654	483	617	1.082	240.093,4	446.668,2	636.693,0	661.428,6	23.396,9	32.730,2	36.108,8	62.140,3				

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	464	299	424	883	11.254,7	15.568,5	18.949,9	30.267,3	8.850,4	8.556,4	11.074,1	20.117,2
Fase-II	78	173	181	178	17.513,8	45.497,9	43.273,8	42.543,5	4.964,7	11.405,2	10.948,1	11.416,5
Fase-III	10	10	11	17	23.660,3	20.692,6	37.556,0	38.114,0	2.530,5	2.645,2	3.867,0	4.453,4
Bosque	2	1	1	4	187.670,6	363.909,2	436.813,4	540.503,9	7.050,4	10.123,4	10.219,5	16.153,1
Total	654	483	617	1.082	240.093,4	446.668,2	636.693,0	661.428,6	23.396,9	32.730,2	36.108,8	62.140,3

Tabla II.24. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: llanura de erosión (LL_{IV}).

Clase de Frecuencia	1938				1961				1978				1997			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	32	1	1	42	218,4	8,6	7,5	318,4	359,8	12,4	12,4	507,3				
10,0-19,9	27	12	9	164	398,1	202,9	147,3	2.410,4	420,2	207,2	155,3	2.633,9				
20,0-29,9	23	24	45	115	541,4	611,4	1.151,3	2.808,9	453,2	495,9	935,3	2.326,8				
30,0-39,9	11	26	41	80	372,2	892,7	1.484,1	2.785,5	251,1	615,3	987,4	1.898,7				
40,0-49,9	6	25	44	52	264,4	1.120,4	1.958,3	2.313,9	160,4	664,4	1.167,8	1.418,5				
50,0-59,9	7	21	32	42	388,0	1.152,0	1.751,6	2.286,5	209,4	627,0	935,7	1.259,0				
60,0-69,9	2	10	11	23	130,7	660,0	710,2	1.469,1	65,3	327,2	345,2	735,2				
70,0-79,9	1	11	19	14	72,2	817,0	1.412,3	1.036,6	33,1	370,1	645,5	493,1				
80,0-89,9	0	11	20	12	0,0	928,3	1.723,5	1.029,6	0,0	404,4	734,1	442,3				
90,0-99,9	2	6	10	8	199,5	565,9	940,0	754,5	86,5	238,8	380,4	313,0				
100,0-199,9	2	28	46	36	269,7	3.719,6	6.017,9	4.596,4	98,0	1.291,4	2.065,3	1.629,7				
200,0-299,9	4	9	16	11	1.034,2	2.025,7	3.729,8	2.610,6	263,1	534,3	1.007,4	698,3				
300,0-399,9	3	5	7	5	1.057,2	1.661,1	2.358,0	1.708,2	249,8	411,2	489,9	376,9				
400,0-499,9	1	3	4	3	402,5	1.331,6	1.795,1	1.327,5	99,9	288,2	366,9	284,2				
500,0-599,9	0	2	2	1	0,0	1.107,6	1.085,9	522,0	0,0	217,8	195,1	103,6				
600,0-699,9	0	0	3	1	0,0	0,0	1.994,7	603,1	0,0	0,0	327,5	94,2				
700,0-799,9	0	0	1	0	0,0	0,0	709,6	0,0	0,0	0,0	104,3	0,0				
800,0-899,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
900,0-999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	911,1	0,0	0,0	0,0	125,6				
1000,0-1999,9	0	3	2	2	0,0	3.261,8	2.502,5	2.918,8	0,0	530,2	312,0	362,0				
2000,0-2999,9	0	2	3	0	0,0	5.063,8	7.317,5	0,0	0,0	657,0	702,1	0,0				
3000,0-3999,9	0	0	1	1	0,0	0,0	3.388,1	3.056,3	0,0	0,0	427,1	318,9				
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
5000,0-5999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	5.850,6	0,0	0,0	0,0	511,8	0,0				
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
8000,0-8999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	8.282,7	0,0	0,0	0,0	936,7	0,0				
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
>10000,0 m ²	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	27.782,8	0,0	0,0	0,0	0,0				
Total	121	199	319	616	6.346,7	26.130,2	66.298,4	63.260,3	2.749,8	7.892,9	13.746,2	16.021,6				

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	111	147	232	552	2.583,0	6.959,1	11.286,1	17.213,4	2.039,0	3.962,8	6.299,1	12.028,1
Fase-II	10	47	79	58	2.763,7	9.845,6	17.690,9	12.278,9	710,8	2.743,0	4.556,5	3.312,5
Fase-III	0	5	8	3	0,0	8.325,6	27.341,3	5.975,1	0,0	1.187,2	2.889,7	680,9
Bosque	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	27.782,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	121	199	319	616	6.346,7	26.130,2	66.298,4	63.260,3	2.749,8	7.892,9	13.746,2	16.021,6

Tabla II.25. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de transición: afloramiento alto-canal de explayamiento (A_{I-LL_I}).

Clase de Frecuencia												
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	6	0	0	11	41,5	0,0	0,0	84,8	66,3	0,0	0,0	128,6
10,0-19,9	16	4	6	29	229,8	57,8	111,6	417,1	255,5	62,5	105,7	448,2
20,0-29,9	12	6	18	38	293,0	155,7	480,9	921,2	238,9	127,5	371,4	753,7
30,0-39,9	7	5	21	20	250,5	168,9	729,7	678,4	167,3	123,6	493,1	464,3
40,0-49,9	7	6	12	17	311,6	260,5	537,7	756,7	192,7	159,6	333,0	455,9
50,0-59,9	6	8	10	16	327,9	437,4	548,7	871,0	181,9	237,7	302,8	480,9
60,0-69,9	3	4	11	11	204,0	252,2	703,5	715,5	103,1	130,4	345,1	354,4
70,0-79,9	6	3	8	5	444,9	221,4	594,8	383,4	207,4	111,5	280,5	169,9
80,0-89,9	2	6	4	8	165,0	511,5	339,0	678,4	69,2	216,8	153,8	295,8
90,0-99,9	0	1	3	8	0,0	99,5	287,9	756,7	0,0	39,7	118,1	311,7
100,0-199,9	5	17	17	14	678,0	2.532,8	2.372,1	1.915,3	262,1	833,4	815,4	654,7
200,0-299,9	4	6	11	7	990,6	1.398,7	2.629,2	1.711,5	282,4	382,7	707,6	468,1
300,0-399,9	0	0	2	6	0,0	0,0	723,0	2.099,2	0,0	0,0	153,5	509,6
400,0-499,9	0	0	1	2	0,0	0,0	407,1	857,9	0,0	0,0	97,8	185,0
500,0-599,9	1	1	0	2	569,1	597,0	0,0	1.044,9	112,3	111,6	0,0	198,9
600,0-699,9	0	1	1	0	0,0	693,9	637,5	0,0	0,0	115,4	107,7	0,0
700,0-799,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000,0-1999,9	0	0	1	3	0,0	0,0	1.557,0	3.672,8	0,0	0,0	155,0	479,3
2000,0-2999,9	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	5.480,6	0,0	0,0	0,0	555,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m ²	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	76	68	126	200	4.606,8	7.381,2	12.639,7	23.970,1	2.139,2	2.632,4	4.640,6	7.064,1

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	65	43	93	163	2.268,1	2.158,8	4.313,8	6.263,1	1.482,4	1.209,2	2.503,5	3.863,6
Fase-II	10	25	32	32	2.237,7	5.222,4	6.768,9	8.553,5	656,8	1.423,2	1.882,0	2.156,2
Fase-III	0	0	1	5	0,0	0,0	1.557,0	9.153,4	0,0	0,0	155,0	1.034,4
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	76	68	126	200	4.606,8	7.381,2	12.639,7	23.970,1	2.139,2	2.632,4	4.640,6	7.064,1

Tabla II.26. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de transición: afloramiento bajo-llanura coluvial ($A_{III-LL_{III}}$).

Clase de Frecuencia												
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m ²	1	0	0	1	9,9	0,0	0,0	8,3	12,8	0,0	0,0	14,4
10,0-19,9	3	0	0	1	56,4	0,0	0,0	12,3	55,2	0,0	0,0	14,4
20,0-29,9	0	0	1	1	0,0	0,0	21,1	24,6	0,0	0,0	18,2	20,4
30,0-39,9	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	68,9	0,0	0,0	0,0	47,6
40,0-49,9	1	1	2	2	41,9	42,5	86,1	85,2	25,1	27,8	51,7	51,5
50,0-59,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60,0-69,9	2	0	0	2	135,0	0,0	0,0	132,9	66,7	0,0	0,0	67,7
70,0-79,9	1	0	0	0	76,4	0,0	0,0	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0
80,0-89,9	1	1	1	2	86,1	82,9	85,5	166,0	37,9	36,7	36,1	73,2
90,0-99,9	0	2	1	0	0,0	183,6	92,7	0,0	0,0	76,2	36,9	0,0
100,0-199,9	4	3	3	6	590,4	421,6	438,1	828,7	197,6	148,2	144,6	289,7
200,0-299,9	3	2	0	0	651,0	479,1	0,0	0,0	194,3	117,8	0,0	0,0
300,0-399,9	0	2	0	1	0,0	680,2	0,0	342,1	0,0	162,7	0,0	76,2
400,0-499,9	1	1	2	1	456,4	423,4	846,3	429,1	102,0	84,5	156,5	103,5
500,0-599,9	3	0	2	1	1.626,6	0,0	1.106,6	558,6	369,7	0,0	194,1	104,6
600,0-699,9	0	1	0	0	0,0	696,1	0,0	0,0	0,0	118,3	0,0	0,0
700,0-799,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	1	0	0	0,0	879,0	0,0	0,0	0,0	158,7	0,0	0,0
900,0-999,9	0	1	1	0	0,0	966,4	990,4	0,0	0,0	149,6	143,7	0,0
1000,0-1999,9	1	4	2	4	1.218,9	6.139,1	2.370,5	8.137,1	230,8	845,4	293,9	718,4
2000,0-2999,9	0	3	0	0	0,0	8.052,2	0,0	0,0	0,0	847,4	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	1	0	1	0	4.646,5	0,0	4.121,4	0,0	398,0	0,0	325,9	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	5.310,0	0,0	0,0	0,0	346,6
6000,0-6999,9	1	0	2	0	6.105,0	0,0	13.021,1	0,0	483,0	0,0	998,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m ²	0	1	1	2	0,0	15.051,3	39.192,0	62.944,2	0,0	1.440,2	2.694,2	3.558,7
Total	23	23	19	27	16.700,3	34.097,4	62.371,8	77.048,1	2.208,0	4.213,7	6.093,8	6.486,9

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	9	4	5	11	405,6	309,0	285,5	498,1	232,6	140,7	142,8	289,3
Fase-II	11	11	8	9	3.324,3	4.545,8	3.381,4	2.158,6	863,6	939,9	639,0	573,9
Fase-III	3	7	5	5	11.970,4	14.191,3	19.513,0	11.447,1	1.111,8	1.692,8	1.617,8	1.065,0
Bosque	0	1	1	2	0,0	15.051,3	39.192,0	62.944,2	0,0	1.440,2	2.694,2	3.558,7
Total	23	23	19	27	16.700,3	34.097,4	62.371,8	77.048,1	2.208,0	4.213,7	6.093,8	6.486,9

Tabla II.27. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *afloramiento alto* (A_1) y el *incremento relativo anual* (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_1				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	413	219	512	972	**	-2,04	7,87	4,73	2,29
	Fase-II	10	22	40	39	ns	5,22	4,81	-0,13	
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	423	241	562	1.011	**	-1,87	7,69	4,38	
Área (m^2)	Fase-I	8.236	7.397	18.024	26.788	***	-0,44	8,45	2,56	3,82
	Fase-II	1.495	4.186	6.107	6.626	ns	7,83	2,70	0,45	
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	9.731	11.683	24.132	33.414	***	0,83	6,37	2,02	
Perímetro (m)	Fase-I	7.180	4.932	11.939	19.461	***	-1,36	8,36	3,32	2,90
	Fase-II	481	1.193	1.981	2.049	ns	6,44	3,89	0,18	
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	7.661	6.125	13.920	21.610	***	-0,87	7,49	2,87	

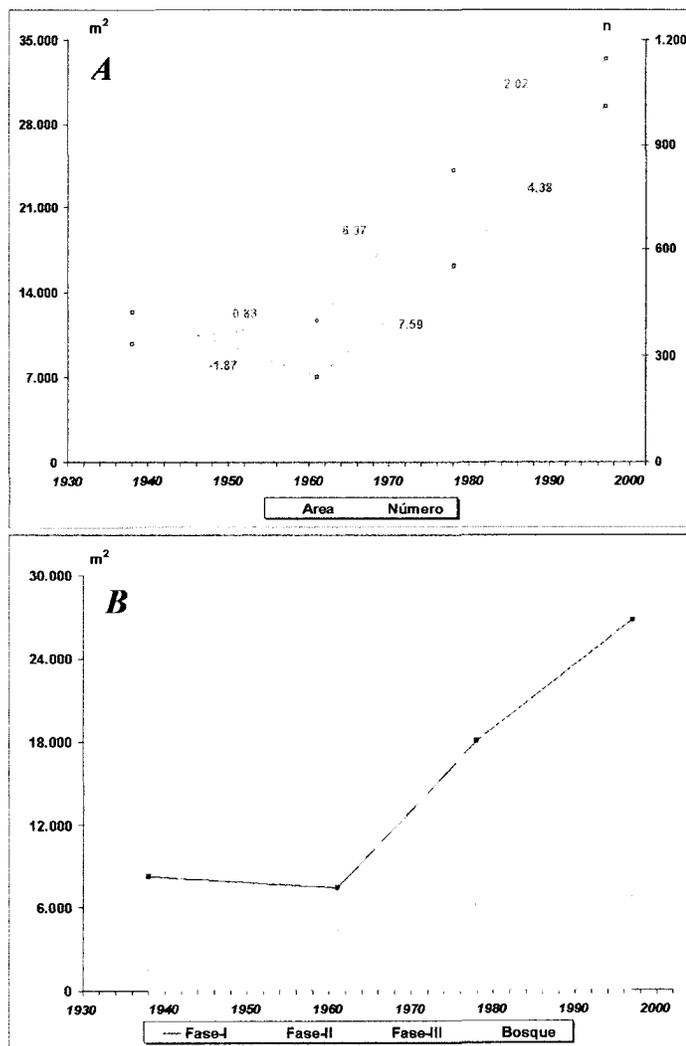


Figura II.35. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por *fases* (B) para A_1 en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.28. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *afloramiento medio* (A_{II}) y el *incremento relativo anual* (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_{II}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	117	72	148	270	ns	-1,67	6,21	4,34	2,22
	Fase-II	1	22	16	12		91,30	-1,60	-1,32	
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	118	94	164	282		-0,88	4,38	3,79	
Área (m ²)	Fase-I	2.900	3.582	5.973	6.603	**	1,02	3,93	0,56	2,16
	Fase-II	181	3.454	2.516	2.438	ns	78,40	-1,60	-0,16	
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	3.082	7.036	8.489	9.041	6,68	1,21	0,34		
Perímetro (m)	Fase-I	2.264	1.959	4.125	5.167	ns	-0,59	6,50	1,33	2,17
	Fase-II	50	1.124	302	687		94,30	-4,30	6,70	
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	2.314	3.083	4.427	6.864		1,46	2,66	1,70	

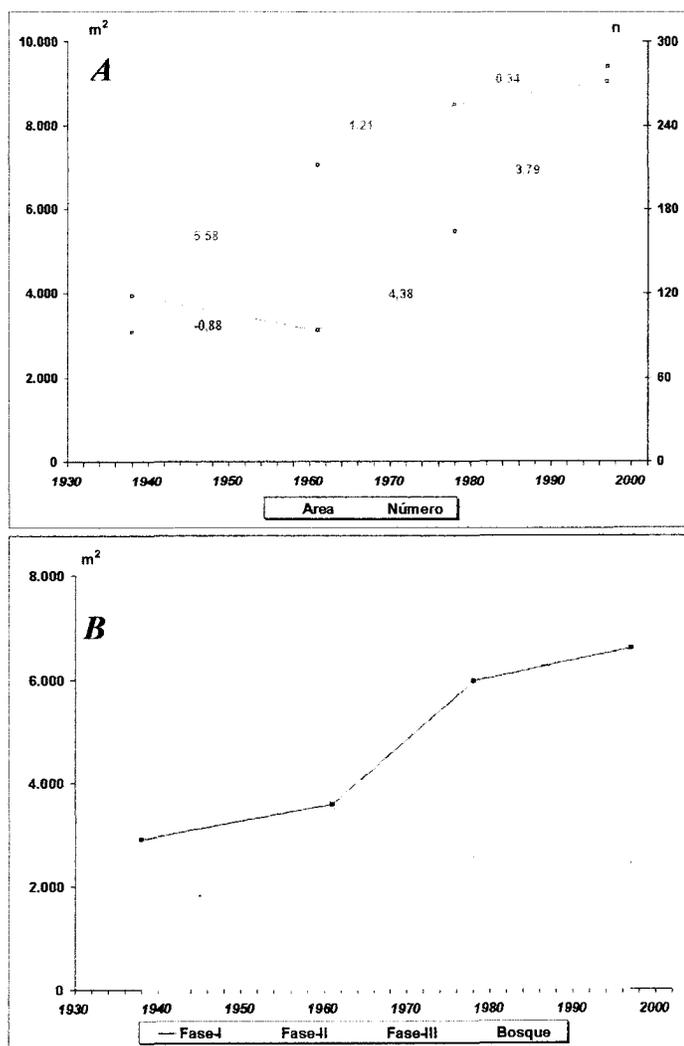


Figura II.36. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_{II} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.29. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el afloramiento bajo (A_{II}) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_{II}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	168	87	157	409	**	-2,10	4,73	8,45	2,43
	Fase-II	36	62	77	86	ns	3,14	1,42	0,62	2,36
	Fase-III	4	5	5	8	ns	1,09	0,00	3,16	1,69
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		208	164	239	603	**	-1,13	3,26	6,81
Área (m ²)	Fase-I	5.332	4.830	7.811	13.016	***	-0,41	3,63	3,51	2,44
	Fase-II	10.041	18.025	18.139	23.268	*	3,46	0,04	1,49	2,23
	Fase-III	6.205	9.429	11.889	14.599	ns	2,26	1,53	1,20	2,29
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		21.579	32.284	37.838	60.882	***	2,16	1,01	1,81
Perímetro (m)	Fase-I	3.610	2.520	4.329	8.967	***	-1,31	4,22	5,64	2,62
	Fase-II	2.450	4.319	4.582	5.935	*	3,32	0,36	1,55	2,41
	Fase-III	728	1.196	1.164	1.825	ns	2,80	-0,16	2,99	2,66
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		6.788	8.036	10.076	16.727	***	0,80	1,49	3,47

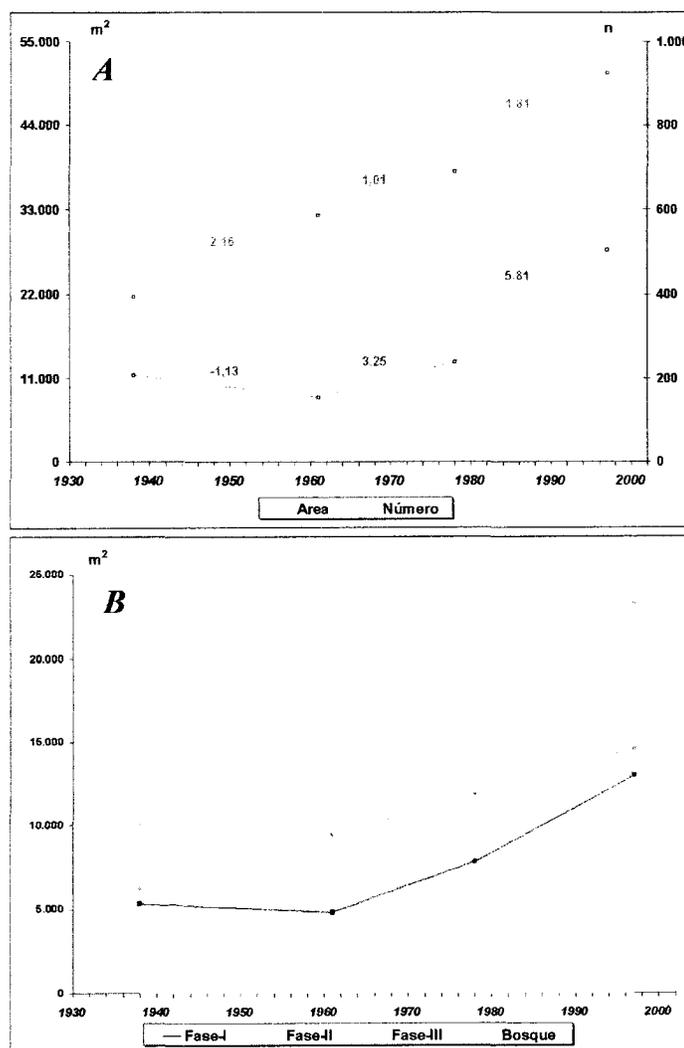


Figura II.37. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_{II} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.30. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *canal de explayamiento (LL₁)* y el *incremento relativo anual (IRA)* que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL ₁				Dif.	IRA (%)			
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	Medio
Número	Fase-I	394	237	383	870	**	-1,73	3,62	6,69	2,06
	Fase-II	44	81	94	77	*	3,66	0,94	-0,96	1,27
	Fase-III	2	2	3	5	ns	0,00	2,94	3,51	2,64
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		440	320	480	962	***	-1,19	2,94	6,18
Área (m ²)	Fase-I	12.515	10.862	16.211	25.169	**	-0,57	2,90	2,91	1,71
	Fase-II	8.571	16.170	20.983	14.995	*	3,85	1,75	-1,50	1,27
	Fase-III	4.337	6.292	11.102	16.168	ns	1,96	4,50	2,40	4,62
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		26.423	33.324	48.296	66.332	**	1,36	2,64	0,88
Perímetro (m)	Fase-I	8.514	6.177	9.680	17.641	***	-1,19	3,34	4,44	1,86
	Fase-II	2.518	4.591	5.656	4.384	*	3,58	1,36	-1,18	1,26
	Fase-III	763	774	1.088	1.470	ns	0,06	2,38	1,85	1,57
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		11.795	11.642	16.424	23.695	**	-0,09	2,49	2,33

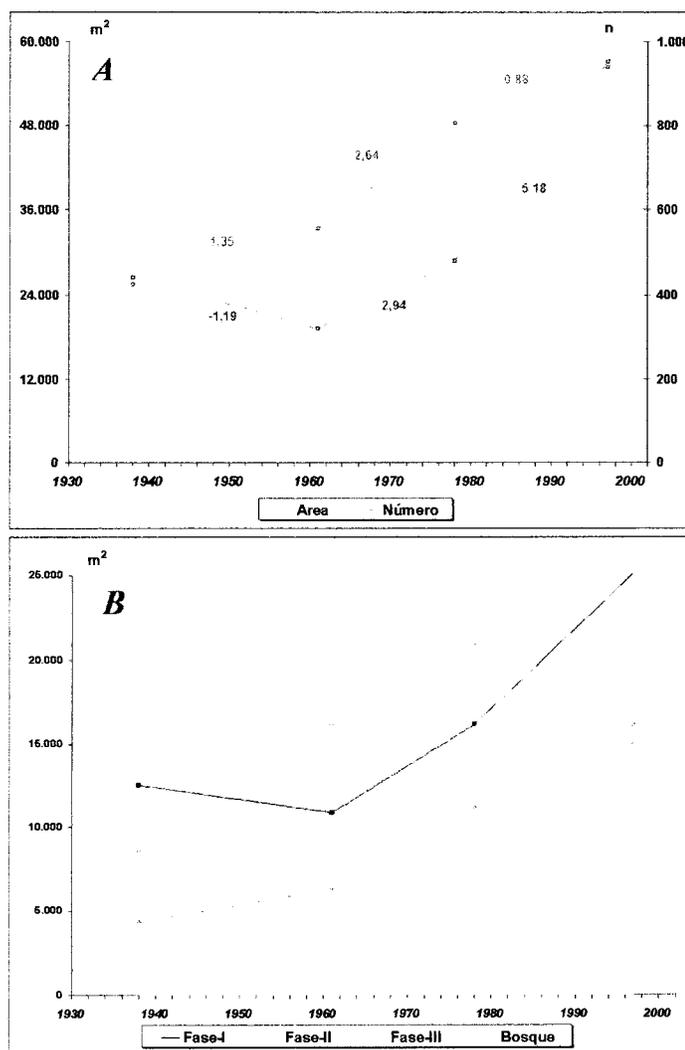


Figura II.38. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL₁ en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.31. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *abanico de explayamiento* (LL_{II}) y el *incremento relativo anual* (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL_{II}				Dif.	IRA (%)			
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	Medio
Número	Fase-I	946	740	996	2.023	**	-0,95	2,03	5,43	1,93
	Fase-II	99	260	265	246	ns	7,07	0,11	-0,38	2,62
	Fase-III	7	9	22	18	ns	1,24	8,50	-0,96	2,66
	Bosque	2	2	6	7	ns	0,00	11,76	0,88	4,24
	Total		1.064	1.011	1.289	2.294	**	-0,18	1,62	4,10
Área (m^2)	Fase-I	30.179	33.393	42.743	62.537	***	0,46	1,65	2,44	1,82
	Fase-II	22.375	58.425	59.428	56.726	**	7,00	0,10	-0,24	2,60
	Fase-III	12.739	37.839	45.755	60.803	ns	8,57	1,23	1,73	6,39
	Bosque	100.199	131.232	197.489	186.578	ns	1,35	2,97	-0,29	1,46
	Total		165.492	260.888	345.415	366.644	**	2,81	1,91	0,32
Perímetro (m)	Fase-I	20.596	19.465	25.460	42.916	***	-0,24	1,81	3,61	1,84
	Fase-II	6.200	15.882	16.033	15.399	*	6,79	0,06	-0,21	2,81
	Fase-III	1.722	4.091	5.447	7.005	ns	5,98	1,95	1,51	6,20
	Bosque	2.486	3.418	7.208	7.671	ns	1,63	6,52	0,34	3,64
	Total		31.004	42.866	64.149	72.990	***	1,66	1,66	1,83

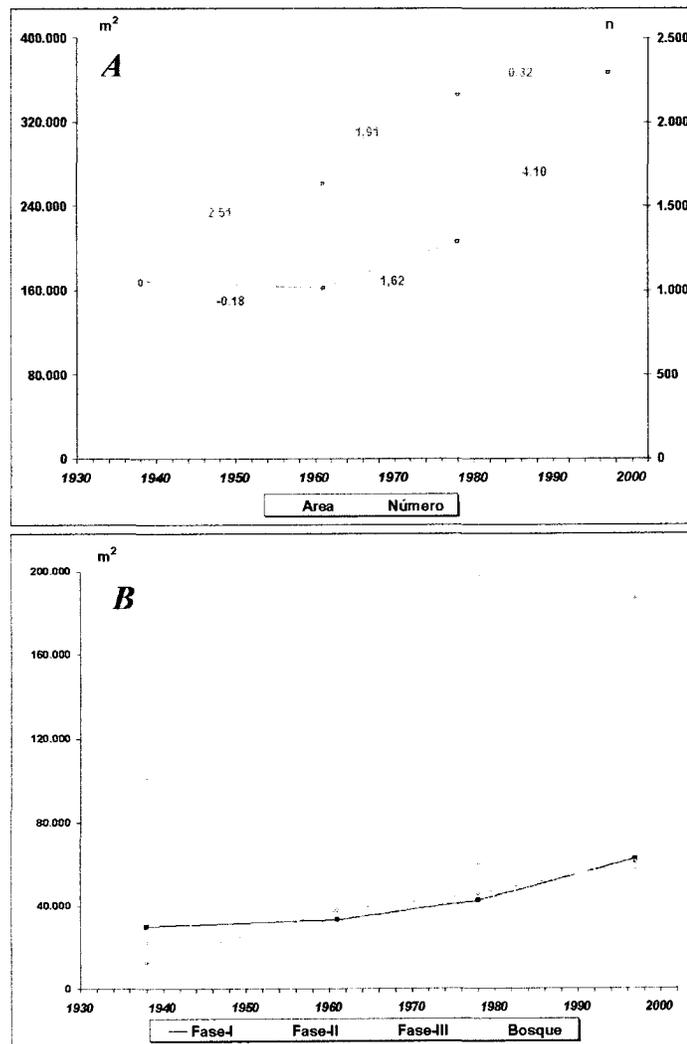


Figura II.39. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_{II} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.32. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la *llanura coluvial* (LL_{III}) y el *incremento relativo anual* (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL_{III}				Dif.	IRA (%)			
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	Medio
Número	Fase-I	464	299	424	883	**	-1,55	2,46	5,70	1,63
	Fase-II	78	173	181	178	ns	5,30	0,27	-0,09	2,17
	Fase-III	10	10	11	17	ns	0,00	0,59	2,87	1,19
	Bosque	2	1	1	4	ns	-2,17	0,00	15,79	1,69
	Total		564	483	617	1.082	**	-0,66	1,63	3,97
Área (m^2)	Fase-I	11.255	15.568	18.950	30.267	**	1,67	1,28	3,14	2,86
	Fase-II	17.514	45.498	43.274	42.543	**	6,95	-0,29	-0,09	2,42
	Fase-III	23.660	20.693	37.556	38.114	ns	-0,65	4,79	0,08	1,04
	Bosque	187.671	363.909	436.813	540.504	ns	4,08	1,18	1,25	3,19
	Total		240.099	446.668	636.693	661.429	*	3,72	1,20	1,13
Perímetro (m)	Fase-I	8.850	8.556	11.074	20.117	**	-0,14	1,73	4,30	2,16
	Fase-II	4.965	11.405	10.948	11.417	*	5,64	-0,24	0,23	2,20
	Fase-III	2.530	2.645	3.867	4.453	ns	0,20	2,72	0,80	1,29
	Bosque	7.050	10.123	10.219	16.153	ns	1,90	0,06	3,06	2,19
	Total		23.396	32.730	36.109	62.140	**	1,73	0,61	2,34

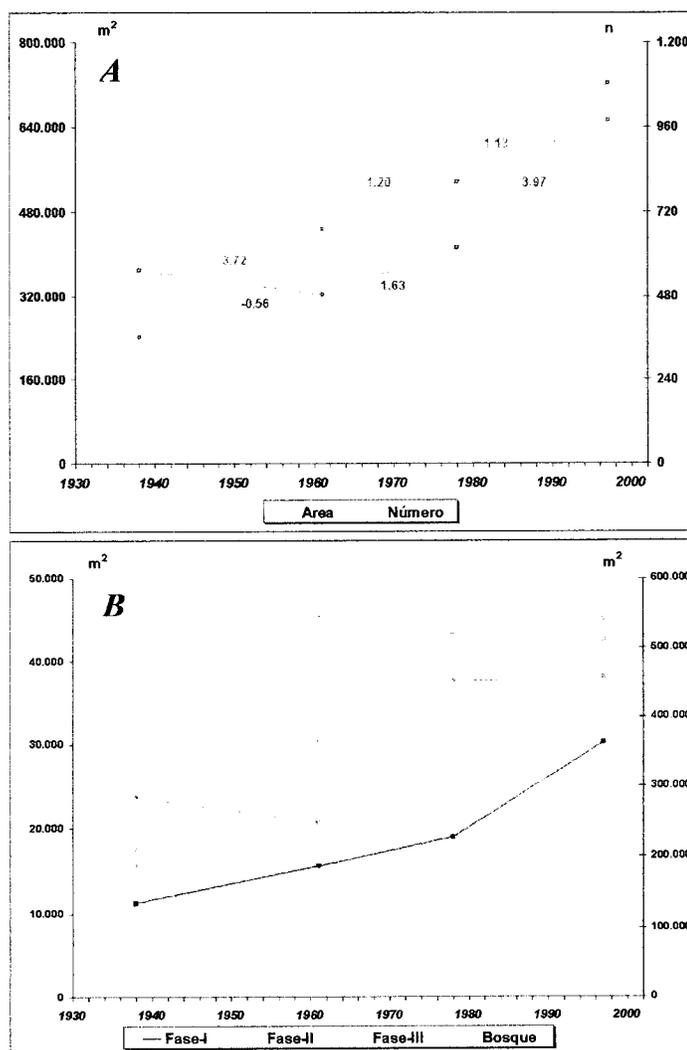


Figura II.40. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_{III} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas es el IRA para cada serie. Fase-Bosque sobre eje y2.

Tabla II.33. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la llanura de erosión (LL_{IV}) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL_{IV}				Dif.	IRA (%)			
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	Medio
Número	Fase-I	111	147	232	552	**	1,41	3,40	7,26	6,73
	Fase-II	10	47	79	58	ns	18,09	4,01	-1,40	8,14
	Fase-III	0	5	8	3	ns		3,53	-3,29	
	Bosque	0	0	0	2					
	Total		121	199	319	616		2,80	3,65	4,88
Área (m^2)	Fase-I	2.583	6.959	11.266	17.213	***	7,37	3,64	2,78	9,60
	Fase-II	2.764	9.846	17.691	12.279	***	11,14	4,69	-1,61	6,84
	Fase-III	0	8.326	27.341	5.975	ns		13,44	-4,11	
	Bosque	0	0	0	27.783					
	Total		6.347	26.130	66.298	63.260	***	16,09	7,30	0,65
Perímetro (m)	Fase-I	2.039	3.963	6.299	12.028	***	4,10	3,47	4,79	8,30
	Fase-II	711	2.743	4.556	3.312	*	12,43	3,89	-1,44	6,20
	Fase-III	0	1.187	2.890	681	ns		8,44	-4,02	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		2.760	7.893	13.745	16.021	***	8,13	4,36	0,87

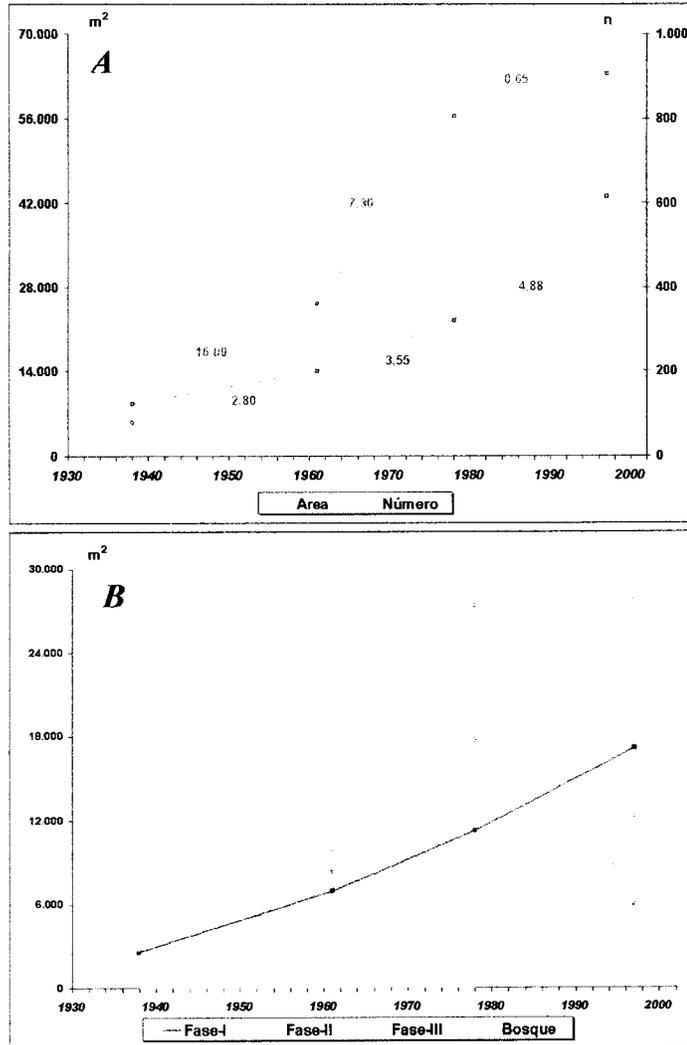


Figura II.41. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_{IV} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.34. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la zona de transición *afloramiento alto-canal de explayamiento (A-LL)* y el *incremento relativo anual (IRA)* que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A-LL				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	65	43	93	163	***	-1,47	6,84	3,96	2,66
	Fase-II	10	25	32	32	ns	6,52	1,65	0,00	3,73
	Fase-III	0	0	1	5	ns			21,05	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		76	68	126	200	***	-0,41	6,02	3,09
Área (m ²)	Fase-I	2.268	2.159	4.314	6.263	***	-0,21	5,87	2,38	2,99
	Fase-II	2.238	5.222	6.769	8.554	*	5,80	1,74	1,39	4,78
	Fase-III	0	0	1.557	9.153	ns			25,68	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		4.606	7.381	12.640	23.970	***	2,77	4,19	4,72
Perímetro (m)	Fase-I	1.482	1.209	2.504	3.864	***	-0,60	6,30	2,86	2,72
	Fase-II	657	1.423	1.882	2.156	ns	5,07	1,90	0,77	3,87
	Fase-III	0	0	155	1.034	ns			29,86	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		2.139	2.632	4.640	7.064	***	1,00	4,26	2,91

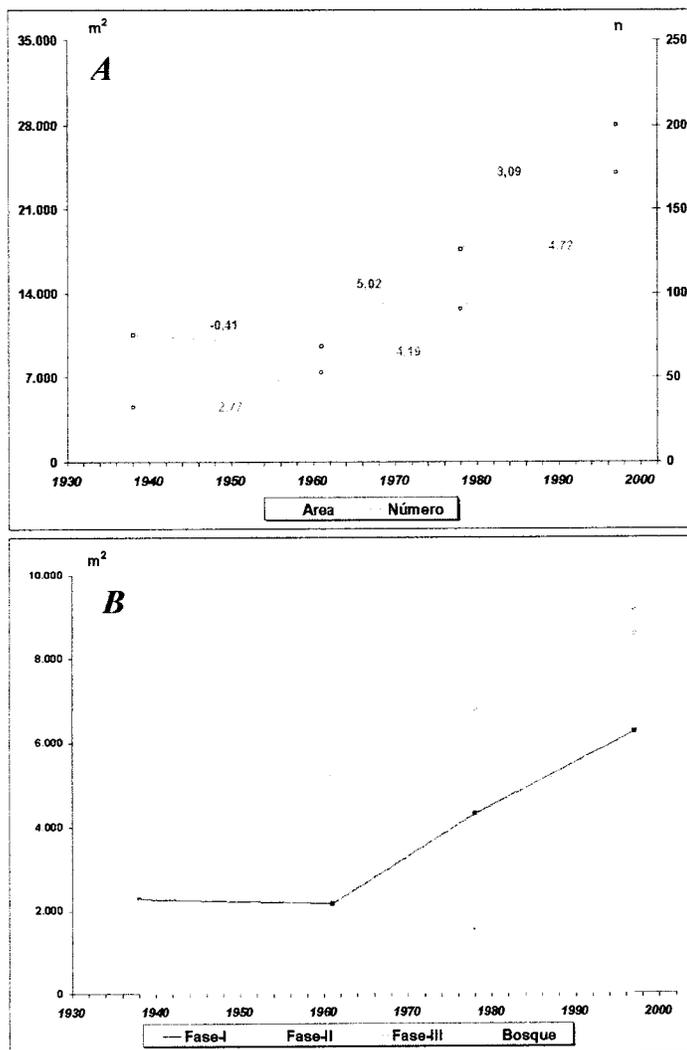


Figura II.42. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_{-LL1} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.35. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la zona de transición *afloramiento bajo-llanura coluvial (A_{III-LLIII})* el *incremento relativo anual (IRA)* que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (*ANOVA*; *ns*, *no significativo*; * *P*<0,05; ** *P*<0,01; *** *P*<0,001).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A _{III-LLIII}				Dif.	IRA (%)			
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	Medio
Número	Fase-I	9	4	5	11	ns	-2,42	1,47	6,32	0,38
	Fase-II	11	11	8	9	ns	0,00	-1,60	0,66	-0,31
	Fase-III	3	7	5	5	ns	5,80	-1,68	0,00	1,13
	Bosque	0	1	1	2	ns		0,00	5,26	
	Total		23	23	19	27	ns	0,00	-1,02	2,22
Área (m ²)	Fase-I	406	309	285	498	ns	-1,04	-0,45	3,92	0,39
	Fase-II	3.324	4.546	3.381	2.159	ns	1,60	-1,51	-1,90	-0,69
	Fase-III	11.970	14.191	19.513	11.447	ns	0,81	2,21	-2,18	-0,07
	Bosque	0	15.051	39.192	62.944	ns		9,43	3,19	
	Total		16.700	34.097	62.372	77.048	ns	6,09	4,88	1,24
Perímetro (m)	Fase-I	233	141	143	289	ns	-1,72	0,09	5,39	0,41
	Fase-II	864	940	639	574	ns	0,38	-1,65	0,54	-0,67
	Fase-III	1.112	1.693	1.618	1.065	ns	2,27	-0,26	-1,60	-0,07
	Bosque	0	1.440	2.694	3.559	ns		5,12	1,69	
	Total		2.208	4.214	6.094	6.487	ns	3,96	1,23	0,41

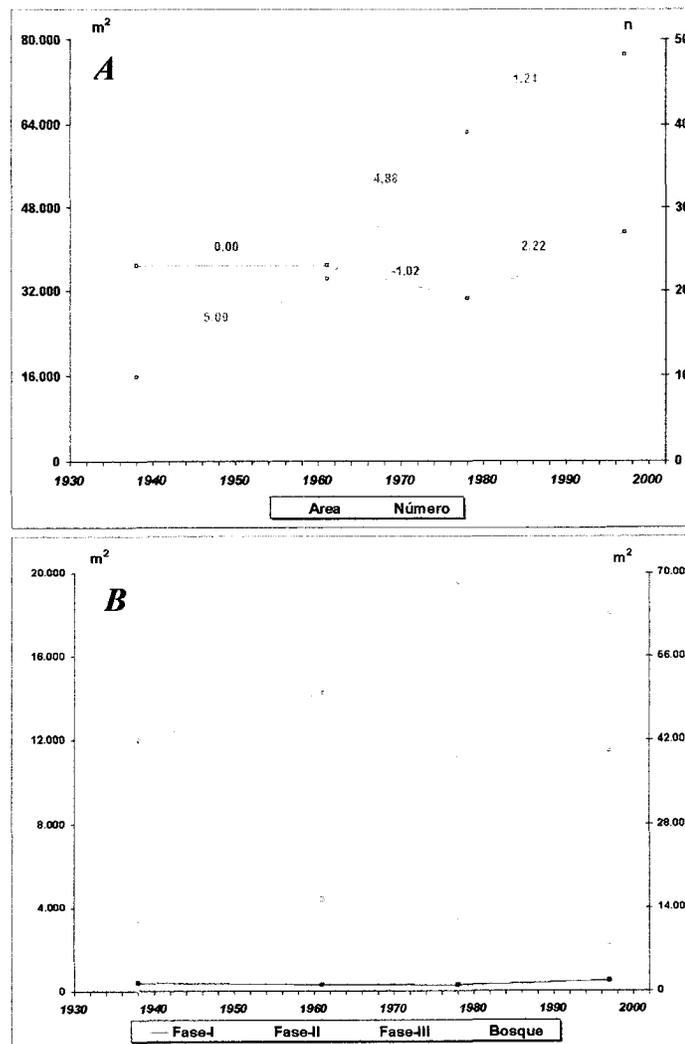


Figura II.43. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_{III-LLIII} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas es el IRA para cada serie. Fase-Bosque sobre eje y2.

En la Tabla II.27 y la Figura II.35, se observa que, producto de la dinámica de los polígonos de cobertura de $<100 \text{ m}^2$, la forma de relieve *afloramientos altos*, A_I , presenta una dinámica temporal con tendencia lineal al incremento significativo de sus variables poligonales ($P<0,01$). Esto resulta en un **IRA** medio del área de los polígonos *Fase-I* de 3,82%. Este valor lo alcanza luego de partir de una disminución en el **IRA** del $-0,44 \%$ en el lapso *1938-1961*, y un incremento de $8,45 \%$ y $2,56 \%$ para las series *1961-1978* y *1978-1997*, respectivamente. Esta tendencia se repite para las variables número y perímetro de esta *fase* para esta *forma de relieve*. Por otro lado, para la *Fase-II*, la diferencia entre las medias de las variables poligonales pierde significación, esto a pesar de lograr un **IRA** por serie sostenidamente positivo y un **IRA** medio de $4,92 \%$. En la *forma de relieve* A_I no se detectó la presencia de polígonos en *Fase-III* y *Fase-Bosque*.

Al igual que para la forma de relieve anterior, producto de un incremento lineal de los polígonos *Fase-I*, la dinámica temporal del *afloramiento medio* A_{II} es significativa ($P<0,05$) (ver Tabla II.28 y Figura II.36). El **IRA** medio de la cobertura es de $3,28 \%$ y lo alcanza a través de una dinámica temporal donde el número de polígonos se reduce inicialmente (*1938-1961* = $-1,67 \%$) para luego incrementarse en el resto de la serie.

El incremento lineal en la cobertura de leñosas se manifiesta nuevamente para la siguiente forma de relieve, el *afloramiento bajo* A_{III} (ver Tabla II.29 y Figura II.37). Para los polígonos presentes en estos afloramientos, los de *Fase-I* y *Fase-II* establecen una significación ($P<0,05$) en la dinámica temporal tanto para el *área* como el *perímetro* de la cobertura leñosa. El *número*, por otro lado, presenta dinámica significativa sólo para aquellos polígonos $<100 \text{ m}^2$ (*Fase-I*). Tanto el *número*, *área* y *perímetro* de los polígonos de *Fase-I* de A_{III} experimentan un descenso en sus valores entre *1938* y *1961*, esto luego se revierte de forma significativa ($P<0,05$) en las dos siguientes series, logrando estas variables poligonales alcanzar un **IRA** medio de $2,43$, $2,44$ y $2,52 \%$, respectivamente. La dinámica temporal de los polígonos entre 100 y 1.000 m^2 , de *Fase-II*, presentó un **IRA** constantemente positivo logrando el *área* y el *perímetro* experimentar incrementos anuales de $2,23 \%$ y $2,41 \%$, respectivamente.

Con respecto a las formas de relieve con dinámica hídrica de deposición (*run-on*), el *canal de explayamiento* LL_I , presenta una dinámica temporal significativa ($P<0,05$) para las dos primeras *fases* (*Fase-I* y *Fase-II*) del *número*, *área* y *perímetro* de los polígonos de cobertura de leñosas (Tabla II.30 y Figura II.38). Luego de un decrecimiento inicial (*1938-*

1961) en los valores poligonales de *Fase-I*, el **IRA** para 1961-1978 y 1978-1997 se torna sensiblemente positivo, especialmente para el último lapso. Lo inverso ocurre con los polígonos entre 100-1.000 m² de cobertura (*Fase-II*); aún cuando el **IRA** medio de las variables es positivo, los valores muestran una reducción importante a lo largo de la serie de 59 años.

La dinámica temporal total en los *abanicos de explayamiento*, *LL_{II}*, es significativa ($P < 0,01$) en sus variables poligonales. Si bien en esta *forma de relieve* se presentan polígonos de leñosas en todas las *fases*, son los de *Fase-I* y *Fase-II* las que presentan significación estadística en el incremento de sus valores ($P < 0,05$). Esto último es especialmente cierto para la dinámica temporal del *área* y el *perímetro* de los polígonos, y de éstos, los de cobertura < 100 m² (*Fase-I*) (ver Tabla II.31 y Figura II.39). Al igual que para *LL_I*, a pesar de presentar un **IRA** medio positivo, la cobertura que generan los polígonos *Fase-II* experimentan una reducción a la largo de la serie de años. En conjunto, es decir, considerando todas las *fases*, el **IRA** total para el *número* de polígonos es negativo para el primer lapso (1938-1961); luego se torna sensiblemente positivo. El **IRA** medio resultante es en todo caso positivo: **IRA número** = 1,99%, **IRA área** = 2,06% e **IRA perímetro** = 2,30%.

Para las *llamuras coluviales* (*LL_{III}*), la dinámica temporal de la cobertura es también significativa ($P < 0,05$). En el caso del *área* y del *perímetro*, los polígonos *Fase-I* y *Fase-II* son los que originan la mayor variabilidad; mientras que para el número, sólo los de *Fase-I* muestran significación en la variabilidad temporal de sus valores ($P < 0,01$). Para las tres variables poligonales, el **IRA** de los polígonos *Fase-I* tiende a incrementarse con el tiempo; mientras que en los de *Fase-II* ocurre una reducción. Al considerar la globalidad de datos, es decir todas las *fases*, el **IRA** medio para cualquier variable poligonal es positivo.

En las *llamuras de erosión*, *LL_{IV}* (Tabla II.33 y Figura II.41), los polígonos presentan la dinámica temporal total muy importante, no solo por su significación ($P < 0,001$) sino por el elevado **IRA** medio alcanzado por las variables poligonales: 6,92 % para el *número* de polígonos; 18,36 % para el *área* de cobertura y 8,18 % para el *perímetro*. Esto se logra a través de la dinámica de las *fases* *Fase-I* y *Fase-II*, casi de forma exclusiva.

En el caso de la forma de transición *A_I-LL_I*, la dinámica temporal total de todas las variables poligonales muestra diferencias significativas a través de un incremento lineal de sus valores ($P < 0,001$) (ver Tabla II.34 y Figura II.42). Con respecto a las *fases*, *Fase-I* presenta significación para el *número*, *área* y *perímetro* de polígonos ($P < 0,001$). La dinámica para

Fase-II, sólo es significativa para el área de cobertura ($P < 0,05$). Para todas las variables poligonales en *Fase-I*, se observa una disminución del **IRA** para el lapso 1938-1961. Esto luego se revierte y para las dos siguientes series (1961-1978, 1978-1997), el **IRA** se torna positivo, resultando en un **IRA** medio (1938-1997) también positivo.

La otra forma de transición, $A_{III}-LL_{III}$, presentó una población total de 92 polígonos distribuidos en las diferentes *fases* y series; y a pesar que presenta un **IRA** medio para la cobertura de 6,62%, ninguna de las variables poligonales en ninguna de las series, presentan significación en su dinámica temporal ($P > 0,05$) (Tabla II.35 y Figura II.43).

A modo de resumen de lo expuesto anteriormente, las Tabla II.36 y II.37 y la Figura II.44 presentan los **IRA** por serie de años (1938-1961, 1961-1978, 1978-1997) y medio (1938-1997) que se generan por variaciones temporales en los valores de *número* y *área* de los polígonos de cobertura.

Tabla II.36. IRA por serie de años (1938-1961, 1961-1978, 1978-1997) y medio (1938-1997) que se generan por variaciones temporales en los valores de *número* y *área* de los polígonos de cobertura.

Forma	Número				IRA (%)			
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	Medio
A_I	423	241	552	1.011	-1.87	7.59	4.38	2.36
A_I-LL_I	75	68	126	200	-0.41	5.02	3.09	2.82
LL_I	440	320	480	952	-1.19	2.94	5.18	1.97
A_{II}	118	94	164	282	-0.88	4.38	3.79	2.36
LL_{II}	1.054	1.011	1.289	2.294	-0.18	1.62	4.10	1.99
A_{III}	208	154	239	503	-1.13	3.25	5.81	2.40
$A_{III}-LL_{III}$	23	23	19	27	0.00	-1.02	2.22	0.29
LL_{III}	554	483	617	1.082	-0.56	1.63	3.97	1.62
LL_{IV}	121	199	319	615	2.80	3.55	4.88	6.92
Total	3.016	2.593	3.805	6.966	-0.61	2,75	4,37	2,22

Forma	Área (m ²)				IRA (%)			
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	Medio
A_I	9.731	11.583	24.132	33.414	0.83	6.37	2.02	4.12
A_I-LL_I	4.506	7.381	12.640	23.970	2.77	4.19	4.72	7.32
LL_I	25.423	33.324	48.296	56.332	1.35	2.64	0.88	2.06
A_{II}	3.082	7.036	8.489	9.041	5.58	1.21	0.34	3.28
LL_{II}	165.492	260.888	345.415	366.644	2,51	1,91	0,32	2,06
A_{III}	21.579	32.284	37.838	50.882	2.16	1.01	1.81	2.30
$A_{III}-LL_{III}$	15.700	34.097	62.372	77.048	5.09	4.88	1.24	6.62
LL_{III}	240.099	445.668	536.593	651.429	3.72	1.20	1.13	2.90
LL_{IV}	5.347	25.130	56.298	63.250	16.09	7.30	0.65	18.36
Total	490.959	857.391	1.132.073	1.332.010	3,25	1,88	0,93	2,90

Tabla II.37. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *Área de Estudio* y el *incremento relativo anual (IRA)* que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en Área de Estudio				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	2.687	1.848	2.950	6.153	***	-1,36	3,51	5,71	2,19
	Fase-II	299	703	792	737	ns	5,87	0,74	-0,37	2,48
	Fase-III	26	38	55	61	ns	2,01	2,63	0,57	2,28
	Bosque	4	4	8	15	ns	0,00	5,88	4,61	4,66
	Total		3.016	2.693	3.806	6.966	***	-0,61	2,76	4,37
Área (m ²)	Fase-I	75.674	85.058	125.578	188.356	***	0,54	2,80	2,63	2,62
	Fase-II	68.504	165.371	178.288	169.587	***	6,15	0,46	-0,26	2,60
	Fase-III	58.911	96.770	154.712	156.259	***	2,79	3,52	0,05	2,80
	Bosque	287.870	510.192	673.495	817.809	ns	3,36	1,88	1,13	3,12
	Total		490.969	867.392	1.132.073	1.332.011	***	3,26	1,88	0,93

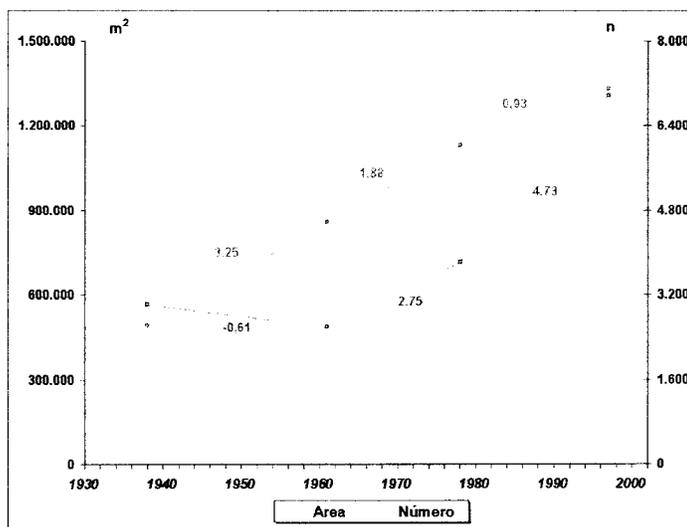


Figura II.44. Dinámica temporal global para el número y el área de cobertura en el *Área de Estudio* en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Se observa que para los primeros 23 años (serie 1938-1961) ocurre una reducción generalizada de $-0,61\%$ anual en el número de polígonos; donde sólo la forma de relieve LL_{IV} logra un incremento en sus valores y $A_{III}-LL_{III}$ los mantiene invariables. A pesar de esto, para la misma serie, ocurre un incremento generalizado en el área de cobertura de las leñosas ($+3,25\%$ /año). A excepción de una reducción en los valores de la forma de transición $A_{III}-LL_{III}$ para la serie 1961-1978, se puede afirmar que, partir de 1961, ocurre un incremento generalizado e importante en el número de polígonos como en el área de cobertura. Esto resulta en un IRA medio positivo para los 59 años (1938-1997) y para cualquier forma de relieve, tanto en el número de polígonos ($+2,22\%$ /año) como en el área de cobertura ($+2,90\%$ /año). En el caso del número de polígonos son los de $<100\text{ m}^2$ (Fase-I) los que regulan esta dinámica, y los de hasta 10.000 m^2 (Fase-I, Fase-II y Fase-III) en el caso del área de cobertura.

Al ser ordenadas las formas de relieve según su ubicación dentro del gradiente altimétrico presente en el área de estudio se observa un comportamiento diferencial tanto en el **IRA** medio (1938-1997) del *número* y *área* de las *formas* (Figura II.45), como en el **IRA** por serie anual (Figura II.46).

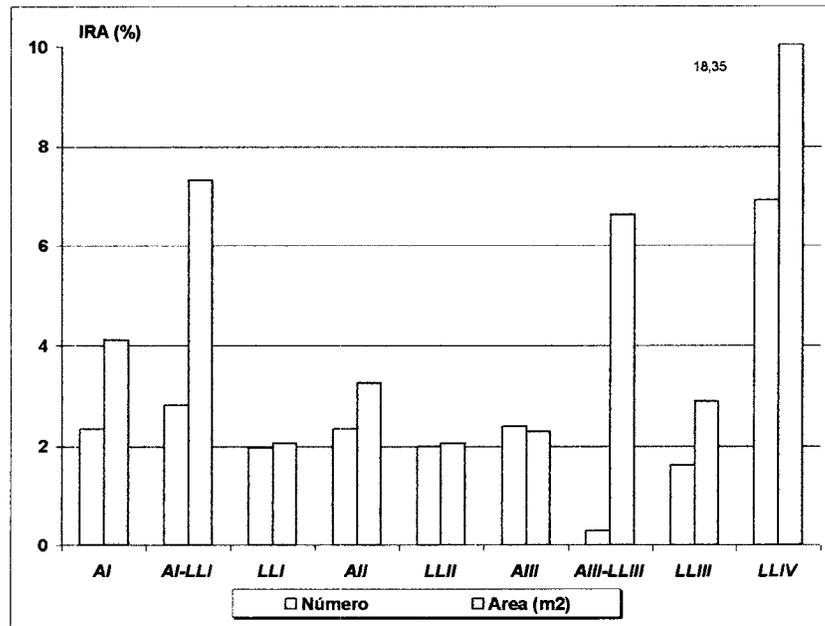


Figura II.45. IRA medio (1938-1997) para el *número* de polígonos y el *área* de cobertura de leñosas expresado en la secuencia de formas de relieve que corresponde al gradiente altimétrico observado en el área de estudio.

Si bien se observa que los valores máximos en el **IRA** medio del área de cobertura se tienen para las formas ubicadas en los extremos del gradiente altimétrico así como en las zonas de transición, las formas de relieve con dinámica hídrica de *run-off* tienden a presentar un **IRA** medio, tanto para el *número* como el *área* de polígonos, superior al de las formas de relieve planas, *run-on*. En las zonas de transición, el **IRA** medio para el número de polígonos se ubica intermedio entre las formas que lo originan, pero el incremento en el área de cobertura muestra un **IRA** medio muy superior al que se manifiesta en las formas de relieve contiguas. Para el lapso entre 1938-1961, las formas de relieve *run-off* presentaron una reducción sensiblemente mayor en el número de polígonos que en las formas de *transición* y de *run-on*. Con respecto al área de cobertura, durante este lapso las formas de transición presentaron el **IRA** más elevado, seguido por las formas de *run-on*. Durante la siguiente serie, 1961-1978, las formas de relieve de *run-off* presenta la mayor dinámica en lo que respecta al incremento en el número de polígonos de cobertura. Globalmente, a estas le siguen las de

transición, específicamente A_I-LL_I con un incremento de 5,02%/año. Tanto para las zonas de *transición* como para las formas de *run-off*, es durante esta serie que se presentan los máximos valores de incremento relativo en el área de cobertura de leñosas, siendo éste intermedio en el caso de los relieves bajos, *run-on*. Para la última serie considerada, 1978-1997, las formas de *run-on* logran un valor máximo en el IRA para el número de polígonos. Esta tendencia también se presenta en las formas *run-off*. Entre las tres series consideradas, 1978-1997 presenta el menor incremento relativo global en el área de cobertura de las formas de *run-on*, *run-off* y *transición*. Esta dinámica espacio-temporal se aprecia en la Tabla II.38 que resume los IRA que resultan de englobar las formas de relieve según su régimen hídrico dominante.

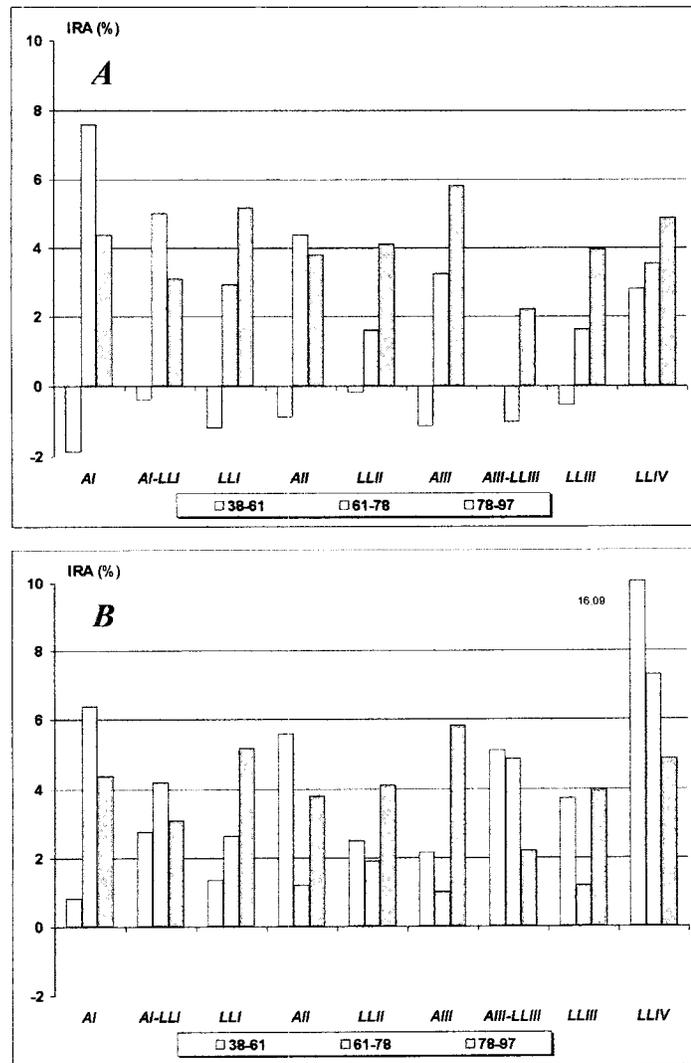


Figura II.46. Dinámica temporal del IRA (por series anuales) para el número de polígonos (A) y el área de cobertura de leñosas (B) expresado en la secuencia de formas de relieve que corresponde al gradiente altimétrico observado en el área de estudio.

Tabla II.38. Variación temporal en los valores de las variables poligonales y el *incremento relativo anual* (IRA) para las formas de relieve presentes en el *Área de Estudio* agrupadas de acuerdo a su dinámica hídrica de *run-off*, *run-on* y de *transición*.

Forma de Relieve	Numero				IRA			Medio
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	
<i>Run-off</i>	749	489	955	1.796	-1.51	5.61	4.63	2.37
<i>Run-on</i>	2.169	2.013	2.705	4.943	-0.31	2.02	4.35	2.17
<i>Transición</i>	98	91	145	227	-0.31	3.49	2.98	2.23
Total	3.016	2.593	3.805	6.966	-0.61	2.75	4.37	2.22

Forma de Relieve	Area (m ²)				IRA			Medio
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	
<i>Run-off</i>	34.392	50.903	70.459	93.337	2.09	2.26	1.71	2.90
<i>Run-on</i>	436.361	765.010	986.602	1.137.655	3.27	1.70	0.81	2.72
<i>Transición</i>	20.206	41.478	75.012	101.018	4.58	4.76	1.82	6.78
Total	490.959	857.391	1.132.073	1.332.010	3.25	1.88	0.93	2.90

II.3.3.2.1. Persistencia de la cobertura

Otro aspecto importante a ser considerado en la dinámica temporal de la cobertura de leñosas es la *persistencia*. Esta se obtienen al intersectar, para una misma *unidad de muestreo*, los polígonos de leñosas de un año entre los de la siguiente misión. Es decir, la intersección secuencial del conjunto de cuatro representaciones de las Figuras II.11 a la II.20. La Tabla II.39 expresa los valores de persistencia en el área de cobertura de leñosas para las series 1938-1961, 1961-1978 y 1978-1997.

Tabla II.39. Valores de persistencia del área de cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve y series. La columna *A* expresa, en m², el área intersectada entre los años que conforman la serie; la columna *B* presenta el porcentaje que corresponde a una forma de relieve del área total intersectado en la serie; la columna *C*, el área de cobertura de leñosas para el inicio de la serie anual (ver valores para *área* en las Tablas II.18 a la II.26); y la columna *D*, el porcentaje intersectado del área original (% de *t-1*).

Forma de Relieve	1938-1961				1961-1978				1978-1997			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
	área (m ²)	área (%)	área 1938 (m ²)	% de 1938	área (m ²)	área (%)	área 1961 (m ²)	% de 1961	área (m ²)	área (%)	área 1978 (m ²)	% de 1978
<i>A_I</i>	2.068	0,5	9.731	21,3	3.839	0,5	11.583	33,1	9.890	1,2	24.132	41,0
<i>A_rLL_I</i>	1.175	0,3	4.506	26,1	1.878	0,3	7.381	25,4	5.108	0,6	12.640	40,4
<i>LL_I</i>	12.265	2,9	25.423	48,2	16.774	2,4	33.324	50,3	21.875	2,6	48.296	45,3
<i>A_{II}</i>	629	0,1	3.082	20,4	2.352	0,3	7.036	33,4	4.689	0,5	8.489	56,2
<i>LL_{II}</i>	138.011	32,7	165.492	83,4	201.508	28,8	260.888	77,2	205.837	24,0	345.415	59,6
<i>A_{III}</i>	19.197	4,6	21.579	89,0	22.820	3,3	32.284	70,7	28.289	3,3	37.839	74,8
<i>A_{rr}LL_{III}</i>	14.443	3,4	15.700	92,0	30.851	4,4	34.097	90,5	56.875	6,6	62.372	91,2
<i>LL_{III}</i>	233.538	55,4	240.099	97,3	404.097	57,8	445.668	90,7	490.279	57,3	536.593	91,4
<i>LL_{IV}</i>	219	0,1	5.347	4,1	15.226	2,2	25.130	60,6	33.169	3,9	56.298	68,9
Total	421.647	100,0	490.959	85,9	699.346	100,0	857.392	81,6	866.009	100,0	1.132.073	75,6

Al tomar en cuenta la variación temporal en los valores de la columna *A* se observa que existe una tendencia lineal significativa al incremento en el área intersectada entre las series anuales ($P < 0,001$). A lo largo de las series anuales los mayores valores de *persistencia* de cobertura de leñosas se presentan en el gradiente que corresponde a la secuencia de las formas de relieve: *LLII*, *AIII*, *AIII-LLIII*, *LLIII* y *LLIV*, con valores que oscilan entre el 60-90% (ver Figura II.47). También se observa un máximo en la *persistencia* de *LLI* relativo a las formas de relieve que le son contiguas.

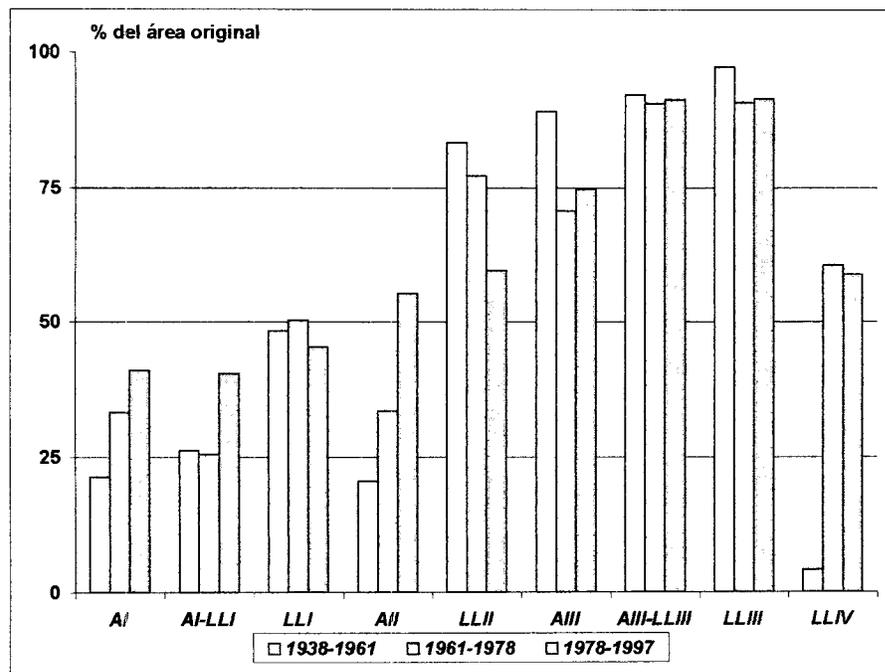


Figura II.47. Porcentaje del total de persistencia de cobertura en las diferentes formas de relieve para las tres series. Datos obtenidos de la columna *D* de la Tabla II.39.

Ahora bien, al considerar la persistencia de la cobertura de leñosas para la serie completa, es decir, los 59 años comprendidos entre 1938 y 1997, se obtiene la Tabla II.40 y la Figura II.48; así como la Figura II.49 que es una representación gráfica de la distribución de los polígonos que resultan de la intersección de la cobertura de 1938 con aquella de 1997. Según la columna *D* de esta tabla, se observa que la mayor persistencia relativa se presenta en la secuencia de las formas de relieve: *LLII*, *AIII*, *AIII-LLIII* y *LLIII*, con valores que van de un mínimo de 38,2% en los *afloramientos bajos* (nivel más alto) y alcanzar un máximo de 98,5% en las *llanuras coluviales* (nivel más bajo). De igual forma, *LLI* presenta un máximo de persistencia entre las cuatro primeras formas de relieve del gradiente. La menor persistencia relativa se tiene para los *afloramientos medios* (*AII*, 5,1%), seguida por las *llanuras de erosión*

(LL_{IV} ; 5,7%), los *afloramientos altos* (A_I ; 6,4%) y por la transición entre los *afloramientos altos* y los *canales de explayamiento* (A_I-LL_I ; 8,1%).

De acuerdo a los valores de la columna *A* y *B* de la Tabla II.40 los relieves chatos de los *llamuras coluviales* (LL_{III}) y *abanicos de explayamiento* (LL_{II}) aportan la mayor contribución en la persistencia de la cobertura por parte de las leñosas: 66,6 y 25,4%, respectivamente. Los menores aportes corresponden a las formas de *afloramiento* A_{II} y A_I (0,1 y 0,2%), a la *llamura de erosión* LL_{IV} (0,1%), a la transición entre A_I-LL_I (0,1%) y a los *canales de explayamiento* LL_I (1,3%).

Tabla II.40. Persistencia del área de cobertura total correspondiente a cada *forma de relieve* (columnas *A* y *B*) y persistencia de la cobertura original de cada *forma de relieve* (columnas *C* y *D*).

Forma de Relieve	1938-1997			
	A	B	C	D
	área (m ²)	área (%)	área 1938 (m ²)	% de 1938
A_I	622,9	0,2	9.731,1	6,4
A_I-LL_I	367,0	0,1	4.505,8	8,1
LL_I	4.792,2	1,3	25.422,7	18,8
A_{II}	156,5	0,0	3.082,0	5,1
LL_{II}	90.119,3	25,4	165.492,3	54,5
A_{III}	8.250,9	2,3	21.578,6	38,2
$A_{III}-LL_{III}$	14.222,2	4,0	15.700,3	90,6
LL_{III}	236.451,7	66,6	240.099,4	98,5
LL_{IV}	306,7	0,1	5.346,7	5,7
Total	355.289,4	100,0	278.993,5	72,4

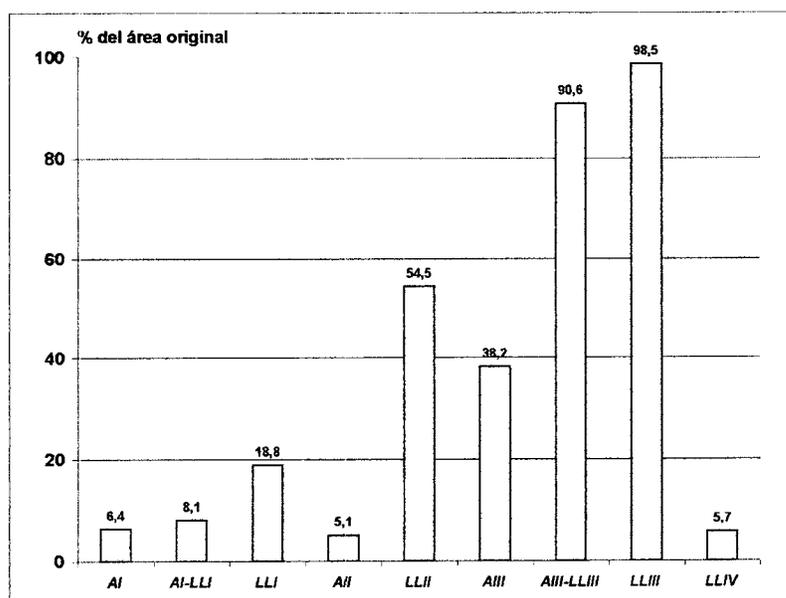


Figura II.48. Porcentaje del total de persistencia para 59 años por parte de las diferentes *formas de relieve*.

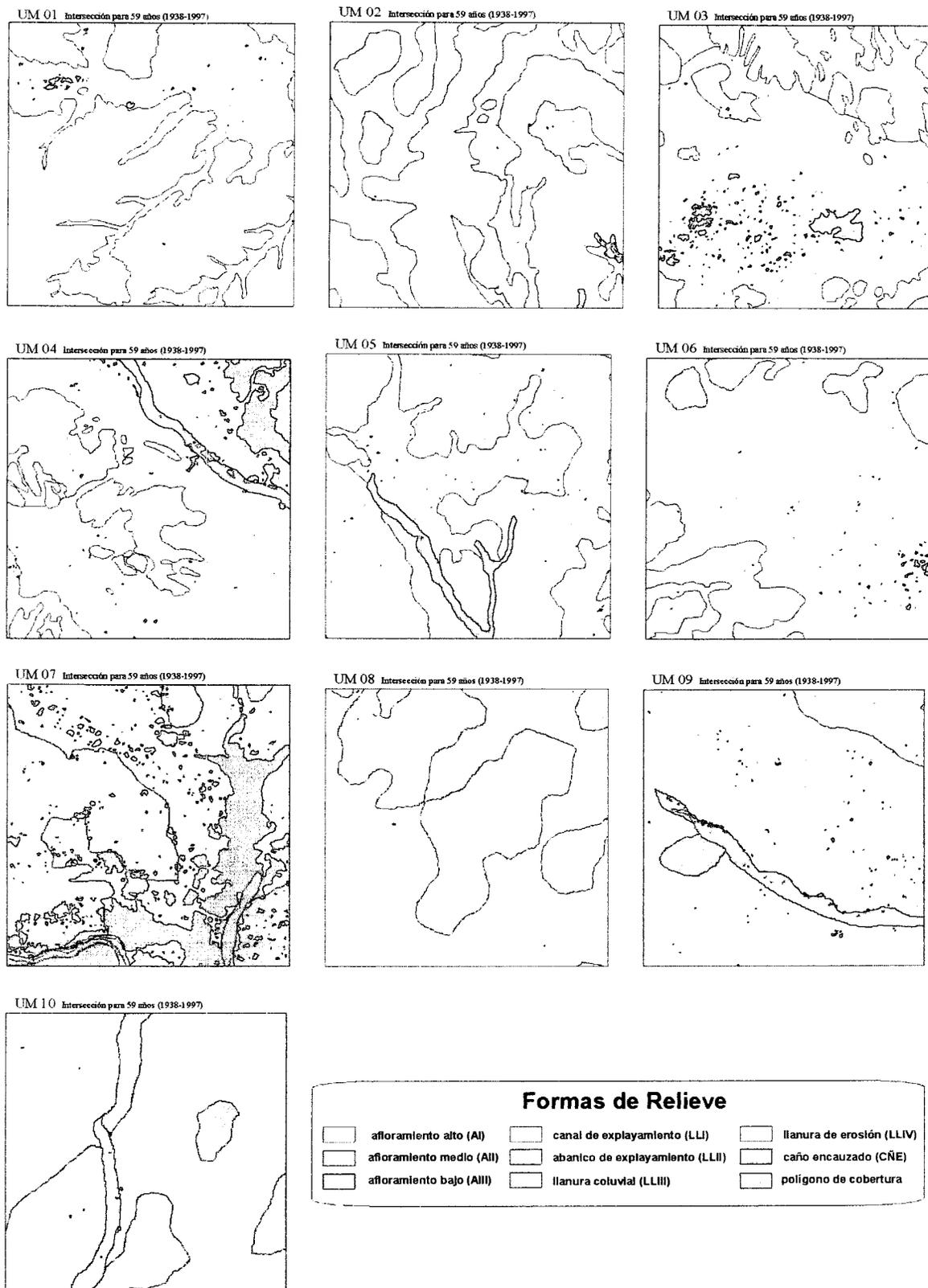


Figura II.49. Persistencia de la cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve de las 10 unidades de muestreo, esto para la serie de 59 años: 1938-1997.

II.3.3.4. Análisis de la dinámica de la cobertura de leñosas en configuración de galerías

II.3.3.4.1. Dinámica espacial

La fotointerpretación de las galerías en 43 km del cauce de un río presente en el área de estudio para los años 1938, 1961, 1978 y 1997 produjo la serie de Tablas de la II.41 a la II.43 donde se resumen los valores globales para el número, área y perímetro de los 1.455 polígonos discriminados por pertenencia a una forma de relieve, clase de tamaño y fase. Según estas tablas, así como la Figura II.50, existe una dinámica espacial de la cobertura de leñosas en configuración de galerías diferenciable ($P>0,01$) si se compara aquella de las formas A_I , A_{II} y LL_I con la de A_{III} , LL_{II} y LL_{III} , esto tanto para el número, el área como el perímetro. Efectivamente, las galerías se concentran en las depresiones y los caños encauzados (CÑE) de las formas de relieve de poca altura relativa, como son: los afloramientos bajos (A_{III}), los canales de explayamiento (LL_{II}), y muy especialmente las llamuras coluviales (LL_{III}). De las 1.429,4 Ha de cobertura en galerías, el 97,7% está presente en A_{III} (15,9%), LL_{II} (17,3%) y LL_{III} (64,5%) (ver Figura II.51).

Tabla II.41. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el número de polígonos de cobertura de leñosas en configuración de galerías.

Clase de Frecuencia	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	Total
<10 m ²	5	4	17	4	11	14	65
10,0-19,9	4	3	6	1	4	3	21
20,0-29,9	3	1	3	1	1	4	13
30,0-39,9	0	2	0	1	4	3	10
40,0-49,9	2	0	1	1	1	0	6
50,0-59,9	3	2	4	2	0	2	13
60,0-69,9	2	3	2	0	5	4	16
70,0-79,9	1	0	3	1	4	3	12
80,0-89,9	1	0	3	2	5	2	13
90,0-99,9	1	1	3	0	1	6	12
100,0-199,9	7	7	40	5	19	26	104
200,0-299,9	5	9	22	1	18	31	86
300,0-399,9	5	5	17	6	22	19	74
400,0-499,9	4	3	14	1	16	18	66
500,0-599,9	4	6	5	3	13	17	48
600,0-699,9	3	1	10	3	12	20	49
700,0-799,9	1	4	7	3	12	11	38
800,0-899,9	4	4	5	3	9	13	38
900,0-999,9	3	0	11	3	10	13	40
1000,0-1999,9	8	8	45	7	64	65	197
2000,0-2999,9	2	5	20	2	36	44	109
3000,0-3999,9	1	5	15	4	26	26	77
4000,0-4999,9	0	5	9	3	21	25	63
5000,0-5999,9	0	4	9	2	13	14	42
6000,0-6999,9	0	0	2	1	13	22	38
7000,0-7999,9	0	1	0	2	6	3	12
8000,0-8999,9	0	1	2	2	7	4	16
9000,0-9999,9	0	0	1	2	7	7	17
>10000,0 m ²	0	0	37	4	59	81	181
Total	69	84	313	70	419	600	1.466

Fases	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	Total
Fase-I	22	16	42	13	36	41	170
Fase-II	36	39	131	28	131	168	633
Fase-III	11	29	103	25	193	210	671
Bosque	0	0	37	4	59	81	181
Total	69	84	313	70	419	600	1.466

Tabla II.42. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el área de polígonos de cobertura de leñosas en configuración de galerías.

Clase de Frecuencia	A_I	A_J	A_B	LL_I	LL_J	LL_B	Total
<10 m ²	24	14	67	17	45	55	221
10,0-19,9	60	41	96	16	72	46	332
20,0-29,9	74	21	81	20	23	104	323
30,0-39,9	0	76	0	33	139	96	346
40,0-49,9	91	0	45	41	45	0	221
60,0-69,9	156	112	227	108	0	104	706
60,0-69,9	126	204	128	0	333	262	1.062
70,0-79,9	77	0	220	71	293	221	882
80,0-89,9	87	0	254	169	424	163	1.096
90,0-99,9	92	93	284	0	97	573	1.139
100,0-199,9	1.117	1.038	5.698	762	2.793	3.910	16.319
200,0-299,9	1.104	2.166	5.513	244	4.448	7.678	21.164
300,0-399,9	1.724	1.692	5.789	2.137	7.594	6.778	26.716
400,0-499,9	1.845	1.434	6.199	423	7.310	8.070	26.282
600,0-699,9	2.128	3.309	2.719	1.572	7.363	9.315	26.406
600,0-699,9	1.942	697	6.456	1.885	7.785	12.904	31.668
700,0-799,9	797	2.915	5.216	2.177	8.959	8.276	28.341
800,0-899,9	3.392	3.409	4.312	2.581	7.751	11.025	32.470
900,0-999,9	2.851	0	10.464	2.870	9.440	12.364	37.988
1000,0-1999,9	11.459	12.033	65.672	10.187	95.796	93.974	289.121
2000,0-2999,9	4.304	11.311	47.680	5.115	87.617	108.949	264.976
3000,0-3999,9	3.326	17.530	50.843	13.604	89.484	91.729	266.516
4000,0-4999,9	0	22.679	39.580	13.135	95.848	110.093	281.336
6000,0-6999,9	0	21.675	48.542	10.679	72.875	75.536	229.307
6000,0-6999,9	0	0	13.769	6.351	83.682	142.665	246.467
7000,0-7999,9	0	7.101	0	14.238	44.702	22.603	88.643
8000,0-8999,9	0	8.730	17.458	16.684	59.705	34.241	136.819
9000,0-9999,9	0	0	9.943	19.108	64.911	65.703	169.666
>10000,0 m ²	0	0	1.916.618	52.913	1.716.712	8.393.933	12.080.177
Total	36.776	118.281	2.263.871	177.140	2.476.244	9.221.370	14.293.682

Fases	A_I	A_J	A_B	LL_I	LL_J	LL_B	Total
Fase-I	785	562	1.399	476	1.470	1.624	6.316
Fase-II	16.900	16.661	52.367	14.650	63.443	80.320	244.342
Fase-III	19.089	101.058	293.487	109.102	694.618	745.493	1.962.847
Bosque	0	0	1.916.618	52.913	1.716.712	8.393.933	12.080.177
Total	36.776	118.281	2.263.871	177.140	2.476.244	9.221.370	14.293.682

Tabla II.43. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el perímetro de polígonos de cobertura de leñosas en configuración de galerías.

Clase de Frecuencia	A_I	A_J	A_B	LL_I	LL_J	LL_B	Total
<10 m ²	81	53	206	85	184	186	796
10,0-19,9	131	75	157	46	135	82	626
20,0-29,9	83	28	76	28	21	157	396
30,0-39,9	0	89	0	49	183	126	447
40,0-49,9	94	0	30	59	70	0	262
60,0-69,9	155	121	180	154	0	72	683
60,0-69,9	154	136	129	0	283	203	906
70,0-79,9	85	0	124	48	328	219	803
80,0-89,9	80	0	138	138	333	110	799
90,0-99,9	96	73	149	0	68	259	646
100,0-199,9	1.018	557	2.467	846	1.408	1.573	7.870
200,0-299,9	788	1.076	1.668	240	1.891	2.503	8.166
300,0-399,9	840	560	1.522	1.187	2.317	1.640	8.066
400,0-499,9	1.030	621	1.690	233	2.211	2.015	7.801
600,0-699,9	741	1.095	654	588	2.512	2.625	8.194
600,0-699,9	814	179	1.549	481	1.807	3.065	7.896
700,0-799,9	236	892	937	724	2.074	1.691	6.564
800,0-899,9	1.626	1.092	845	752	1.651	2.271	8.236
900,0-999,9	788	0	2.352	471	2.485	2.803	8.899
1000,0-1999,9	2.602	2.346	11.480	2.219	17.020	14.723	60.390
2000,0-2999,9	1.161	1.687	6.770	951	15.029	13.292	38.890
3000,0-3999,9	376	2.150	5.451	2.058	13.214	8.806	32.064
4000,0-4999,9	0	2.714	4.143	2.388	12.368	9.220	30.833
6000,0-6999,9	0	2.333	5.713	1.761	8.085	7.242	26.134
6000,0-6999,9	0	0	1.029	655	7.656	11.330	20.670
7000,0-7999,9	0	672	0	1.308	5.120	2.274	9.374
8000,0-8999,9	0	606	1.203	1.553	4.553	3.552	11.468
9000,0-9999,9	0	0	824	778	5.664	6.014	13.280
>10000,0 m ²	0	0	110.192	4.318	94.778	299.340	608.629
Total	12.978	19.167	161.678	24.099	203.449	397.394	818.764

Fases	A_I	A_J	A_B	LL_I	LL_J	LL_B	Total
Fase-I	957	576	1.190	608	1.606	1.415	6.360
Fase-II	7.882	6.072	13.685	5.502	18.356	20.185	71.682
Fase-III	4.139	12.509	36.611	13.672	88.709	76.453	232.093
Bosque	0	0	110.192	4.318	94.778	299.340	608.629
Total	12.978	19.167	161.678	24.099	203.449	397.394	818.764

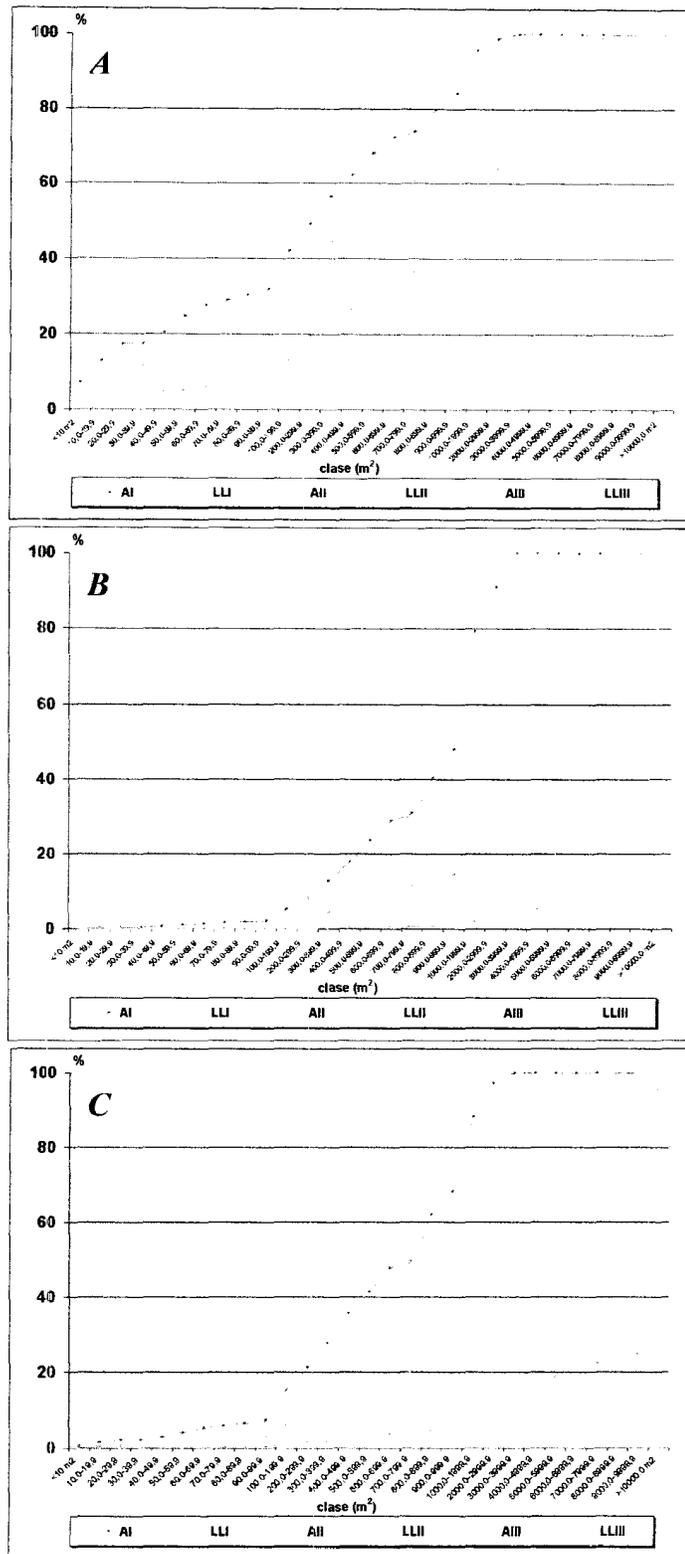


Figura II.50. Curvas de saturación para el número (A), área (B) y perímetro (C) de polígonos para los cuatro años de interpretación. Datos tomados de las Tabla II.41, II.42 y II.43.

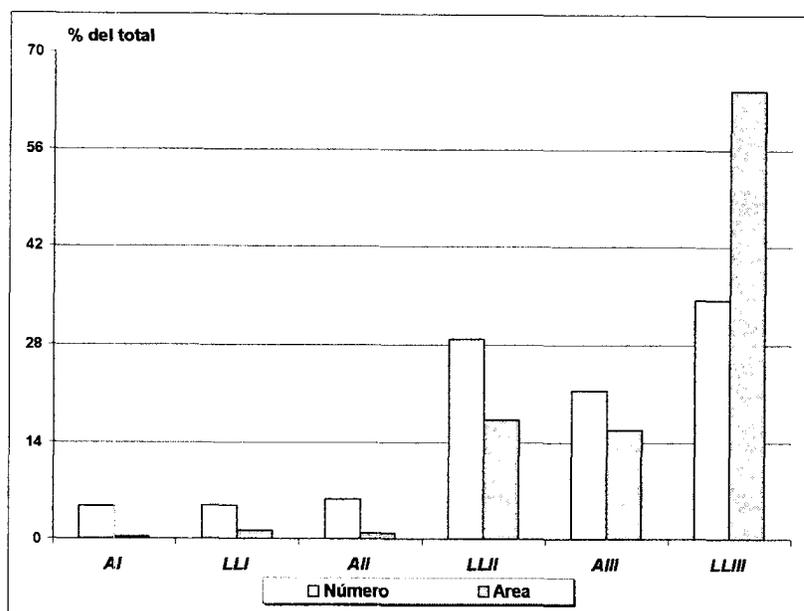


Figura II.51. Distribución a lo largo de las *formas de relieve* del número y del área de cobertura de los polígonos en configuración de *galerías*.

La Tabla II.44 resume los valores de las variables poligonales para las diferentes *fases* que caracterizan las principales *formas de relieve* donde las *galerías* manifiestan su cobertura. Se observa que a pesar que el 87,5% del total del número de polígonos pertenece a *Fase-I*, *Fase-II* y *Fase-III*; el 98,2% del área de cobertura en las *galerías* se logran a través de polígonos $>1.000 \text{ m}^2$ y especialmente los $>10.000 \text{ m}^2$. Son polígonos de *Fase-I*, *Fase-II* y *Fase-III* los que establecen la dinámica espacial de las formas de relieve altas A_I , A_{II} y LL_I ; mientras que para los niveles inferiores A_{III} , LL_{II} y LL_{III} , son los de *Fase-III* y *Fase-Bosque*.

Tabla II.44. Caracterización de los polígonos en configuración de *galerta* de acuerdo al valor (en %) de sus variables poligonales.

Variable	Fases	Formas de Relieve						Media
		A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	
Número	<i>Fase-I</i>	31,9	19,0	13,4	18,6	8,6	8,2	11,7
	<i>Fase-II</i>	52,2	46,4	41,9	40,0	31,3	33,6	36,6
	<i>Fase-III</i>	15,9	34,5	32,9	35,7	46,1	42,0	39,2
	<i>Bosque</i>	0,0	0,0	11,8	5,7	14,1	16,2	12,4
Área	<i>Fase-I</i>	2,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
	<i>Fase-II</i>	46,0	14,1	2,3	8,3	2,6	0,9	1,7
	<i>Fase-III</i>	51,9	85,4	13,0	61,6	28,1	8,1	13,7
	<i>Bosque</i>	0,0	0,0	84,7	29,9	69,3	91,0	84,6
Perímetro	<i>Fase-I</i>	7,4	3,0	0,7	2,5	0,8	0,4	0,8
	<i>Fase-II</i>	60,7	31,7	8,5	22,8	9,0	5,1	8,8
	<i>Fase-III</i>	31,9	65,3	22,6	56,7	43,6	19,2	28,3
	<i>Bosque</i>	0,0	0,0	68,2	17,9	46,6	75,3	62,1

II.3.3.4.2. Dinámica temporal

La dinámica temporal de la cobertura en configuración de galerías viene dada por los datos que se presentan en la Tabla II.45. Estos se obtuvieron, a su vez, por la dinámica que se expresa en las variaciones en los polígonos de cobertura que resultan de la interpretación de misiones aerofotográficas de los años 1938, 1961, 1978 y 1997 (ver Figura II.52). Temporalmente, el área de cobertura de las galerías responde a un incremento lineal significativo ($P>0,01$, ver Figura II.53); esto a través de un *incremento relativo anual* medio ($IRA_{1938-1997}$) de 4,20% (ver Tabla II.46). El IRA para el área de cobertura es positivo entre 1938-1961 para cualquier fase, mientras que el resto de las series anuales (1961-1978 y 1978-1997), el IRA es generalmente negativo para polígonos $<10.000 \text{ m}^2$.

Tabla II.45. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fases, por año y total, para el número, área y perímetro de los polígonos configuración de galerías.

Clase de Frecuencia	1938					1961					1978					1997				
	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total
<10 m2	20	10	16	9	55	97	40	62	22	221	321	146	248	80	795					
10,0-19,9	6	5	7	3	21	100	78	104	49	332	189	166	195	77	626					
20,0-29,9	7	2	2	2	13	168	54	50	52	323	187	50	59	99	395					
30,0-39,9	0	5	4	1	10	0	170	136	39	345	0	232	180	35	447					
40,0-49,9	2	1	0	2	5	87	45	0	89	221	120	30	0	102	252					
60,0-69,9	3	4	3	3	13	159	212	165	170	706	200	197	118	168	683					
60,0-69,9	5	5	2	4	16	332	328	131	261	1.052	298	291	87	229	905					
70,0-79,9	3	4	4	1	12	224	289	295	73	882	182	256	322	43	803					
80,0-89,9	3	6	2	2	13	250	502	172	171	1.096	172	336	135	156	799					
90,0-99,9	4	4	2	2	12	384	381	185	189	1.139	177	189	114	164	645					
100,0-199,9	35	37	19	13	104	5.156	5.464	2.829	1.869	15.319	2.682	2.436	1.644	1.107	7.870					
200,0-299,9	28	35	14	9	86	6.913	8.449	3.523	2.268	21.154	2.088	3.083	1.907	1.107	8.166					
300,0-399,9	21	31	14	8	74	7.391	10.860	4.739	2.724	25.715	1.969	3.463	1.380	967	7.779					
400,0-499,9	12	26	13	5	56	5.425	11.583	5.915	2.357	25.282	1.153	3.449	2.017	1.182	7.801					
600,0-699,9	12	14	13	9	48	6.577	7.738	7.146	4.946	26.406	1.903	2.310	2.338	1.643	8.194					
600,0-699,9	13	13	12	11	49	8.263	8.398	7.804	7.203	31.668	1.945	1.856	1.831	2.366	7.998					
700,0-799,9	13	8	8	9	38	9.585	6.042	5.950	6.765	28.341	1.706	1.431	1.307	2.110	6.554					
800,0-899,9	6	16	9	7	38	5.098	13.800	7.676	5.896	32.470	1.224	3.104	1.470	2.439	8.236					
900,0-999,9	12	12	12	4	40	11.443	11.426	11.407	3.712	37.988	2.342	2.597	3.041	919	8.899					
1000,0-1999,9	41	66	53	37	197	58.930	98.445	80.138	51.608	289.121	9.562	16.266	13.820	10.742	50.390					
2000,0-2999,9	21	29	26	33	109	51.135	70.211	62.379	81.251	264.976	6.126	10.141	9.471	13.152	38.890					
3000,0-3999,9	17	23	19	18	77	58.001	79.556	68.849	60.110	266.516	6.632	9.581	7.212	9.654	33.079					
4000,0-4999,9	8	19	19	17	63	34.743	84.119	85.887	76.587	281.336	3.144	9.914	8.978	8.797	30.833					
6000,0-6999,9	7	15	8	12	42	37.204	83.318	42.689	66.097	229.307	4.186	8.099	5.576	7.272	25.134					
6000,0-6999,9	10	12	6	10	38	64.320	78.112	38.583	65.452	246.467	4.562	7.352	3.124	5.632	20.670					
7000,0-7999,9	3	4	3	2	12	0	30.011	21.858	15.342	67.211	2.460	3.669	2.098	1.147	9.374					
8000,0-8999,9	3	5	3	5	16	0	42.834	24.827	43.701	111.362	2.662	3.233	2.171	3.402	11.468					
9000,0-9999,9	1	5	7	4	17	9.512	46.516	65.610	38.027	159.665	1.393	3.949	5.205	2.733	13.280					
>10000,0 m2	28	45	45	63	181	1.133.963	2.624.110	3.589.322	4.732.782	12.080.177	50.444	115.934	135.944	206.307	508.629					
Total	344	461	346	306	1.466	1.616.461	3.323.089	4.138.431	6.269.812	14.246.793	110.030	213.741	211.993	283.830	819.694					

Fase	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total
Fase-I	53	46	42	29	170	1.803	2.098	1.300	1.115	6.316	1.847	1.893	1.458	1.152	6.350
Fase-II	152	192	114	75	533	65.851	83.760	56.990	37.741	244.342	17.011	23.710	16.936	13.840	71.497
Fase-III	111	178	144	138	571	313.844	613.120	490.820	498.174	1.915.959	40.727	72.205	57.655	62.531	233.118
Bosque	28	45	45	63	181	1.133.963	2.624.110	3.589.322	4.732.782	12.080.177	50.444	115.934	135.944	206.307	508.629
Total	344	461	346	306	1.466	1.616.461	3.323.089	4.138.431	6.269.812	14.246.793	110.030	213.741	211.993	283.830	819.694

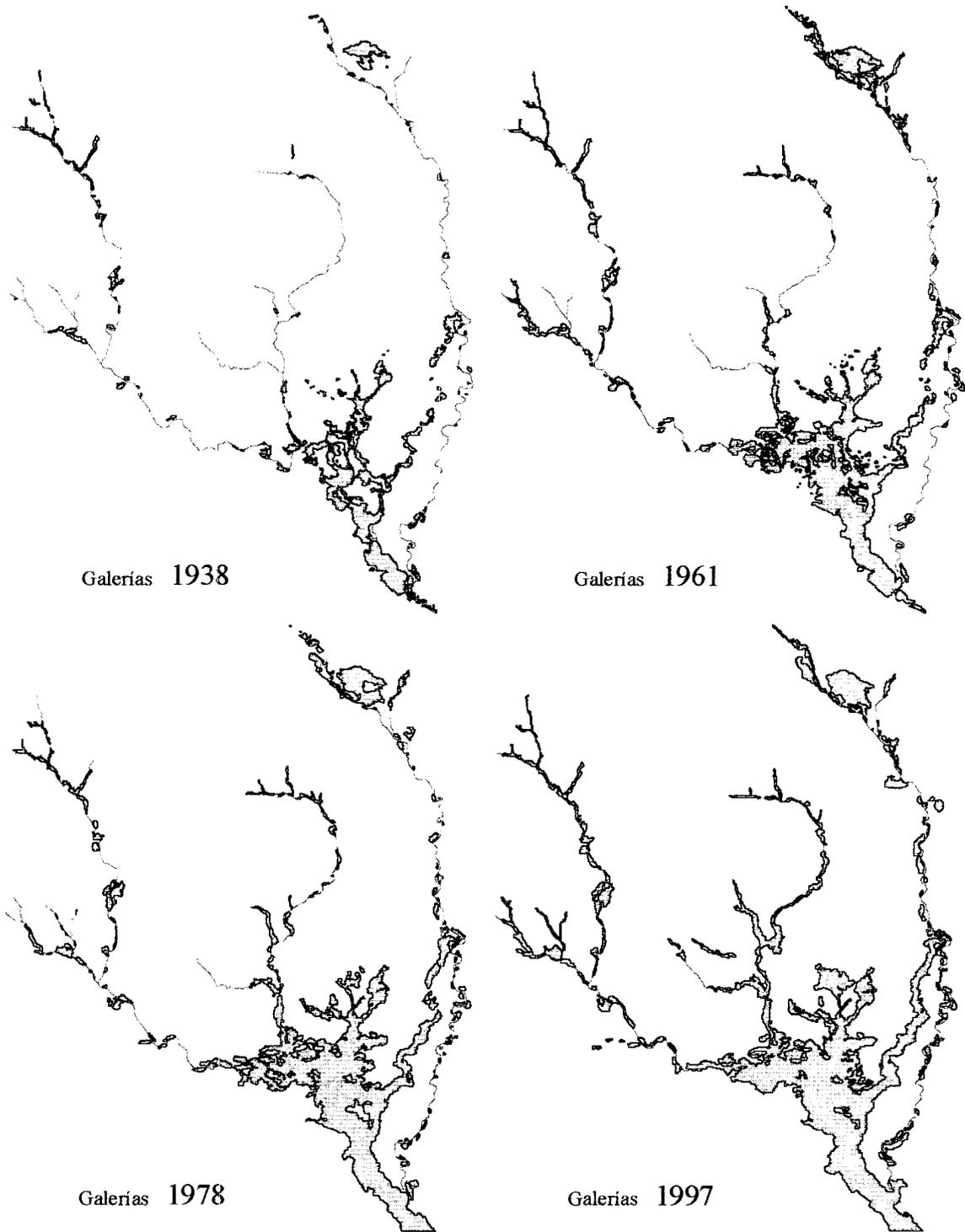


Figura II.52. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en 43 km del cauce de un río, y sus tributarios, presente en el área de estudio.

Tabla II.46. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la cobertura en configuración de galerías y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en Galerías				Diff.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	53	46	42	29	ns	0,57	-0,51	-1,83	-0,77
	Fase-II	152	192	114	75	**	1,14	-2,39	-1,80	-0,86
	Fase-III	111	178	144	138	*	2,62	-1,10	-0,22	0,41
	Bosque	28	45	45	63	ns	2,64	0,00	2,11	2,12
	Total		344	461	346	306	**	1,48	-1,48	-0,61
Área (m ²)	Fase-I	1.803	2.098	1.300	1.115	*	0,71	-2,24	-0,75	-0,66
	Fase-II	65.851	83.760	56.990	37.741	***	1,18	-1,86	-1,76	-0,72
	Fase-III	313.844	613.120	490.820	498.174	**	4,15	-1,17	0,08	1,00
	Bosque	1.133.963	2.624.110	3.589.322	4.732.782	ns	5,71	2,16	1,68	5,38
	Total		1.616.461	3.323.089	4.138.431	6.269.812	**	6,19	1,44	1,44
Perímetro (m)	Fase-I	1.847	1.893	1.458	1.152	ns	0,11	-1,35	-1,10	-0,64
	Fase-II	17.011	23.710	16.936	13.840	**	1,71	-1,63	-0,96	-0,32
	Fase-III	40.727	72.205	57.655	62.531	*	3,36	-1,19	0,45	0,91
	Bosque	50.444	115.934	135.944	206.307	ns	5,64	1,02	2,72	6,24
	Total		110.030	213.741	211.993	283.830	**	4,10	-0,06	1,78

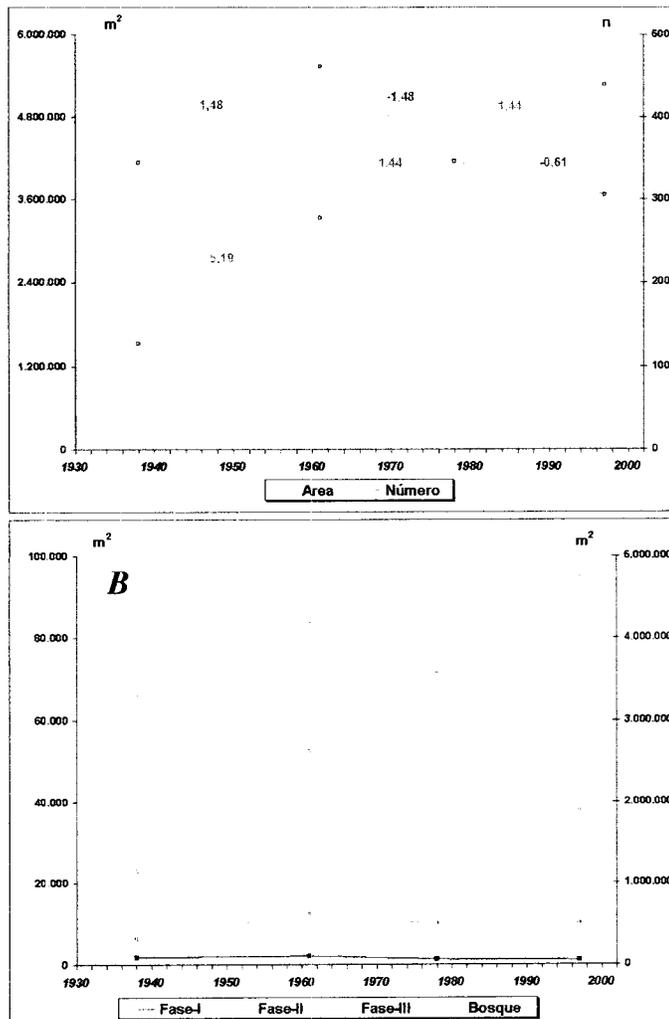


Figura II.53. Dinámica temporal global (A) y de las fases (B) del área de polígonos en configuración de galerías. Los números en las líneas representan los valores IRA de cada variable para cada serie.

La dinámica temporal de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías*, expresada en la serie de tablas y figuras anteriores, resulta en un incremento en la cobertura de los 43 km del cauce del río de 9,6 km (22,2%) que presentaba para 1938 a 27,9 km (64,8%) en 1997 (ver Figura II.54).

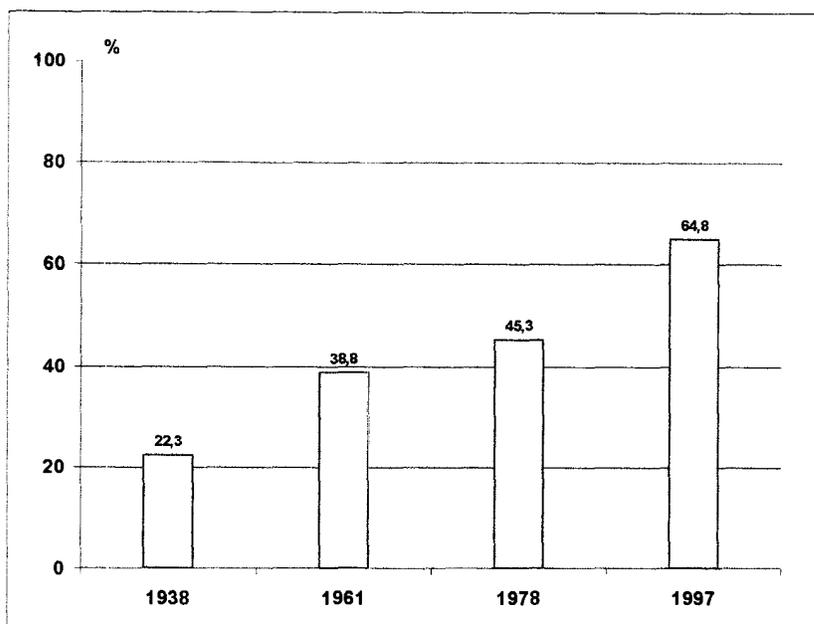


Figura II.54. Dinámica temporal en la cobertura de los 43 km del cauce del río por parte de las *galerías*.

II.3.3.4.2.1. *Persistencia* de la cobertura

La *persistencia*, definida en el presente estudio como el área que resulta de la intersección de los polígonos de cobertura de un año entre los un año subsiguiente, presenta para la serie anual 1938-1961, un valor medio de 89,1% del original, donde los valores más elevados se presentan en las formas de relieve de menor altura relativa: LL_{II} (71,4%), LL_{III} (93,5%) y A_{III} (93,8%) (ver Tabla II.47 y Figura II.55). Para la siguiente serie, 1961-1978, excepto para la forma de relieve más elevada, A_I , que experimento una sensible reducción, la *persistencia* tiende a mantenerse como en el caso de A_{III} , LL_{II} y LL_{III} , o experimentan un ligero incremento como en LL_I y A_{II} . La *persistencia* para la última serie considerada, 1978-1997, experimenta un incremento generalizado de su valor en las diferentes formas de relieve y que es especialmente sensible en A_I logrando alcanzar el 85,6%. La *persistencia* media fue de 91,7%: de los 4.138.431 m² de cobertura presentes para 1978, 3.796.931 m² persisten aún en 1997.

Tabla II.47. Valores de persistencia del área de cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve y series de los 43 km del cauce del río. La columna *A* expresa, en m², el área intersectada entre los años que conforman la serie; la columna *B* presenta el porcentaje que corresponde a una forma de relieve del área total intersectado en la serie; la columna *C*, el área de cobertura de leñosas para el inicio de la serie anual (ver valores para *área* en la Tabla II.45); y la columna *D*, el porcentaje intersectado del área original (% de *t-1*).

Forma de Relieve	1938-1961				1961-1978				1978-1997			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
	área (m ²)	área (%)	área 1938 (m ²)	% de 1938	área (m ²)	área (%)	área 1961 (m ²)	% de 1961	área (m ²)	área (%)	área 1978 (m ²)	% de 1978
<i>A_I</i>	4 315	0,3	6.734	64,1	2.210	0,1	9.956	22,2	4.134	0,1	4.831	86,6
<i>LL_I</i>	10.128	0,7	20.154	60,3	26.673	0,9	43.999	60,6	43.417	1,1	58.878	73,7
<i>A_{II}</i>	2.168	0,2	4.311	60,3	17.421	0,6	24.904	70,0	28.712	0,8	36.131	79,5
<i>LL_{II}</i>	180.139	12,9	252.285	71,4	462.863	16,0	667.131	69,4	546.932	14,4	650.861	84,0
<i>A_{III}</i>	63.507	4,6	67.681	93,8	407.433	14,1	508.871	80,1	672.979	17,7	751.350	89,6
<i>LL_{III}</i>	1.132.223	81,3	1.211.185	93,6	1.967.446	68,2	2.068.229	95,1	2.500.757	65,9	2.636.379	94,9
Total	1.392.480	100,0	1.662.360	89,1	2.884.047	100,0	3.323.089	86,8	3.796.531	100,0	4.138.431	91,7

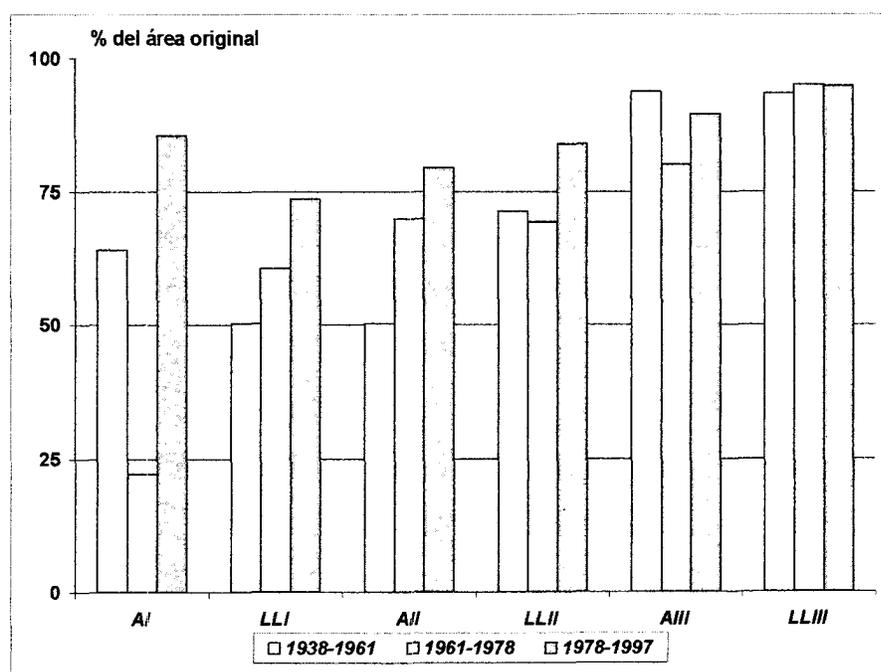


Figura II.55. Persistencia del área original de la cobertura de leñosas en configuración de galerías para las diferentes series de tiempo.

De acuerdo a las Figuras II.56 y II.57, la *persistencia* global, es decir la intersección de los polígonos de cobertura de 1938 entre los de 1997, su valor medio es de 89,1%. En

los *afloramientos altos*, A_I , presenta su mínimo valor: 33,0% de la cobertura de leñosas presente en 1938 logra persistir hasta 1997. Los *canales de explayamiento* LL_I , los *abanicos de explayamiento* LL_{II} y los *afloramientos bajos* A_{III} alcanzan valores de *persistencia* cercanos al 80%. Los máximos se tienen para las formas de relieve *afloramientos medios* A_{II} (96,9%) y *llamuras coluviales* LL_{III} (98,6%). Sobre esto último es importante resaltar que la persistencia citada es relativa y referida a cada forma de relieve por lo que el área afectada por la persistencia puede variar según el caso: para A_{II} la persistencia se refiere a un área de 0,41 Ha mientras que para LL_{III} está referida a 119,4 Ha.



Figura II.56. Distribución espacial de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías* a lo largo de los 43 km del cauce del río que logra *persistir* durante los 59 años de la serie 1938-1997.

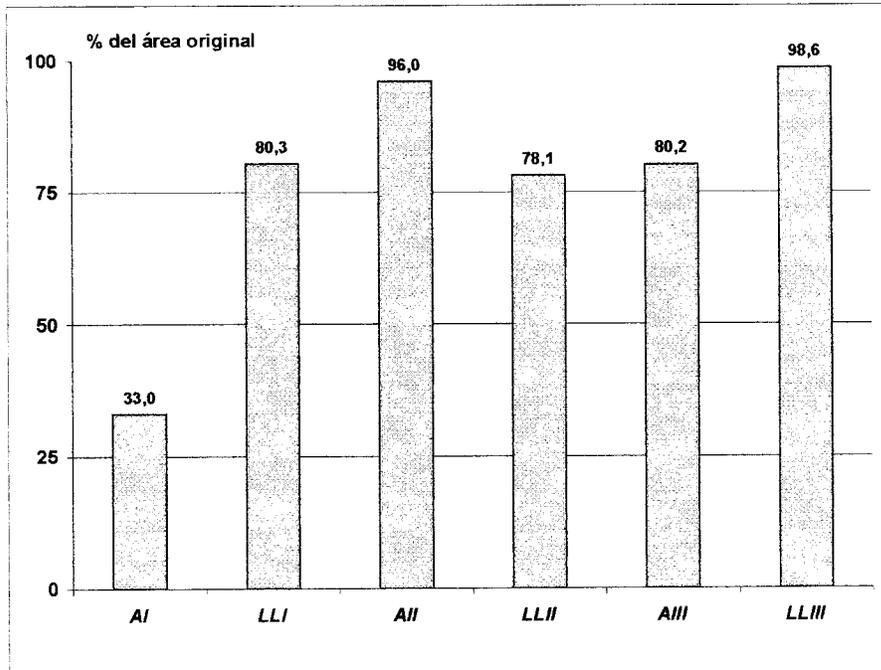


Figura II.57. *Persistencia* de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías* para los 59 años de la serie 1938-1997. Los números se refieren a la *persistencia* relativa al área original de cada *forma de relieve*.

II.4. Discusión y Conclusiones

Habiendo cumplido con las premisas que el muestreo fuera espacial y temporalmente representativo para el área de estudio en el sentido que las *unidades de muestreo* no expresaran una heterogeneidad espacial significativamente distintas a la que caracteriza la zonal del estudio; así como en lo temporal, que la frecuencia de muestreos (interpretación de misiones aerofotográficas) permitiera tanto la expresión de la dinámica así como la comparación con los resultados de otros autores; se puede afirmar que la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas demostró ser significativa para múltiples situaciones y consideraciones.

En primer lugar, ésta se manifiesta al considerar la población total de datos, donde en el caso del área de los polígonos que se generan de la fotointerpretación de la cobertura de leñosas, ocurre una tendencia lineal temporal significativa al incremento ($P < 0,01$). Al tomar en cuenta las variaciones entre series anuales en el incremento relativo anual (IRA) y entre las diferentes variables poligonales, se puede establecer que la linealidad en el incremento del área de cobertura se obtiene a través de dos procesos distintos, no excluyentes: 1) la fusión o coalescencia durante la serie de núcleos leñosos de poco porte que pasan a formar polígonos de cobertura de una *fase* o tamaño superior, y 2) el establecimiento disperso de pequeños núcleos leñosos a lo largo de la serie incrementando al final los valores de las variables poligonales de las primeras *fases* o clases de tamaño.

Esta dinámica temporalmente diferenciable se obtiene cuando, en el análisis de la totalidad de los datos, se considera que durante los primeros 23 años del estudio (serie anual 1938-1961) el área de cobertura de leñosas se incrementa a una tasa anual del 3,25%, esto aún cuando ocurre una reducción simultánea de $-0,61\%/año$ en el número de polígonos que generan dicha área. Una reducción en el número de polígonos con repercusiones positivas en el área de cobertura resultante es característica de un proceso de *fusión*. Es importante aclarar en este punto que, tratándose los polígonos de entidades sésiles, una fusión ocurre luego que uno o más polígonos hayan presentado un crecimiento que sobrelleve el espacio que los separa. En este sentido, al observar la evolución de la cobertura de leñosas en las representaciones de las Figuras II.11 a la II.20, así como evaluar la dinámica temporal de los

valores de los polígonos (Tabla II.17) se puede inferir que, al crecer, las entidades de mayor tamaño incorporan (se fusionan) las de menor tamaño (*ie. Fase-Bosque y/o Fase-III \Rightarrow Fase II y/o Fase I*).

Durante las dos siguientes series, la dinámica de la cobertura de leñosas se expresa a través de otra estrategia: el *establecimiento disperso*. Un incremento importante y significativo en los valores de cobertura para los polígonos de $<1.000 \text{ m}^2$ (*Fase-I y Fase-II*) confirma la adopción de esta estrategia. Además de esto, los resultados señalan que, para una misma estrategia, es posible que el incremento se manifieste con una tasa temporalmente variable. Esto lo determinamos al considerar la relación que existe entre los valores de IRA del número polígonos y el área de cobertura para las series anuales 1961-1978 y 1978-1997. Al no ser las estrategias de establecimiento excluyentes, la fusión también se hace presente en estas dos series anuales. Si bien no es significativo, los polígonos $>10.000 \text{ m}^2$ (*Fase-Bosque*) experimentan un crecimiento de su cobertura, proceso en el cual ocurre la fusión con polígonos de menor porte.

Variaciones en la composición de formas de relieve explican las diferencias en la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas que se manifiesta entre las *unidades de muestreo*. Efectivamente, a lo largo de las formas de relieve se presentan importantes gradientes de cobertura de leñosas de dinámica temporal distintiva. Sarmiento y Monasterio (1969 y 1971) sostienen que, al provocar modificaciones en la disponibilidad de agua en el suelo, la heterogeneidad espacial de la geomorfología es el primer determinante de la fisonomía de la vegetación.

En sentido amplio, el gradiente de cobertura que presenta el área de estudio permite distinguir dos grupos principales: los *afloramientos*, con poca cobertura y las *llamuras*, con mayor cobertura de leñosas. Esta separación se puede explicar si se considera la dinámica hídrica superficial que domina cada grupo. Por su relieve pronunciado, en los *afloramientos* A_I , A_{II} y A_{III} la dinámica es de *run-off*, es decir, el agua sale rápidamente del sistema. En el otro extremo, aunque nunca permanecen anegados por períodos mayores a unos pocos días, el relieve chato de las *llamuras* (LL_I , LL_{II} , LL_{III} y LL_{IV}) favorece la acumulación o salida gradual del agua (*run-on*).

Entre los *afloramientos*, las diferencias en la cobertura se hacen evidentes dependiendo de la fase o tamaño de los polígonos que se considere. La dinámica espacio-temporal de la

cobertura de leñosas en los *afloramientos altos*, A_I , viene dada exclusivamente por polígonos $<100\text{m}^2$ (*Fase-I*). Históricamente, este tipo de cobertura coloca a los *afloramientos altos* como la segunda forma de relieve en abundancia de individuos leñosos de gran porte (eg. *Curatella americana*, *Bowdichia virgilioides* o *Byrsonima crassifolia*) bien sea aislados o conformando pequeñas *matas*. En el caso de los *afloramientos bajos*, A_{III} , además de los de $<100\text{m}^2$, los polígonos de cobertura entre $100-1.000\text{m}^2$ (*Fase-II*) se incorporan significativamente en la dinámica espacio-temporal de esta forma de relieve. De hecho, la presencia y dinámica de este tipo de cobertura establece las diferencias con los afloramientos más altos (menos degradados). Para los *afloramientos medios*, A_{II} , la dinámica se expresa a través de coberturas $<100\text{m}^2$ pero en una proporción muy inferior a la de los afloramientos inmediatos superiores e inferiores. Si no se toman en cuenta los valores de cobertura para las dos zonas de transición entre formas de relieve consideradas en este trabajo (A_I-LL_I y $A_{III}-LL_{III}$), a través de la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas en los *afloramientos medios* estarían expresados los valores más bajos para el número de polígonos y para el área y perímetro que estos generan.

Estas diferencias pueden ser atribuidas a que, en el caso de los afloramientos más altos, el relieve permite la formación de estrechos canales de drenaje en los cuales el establecimiento de individuos aislados o de pequeñas *matas* es favorecido por un incremento en el balance hídrico, y hasta de nutrientes, que genera este microrelieve, compensando de este modo las limitaciones impuestas por la presencia generalizada y característica en esta forma de relieve de una gruesa capa de granzón basal de la *Formación Mesa*. Si bien la escala de trabajo no permitió diferenciar los canales de drenaje y discriminar o cuantificar los polígonos de cobertura que se encuentran dentro y fuera del microrelieve, las observaciones de campo confirman que la dominancia de cobertura de leñosas tiende hacia las depresiones del terreno. En el caso de los afloramientos más bajos la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas no está vinculada al microrelieve: el relieve suave y ondulado no permite la formación de canales de drenaje, detectables siquiera en las observaciones de campo. La facilitación en el establecimiento de leñosas en los *afloramientos bajos*, con respecto a afloramientos más elevados, pudiera ocurrir por:

- 1) La capa de granzón basal se encuentra suficientemente desgastada como para permitir a las raíces de las leñosas acceder a estratos inferiores más favorables, minimizando así los efectos fisicoquímicos limitantes del estrato de granzón de

la *Formación Mesa*. Esto resulta en una homogeneización del estrato superior que, a diferencia de los *afloramientos altos*, el espacio para el establecimiento no es un factor limitante.

- 2) Al estar ubicados los *afloramientos bajos* en la menor altura relativa dentro del gradiente altimétrico de afloramientos, la vegetación leñosa, luego de establecerse y desarrollar un sistema radical profundo, pueden acceder a un horizonte espacialmente homogéneo donde la dinámica hídrica profunda permite una extensión temporal del agua disponible para las plantas, minimizando la variabilidad temporal de este determinante (*ie.* Homogeneización espacio-temporal del **ADP**).
- 3) Los *afloramientos bajos* se encuentran insertos en los *abanicos de explayamiento (LL_{II})* y en las *llamuras coluviales (LL_{III})*, formas de relieve que presentan los valores más altos de cobertura de leñosas, especialmente de núcleos boscosos; la proximidad a centros potenciales de dispersión de propágulos facilita el establecimiento de especies decíduas que participarían en la nucleación que se genera luego del establecimiento de especies siempreverdes. A diferencia de la dinámica espacio-temporal de los *afloramientos altos*, en los afloramientos más desgastados, las *matas* medianas hasta grandes (polígonos *Fase-II*; 100-1.000m²) tienen una participación muy significativa, así como disponen de un importante número de *matas* grandes o islotes de bosque con una cobertura >1.000 m² (*Fase-III*).

Histórica y espacialmente, los *afloramientos medios (A_{II})* presentan los valores más bajos de cobertura de leñosas, no sólo entre los *afloramientos* sino para cualquier otra forma de relieve. Esto puede deberse a que, si bien la capa de granzón basal se encuentra desgastada, no está lo suficiente para permitir a las raíces de las leñosas alcanzar estratos inferiores más favorables, pero sí lo suficiente para no permitir la formación de microrelieve (canales de drenaje). Espacialmente, *A_{II}* ocupan la sección media del área de estudio y del gradiente altitudinal que allí se manifiesta, y aún cuando interceptan una forma de relieve de las más ricas y variadas en lo que a cobertura de leñosas se refiere: los *abanicos de explayamiento (LL_{II})*, una mayor proximidad a los centros potenciales de dispersión de propágulos (decíduos

o siempreverdes) no se refleja significativamente en la dinámica espacio-temporal de los *afloramientos medios*, si se compara con la de otros *afloramientos*.

Las *llanuras*, al igual que los *afloramientos*, presentan respuestas diferenciables dependiendo de su ubicación dentro del gradiente de *run-on* en la dinámica hídrica superficial que domina el relieve chato del área de estudio. Entre las *llanuras*, las *coluviales (LLIII)* se ubican, espacial y temporalmente, en el extremo del gradiente, logrando los mayores valores para el área de cobertura de leñosas a través de un importante número de polígonos de $>10.000\text{m}^2$ (islotos de bosque y galerías). A éstas le siguen los *abanicos de explayamiento (LLII)* los cuales obtienen su cobertura a través de la mayor densidad de polígonos de cobertura de cualquier tamaño observada en el gradiente altimétrico o de drenaje presente en nuestra área de estudio, pero son los de hasta 1.000 m^2 los que establecen su dinámica temporal. En el extremo opuesto del gradiente de cobertura observado se tienen los *canales de explayamiento (LLI)* y las *llanuras de erosión (LLIV)*. Históricamente, la cobertura de leñosas en estas formas de relieve no supera el 5% del área de estudio, y su dinámica viene dada por el incremento lineal en los valores de polígonos de cobertura $<1.000\text{ m}^2$.

Según Sarmiento y Monasterio (1969 y 1971) la erosión hídrica donde está comprendida el área de estudio es de carácter predominantemente laminar y arrastra los sedimentos más finos depositándolos hacia sus bordes meridionales. Las diferencias que se observan en la dinámica de la cobertura en las *llanuras* responden, en primer lugar, a la profundidad de los redepósitos coluviales, y luego al tipo de horizonte que subyace en cada forma de relieve; características éstas que regulan no sólo la disponibilidad de nutrientes, sino también la dinámica hídrica superficial así como cómo la profunda. Esto explica la mayor cobertura de leñosas presente en las *llanuras coluviales (LLIII)* cuya ubicación dentro del gradiente altimétrico del área de estudio permitiría que los redepósitos coluviales fueran más profundos y descansaran, en muchos casos, directamente sobre un horizonte menos permeable de lutitas abigarradas de la *Formación Chaguaramas* (Salvador 1964, Zinck 1970, Gonzáles de Juana 1980) que mantendría un nivel freático relativamente accesible. La menor cobertura de los *abanicos de explayamiento (LLII)* responde tanto a una menor profundidad de coluvios superficiales como a la presencia, previa al horizonte impermeable de la *Formación Chaguaramas*, de un estrato relictual de gravas de la *Formación Mesa* cuya profundidad se incrementa, a costa del horizonte superficial de redepósitos, en dirección a las formas de relieve más elevadas del área de estudio (S-N). Es así como se explica la menor cobertura de

leñosas de las *llanuras* más elevadas, los *canales de explayamiento* (LL_I): la capa de coluvios es demasiado delgada para retener efectivamente la humedad, aún cuando la dinámica hídrica es favorecida por la acción canalizadora de las escorrentías superficiales por el microrelieve de los *afloramientos altos* (A_I) superiores adyacentes. La escasa cobertura de leñosas de las *llanuras de erosión* (LL_{IV}) también se puede explicar por encontrarse éstas en una situación extrema dentro del gradiente edáfico. Aquí, afloran las lutitas de la *Formación Chaguaramas*: tanto el horizonte de redepósitos, característico de las otras formas de *llanuras*, como las gravas de la *Formación Mesa*, determinante de los *afloramientos*, se encuentran extremadamente degradados (presencia de pequeñas lentes de rodados) y hasta ausentes. LL_{IV} es una forma de relieve cuyo rasgo más característico es la microtopografía sumamente irregular, constituida por depresiones circulares de hasta 5 m de diámetro, unidas entre sí por grietas profundas, originando una trama que en las fotos aéreas aparece como si fueran viruelas. Este microrelieve se ha formado sobre las areniscas localmente calcáreas que se encuentran en la base de la *Formación Mesa* y que han quedado expuestas por la erosión total de los estratos que las recubrían. Eliminando los redepósitos coluviales dejando así al descubierto los estratos subyacentes, originando de este modo el relieve de *llanuras de erosión*. Las depresiones circulares o “viruelas” dejan expuesto un franco arcilloso, masivo y de abundantes concreciones calcáreas infiriéndole características fisicoquímicas que los diferencian notablemente del resto de los suelos de la región estudiada. Sarmiento y Monasterio (1971) sostienen que la variabilidad espacial en la cobertura y la composición de las comunidades de leñosas presente en las *llanuras de erosión* viene dada por una elevada heterogeneidad del sustrato.

Es abundante la bibliografía que trata de explicar la fitofisionomía característica de las sabanas tropicales con respecto a los gradientes ambientales y edáficos en particular (eg. Sarmiento y Monasterio 1969^a, 1969^b y 1971, Sarmiento *et al.* 1971^a y 1971^b, Silva *et al.* 1971, Monasterio *et al.* 1971, Silva y Sarmiento 1976^a y 1976^b, Walker *et al.* 1981, Walker y Noy-Meir 1982, Sarmiento *et al.* 1985, Knoop y Walker 1985, Goldstein y Sarmiento 1987, Medina y Silva 1990, San José y Montes 1991, Furley 1992 y San José *et al.* 1998). Si bien los autores coinciden al reconocer a la heterogeneidad del sustrato como uno de los principales determinantes de la dinámica espacial de la cobertura vegetal, se aprecia que la percepción que tienen del proceso que origina este determinismo espacial puede ser muy variada, y en algunos casos, contradictoria. En un extremo se tienen perspectivas como la de Brown (1987) quien

sostiene que “bajo un régimen climático determinado y sin la intervención del hombre, las principales clases de suelo determinarán el tipo de vegetación”. En el otro extremo, existe la perspectiva que, por actuar a diferentes escalas espaciales y temporales, los cambios en la vegetación no se relacionan a cambios en un gradiente edáfico (Furley 1992). En todo caso, el paradigma de la heterogeneidad del sustrato (vía **ADP** y **NDP**) como principal determinante de la fisionomía de las leñosas, y de la vegetación en general, de las sabanas neotropicales ha sido formulado por estudios, en su mayoría, espacialmente locales, y en todo caso, temporalmente puntuales.

Si bien los resultados sobre la dinámica espacial de la cobertura de leñosas en las sabanas estacionales presentados en este capítulo confirman las observaciones de múltiples autores sobre la acción determinante de la heterogeneidad del sustrato y la distribución consiguiente del **ADP** y del **NDP**, la variabilidad temporal significativa tanto en el *incremento relativo anual (IRA)* de la cobertura como en las estrategias de su establecimiento: *fusión vs. disperso*; que se observan en las diferentes formas de relieve consideradas en este estudio (*ie.* dinámica temporal diferenciable), nos advierten que indudablemente existen factores externos y temporalmente variables capaces de incrementar o disminuir la acción determinante de las diferencias estables de la distribución del sustrato en la cobertura de leñosas. Por lo tanto, una reformulación coherente del paradigma del determinismo edáfico en la fitofisionomía de las sabanas estacionales, solo se logrará a través de un enfoque integral que incluya en su discusión evidencias sobre los efectos de variaciones temporales o pulsaciones de diferente magnitud de factores capaces de sobrellevar las limitaciones locales del **NDP** y homogeneizar en una escala regional aquellas del **ADP**. Los resultados sobre la dinámica temporal de la cobertura de leñosas presentados en este capítulo arrojan fuertes evidencias sobre la participación histórica de factores externos. A su vez, la variabilidad temporal de estos factores puede ser explicada por la dinámica y las tendencias de los cambios globales, y en especial y por sus efectos en el **ADP** de cualquier sistema, por los cambios históricos en las precipitaciones. En este sentido, el capítulo subsiguiente (Capítulo III) muestra los resultados del esfuerzo por generar información sobre la variabilidad histórica de las precipitaciones en nuestra área de estudio y que ha servido para establecer relaciones y describir los procesos que determinan la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas a través de una discusión final e integradora presentada en el Capítulo IV del presente trabajo.

II.5. Bibliografía

- Archer, S. 1989. Have Southern Texas savannas been converted to woodlands in recent history?. *American Naturalist*, 134:545-561.
- Archer, S. 1990. Development and stability of grass/woody mosaics in a subtropical savanna parkland, Texas, USA. *Journal of Biogeography*, 17:453-562.
- Archer, S. 1995. Tree-grass dynamics in a Prosopys-thornscrub savanna parkland: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience*, 2:83-99.
- Archer, S., C. Scifres, C.R. Bassham y R. Maggio. 1988. Autogenic succession in a subtropical savanna: conversion of grassland to thorn woodland. *Ecological Monographs*, 58:111-127.
- Archer, S.C. 1996. Assessing and interpreting grass-woody plants dynamics. En: *The Ecology and Management of Grazing Systems*. Hodgson, J. y A.W. Illius (eds.). CAB International. pp.101-134.
- Barnes, D.L. 1979. Cattle ranching in east and southern Africa. En: *Management of semi-arid ecosystems*. Walker, B.H. (Ed.). Elsevier, Amsterdam. p9-54.
- Belsky, A.J. 1990. Tree/grass ratios in East African savannas: a comparison of existing models. *Journal of Biogeography*, 17:483-489.
- Belsky, A.J. 1994. Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology*, 75:922-932.
- Belsky, A.J., S.M. Mwonga y J.M. Duxbury. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. *Agroforestry Systems*, 24:1-20.
- Blackburn, W.H. y P.T. Tueller. 1970. Pinyon and juniper invasion in black sagebrush communities in east-central Nevada. *Ecology*, 51:841-848.
- Blydenstein, J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Columbia. *Ecology*, 48:1-15.
- Brown, K.S. 1987. Soils and Vegetation. En: *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*. Whitmore, T.C. y G.T. Prance (Eds.). Clarenton Press, Oxford, pp19-45.
- Bucher, E.H. 1982. Chaco and Caatinga- South American Arid Savannas, Woodlands and Thickets. En: *Ecology of Tropical Savannas*. Huntley, B.J. y B.H. Walker (Ed.) Springer-Verlag, Berlin.
- Buffington, L.C. y C.H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range from 1858 to 1963. *Ecological Monographs*, 35:139-164.
- Cole, M. 1986. *The savannas: biogeography and geobotany*. Academic Press, London.
- Farji-Brener, A.G. 1992. *Dinámica de islas boscosas en una sabana-parque: La actividad de las Attini (Hymenoptera, Formicidae) y su relación con la invasión de leñosas*. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 66p.
- Furley, P.A. 1992. Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the Neotropics. En: *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. Furley, P.A., J. Proctor y J.J. Ratter (Eds.). Capítulo 6. Chapman & Hall, Londres. pp91-117.
- Goldstein, G. y G. Sarmiento. 1987. Water relations of trees and grasses and their consequences for the structure of savanna vegetation. En: *Determinants of Tropical Savannas*. B.H. Walker (Ed.). Capítulo 2. IUBS Monograph Series N°3. Australia. pp13-38.
- González de Juana, C., J.M. Iturralde de Arozena y X. Picard, 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. II Tomos. Ediciones FONINVES. Caracas. 1031p.
- Harrington, G.N. A.D. Wilson y M.D. Young. 1984. *Management of Australia's rangelands*. CSIRO, Melbourne.
- Herbel, C.H., F.N. Ares y R.A. Wright. 1972. Drought effects on a semi-desert grassland. *Ecology*, 53:1084-1093.

- Hobbs, R.J. y H.A. Mooney. 1986. Community changes following shrub invasion of grassland. *Oecologia*, 70:508-513.
- Hunziker, J.H., R.A. Palacolis, L. Poggio, C.A. Naranjo y T.W. Yang. 1977. Geographic distribution, morphology, hibridization, cytogenetics and evolution. *En: Creosotebush: their biology and chemistry of Larrea in New World deserts*. Dowden, Hutchinson y Ross (eds.) pp 10-47. Stroudsburg, Pennsylvania, USA.
- Jeltsch, F., S.J. Milton, W.R.J. Dean y N. van Rooyen. 1996. Tree spacing and coexistence in semiarid savannas. *Journal of Ecology*, 84:583-595.
- Jonhston, M.C. 1963 Past and present grassland of southern Texas and northeastern Mexico. *Ecology*, 64:553-576.
- Knoop, W.T. y B.H. Walker. 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in a Southern African savanna. *Journal of Ecology*. 73:235-253.
- Medina, E. y J.F. Silva. 1990. The savannas of northern South America: a steady state regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability. *Journal of Biogeography*, 17:403-413.
- Menaut, J.C., J. Gignoux, C. Prado y J. Clobert. 1990. Tree community in a humid savanna of the Cote-d'Ivoire: modelling the effects of fire and competition with grass and neighbours. *Journal of Biogeography*, 17:471-481.
- Monasterio, M., G. Sarmiento y J.F. Silva. 1971. Reconocimiento Ecológico de Los Llanos Occidentales. III. El Sur del Estado Barinas. *Acta Científica Venezolana*, 22:153-169.
- Morales, F. 1978. *El Alto Llano: estudio de su geografía física*. Ediciones de la Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 188p.
- Moreira, A.G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27:1021-1029.
- Salvador, A. 1964. Proposed simplification of the stratigraphic nomenclature in the Eastern Venezuelan basin. *Boletín Informativo de la Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo*, 7:153-202.
- San José, J.J. y R. Montes. 1991. Regional interpretation of environmental gradients which influence *Trachypogon* savannas in the Orinoco Llanos. *Vegetatio*, 95:21-32.
- San José, J.J., M.R. Fariñas y J. Rosales. 1991. Spatial patterns of trees and structuring factors in a *Trachypogon* Savanna of the Orinoco Llanos. *BIOTROPICA*, 23:114-123.
- San José, J.J., R. Montes y M. Mazorra. 1998. The nature of savanna heterogeneity in the Orinoco Basin. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7:441-455.
- Sarmiento, G. (Ed.) 1990. *Las Sabanas Americanas. Aspectos de su biogeografía, ecología y utilización*. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas, Venezuela. p332.
- Sarmiento, G. 1983^a. Patterns of specific and phenological diversity in the grass community of the Venezuelan tropical savannas. *Journal of Biogeography*, 10:373-391.
- Sarmiento, G. 1983^b. The savannas of Tropical America. *Tropical Savannas*. Bourliere, F. (Ed.). Ecosystems of the World. Elsevier Publ. Co., Amsterdam. pp245-288.
- Sarmiento, G. 1984. *The ecology of neotropical savannas*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 235p.
- Sarmiento, G. 1996. Biodiversity and water relations in tropical savannas. *En: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 62-75.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1969^a. Corte ecológico de Estado Guárico. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 28(115-116):83-106.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1969^b. Studies on the savanna vegetation of the Venezuelan Llanos. I. The use of association-analysis. *Journal of Ecology*. 57:579-598.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1971. *Ecología de las sabanas de América Tropical: Análisis macroecológico de Los Llanos de Calabozo, Venezuela*. Cuadernos Geográficos N° 4. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, 127p.

- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1983. Life forms and phenology. In: *Ecosystems of the World: Tropical savannas*. Bouliere, F. (Ed.). Elsevier, Amsterdam. p79-108.
- Sarmiento, G., G. Goldstein y F. Meinzer. 1985. Adaptive strategies of woody species in neotropical savannas. *Biology Review*, 60:315-355.
- Sarmiento, G., M. Monasterios y J. F. Silva. 1971^a. Reconocimiento Ecológico de los Llanos Occidentales. I. Las Unidades Ecológicas Regionales. *Acta Científica Venezolana*, 22:52-61.
- Sarmiento, G., M. Monasterios y J. F. Silva. 1971^b. Reconocimiento Ecológico de los Llanos Occidentales. IV. El Oeste del Estado Apure. *Acta Científica Venezolana*, 22:170-180.
- Schoefield, C.J. y E.H. Bucher. 1986. Industrial contributions to desertification in South America. *TREE*, 1:78-80.
- Scholes, R.J. y B.H. Walker. 1993. *An African Savanna - Synthesis of the Nylsvley Study*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Scholes, R.J. y S.R. Archer. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28:517-544.
- Silva, J.F. 1996. Biodiversity and stability in tropical savannas. In: *Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 161-171.
- Silva, J.F., M. Monasterio y G. Sarmiento. 1971. Reconocimiento ecológico de Los Llanos Occidentales. II. El Norte del Estado Barinas. *Acta Científica Venezolana*, 22:60-71.
- Silva, J.F. y G. Sarmiento. 1976^a. La composición de las sabanas en Barinas en relación con las unidades edáficas. *Acta Científica Venezolana*, 27:68-78.
- Silva, J.F. y G. Sarmiento. 1976^b. Influencia de factores edáficos en la diferenciación de las sabanas. Análisis de componentes principales y su interpretación ecológica. *Acta Científica Venezolana*, 27:141-147.
- Silva, J.F., A. Zambrano y M.R. Fariñas. 2001. Increase in the woody component of seasonal savannas under different fire regimes in Calabozo, Venezuela. *Journal of Biogeography*, 28:977-983.
- Singh, J.S. y M.C. Joshi. 1979. Primary production. In: *Grassland ecosystems of the world*. Coupland, R.T. (Ed.). IBP Vol. 18, Cambridge Univ. Press, Cambridge. p179-225.
- Skarpe, C. 1991. Spatial patterns and dynamics of woody vegetation in an arid savanna. *Journal of Vegetation Science*, 2: 565-572.
- Skarpe, C. 1992. Dynamics of savanna ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 3:293-300.
- Taiton, N.M. y B.H. Walker. 1992. Grassland of southern Africa. En: *Ecosystems of the World*, Vol. 8B. Natural Grasslands: Eastern Hemisphere. Coupland, R.T. (ed.). Elsevier, Amsterdam. pp.265-290.
- van Devender, T.R. y E.G. Spaulding. 1979. Development of vegetation and climate in the southwestern United States. *Science*, 204:701-710.
- van Vegten, J.A. 1983. Thornbush invasion in a savanna ecosystem in eastern Botswana. *Vegetatio*, 56:3-7.
- Walker, B.H. 1985. Structure and function of savannas: an overview. En: *Ecology and Management of the World's Savannas*. Tothill, J.C. y J.J. Mott (eds.). Australian Academy of Science, Canberra. pp.83-91.
- Walker, B.H. y I. Noy-Meir. 1982. Aspects of stability and resilience of savanna. En: *Ecology of Tropical Savannas*. Huntley, B.J. y B.H. Walker (Eds.). Ecological Studies 42. Springer, Berlin. pp.143-155.
- Walker, B.H., D. Ludwig, C.S. Holling y R.M. Peterman. 1981. Stability of semi-arid savanna grazing systems. *Journal of Ecology*, 69:473-498.
- Walter, H. 1971. *Ecology of Tropical and Subtropical Vegetation*. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
- Zinck, A. 1970. *Origen y evolución de la Formación Mesa: un enfoque edafológico*. Ministerio de Obras Públicas. Maracaibo. 70p.

CAPÍTULO III

DINÁMICA TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES

III.1. Introducción

La variabilidad es el rasgo que mejor define al fenómeno climático de las precipitaciones (Fernández-García 1996). Espacialmente, en Venezuela existe un gradiente donde las precipitaciones anuales aumentan desde el Norte donde hay regiones con menos de 300 mm, hasta el Sur, con más de 3.600 mm. En la Península de Araya (Edo. Sucre) ocurren años enteros sin precipitación alguna y por otro lado, en la zona del río Paragua (Edo. Bolívar), se observan lluvias mensuales de más de 900 mm, cantidad que constituye el promedio anual para otras áreas geográficas de Venezuela (Goldbrunner 1963 y 1976). En la escala temporal, las precipitaciones en Venezuela también son muy variables: su distribución mensual va desde un mes de precipitación en Paraguaná (Edo. Falcón) hasta doce meses en la región de Guayana. En una escala temporal más grande, se observa también un gradiente para los días con precipitaciones al año, y que varía desde regiones del Sotavento en el Norte del país con menos de 50 días hasta más de 300 días en el estado Amazonas y en el Sur del Lago de Maracaibo. Esta variabilidad espacio-temporal está relacionada con la dinámica general atmosférica, de la que dependen el régimen anual y las oscilaciones interanuales, y con la topografía y el relieve, que introducen desequilibrios muy marcados en la distribución espacial de las precipitaciones (Fernández-García 1996).

La región de Los Llanos del Orinoco, caracterizada por un relieve relativamente homogéneo y que compromete una gran parte del territorio nacional, presenta un régimen de precipitaciones marcadamente estacional y de distribución unimodal: una *estación seca* seguida por una *estación húmeda*, localmente conocidas como *verano* e *invierno*, respectivamente. Esta nitidez estacional se debe al dinamismo de la circulación general de la atmósfera, específicamente por la dinámica de las células Hadley y por el Alta de Las Azores (vientos *Alisios*) (Goldbrunner 1963 y 1976, Vila 1965, Freile 1969^a y 1969^b, Moreau y Deffit 1979, Martelo 2002). De diciembre hasta abril, y a través del flujo superficial de los *Alisios* del NE, la célula tropical Hadley del Hemisferio Norte extiende su influencia desde 30°

N (centro de la alta presión subtropical) hasta cerca de 2° N, latitud en la cual converge la corriente del aire de la célula correspondiente al Hemisferio Sur, *Alisios* del SE, dando lugar a la *zona de la convergencia intertropical (ZCIT)*. Durante el verano astronómico del Hemisferio Norte, dominan los centros de altas presiones en las alturas; éstos ocasionan el descenso de las masas de aire limitando el desarrollo de nubes convectivas, y por tanto las precipitaciones. Pero, la ZCIT está sujeta a los movimientos del Sol en el transcurso del año, y al comenzar el verano astronómico del Hemisferio Sur, ésta comienza a desplazarse hacia el Norte, situándose entre mayo y noviembre aproximadamente a $4-6^{\circ}$ N. Con su campo de bajas presiones, la ZCIT provoca el ascenso vertical de la atmósfera, saturándola de humedad y produciendo nubes y abundantes precipitaciones. Como consecuencia de esta dinámica anual en los desplazamientos de la ZCIT, en la región central de Los Llanos, la *estación húmeda* se extiende desde el mes de mayo hasta octubre, con abril y noviembre como *meses de transición*, mientras que desde diciembre hasta marzo, *estación seca*, las lluvias son muy raras o totalmente inexistentes (Monasterio 1970).

La ZCIT es uno de los sistemas meteorológicos más importantes que actúan en los trópicos (Silveira-Ferreira 2003). Debido a su estructura física, la ZCIT es decisiva en la caracterización de las diferentes condiciones de tiempo y de clima en diversas áreas de la región tropical global (ver Fig. III.1).

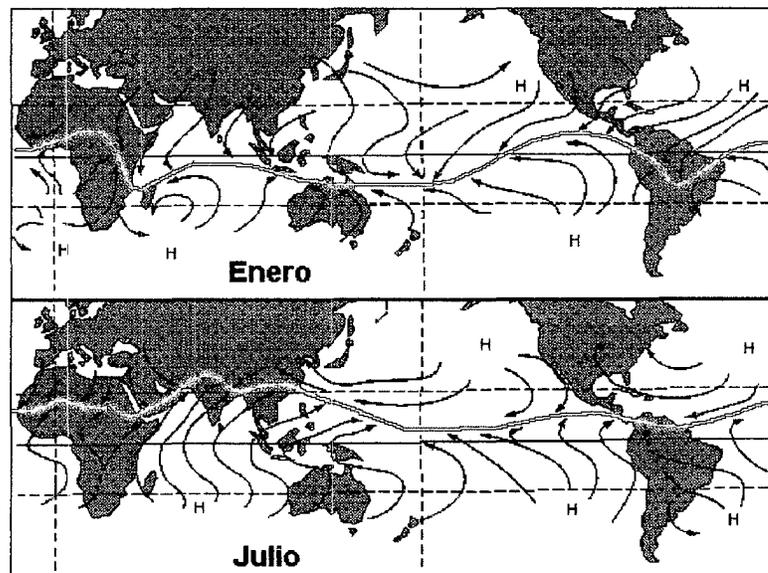


Figura III.1. En rojo, presencia de la *Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)* a escala global para dos momentos de su desplazamiento: al Sur en enero; y al Norte en julio. (Fuente: <http://meteo.nc/comprendre/glossaire/zcit.html>)

A pesar de que Los Llanos presentan esta “nitidez estacional”, existen perturbaciones que originan variabilidad interanual a través de sus efectos sobre las estaciones. El tiempo meteorológico en la ZCIT está íntimamente relacionado con la inestabilidad del aire, con la velocidad de los vientos convergentes y con el ángulo que forman estos vientos entre sí en su convergencia. Por lo tanto, es frecuente encontrar que la ZCIT se encuentra interrumpida. Al romperse la ZCIT se forma una zona de alta presión que la reemplaza en posición, formándose al Norte de ésta una pequeña zona de convergencia, fenómeno que parece ser corriente en Los Llanos y es a su vez la causante de las interrupciones del tiempo meteorológico derivado de la ZCIT, y se presentan como pequeñas pulsaciones secas o “veranitos” durante la estación húmeda (Freile 1969a y b, Casarim 1983, Silveira-Ferreira 2003) que introducen variabilidad.

Los *veranitos* no son fenómenos exclusivos de Los Llanos del Orinoco, sino que están presentes en cualquier estación húmeda dentro de la zona intertropical (Assad *et al.* 1994). Se tiene, por ejemplo, que para el Cerrado Brasileño, aún cuando presenta una estacionalidad temporalmente inversa a la de Los Llanos¹, los *veranitos* no sólo son fenómenos recurrentes en la estación húmeda (intra e interestacional), sino que representan un determinante ambiental adicional en la dinámica del sistema. En este sentido, y al realizar análisis de la dinámica espacial de *veranitos* de diferentes frecuencias y duración Wolf (1977), Cochrane *et al.* (1988), Nieuwolt (1989), Luchiari Jr. *et al.* (1986) y Assad *et al.* (1994) advierten sobre las implicaciones ecológicas por afectación potencial a la fenología al punto que recomiendan se reconsideren las actuales prácticas de conservación y agrícolas para amplios sectores del Cerrado brasileño. A parte de una breve referencia que hace Monasterio (1970) sobre la ocurrencia de *veranitos*, no existen trabajos previos que caractericen la variabilidad de la estación húmeda en Los Llanos del Orinoco, expresada en términos de su dinámica intra e interestacional a partir una amplia serie temporal, información imprescindible para conocer los efectos de su dinámica histórica en el sistema, además de iniciar el conocimiento en las tendencias actuales así como en la predicción de alteraciones potenciales futuras en la frecuencia y duración de los *veranitos* como escenario posible de cambio climático para las sabanas neotropicales.

Goldbrunner (1976), al observar que una sequía con 35% de déficit de precipitación que se presentó entre 1970 y 1974 en el centro de Venezuela y específicamente en el estado

¹ Producto de la dinámica espacio-temporal de la ZCIT, la *estación húmeda* en Los Llanos corresponde a la *estación seca* en el Cerrado, y viceversa.

Guárico, coincidía con la sequía Saheliana en África, advirtió que la variabilidad temporal de las precipitaciones en Venezuela pudiera estar acentuada por fenómenos climáticos que actúan a una escala espacial muy amplia y hasta global. Moreau y Deffit (1979) sostienen que es posible explicar parte de la variabilidad de las precipitaciones en Los Llanos a través de los registros históricos de aquellos fenómenos macroclimáticos con capacidad de inducir cambios en la temperatura del mar, más específicamente con el movimiento de masas de agua más frías o más calientes dentro del Atlántico o del Mar Caribe.

Efectivamente, la *Circulación Termohalina Atlántica* (THC) tiene un efecto potencialmente importante en el clima del Atlántico a través del transporte meridional de calor y agua dulce (Figura III.2, Delworth 2003). En una escala temporal de décadas a cientos de años, fluctuaciones en estos transportes pueden tener un impacto sustancial en las *temperaturas marinas superficiales* (SST), así como impactos potenciales en el clima de las regiones continentales adyacentes. Modelos recientes sugieren que cambios en la THC pueden afectar la posición meridional de la ZCIT, alterando la convección tropical y la circulación atmosférica a gran escala. La THC es a su vez afectada por la *Oscilación del Atlántico Norte* (NAO) al modular ésta los flujos de boyacidad superficial en el Atlántico Norte. Varios factores (gases de invernadero, SST tropical, etc.) pueden afectar la NAO, ésta a la THC y por último a la ZCIT (NRC 1998 y 2002). Como puede apreciarse en la Figura III.3, la NAO es la principal responsable de la variabilidad climática interanual y de series de tiempo mayores que se observa en el Hemisferio Norte (Hurrell 2000).

Estos procesos de retroalimentación con la variabilidad temporal en las precipitaciones no sólo han sido establecidos para otras variables macroclimáticas sino que pudiera existir además un comportamiento temporalmente diferenciable. Harzallah *et al.* (1996) y Enfield (1996) muestran evidencias donde las lluvias del Noreste de Brasil están influenciadas por dos procesos dinámicamente diferentes: en una escala temporal interanual las anomalías en la SST del Pacífico tropical causadas por *El Niño-Oscilación Sur* (ENSO) explican la variabilidad de las precipitaciones; en una escala de tiempo decadal, las variaciones en la SST del Atlántico tropical corresponden a aquellas de las lluvias. En ambos procesos, la dinámica de la ZCIT es significativamente afectada.

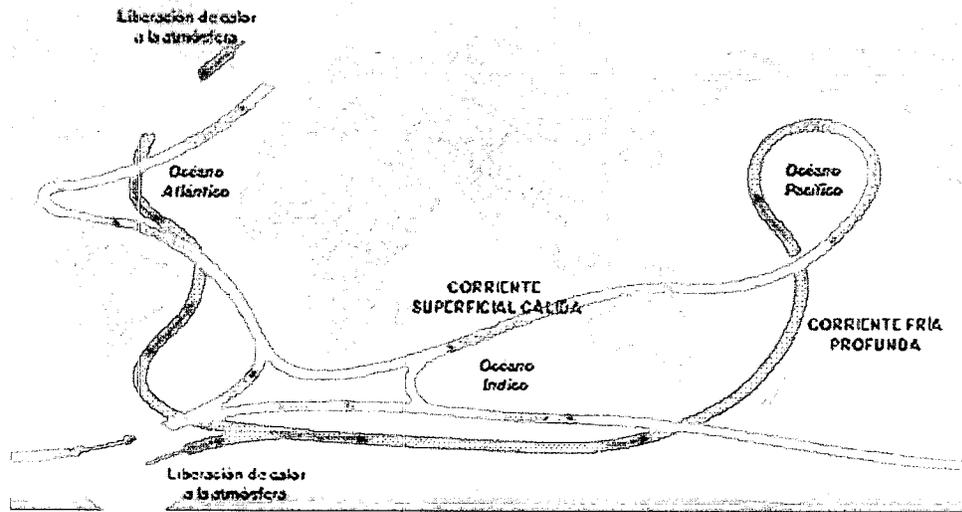


Figura III.2. Esquema que representa las principales características de la *Circulación Termohalina*. Aguas cálidas y de baja salinidad fluyen superficialmente al Norte del Atlántico, tornándose más salada (líneas rojas). El enfriamiento en el Atlántico Norte de esta agua más salada produce una densidad suficientemente elevada en el agua para que se hunda y fluya al Sur hacia las cuencas oceánicas (Tomado de Broecker 1995 y NRC 2002).

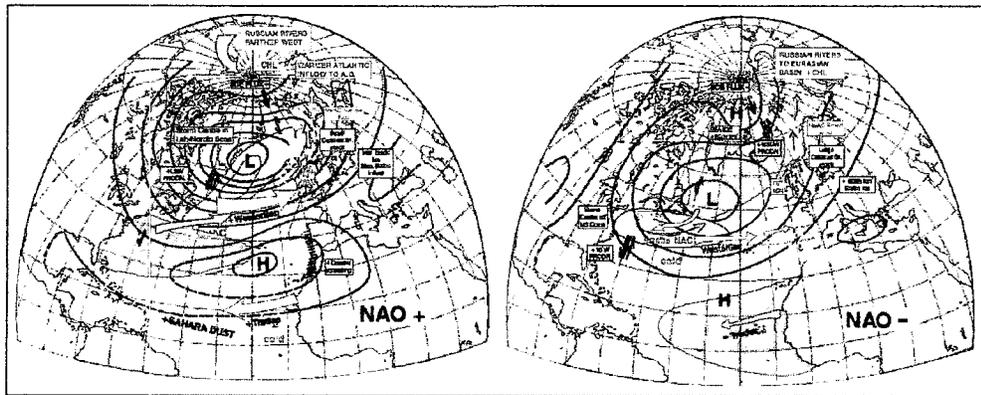


Figura III.3. Esquema que representa la variabilidad temporal de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y sus repercusiones espaciales. (Tomado de Stephenson 1999).

El Niño es considerado como una de las principales manifestaciones de variabilidad climática interanual global (Moreano 1984). Se le puede definir de un modo más preciso como el calentamiento anómalo de la superficie del mar ($+2\text{ }^{\circ}\text{C}$) sobre los valores normales durante un periodo por lo menos de cuatro meses a lo largo de la línea ecuatorial en los sectores central y oriental del Pacífico tropical. Este calentamiento anómalo de la superficie del mar está asociado a una vasta fluctuación de la presión atmosférica (SOI, *Índice de Oscilación del*

Sur) entre ambos flancos (Este-Oeste) del océano. La ocurrencia de *El Niño* es cíclica, no periódica. Su frecuencia de aparición varía, según los autores, con intervalos entre 3 y 8 años (Chávez 1987); 3 y 16 años (Lagos 1997); 2 y 12 años (Rossel *et al.* 1997); 1 y 5 años (Yesid *et al.* 1997); 2 y 7 años (Nash 1998); 4 y 7 años (Glantz 1997^a); 3 y 7 años (Trenberth 1997b); 4 y 5 años (Stuller 1998). Existe una gran incertidumbre acerca de las relaciones entre ENSO y la dinámica de otros índices macroclimáticos (*eg.* NAO). Se puede apuntar que su ciclo está cambiando en cuanto a la periodicidad – periodicidad que nunca fue rigurosa sino caótica, y se presenta cada vez con mayor asiduidad, sobre todo en forma de episodios extraordinarios (Capel-Molina 1999).

La incorporación y posterior extensión en el uso de índices macroclimáticos para la interpretación de la dinámica climática histórica han permitido avanzar en la diferenciación entre la *variabilidad natural*, presente en cualquier serie temporal amplia de datos climáticos de una región particular, con aquella variabilidad que responde a eventos cuya escala está comprendida dentro de los cambios globales. La noción de *estabilidad climática*, paradigma presente hasta principios de la década de los años 90, ha sido significativamente reformulada. Los secuenciales informes del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 1990, 1992, 1995, 1996^a, 1996^b, 1996^c, 1998, 2001^a y 2001^b), así como los del *National Research Council* (NRC-CGCR 1989, 1990^a, 1990^b, 1999, NRC-PCVDCTS 1998 y NRC-CHDGC 1999), plantean que el clima no solo ha cambiado, está cambiando y continuará haciéndolo, con o sin influencia antropogénica.

Debido a que los informes anteriores se desarrollaron para responder preguntas como: ¿qué pasaría si el CO₂ se duplica? Estos reflejan inquietudes centradas primariamente en escenarios de *cambios climáticos graduales* donde se simulaba una situación donde el clima se desplazaba lentamente de un estado inicial a uno final (*ie.* uno más cálido). Pero, sería un error considerar que los cambios climáticos suceden con una lentitud suficiente para que el medio ambiente, las estructuras sociales y económicas, las ecológicas e incluso las biológicas se adapten con facilidad y sin traumas a tales modificaciones en el clima (Capel-Molina 1999).

Evidencias geológicas y paleoclimáticas colectadas en las últimas décadas muestran que el clima puede cambiar abruptamente, afectando regiones hemisféricas hasta globales de forma repetida (Broecker 1995 y 1997). Cambios de hasta 16°C y de un factor de 2 para las precipitaciones se han presentado en algunos lugares por periodos tan cortos como décadas a

unos pocos años (Alley y Clark 1999, Lang *et al.* 1999). Técnicamente, un *cambio climático abrupto* ocurre cuando el sistema climático es forzado a cruzar determinado umbral, desatando una transición a un nuevo estadio a una tasa que viene determinada por el mismo sistema climático y es más rápido que la misma causa. Los procesos caóticos en el sistema climático pueden permitir que la causa de un cambio climático abrupto pase casi de forma inadvertida (NRC-CACC 2002). Desde este punto de vista, un cambio climático abrupto es aquel que ocurre tan rápidamente y de forma inesperada que los sistemas naturales y humanos tienen dificultades en adaptarse a la nueva situación. En todo caso, es muy probable que los impactos de los cambios climáticos abruptos serán tanto mayores como más agudos que aquellos bajo un cambio climático gradual según los planteados por los informes del IPCC. La principal razón para esta diferencia es que los sistemas sociales, económicos y ecológicos usualmente se adaptan más fácilmente a los cambios anticipables y graduales (NAST 2000). La historia del hombre, por ejemplo, ha estado moldeada realmente por eventos abruptos. Los registros geológicos sugieren que sequías abruptas pero persistentes causaron la desintegración de la cultura Maya (Hodell *et al.* 1995, Gill 2000) y que cambios también abruptos fueron los responsables del colapso de la civilización Mesopotámica (Weiss *et al.* 1993). No existe ninguna razón que lleve a pensar que los cambios climáticos abruptos no ocurrirán nuevamente. Más aún, los registros paleoclimáticos muestran que los cambios más dramáticos en el clima han ocurrido cuando los factores que controlan el sistema climático cambiaban. Esto tiene importantes implicaciones para el clima futuro ya que sugiere que una perturbación humana creciente en el sistema terrestre incrementa las posibilidades de un cambio climático abrupto (NRC-CACC 2002).

Se hace imperativo entonces, generar y/o mejorar el conocimiento sobre: 1.- evaluación de las probabilidades de su ocurrencia en el futuro cercano; 2.- la identificación de los umbrales de cambio del clima global; 3.- los procesos de retroalimentación entre los índices macroclimáticos y la variabilidad regional en el clima; y sobre todo, 4.- prever sus consecuencias en el funcionamiento de los sistemas naturales y humanos (NRC-PCVDCTS 1998).

Dentro del contexto de los objetivos planteados en el Capítulo I y de las inquietudes surgidas en la discusión del Capítulo II, corresponde a este estudio evaluar aspectos a los dos últimos puntos. Por lo tanto, en el presente capítulo se plantea como objetivo identificar aquellas variables que han participado en la evolución histórica de las precipitaciones en la

región central de Los Llanos del Orinoco y especialmente a las zonas cercanas al área de estudio definido en el Capítulo II. A través del análisis de datos de la mayor serie temporal disponible se pretende caracterizar la estacionalidad al diferenciar aquellos meses con menor precipitación de los de mayor precipitación, identificando a su vez los meses que representen una situación transitoria entre ambas estaciones. En base anual, estacional y mensual, se evaluarán los efectos en la dinámica temporal resultante de los días con precipitación y la presencia de veranitos de diferente magnitud. Lo anterior será relacionado a valores históricos de los diferentes índices macroclimáticos para establecer la existencia de interrelación y el grado de contingencia entre la dinámica de las precipitaciones del área de estudio y la variabilidad y las tendencias de los cambios climáticos globales.