

**Figura 4-13 Estimativos de las diferencias porcentuales (ecuación 4-2), usando la metodología tradicional con la función Log Normal frente a la metodología de escalamiento 1 para la estación Agronomía.**

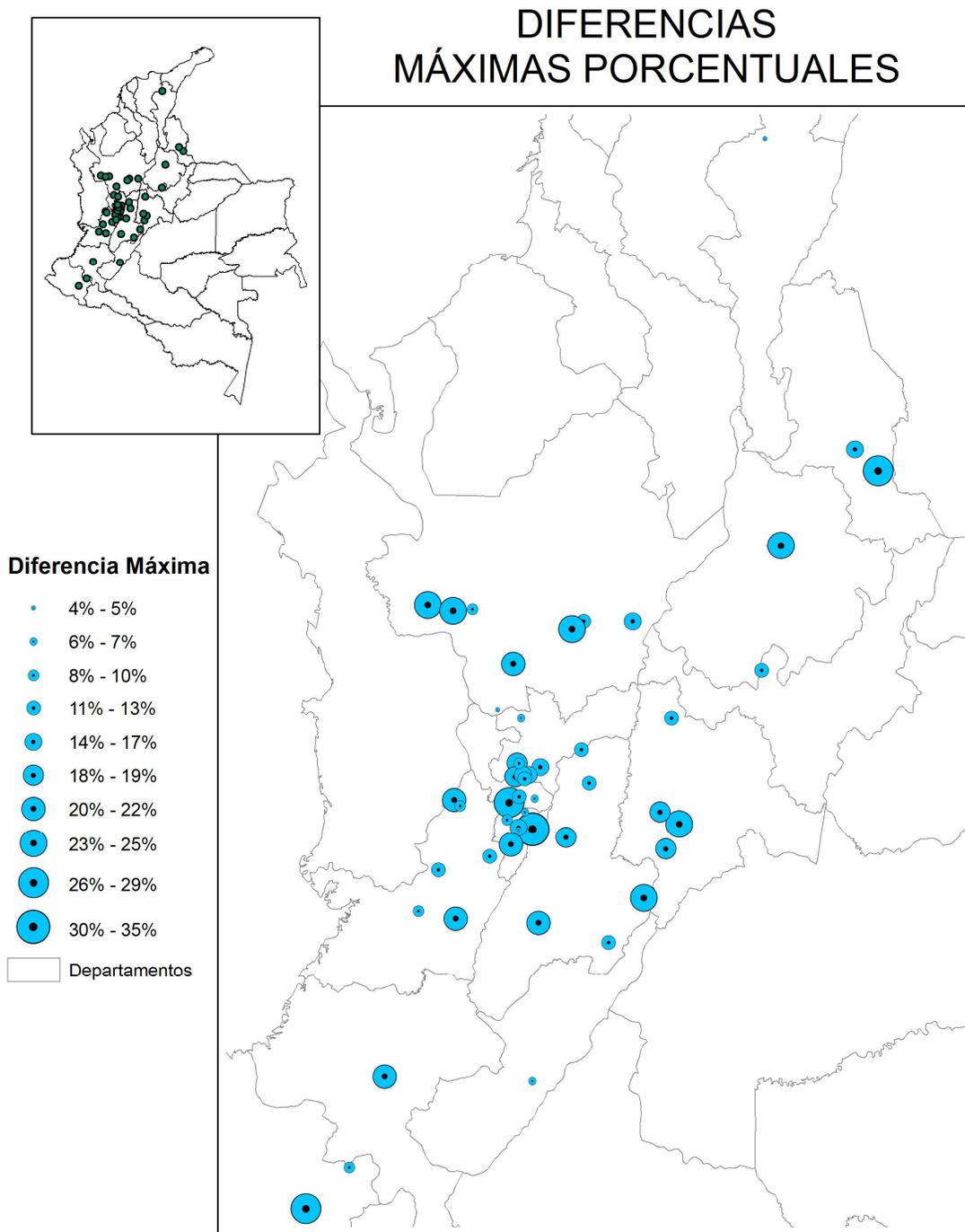
De la ecuación 4-2 se pueden deducir las diferencias máximas absolutas entre los métodos tradicionales y el método de Escalamiento 1. También se puede obtener un promedio de estas diferencias que indican la variación normal comparando las metodologías, ambas diferencias (máximas y promedias) se observan en la Tabla 4-10 para cada una de las estaciones, los resultados particulares de las mismas se aprecian en el Anexo digital.

**Tabla 4-10** Tabla de las diferencias máximas y promedias registradas para cada una de las estaciones, entre las metodologías tradicionales y el método de escalamiento 1.

Estaciones	Diferencia Gumbel máxima Absoluta	Diferencia Log Normal máxima absoluta	Diferencia Gumbel promedio	Diferencia Log Normal promedio
Agronomía	28.80%	15.90%	7.50%	0.70%
Aguas Blancas	37.00%	23.90%	11.60%	5.80%
Alban	17.60%	21.20%	6.40%	-2.50%
Arturo Gómez	48.70%	34.60%	15.40%	10.60%
Bertha	26.40%	12.90%	6.10%	1.10%
Bizcocho	24.90%	11.20%	6.70%	1.20%
Blonay	29.10%	26.70%	10.40%	8.90%
Bremen	15.40%	5.60%	3.60%	-1.40%
Cenicafe	29.90%	15.10%	7.50%	2.00%
Chapetón	26.90%	18.80%	8.70%	2.40%
El Cedral	17.10%	7.00%	2.30%	-2.70%
El Jazmín	17.00%	3.70%	4.90%	-2.30%
El Limón	24.70%	21.20%	6.50%	-4.40%
El Sauce	35.60%	9.80%	7.70%	-2.20%
El Sena	19.20%	14.70%	4.50%	2.10%
Francisco Romero	33.20%	17.00%	13.40%	6.10%
Granja Tibacuy	16.70%	18.12%	2.00%	-3.90%
Inmarco	20.10%	17.40%	6.90%	5.60%
Jorge Villamil	11.50%	6.10%	2.80%	-2.00%
Julio Fernández	21.10%	10.30%	9.50%	4.20%
La Bella	12.50%	4.90%	2.00%	-3.80%
La Catalina	15.20%	29.10%	-0.20%	-6.10%
La Montana	11.60%	10.60%	1.90%	2.60%
La Selva	39.00%	21.60%	13.10%	5.60%
La Sirena	23.50%	11.40%	5.40%	0.10%
La Trinidad	24.70%	10.50%	6.00%	0.40%
Llanadas	29.00%	11.80%	8.30%	0.60%
Luis Bustamante	21.40%	25.10%	5.90%	-4.00%
Luker	10.30%	19.18%	-0.10%	-4.80%
Mande	37.50%	23.70%	13.70%	7.20%
Manuel María Mallarino	29.50%	11.90%	6.70%	0.90%
Manuel Mejía	36.50%	20.60%	12.00%	6.00%
Maracay	23.40%	7.60%	9.60%	0.50%
Miguel V	11.70%	4.00%	1.80%	-2.60%

Estaciones	Diferencia Gumbel máxima Absoluta	Diferencia Log Normal máxima absoluta	Diferencia Gumbel promedio	Diferencia Log Normal promedio
Misiones	33.10%	23.40%	10.70%	7.10%
Naranjal	30.70%	17.50%	9.50%	3.60%
Ospina Pérez	16.23%	29.16%	2.50%	-7.90%
Paraguacito	37.10%	21.30%	8.70%	3.60%
Peñol	40.10%	25.00%	13.90%	6.80%
Planta de Tratamiento	25.60%	12.40%	6.80%	1.70%
Pueblo Bello	10.60%	4.40%	-0.10%	-2.70%
Rafael Escobar	17.20%	6.40%	4.30%	-0.30%
Rosario	39.30%	21.90%	10.00%	3.60%
Santa Ana	31.20%	15.80%	11.30%	4.30%
Santa Bárbara	11.70%	10.06%	0.70%	-3.80%
Santa Helena	31.10%	12.90%	10.60%	0.80%
Santa Ines	25.10%	18.90%	8.70%	6.10%
Santagueda	17.70%	8.50%	3.70%	-0.90%
Santiago Gutiérrez	17.20%	7.80%	5.90%	-0.80%
Sireno	11.80%	24.83%	-3.70%	-7.50%
Yacopi	32.10%	12.20%	4.30%	-2.20%
Promedios	24.60%	15.60%	6.63%	0.85%

Con el propósito de cuantificar algún tipo de coherencia espacial entre las diferencias estimadas según la expresión 4-2, se graficaron los 4 valores descritos anteriormente (diferencias máximas y promedios). Sin embargo, no se observó ningún comportamiento espacial coherente. En la Figura 4-14 se aprecia el resultado de este análisis espacial para las diferencias máximas entre las intensidades usando la metodología tradicional de escalamiento con la función Log Normal y la metodología de Escalamiento 1.



**Figura 4-14 Diferencias máximas entre la metodología tradicional usando la función Log Normal y la metodología de Escalamiento 1.**

#### **4.4 Comparación de los resultados mediante las metodologías de Escalamiento 1 y 2.**

##### **4.4.1 Factores para la estimación de precipitaciones de la metodología de Escalamiento 1 vs. la metodología Escalamiento 2**

Para los valores estimados de intensidad de precipitación para las distintas duraciones, usando los métodos de Escalamiento 1 (Burlando y Rosso, 1996) y de Escalamiento 2 (Yu et al. 2004) se obtuvieron los factores que relacionan la precipitación diaria con las de 1 a 24 horas. En la Tabla 4-11 se muestran los resultados de la lámina de agua para duraciones entre 1 y 24 horas, estimados mediante los métodos de Escalamiento 1 y 2, y en la Figura 4-15 se presentan los resultados de la estimación del factor que relaciona la precipitación de cualquier duración entre 1 y 24 horas con la precipitación diaria. En el anexo digital que acompaña este trabajo, se presentan los resultados de los factores para todas las estaciones.

En general, de los resultados se destaca la igualdad en los estimados de los factores adimensionales que relacionan la precipitación diaria con la cualquier duración entre 1 y 24 horas (ver Tabla 4-12), para cualquier periodo de retorno. La diferencia entre las dos metodologías entonces se manifiesta en los valores estimados de intensidad de precipitación y no en los factores. Por ello, las conclusiones obtenidas en la comparación entre los factores del método tradicional con relación a la metodología de Escalamiento 1, también aplican para la metodología de Escalamiento 2.

**Tabla 4-11 Valores de la lámina de precipitación máxima (mm) estimada mediante las metodologías de Escalamiento 1 y 2, para duraciones entre 1 y 24 horas y para diferentes períodos de retorno, correspondientes a la estación Jorge Villamil.**

Duración (Horas)	Metodología de Escalamiento 1 (Burlando y Rosso 1996)						Metodología de Escalamiento 2 (Yu et al. 2004)					
	Periodo de retorno (años)						Periodo de retorno (años)					
	2.33	5	10	25	50	100	2.33	5	10	25	50	100
1	37.0	46.1	53.3	62.2	68.7	75.2	36.89	46.1	53.6	63.1	70.2	77.2
2	41.4	51.5	59.6	69.5	76.8	84.0	41.2	51.5	59.9	70.6	78.4	86.3
3	44.2	55.0	63.6	74.2	82.0	89.7	44.0	55.0	64.0	75.3	83.7	92.1
4	46.3	57.6	66.6	77.7	85.9	93.9	46.1	57.6	67.0	78.9	87.7	96.4
5	47.9	59.7	69.0	80.5	89.0	97.4	47.8	59.7	69.4	81.7	90.9	99.9
6	49.4	61.4	71.0	82.9	91.6	100.2	49.2	61.5	71.5	84.2	93.5	102.9
7	50.6	63.0	72.8	85.0	93.9	102.7	50.4	63.0	73.3	86.3	95.9	105.4
8	51.7	64.3	74.4	86.8	95.9	105.0	51.5	64.4	74.9	88.1	98.0	107.7
9	52.7	65.6	75.8	88.5	97.8	107.0	52.5	65.6	76.3	89.8	99.8	109.8
10	53.6	66.7	77.1	90.0	99.4	108.8	53.4	66.7	77.6	91.3	101.5	111.7
11	54.4	67.7	78.3	91.4	101.0	110.5	54.2	67.7	78.8	92.7	103.1	113.4
12	55.2	68.7	79.4	92.7	102.4	112.0	54.9	68.7	79.9	94.1	104.5	115.0
13	55.9	69.5	80.4	93.9	103.7	113.5	55.7	69.6	80.9	95.3	105.9	116.5
14	56.6	70.4	81.4	95.0	105.0	114.8	56.3	70.4	81.9	96.4	107.2	117.8
15	57.2	71.2	82.3	96.0	106.1	116.1	57.0	71.2	82.8	97.5	108.4	119.2
16	57.8	71.9	83.1	97.0	107.2	117.3	57.5	71.9	83.7	98.5	109.5	120.4
17	58.3	72.6	83.9	98.0	108.3	118.5	58.1	72.6	84.5	99.5	110.6	121.6
18	58.9	73.3	84.7	98.9	109.3	119.5	58.6	73.3	85.3	100.4	111.6	122.7
19	59.4	73.9	85.4	99.7	110.2	120.6	59.2	74.0	86.0	101.2	112.5	123.8
20	59.9	74.5	86.2	100.6	111.1	121.6	59.6	74.6	86.7	102.1	113.5	124.8
21	60.4	75.1	86.8	101.4	112.0	122.5	60.1	75.1	87.4	102.9	114.4	125.8
22	60.8	75.7	87.5	102.1	112.8	123.5	60.6	75.7	88.1	103.7	115.2	126.7
23	61.2	76.2	88.1	102.8	113.7	124.3	61.0	76.3	88.7	104.4	116.0	127.6
24	61.7	76.7	88.7	103.6	114.4	125.2	61.4	76.8	89.3	105.1	116.8	128.5



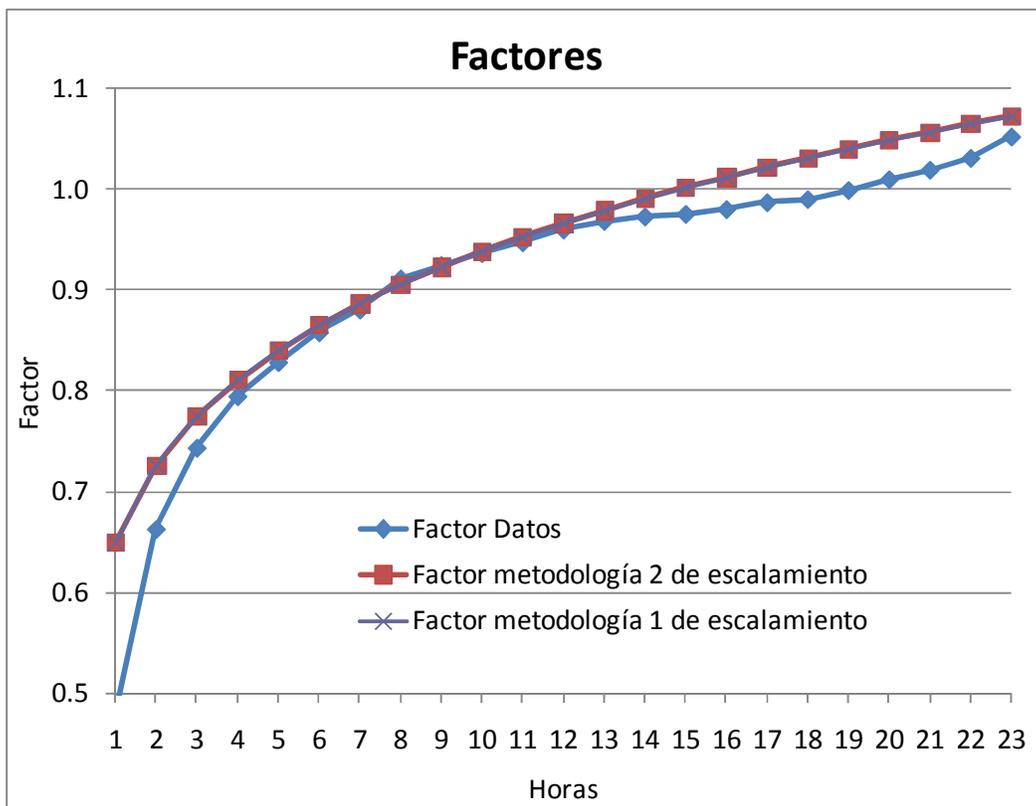


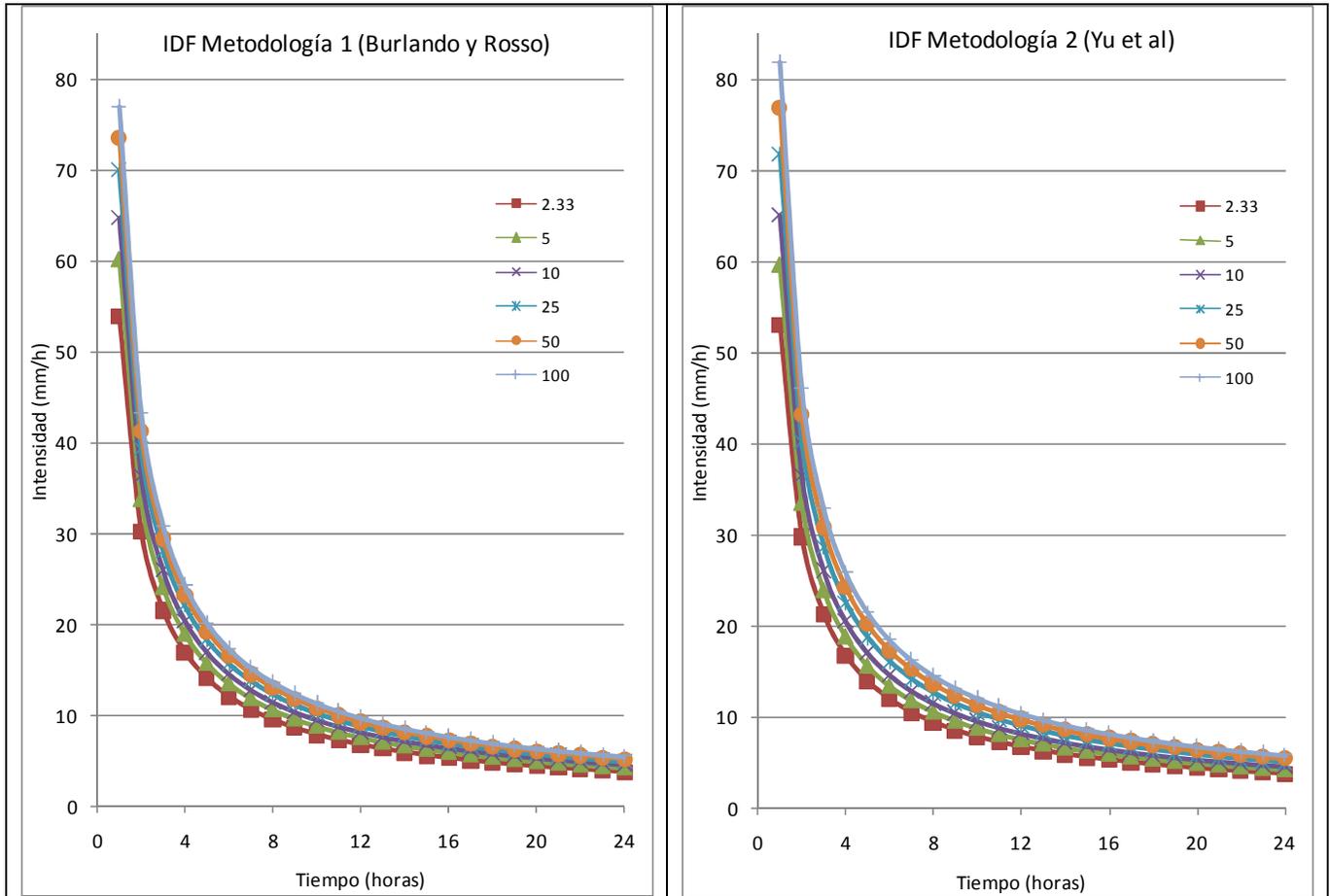
Figura 4-15 Factores estación Jorge Villamil

#### 4.4.2 Comparación de las intensidades estimadas mediante las metodologías de Escalamiento 1 y 2

Una vez estimados los factores que relacionan las intensidades de 1 a 24 horas con la precipitación diaria, se procedió a analizar los resultados de las magnitudes encontradas. En la Tabla 4-13 y en la Figura 4-16 se presentan los resultados para la estación Naranjal. En los archivos del Anexo digital se consignan los resultados para todas las estaciones bajo estudio.

**Tabla 4-13 Valores de intensidad de precipitación máxima (mm/hora) estimada mediante las metodologías de Escalamiento 1 y 2, para duraciones entre 1 y 24 horas y para diferentes períodos de retorno, correspondientes a la estación Naranjal.**

Duración (horas)	Escalamiento 1 (Burlando y Rosso fecha)						Escalamiento 2 (Yu et al fecha)					
	Periodo de retorno						Periodo de retorno					
	2.33	5	10	25	50	100	2.33	5	10	25	50	100
1	53.89	60.17	64.74	69.98	73.60	77.01	53.06	59.67	65.05	71.86	76.90	81.91
2	30.27	33.79	36.35	39.30	41.33	43.25	29.80	33.51	36.53	40.35	43.19	46.00
3	21.60	24.11	25.94	28.04	29.49	30.86	21.26	23.91	26.07	28.79	30.82	32.82
4	17.00	18.98	20.42	22.07	23.21	24.29	16.73	18.82	20.52	22.66	24.25	25.83
5	14.11	15.76	16.95	18.33	19.28	20.17	13.90	15.63	17.04	18.82	20.14	21.45
6	12.13	13.54	14.57	15.75	16.56	17.33	11.94	13.43	14.64	16.17	17.30	18.43
7	10.67	11.91	12.81	13.85	14.57	15.24	10.50	11.81	12.88	14.22	15.22	16.21
8	9.54	10.66	11.46	12.39	13.03	13.64	9.40	10.57	11.52	12.73	13.62	14.51
9	8.65	9.66	10.39	11.24	11.82	12.36	8.52	9.58	10.44	11.54	12.35	13.15
10	7.93	8.85	9.52	10.29	10.82	11.33	7.80	8.78	9.57	10.57	11.31	12.05
11	7.32	8.17	8.79	9.51	10.00	10.46	7.21	8.11	8.84	9.76	10.45	11.13
12	6.81	7.60	8.18	8.84	9.30	9.73	6.70	7.54	8.22	9.08	9.72	10.35
13	6.37	7.11	7.65	8.27	8.70	9.10	6.27	7.05	7.69	8.49	9.09	9.68
14	5.99	6.69	7.20	7.78	8.18	8.56	5.90	6.63	7.23	7.99	8.55	9.10
15	5.66	6.31	6.79	7.34	7.72	8.08	5.57	6.26	6.83	7.54	8.07	8.60
16	5.36	5.98	6.44	6.96	7.32	7.66	5.28	5.93	6.47	7.15	7.65	8.15
17	5.10	5.69	6.12	6.62	6.96	7.28	5.02	5.64	6.15	6.79	7.27	7.75
18	4.86	5.43	5.84	6.31	6.64	6.94	4.78	5.38	5.87	6.48	6.93	7.39
19	4.65	5.19	5.58	6.03	6.34	6.64	4.57	5.14	5.61	6.19	6.63	7.06
20	4.45	4.97	5.35	5.78	6.08	6.36	4.38	4.93	5.37	5.93	6.35	6.77
21	4.27	4.77	5.13	5.55	5.84	6.11	4.21	4.73	5.16	5.70	6.10	6.50
22	4.11	4.59	4.94	5.34	5.62	5.88	4.05	4.55	4.96	5.48	5.87	6.25
23	3.96	4.42	4.76	5.15	5.41	5.66	3.90	4.39	4.78	5.28	5.65	6.02
24	3.82	4.27	4.59	4.97	5.22	5.46	3.77	4.23	4.62	5.10	5.46	5.81



**Figura 4-16** Curvas IDF estimadas mediante los métodos de Escalamiento 1 (izquierda) y Escalamiento 2 (derecha) para la estación Naranjal.

Para analizar las diferencias entre las dos metodologías se usó la siguiente ecuación:

$$D_i = \left( \frac{M1_i - M2_i}{M1_i} \right) * 100\%, \quad 4-3$$

en donde:

$D_i$  = Diferencia porcentual

$M1_i$  = Intensidad calcula por el método de escalamiento 1 (Burlando y Rosso).

$M2_i$  = Intensidad calcula por el método de escalamiento 2 (Yu et al.)

$i$  = Duración asociada, para  $i = 1, 2, \dots, 24$  horas.

En las diferencias estimadas por medio de la ecuación 4-3 ya no se manifiesta una variación significativa a nivel horario, y esa diferencia porcentual se mantiene constante para todos los periodos de retorno. Sin embargo, para la mayoría de las estaciones, la metodología de Escalamiento 1 arroja estimativos de intensidades más altos que la metodología de Escalamiento 2, para periodos de retorno cortos, específicamente para

2,33 y 5 años. Las diferencias son casi imperceptibles para periodos de retorno cercanos a los 10 años, pero a partir de este periodo de retorno la metodología de Escalamiento 2 (Yu et al) arroja mayores valores de intensidad de lluvia, y las diferencias se incrementan a medida que aumenta el periodo de retorno.

La tendencia antes descrita se cumple para la mayoría de las estaciones, tal como se muestra en la Figura 4-17 para las estaciones El Jazmín, Llanadas, Paragüiacito y Santa Inés. Existen tres estaciones que muestran un comportamiento diferente del resto del conjunto de estaciones: en El Limón y Maracay las diferencias son mínimas pero no exhiben el comportamiento descrito para los mayores periodos de retorno, y en la estación Ospina Pérez en la cual los estimativos son mayores por la metodología de Escalamiento 1, y las diferencias frente a la metodología de Escalamiento 2 se incrementan al aumentar su periodo de retorno. Tales diferencias pueden ser debidas al hecho que es la estación ubicada más al sur de la zona del estudio. Esta diferencia puede indicar que la teoría de escalamiento tiene la posibilidad de describir de manera adecuada las características de invarianza en el tiempo, pero además, comportamientos y tendencias espaciales que se podrían relacionar con el exponente de escalamiento. Al respecto, los trabajos de Wilches (2001) y de Yu et al. (2004) trataron de encontrar relaciones entre los resultados de la teoría de escalamiento con parámetros geomorfológicos, el primero sin encontrar relaciones concluyentes y el segundo encontró una relación débil para las estaciones entre el exponente de escalamiento y el valor de la altura a la que está ubicada la estación, como un factor de ajuste sin profundizar en las relaciones físicas que se podrían encontrar. En la Figura 4-18 se presentan las diferencias encontradas entre los valores de la intensidad máxima de lluvia estimados mediante las metodologías de Escalamiento 1 y 2 para las estaciones El Limón, Maracay y Ospina Pérez, que como se indicó presentan un comportamiento diferente al resto de las estaciones.

## DIFERENCIAS ENTRE LA METODOLOGIA 1 - METODOLOGIA 2 DE ESCALAMIENTO

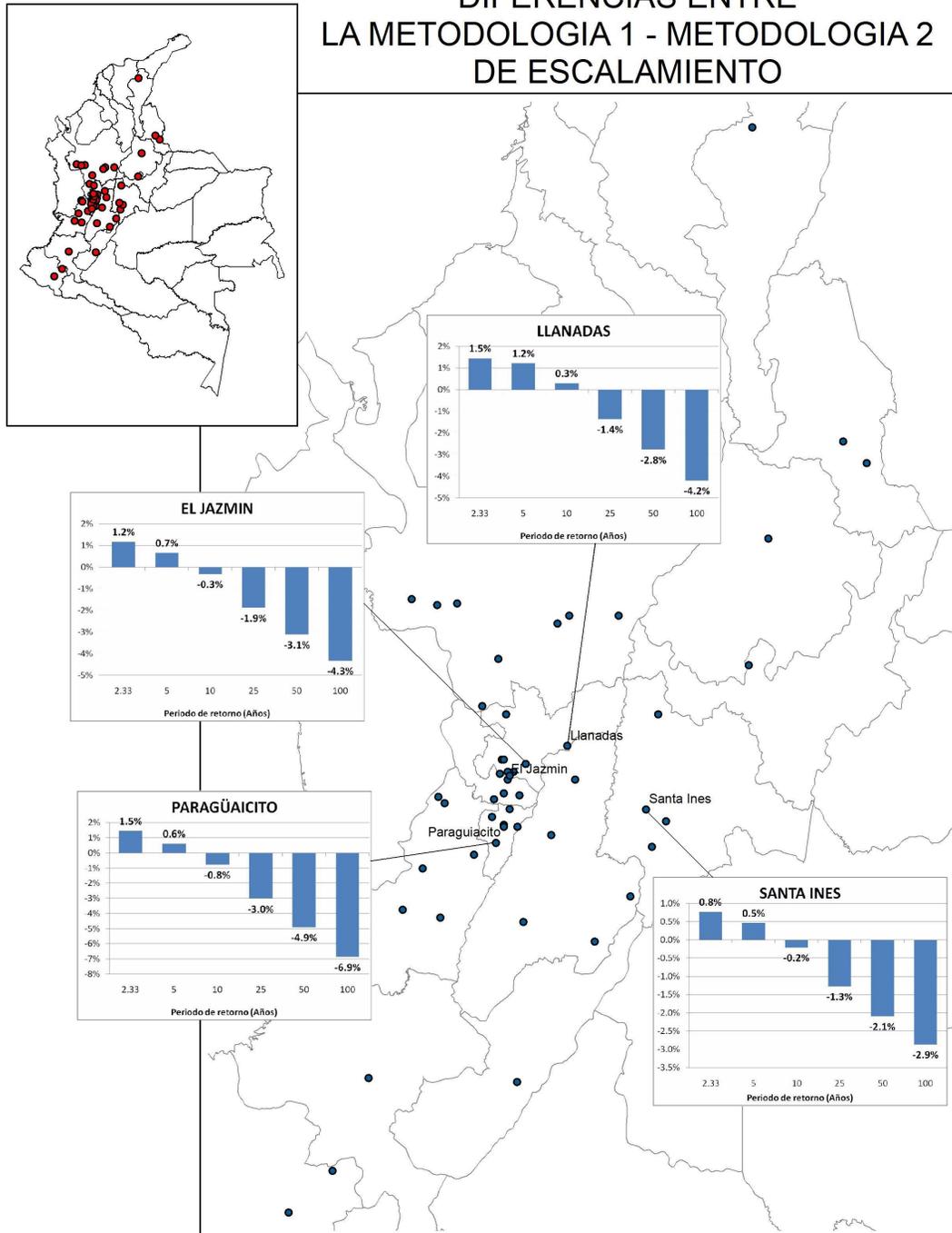
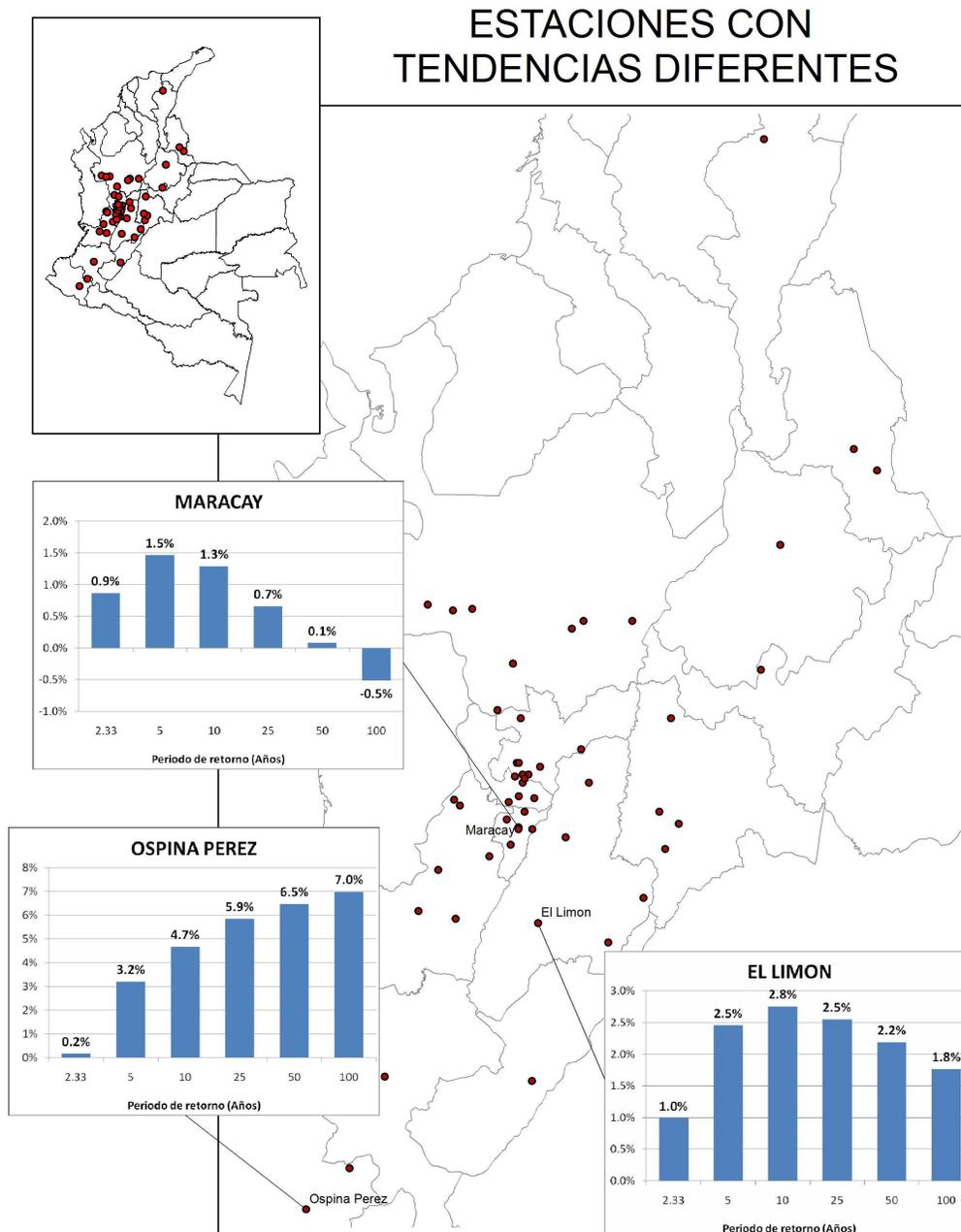


Figura 4-17 Diferencias estimadas entre los valores de la máximas precipitaciones para las lluvias de 1 hasta 24 horas de duración, para los distintos períodos de retorno, según las metodologías Escalamiento 1 y 2 en las estaciones El Jazmín, Llanadas Paragüaicito y Santa Inés.



**Figura 4-18** Diferencias estimadas entre los valores de la máximas precipitaciones para las lluvias de 1 hasta 24 horas de duración, para los distintos períodos de retorno, según las metodologías Escalamiento 1 y 2 en las con tendencia diferente: Maracay, Ospina Pérez, y El Limón.

El promedio de estas diferencias (porcentualmente) se muestra en la Figura 4-19. Este promedio se muestra considerando la totalidad de las estaciones, la influencia de las estaciones con tendencia diferente es mínima comparada con el valor del promedio general. En la Tabla 4-14 se presenta un resumen de las diferencias obtenidas para las estaciones analizadas.

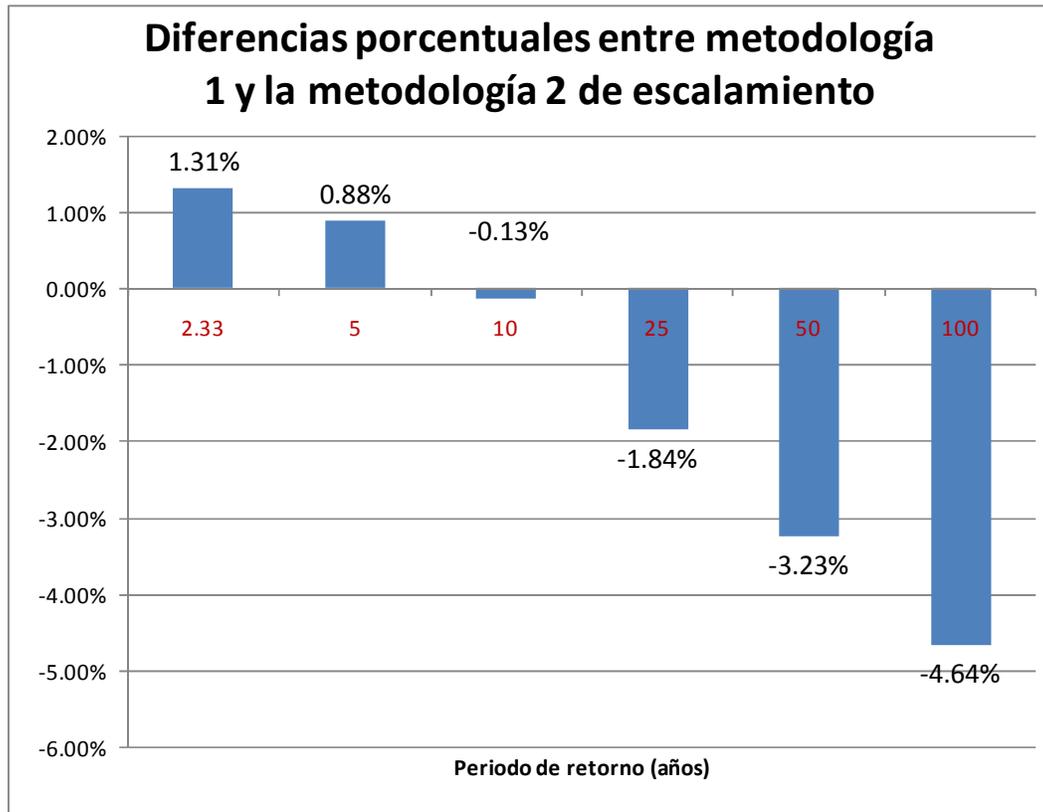


Figura 4-19 Diferencia promedio entre la metodología 1 y la metodología 2 de las estaciones analizadas.

**Tabla 4-14 Tabla de las diferencias registradas para cada una de las estaciones entre la metodología 1 la metodología 2 de escalamiento.**

Estaciones	2.33	5	10	25	50	100
Agronomía	1.41%	1.25%	0.37%	-1.21%	-2.53%	-3.89%
Aguas Blancas	1.52%	0.44%	-1.10%	-3.46%	-5.33%	-7.22%
Alban	1.07%	1.13%	0.54%	-0.58%	-1.51%	-2.44%
Arturo Gómez	1.55%	0.85%	-0.47%	-2.64%	-4.45%	-6.33%
Bertha	1.56%	0.44%	-1.16%	-3.64%	-5.65%	-7.69%
Bizcocho	1.63%	0.75%	-0.69%	-2.98%	-4.86%	-6.79%
Blonay	1.06%	-0.09%	-1.40%	-3.23%	-4.59%	-5.88%
Bremen	1.52%	0.27%	-1.37%	-3.83%	-5.77%	-7.71%
Cenicafe	1.52%	1.07%	-0.05%	-1.95%	-3.53%	-5.15%
Chapeton	0.46%	-0.35%	-1.17%	-2.24%	-2.99%	-3.64%
El Cedral	1.52%	0.96%	-0.23%	-2.21%	-3.84%	-5.50%
El Jazmín	1.18%	0.67%	-0.31%	-1.87%	-3.11%	-4.32%
El Limón	0.99%	2.46%	2.75%	2.55%	2.19%	1.77%
El Sauce	1.39%	1.22%	0.35%	-1.21%	-2.51%	-3.84%
El Sena	1.35%	0.52%	-0.75%	-2.70%	-4.24%	-5.76%
Francisco Romero	1.51%	1.51%	0.69%	-0.88%	-2.25%	-3.67%
Granja Tibacuy	1.38%	0.21%	-1.29%	-3.49%	-5.19%	-6.87%
Inmarco	1.49%	0.61%	-0.78%	-2.93%	-4.66%	-6.39%
Jorge Villamil	0.41%	-0.06%	-0.66%	-1.50%	-2.10%	-2.63%
Julio Fernández	1.37%	0.66%	-0.55%	-2.45%	-3.96%	-5.46%
La Bella	1.43%	1.11%	0.12%	-1.59%	-3.00%	-4.44%
La Catalina	1.32%	1.16%	0.33%	-1.15%	-2.38%	-3.63%
La Montana	1.06%	0.46%	-0.51%	-2.01%	-3.16%	-4.28%
La Selva	1.55%	0.85%	-0.45%	-2.58%	-4.33%	-6.13%
La Sirena	1.50%	1.04%	-0.07%	-1.95%	-3.50%	-5.09%
La Trinidad	1.50%	0.56%	-0.87%	-3.08%	-4.84%	-6.61%
Llanadas	1.46%	1.24%	0.30%	-1.37%	-2.76%	-4.20%
Luis Bustamante	0.59%	1.02%	0.86%	0.35%	-0.09%	-0.52%
Luker	1.23%	1.24%	0.55%	-0.75%	-1.83%	-2.93%
Mande	1.55%	1.40%	0.46%	-1.30%	-2.83%	-4.45%
Manuel María Mallarino	1.49%	0.34%	-1.22%	-3.56%	-5.41%	-7.25%
Manuel Mejía	1.55%	0.80%	-0.53%	-2.68%	-4.45%	-6.25%
Maracay	0.87%	1.46%	1.29%	0.66%	0.08%	-0.51%
Miguel V	1.44%	0.26%	-1.29%	-3.58%	-5.38%	-7.15%
Misiones	1.55%	0.52%	-0.99%	-3.34%	-5.23%	-7.14%
Naranjal	1.55%	0.84%	-0.49%	-2.68%	-4.49%	-6.37%
Ospina Pérez	0.16%	3.20%	4.67%	5.85%	6.47%	6.98%
Paraguaiacito	1.46%	0.62%	-0.76%	-3.02%	-4.90%	-6.87%
Peñol	1.29%	1.16%	0.36%	-1.06%	-2.25%	-3.45%
Planta de Tratamiento	1.55%	0.50%	-1.05%	-3.49%	-5.47%	-7.52%
Pueblo Bello	1.31%	0.83%	-0.19%	-1.87%	-3.21%	-4.55%
Rafael Escobar	1.47%	0.56%	-0.83%	-2.98%	-4.70%	-6.42%

Estaciones	2.33	5	10	25	50	100
Rosario	1.55%	0.83%	-0.49%	-2.65%	-4.42%	-6.23%
Santa Ana	1.48%	1.19%	0.20%	-1.53%	-2.98%	-4.46%
Santa Bárbara	1.55%	0.75%	-0.63%	-2.89%	-4.75%	-6.67%
Santa Helena	1.00%	1.11%	0.59%	-0.42%	-1.27%	-2.11%
Santa Inés	0.77%	0.47%	-0.20%	-1.27%	-2.09%	-2.86%
Santagueda	1.50%	0.74%	-0.57%	-2.66%	-4.34%	-6.05%
Santiago Gutiérrez	1.44%	2.00%	1.57%	0.45%	-0.59%	-1.70%
Sireno	1.21%	1.38%	0.80%	-0.37%	-1.36%	-2.38%
Yacopi	1.51%	0.75%	-0.56%	-2.66%	-4.35%	-6.07%
Promedios	1.31%	0.88%	-0.13%	-1.84%	-3.23%	-4.64%

#### 4.5 Resultados de la exploración de las funciones de colas pesadas o estables.

Además de las funciones de distribución de probabilidad antes mencionadas, para algunas estaciones se determinaron los factores para la función estable para cada una de las series de horarias, de esta manera se determinó los cuantiles de la función de densidad acumulada, con lo cual se logró determinar los valores asociados a una probabilidad determinada (periodo de retorno).

##### 4.5.1 Estimación de parámetros

Los parámetros que se estiman con las funciones estables no cumplen con las propiedades descritas por Yevjevich, (1972) que indica que estos deben ser: No sesgados, regulares, eficientes, suficientes y consistentes, ya que en las demás funciones de distribución existe un número no despreciable de estimadores.

Los parámetros de la función estable, que por no tener fórmulas cerradas, se deben estimar por procesos computacionales complejos (otra de las razones por las cuales no han tenido acogida), fueron estimados con la ayuda del programa STABLE, la versión académica de este programa es suministrada por J. P. Nolan en la página <http://academic2.american.edu/~jpnolan/stable/stable.html>. Sin embargo, existe una versión comercial para múltiples lenguajes de programación (Matlab, S-Plus, R y Mathematica) con características más amigables y sin restricciones en las magnitudes ni cantidad de elementos de las series.

Individualmente cada estación muestra comportamientos similares, incluyendo valores del parámetro de estabilidad ( $\alpha$ ) mayor que 1 y en muchos casos aproximándose a 2, valores del parámetro de simetría ( $\beta$ ) en su mayoría alrededor de 1,0, y valores del parámetro de escala y de localización,  $\gamma$  y  $\delta$ , con valores que dependen de la magnitud de los datos. Cabe anotar que cada una de las series horarias es en sí muy corta, (según la cantidad de valores anuales registrados en la estación) lo que hace que para estas funciones se tengan dificultades para estimar los valores, generando errores del orden de 1% en la

estimación de los valores de los parámetros  $\gamma$  y  $\delta$ , considerando que mediante el programa STABLE se pueden obtener errores del orden de 0,01%.

En la Tabla 4-15 y Tabla 4-16 se encuentran los valores calculados de los parámetros de las estaciones Alban y Bertha respectivamente. Gráficamente se pueden apreciar en la Figura 4-20 y Figura 4-21.

**Tabla 4-15 Parámetros estimados de la función estable para las series de duraciones entre 1 a horas de la estación Alban.**

Duración (horas)	Estabilidad	Asimetría	Escala	Localización
	Alfa	Beta	Gama	Delta
1	1.3046	0.8089	3.07294	27.735
2	1.3823	0.118	3.56592	36.5864
3	1.4795	0.6472	4.42857	38.7204
4	1.6091	1	5.5783	39.6531
5	1.6602	1	6.59471	40.4313
6	1.6428	1	7.03475	40.1008
7	1.4774	1	6.34928	40.7525
8	1.3666	1	5.81166	41.2933
9	1.3034	-0.1201	5.61933	44.1642
10	1.3799	0.3408	6.0482	44.1309
11	1.3753	0.1344	6.11008	44.6097
12	1.3557	0.409	6.06626	44.3382
13	1.3725	0.5606	6.26346	44.556
14	1.3	-0.7973	5.85408	47.3871
15	1.2416	-0.9266	5.49828	48.1087
16	1.3093	0.1533	6.10759	46.985
17	1.333	-0.1455	6.42415	48.1933
18	1.3836	0.4571	6.71824	47.6075
19	1.419	0.7016	6.94135	47.525
20	1.4069	0.8048	6.74696	47.6228
21	1.4515	0.9614	7.10515	47.8512
22	1.4372	0.5429	6.99654	49.229
23	1.3755	-0.252	6.61128	50.9675
24	1.5642	1	7.66754	49.4521

**Tabla 4-16 Parámetros estimados de la función estable para las series de duraciones entre 1 a horas de la estación Bertha.**

Duración (horas)	Estabilidad	Asimetría	Escala	Localización
	Alfa	Beta	Gama	Delta
1	1.8457	1	6.11354	34.496
2	1.9661	1	6.84512	43.1251
3	1.8935	1	6.92756	45.2789
4	1.9359	1	7.50315	48.6417
5	1.9518	1	7.73837	50.3304
6	1.9498	1	7.67009	51.4515
7	1.9321	1	7.37511	52.1138
8	1.9747	1	7.58836	53.1926
9	1.9895	1	7.57652	54.1133
10	1.9925	1	7.60404	54.598
11	1.9975	1	7.57635	55.491
12	1.9996	1	7.51942	56.2735
13	2	1	7.59052	56.7535
14	2	1	7.62601	56.8947
15	2	1	7.61903	56.9545
16	2	1	7.5485	57.7438
17	2	1	7.62115	58.297
18	2	1	7.65381	58.4547
19	2	1	7.4282	58.6039
20	2	1	7.45441	59.6585
21	2	1	7.27087	60.2196
22	2	1	7.89291	60.6726
23	2	1	8.22563	63.2816
24	2	1	8.26712	64.9956

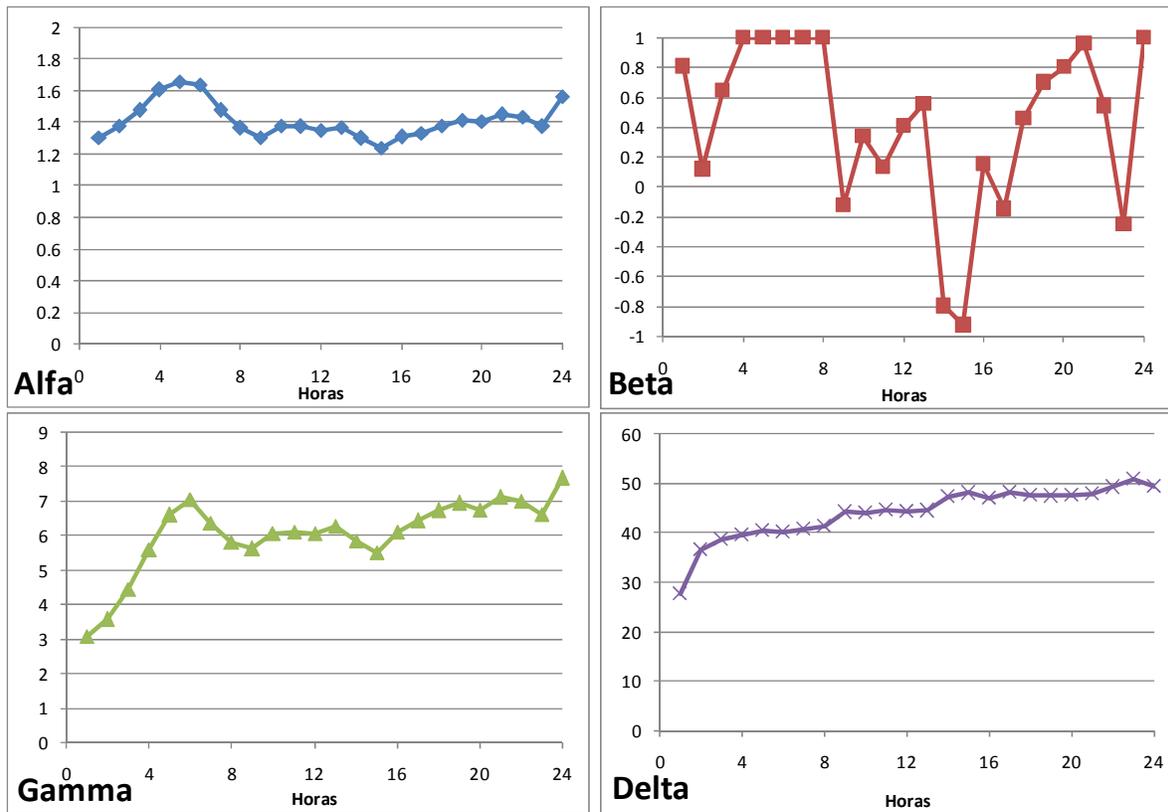
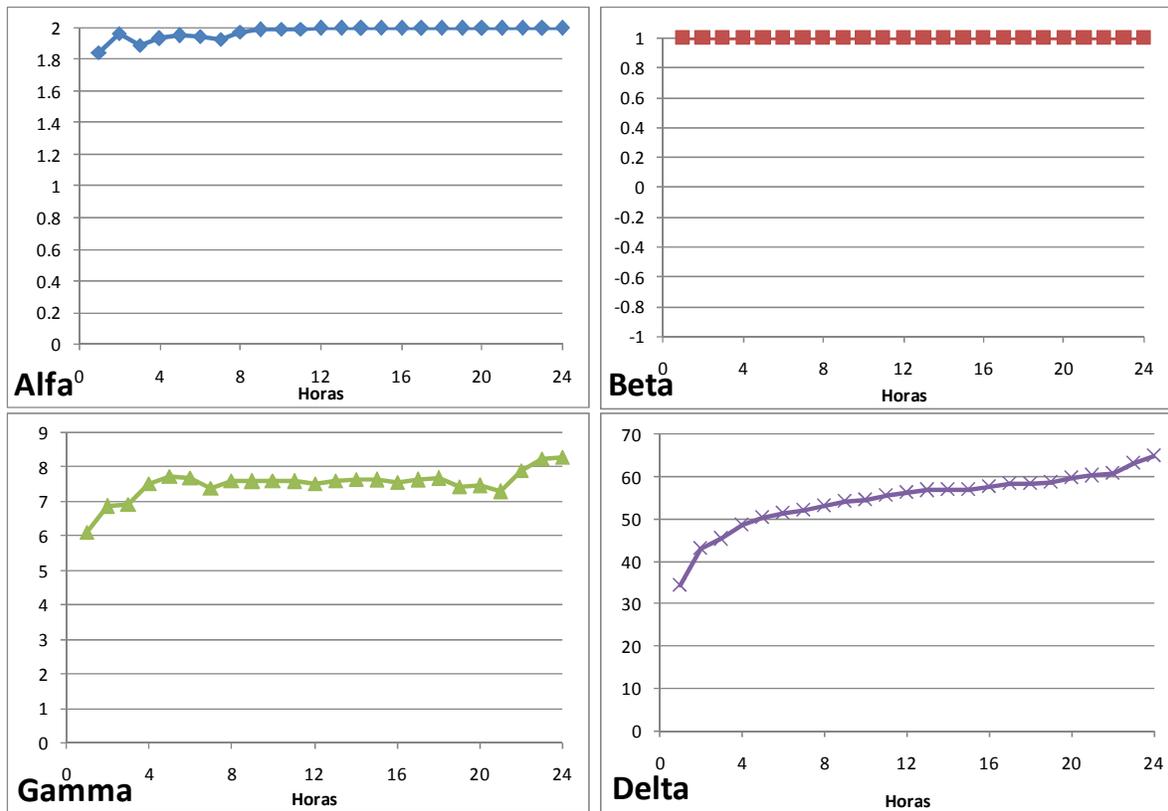
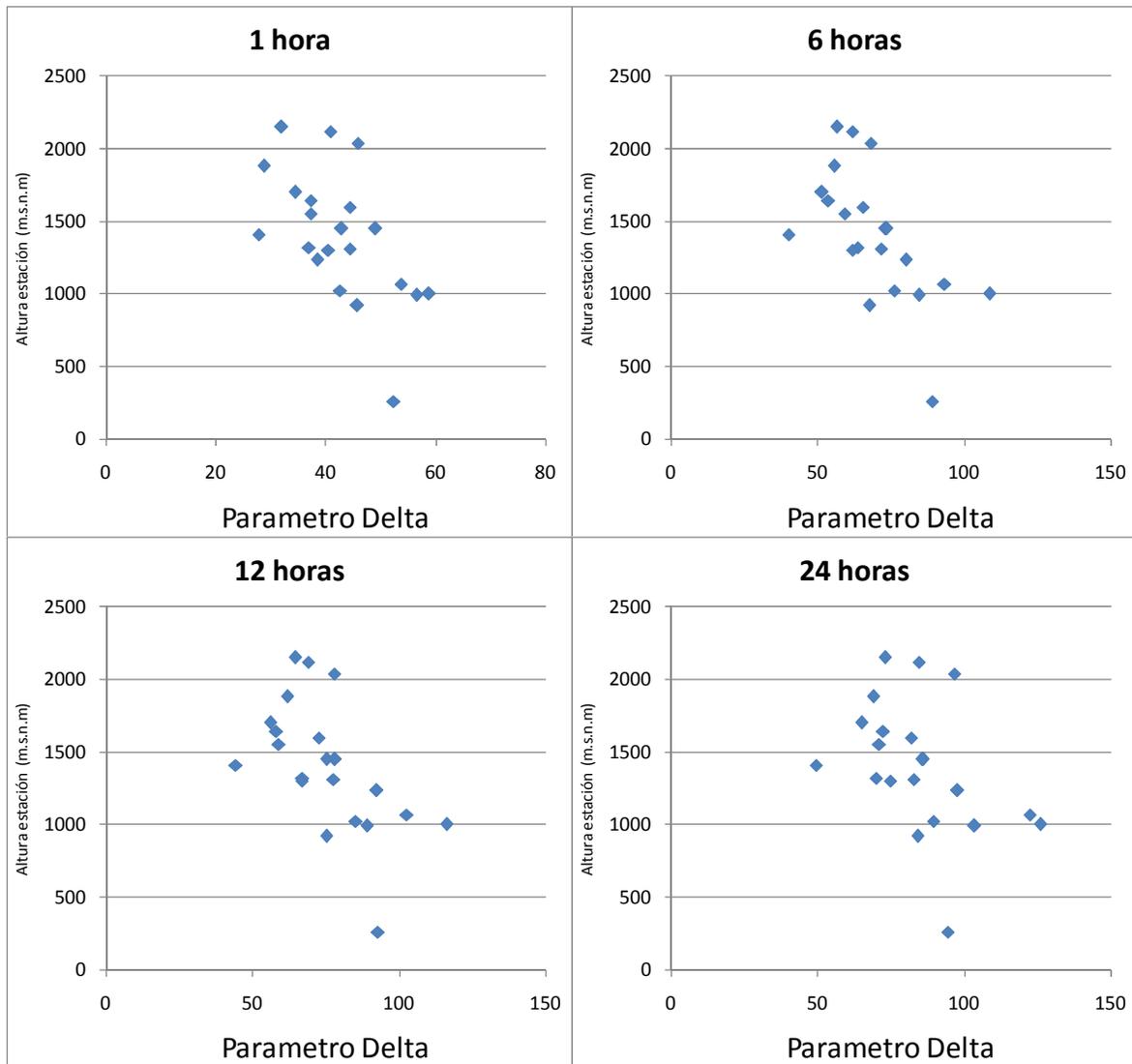


Figura 4-20 Parámetros estimados de la función estable (ecuación 2-33) para las series de duraciones entre 1 a 24 horas de la estación Alban.



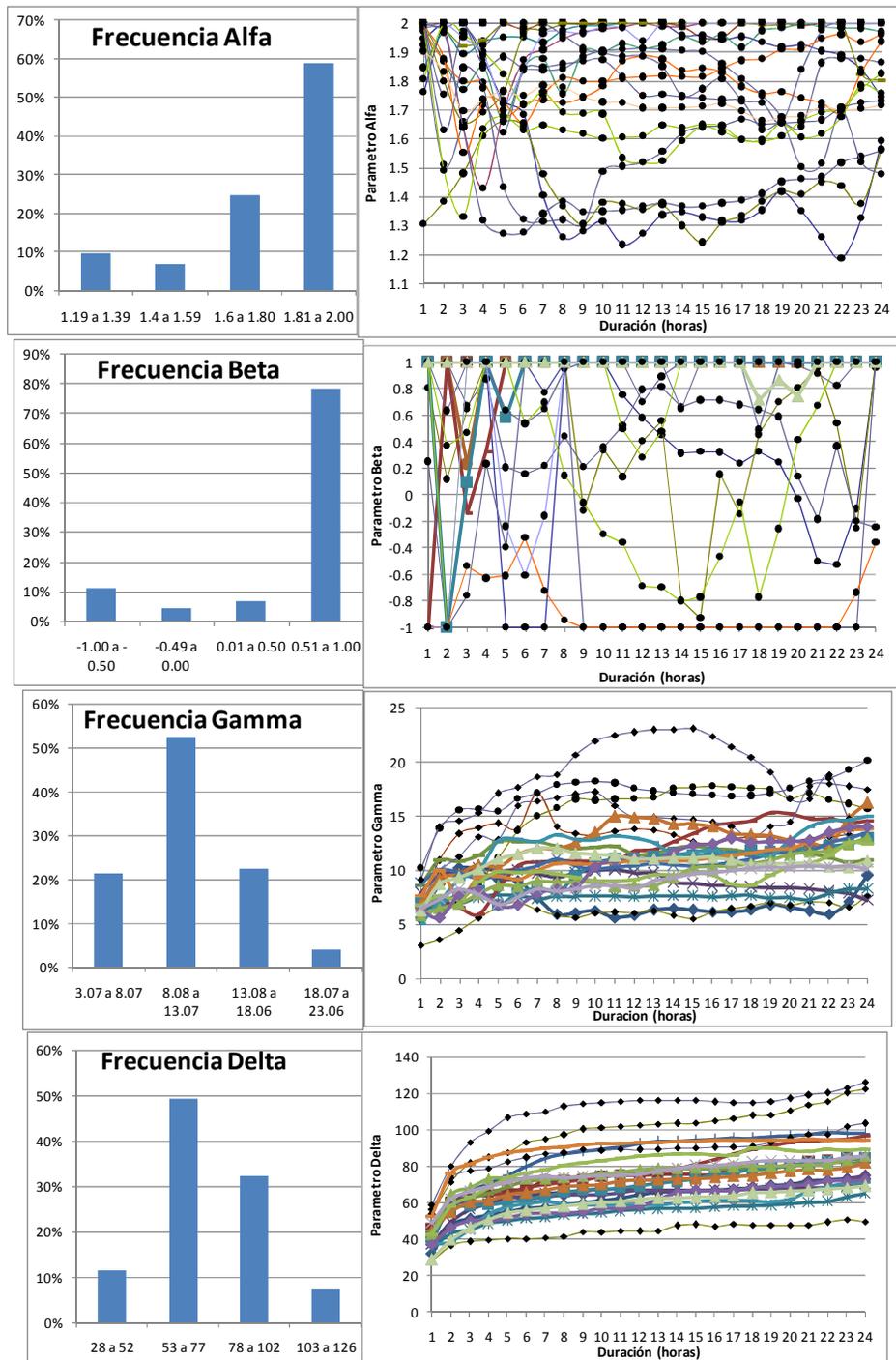
**Figura 4-21 Parámetros estimados de la función estable (ecuación 2-33) para las series de duraciones entre 1 a 24 horas de la estación Bertha.**

Una vez estimados los parámetros para las diferentes estaciones, se trató de relacionar, los estimativos del exponente de escalamiento con datos fisiográficos de las estaciones, sin llegar a conclusiones claras. En la Figura 4-22, se presenta la relación de la altura de la estación (m.s.n.m.) con el parámetro delta estimado para las duraciones de 1, 6 12 y 24 horas.



**Figura 4-22** Parámetro delta estimado de la función estable con relación a la altura de la estación para las duraciones de 1, 6, 12 y 24 horas.

En la Figura 4-23 se muestran los valores obtenidos de los parámetros para las estaciones analizadas.



**Figura 4-23** Parámetros de las funciones estables ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , y  $\delta$  de la ecuación 2-32 y 2-33) estimados para las estaciones (cada línea representa una estación y cada símbolo un valor del parámetro)

De la estimación de estos parámetros, en especial de los valores para Alfa y Beta (estabilidad y asimetría) se puede indicar que es conveniente trabajar con los valores de Alfa = 2 y Beta = 1, con el fin de simplificar los cálculos, los valores de Gamma y Delta representan características propia de la estación o del lugar.

#### **4.5.2 Obtención de IDF mediante funciones estables o colas pesadas.**

Para estimar las curvas IDF usando funciones de distribución estables se debe determinar los valores de los cuantiles de la función de distribución, y del cuantil o valor para el cual la función estable era igual o excedida. La determinación de los cuantiles se realizó con el programa STABLE utilizando la parametrización sugerida en este trabajo (numeral 2.6.2). Tal manera de obtener las curvas IDF simplemente es una variación del método tradicional de obtención de IDF, pero en lugar de usar funciones Gaussianas, se usan funciones estables.

Existe una dificultad asociada al modelo de funciones estables y es la determinación de los parámetros, dado que se pueden generar algunas inconsistencias al usar esta herramienta. Una de ellas es que se puede estimar para duraciones más grandes valores de intensidad mayores que los encontrados para duraciones más pequeñas (ver Figura 4-24, duraciones entre 20 y 24 horas). De igual forma estas funciones generan valores muy elevados de la intensidad comparadas con la estimación tradicional (función Log Normal), ya que están concebidas de tal forma que la probabilidad que pueda tener un fenómeno extremo sea elevada (Ver Tabla 4-17).

**Tabla 4-17 Tabla de intensidad (mm/hora) estimados usando la metodología tradicional de IDF con la función Log Normal y las funciones estables, para la estación Llanadas.**

Duración (horas)	Valores con la Función log Normal						Valores con las funciones estables					
	Periodo de retorno (años)						Periodo de retorno (años)					
	2.33	5	10	25	50	100	2.33	5	10	25	50	100
1	44.71	51.99	57.47	63.94	68.50	72.89	44.37	50.74	54.99	59.55	62.51	75.24
2	31.64	37.30	41.61	46.75	50.40	53.93	30.36	34.51	38.32	45.03	52.79	64.35
3	23.79	27.79	30.81	34.39	36.92	39.36	22.09	25.13	28.40	35.06	43.45	56.55
4	18.89	21.83	24.02	26.61	28.42	30.16	18.12	20.70	22.99	26.68	30.62	36.19
5	16.03	18.55	20.44	22.67	24.23	25.73	15.60	17.81	19.70	22.63	25.67	29.92
6	13.73	15.90	17.53	19.45	20.80	22.10	13.32	15.05	16.50	18.77	21.18	24.60
7	12.02	13.89	15.29	16.93	18.09	19.20	11.68	13.21	14.51	16.53	18.65	21.66
8	10.68	12.32	13.54	14.97	15.98	16.94	10.40	11.59	12.53	13.91	15.34	17.40
9	9.61	11.04	12.11	13.36	14.24	15.08	9.36	10.36	11.11	12.19	13.29	14.89
10	8.72	9.99	10.94	12.06	12.83	13.58	8.50	9.34	9.95	10.76	11.56	12.73
11	7.96	9.12	9.98	10.99	11.69	12.36	7.78	8.53	9.07	9.77	10.43	11.40
12	7.34	8.42	9.22	10.15	10.80	11.43	7.18	7.86	8.30	8.80	9.18	9.64
13	6.82	7.82	8.56	9.43	10.04	10.62	6.70	7.35	7.77	8.25	8.60	9.01
14	6.36	7.30	7.99	8.80	9.37	9.91	6.25	6.85	7.22	7.63	7.92	8.21
15	5.96	6.85	7.50	8.27	8.81	9.32	5.86	6.43	6.80	7.20	7.48	7.78
16	5.62	6.43	7.03	7.73	8.22	8.68	5.49	6.04	6.41	6.87	7.26	7.78
17	5.34	6.06	6.59	7.21	7.64	8.04	5.20	5.69	6.07	6.62	7.19	8.04
18	5.13	5.81	6.31	6.89	7.30	7.68	5.02	5.44	5.70	5.99	6.20	6.44
19	4.93	5.60	6.10	6.69	7.09	7.48	4.83	5.30	5.63	6.07	6.47	7.04
20	4.75	5.45	5.98	6.59	7.02	7.43	4.60	5.16	5.63	6.37	7.17	8.32
21	4.57	5.25	5.75	6.34	6.76	7.15	4.41	4.97	5.45	6.22	7.05	8.23
22	4.41	5.07	5.56	6.14	6.54	6.93	4.25	4.79	5.21	5.79	6.34	7.07
23	4.26	4.90	5.38	5.94	6.33	6.71	4.07	4.64	5.09	5.71	6.29	7.06
24	4.15	4.77	5.22	5.76	6.14	6.50	3.94	4.49	4.93	5.56	6.17	7.00

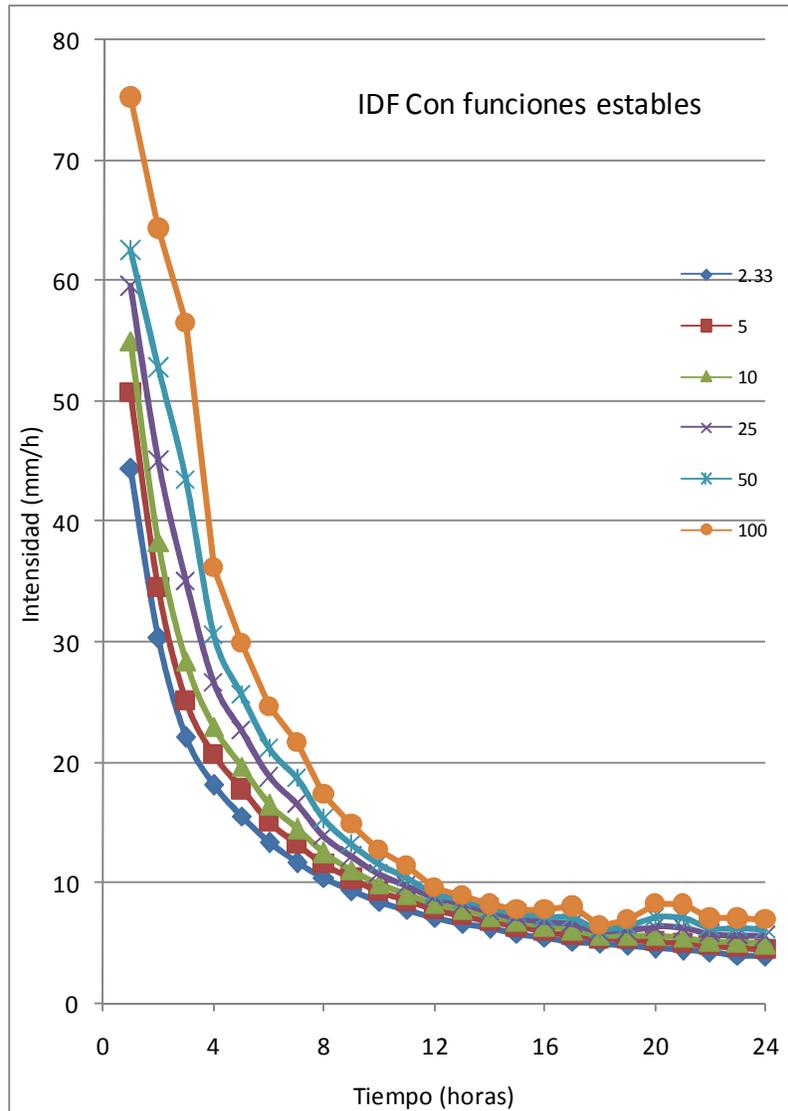


Figura 4-24 Estimación de las curvas IDF usando la funciones estables para la estación Llanadas.

#### 4.6 Estimaciones empíricas de fórmulas de IDF

Desafortunadamente, para este trabajo no se contó con registros que permitiesen demostrar la validez de la fórmula de Bell (ecuación 4-32); sin embargo, se encontró que esta fórmula arroja valores muy similares a los descritos por Hershfield (ver Tabla 4-18). La inclusión de esta fórmula empírica en esta investigación se ha hecho para proporcionar un método que permita usar todos los rangos de duraciones. Esta fórmula ya ha sido validada en diversas partes del mundo como se expresó en el numeral 2.7, y lo que se sugiere con esta investigación es ajustar la teoría de escalamiento a rangos de duración menores que 1 hora.

**Tabla 4-18 Factores estimados por Hershfield y por Bell entre la precipitación de 1 hora y duraciones menores.**

Duración (minutos)	Factor estimado por Bell según la ecuación 4-32	Factor estimado por Hershfield (1969)
5	0.31	0.29
10	0.46	0.45
15	0.56	0.57
30	0.76	0.79