

En la **Tabla 1** se presentan los resultados de los análisis, en el que se incluyen las cantidades de lluvia y su duración en las estaciones San Francisco Gotera, Chapeltique, Villerías y El Delirio, así como el incremento de nivel en la estación Villerías, el tiempo de respuesta del río ante la lluvia y los tiempos de tránsito entre Villerías y El Delirio. En el Anexo 1 se presentan las graficas de cada uno de los eventos.

Es de anotar que en los eventos analizados, los ocurridos en el mes de junio de 2003 presentan registros de las estaciones San Francisco Gotera y Chapeltique, mientras en los eventos de septiembre 2003, la estación Chapeltique estaba fuera de funcionamiento por lo que no hay registros de dicha estación.

A continuación se presentan los resultados del análisis de la información de estos eventos; sin embargo estos resultados deben irse validando y aunque dan una idea de la respuesta del río ante la lluvia, no pueden generalizarse para todos los casos:

1. DURACIÓN DE LA LLUVIA

Lluvias de duración de 45 minutos, como mínimo, en San Francisco Gotera o Chapeltique, producen un incremento considerable de nivel del río en Villerías, el cual varía dependiendo de la cantidad de la lluvia y del nivel de humedad antecedente del suelo.

2. TIEMPO DE RESPUESTA EN ESTACION VILLERIAS

El tiempo de respuesta del río en la estación Villerías, para los eventos analizados, con la lluvia caída en San Francisco Gotera y Chapeltique, está generalmente entre 1:45 horas y 5:00 horas, sin existir una relación directa entre las dos variables. Sin embargo, se observa que se presenta un tiempo de respuesta más lento cuando no hay lluvias antecedentes y más rápido cuando si las hay y el suelo tiene humedad o se encuentra saturado. Ejemplo de lo anterior puede observarse en la **Figura 1**, con la lluvia de los días 4 y 23 de junio de 2003, en las cuales para el día 4 (evento 1), por ser inicio de las lluvias, el suelo estaba seco y el tiempo de respuesta fue de 7:45 horas, mientras que para el día 23 (evento 9), con una cantidad de lluvia similar, el tiempo de respuesta estuvo alrededor de 4 horas. Lo mismo puede decirse para los eventos 5 y 18, 15 y 19, 3 y 20. Para los eventos 10 y 11 que presentan registro de lluvias altas en las dos estaciones, pudiera esperarse que el evento 11 tuviera un tiempo de respuesta más rápido que el evento 10, sin embargo ocurre lo contrario debido a que en el evento 10 se produjo una lluvia generalizada fuerte en toda la cuenca con registros de lluvia de 89 mm en Villerías y 86 mm en el Delirio.

3. INCREMENTO DE NIVEL EN VILLERIAS

De estos eventos, no se puede concluir algo concreto de la cantidad de lluvia en San Francisco Gotera y Chapeltique y el incremento de nivel del río en Villerías, sin embargo si

se observa que para cantidades de lluvias mayores el incremento del nivel en Villerías es superior. También se observa, que al igual que los tiempos de respuesta, cuando hay lluvias previas y el suelo tiene humedad antecedente, el incremento de nivel en Villerías es superior a cuando no hay lluvias antecedentes, como en el caso de los eventos 1 y 9, 5 y 6, 6 y 8, 12 y 16 (**Figura 2**).

A manera de tener una idea del incremento de nivel del río en Villerías de acuerdo a la precipitación en la parte alta de la cuenca específicamente en las estaciones San Francisco Gotera y Chapeltique, se pueden tomar preliminarmente los siguientes rangos, los cuales deben irse validando y ajustando a medida que se tenga nueva información (**Figura 3**):

Rango de Lluvia (mm)	Rango de Incremento de Nivel (m)
0 – 20	0.2 – 3.4
20 – 40	1.2 – 3.8
40 - 75	2.4 – 6.0

Una consideración que hay que tener en cuenta es que los eventos de septiembre de 2003 no presentan registro de la estación Chapeltique porque estaba fuera de funcionamiento, por lo que los datos graficados deben ser analizados con precaución ya que el incremento de nivel en Villerías pueda deberse además de la lluvia en San Francisco Gotera a lluvia no registrada en Chapeltique. Tal es el caso del evento 17 (21 de septiembre 2003) donde se produce un incremento de nivel de 1.75 metros con una lluvia de 8 mm en San Francisco Gotera; es posible que se hubieran presentado lluvias en el lado de Chapeltique ya que para esta fecha hay registros de lluvias en las estaciones cercanas Z14 (Finca Las Nubes) y M5 (Ciudad Barrios). Para los días 18 y 19 de septiembre 2003, evento 15, se presentan dos picos en Villerías, uno de 2.49 metros y otro de 3.43 metros. De acuerdo al análisis, el primer pico puede deberse igualmente a lluvia del lado de Chapeltique y el segundo pico refleja la lluvia caída en San Francisco Gotera, de acuerdo al tiempo de concentración determinado (1:45 – 5:00 horas) y también calculado teniendo en cuenta que la distancia entre San Francisco Gotera y Villerías es de 37.462 metros, y con una velocidad media en creciente de 2.2 m/s, da como resultado un Tc de 4:45 horas.

Por otro lado, es importante mencionar, que para los eventos analizados, cuando existe un desfase en el tiempo entre la lluvia de San Francisco Gotera y Chapeltique, se producen dos picos en el Hidrograma en Villerías, lo cual puede observarse en los eventos 3 (12 Junio 2003), 4 (13 Junio 2003) 5 (14 Junio 2003) del Anexo 1, se ratifica con el evento del 20 de Septiembre de 2004.

4. NIVEL EN VILLERIAS vs NIVEL EN EL DELIRIO

De acuerdo a los datos de niveles máximos en Villerías y El Delirio, en algunas crecientes el nivel máximo registrado en el Delirio es mayor que el registrado en Villerías, y en otros casos es menor. Lo anterior se debe al amortiguamiento que la Laguna de Olomega ejerce sobre la creciente, lo que le da matemáticamente un comportamiento no lineal sino

cuadrático a la relación de niveles. Esta relación cuadrática, esta reflejada en las ecuaciones con la que se cuenta actualmente para pronóstico de nivel:

Ecuación valida hasta el 2003:

$$\text{Nivel Delirio} = -0.1132 \text{ Nivel Villerías}^2 + 1.2477 * \text{Villerías} + 1.5285$$

Nueva Ecuación para el 2004 (13 Octubre 2004):

$$\text{Nivel Delirio} = -0.0914 \text{ Nivel Villerías}^2 + 1.2051 * \text{Villerías} + 0.9862$$

La diferencia entre las dos ecuaciones se debe a que para el 2002 y 2003 no se contaba con información suficiente para determinar la relación de niveles, por lo que se analizó un evento puntual correspondiente al 2 de septiembre de 2002 y se determinó la ecuación con base en esos datos; pero ya contando con dos años de registros (2002 y 2003) se pudo determinar una nueva ecuación que comenzará a ser valida desde el 2004 y la cual produce un error promedio menor que la anterior, de 1.30 vs 12.99.

De acuerdo a la ecuación, el nivel en Villerías a partir del cual el nivel en El Delirio ya no sería mayor sino menor, es de 4.75 metros; Sin embargo, de acuerdo a los datos observados en los eventos analizados en este informe y en datos analizados para la relación de niveles, este valor es de 5.00 metros aproximadamente, exceptuando algunos casos puntuales donde no se presenta esta relación. En la **Tabla 2** y en la **Figura 4** se presentan los niveles máximos registrados en las dos estaciones a partir de los cuales se ha determinado la relación de niveles.

5. TIEMPO DE TRANSITO

De acuerdo a análisis anteriores en cuanto al tiempo de tránsito, se tiene que el tiempo que demora el pico de la creciente en llegar desde Villerías hasta El Delirio, se encuentra en el rango de 6:25 a 17:00 horas dependiendo del nivel en Villerías y de la saturación del suelo (**Tabla 2, Figura 5**).

Sin embargo es importante tener en cuenta, que la creciente en El Delirio no presenta una forma aguda y puntual como en Villerías, por el contrario, el pico es mas sostenido, manteniéndose un nivel elevado entre 2 y 7 horas, tiempo entre el cual se presenta el pico, lo cual debe ser considerado a la hora de indicar el momento en que va a llegar la creciente al Delirio; Por lo anterior, el tiempo de tránsito del pico de la creciente, se debe seguir estableciendo a partir de la curva de tiempo de tránsito, pero debe darse la información de que el momento en que se produce un incremento considerable en El Delirio está entre 6:30 horas y 11:00 horas, de acuerdo a los eventos analizados, a partir del pico en Villerías. En los casos en que el suelo está saturado y se presentan lluvias superiores a 50 mm en la cuenca, el tiempo puede llegar a 1:45 horas (evento 10), contrario a cuando el suelo esta seco que puede llegar a 14:45 horas (evento 1). (**Figura 6**)

El tiempo en que se comienza a presentar el aumento de nivel del río en El Delirio, desde que se presenta el pico en Villerías, depende del nivel en Villerías y de si esta lloviendo en El Delirio, y aunque no hay una relación concluyente, este tiempo está entre 2 y 8:00 horas. Cuando el suelo está completamente seco, este tiempo es mucho mayor llegando hasta 11 horas (evento 1) y por el contrario cuando el suelo está saturado y hay una lluvia fuerte en El Delirio (como en el evento 11 en el que cayeron 56 mm en El Delirio) el tiempo puede ser de 0:45 horas.

6. INUNDACIONES:

A continuación se presentan las inundaciones de las cuales se tiene registro de niveles en algún punto del Río Grande de San Miguel:

FECHA	COMUNIDAD	NIVEL RIO (m)
1961	Poblaciones de San Miguel	Nivel max en Vado Marin: 2.44 m (9 oct)
21,22/06/1966	Poblaciones alrededor de la Laguna de Olomega	Nivel max en Moscoso: 6.36 m (22 junio) Nivel max en Delirio: 4.58 (22 junio)
04-sep-69	Poblaciones en las margenes del rio	Nivel max en Moscoso: 8.30 m (4 sep). Nivel max en Vado Marin: 3.84 m (6 sep)
20-sep-74	Poblaciones en las margenes del rio	Nivel max en Villerias: 5.44 m (20 sep) Nivel max en Vado Marin: 4.22 (22 sep)
24-sep-75		Nivel max en Villerias: 6.83 m (24 sep); Nivel max en Moscoso; 6.90 m (20 sep)
13-jun-80		Nivel max en Moscoso: 5.80 m (13 jun) Nivel max en Delirio: 3.43 (13 jun) Nivel max en Vado Marin: 2.60m (14 jun) Nivel max en Conchas: 3.68 m (16 jun)
23-jun-80		Nivel max en Moscoso: 6.94 (21 jun); Nivel max en Delirio: 5.94 (22 jun); Nivel max en Las Conchas: 4.90 m (23 jun)
02 y 04/08/95		Nivel max en Villerias: 5.90 m (2 ag); Nivel max en Vado Marin: 2.41 m (4 ag)
25-sep-95		Nivel max en Vado Marin: 2.57

		m - 20:00 horas
04-oct-95	El Transito	Nivel max en Vado Marin: 2.99 m
18-sep-02	Fuerteza, Picudo, Talpetate, Altamiz, el Consuelo	Nivel Villerias max.: 3.87 - 00:15 horas. Los desbordamientos de dieron cuando Villerias supero 1 metro, daño en bordas. Nivel Delirio max.: 4.13 - 8:10 horas
25-jun-03	Colonia Jardines del rio, Cantones el Jute, el Tecomatal, La Canoa y el Brazo	Nivel en Villerias max: 6.57 m a las 7:30 a.m. Nivel en El Delirio max: 4.98 a las 16:30
28-jun-03	El Picudo Otros sectores afectados: Altamiz, Cantora, El Chorizo, El Zapotal	Nivel en Villerias max: 6.99 m a las 5:45 a.m. Nivel en El Delirio max: 4.96 a las 16:30
20 Septiembre 2004	Tecomatal. Según los afectados, la falta de una borda en un tramo de cinco kilómetros facilita que el río se salga de su cauce e inunde los terrenos. Fuente: El Diario de Hoy.	Nivel en Villerias max: 4.98 m Nivel en El Delirio max: 4.98 m.

TABLA 1. RESULTADOS DE EVENTOS ANALIZADOS

No.	EVENTO	ESTACION SAN FRANCISCO GOTERA			ESTACION CHAPELTIQUE			ESTACION VILLERIAS			ESTACION EL DELIRIO			Incremento de Nivel en Villerias (m)	T1	T2	T3	Observación
		LLUVIA (mm)	DURACIÓN (horas)	Tiempo Concentración hasta Villerias (horas)	LLUVIA (mm)	DURACIÓN (horas)	Tiempo Concentración hasta Villerias (horas)	LLUVIA (mm)	DURACIÓN (horas)	Tiempo Concentración hasta Villerias (horas)	LLUVIA (mm)	DURACIÓN (horas)	Tiempo Concentración hasta Villerias (horas)					
1	4-5 Junio	9	4:15	7:45	4	1:30	7:45	4			6	0:45		0.54	11:00	14:45	16:30	
2	8 Junio	24	1:30	4:30	0			4			13	2:00		0.22	7:00	9:30	12:00	
3	12 Junio	33	3:15	3:15	28	2:00	5:00	38	3:45		14	3:30		0.54	3:00	6:30	8:00	La creciente presenta dos picos, eL primero producido por la lluvia de San Francisco Gotera y el segundo por lluvia en Chapeltique, las cuales estan desfasadas.
4	13 Junio	18	2:30	2:00	29	2:30	1:45	25	3:15		17	3:15		1.2	2:30	8:15	10:30	La creciente presenta dos picos, e primero producido por la lluvia de San Francisco Gotera y el segundo por lluvia en Chapeltique, las cuales estan desfasadas.
5	14 Junio	15	2:30	6:15	16	1:45	6:15	0			0			0.89	8:00	11:00	12:15	
6	17 Junio	15	4:30	2:00	21	4:30	1:45	5	4:45		0			2.02	7:30	9:15	10:45	
7	18 Junio	13	2:00	2:45	7	1:30	2:45	6	6:00		0			1.83	6:45	8:00	10:00	
8	22 Junio	25	5:30	1:30	18	1:30	5:00	13	4:30		12	2:30		3.38	2:15	6:45	8:00	
9	23 Junio	4	1:15	4:30	9	2:00	3:30	0			0			1.52	6:15	8:15	10:15	
10	25 Junio	44	8:00	2:00	53	8:45	1:45	89	8:45	2:00	86	10:00		5.43		1:45	9:00	
11	28 Junio	50	3:45	4:15	56	2:45	3:15	56	2:45	3:45	30	2:45		5.98	0:45	3:45	6:45	
12	14 Sept.	45	1:00	4:15	-	-	-	-	-	-	-	-		2.34	2:00			
13	14 – 15 Sept.	24	3:30	2:45	-	-	-	12	4:45		27	4:45		1.13		6:00	7:15	Lluvia generalizada en la cuenca. El incremento de nivel en Villerias posiblemente se deba a lluvia caída también del lado de Chapeltique.
14	15 – 16 Sept.	24	0:45	4:45	-	-	-	10	3:15		5	3:15		1.61	5:00	7:30	8:15	El incremento de nivel en Villerias posiblemente se deba a lluvia caída del lado de Chapeltique.
15	18 – 19 Sept.	32	1:30	4:30	-	-	-	2			16			3.43	2:00	6:00	9:15	Para estos días se presentan dos picos, el primero posiblemente se deba a lluvia en Chapeltique. Para el segundo pico, hay lluvia generalizada en la cuenca, por lo que también debe existir un aporte significativo de la lluvia en Chapeltique.
16	19 – 20 Sept.	44	1:00	4:30	-	-	-	4			3			3.69	3:30	6:00	7:45	
17	20 – 21 Sept.	8	2:30	3:15	-	-	-	6			20			1.75	3:15	6:45	7:30	El incremento de nivel en Villerias posiblemente se deba a lluvia caída también del lado de Chapeltique. La lluvia registrada en San Francisco Gotera es de 8 mm.
18	22Sept.	15	1:00	4:00	-	-	-	10			11			2.39	1:45		7:30	Lluvia generalizada en la cuenca.
19	23-sep	31	2:30	3:30	-	-	-	0			0			3.15	3:15		7:30	
20	24-sep	28	2:00	3:00	-	-	-	9			21			2.22	3:45		11:15	Lluvia generalizada en la cuenca.
21	24 Sept.	25	1:00	4:15	-	-	-	8			5			1.24			6:15	Lluvia generalizada en la cuenca.

T1 Tiempo entre nivel máximo en Villerias y comienzo del aumento de nivel en El Delirio
T2 Tiempo entre nivel máximo en Villerias y aumento significativo de nivel en El Delirio
T3 Tiempo entre nivel máximo en Villerias y nivel máximo en El Delirio

**TABLA 2. TIEMPOS DE TRANSITO
RIO GRANDE DE SAN MIGUEL**

ESTACION						TIEMPO DE TRANSITO (Horas)
VILLERIAS			EL DELIRIO			
FECHA	HORA	NIVEL (mts.)	FECHA	HORA	NIVEL (mts.)	
31/08/2002	23:00	6.89	09/01/2002	9:55	4.9	10:55
05/09/2002	0:15	5.45	05/09/2002	8:05	4.82	7:50
18/09/2002	0:15	3.87	18/09/2002	8:55	4.15	8:40
19/09/2002	0:15	1.57	19/09/2002	10:55	2.69	10:40
19/09/2002	21:35	1.7	20/09/2002	8:40	2.76	11:05
01/10/2002	22:05	1.7	02/10/2002	9:30	3.06	11:25
05/10/2002	0:20	1.92	05/10/2002	10:30	3.03	10:10
05/10/2002	23:00	4.47	06/10/2002	9:00	4.7	10:00
06/10/2002	22:35	3.98	07/10/2002	6:30	4.87	7:55
07/10/2002	9:35	3.43	08/10/2002	4:00	4.51	6:25
26/10/2002	20:45	3	27/10/2002	5:45	3.39	9:00
29/10/2002	3:00	1.63	29/10/2002	14:45	2.77	11:45
30/10/2002	6:25	1.75	30/10/2002	19:00	2.82	12:35
30/10/2002	22:45	5.01	31/10/2002	7:00	4.7	8:15
31/10/2002	21:30	4.07	01/11/2002	5:15	4.12	7:45
04/11/2002	7:00	1.54	04/11/2002	17:30	2.82	10:30
23/05/2003	0:55	1.89	23/05/2002	12:45	2.51	11:50
31/05/2003	10:00	1.64	01/06/2003	0:45	2.58	14:45
02/06/2003	3:30	1.31	02/06/2003	20:30	2.25	17:00
04/06/2003	12:00	1.33	05/06/2003	4:30	2.37	16:30
08/06/2003	4:15	0.99	08/06/2003	16:15	2.24	12:00
12/06/2003	0:30	1.35	12/06/2003	8:30	2.81	8:00
13/06/2003	2:45	2.05	13/06/2003	13:15	3.07	10:30
14/06/2003	5:30	1.76	14/06/2003	17:45	2.76	12:15
17/06/2003	2:15	2.88	17/06/2003	13:00	3.17	10:45
17/06/2003	0:00	2.99	18/06/2003	10:00	3.53	10:00
22/06/2003	1:45	4.24	22/06/2003	9:45	4.29	8:00
23/06/2003	1:30	2.59	23/06/2003	11:45	3.1	10:15
25/06/2003	7:30	6.57	25/06/2003	16:30	4.98	9:00
28/06/2003	5:45	6.99	28/06/2003	16:30	4.96	6:45
06/07/2003	0:45	3.73	06/07/2003	9:15	4.14	8:30
07/07/2003	3:00	1.69	07/07/2003	12:45	2.83	9:45
15/07/2003	0:45	6.98	15/07/2003	11:00	4.71	10:15
22/08/2003	23:30	3.36	23/08/2003	8:30	3.85	9:00
28/08/2003	0:05	2.23	28/08/2003	10:00	3.04	9:55
30/08/2003	6:45	2.68	30/08/2003	16:00	3.47	9:15
31/08/2003	22:10	3.82	01/09/2003	6:15	4.07	8:05
03/09/2003	4:15	1.96	03/09/2003	14:00	2.89	9:45
04/09/2003	1:25	3.35	04/09/2003	9:15	4.34	7:50
14/09/2003	1:45	3	14/09/2003	10:00	3.74	8:15
15/09/2003	0:45	4.11	15/09/2003	7:30	4.54	6:45
19/09/2003	2:00	5.76	19/09/2003	8:45	4.77	6:45
19/09/2003	23:10	5.19	19/09/2003	7:00	4.62	7:50
20/09/2003	23:45	3.17	20/09/2003	7:15	4.07	7:30
22/09/2003	6:15	3.59	22/09/2003	13:30	4.42	7:15
23/09/2003	0:35	4.43	23/09/2003	8:15	4.39	7:40
24/09/2003	6:00	3.72	24/09/2003	13:00	4.42	7:00
31/05/2004	20:55	4.5	01/06/2004	5:00	4.3	8:05
05/09/2004	2:45	4.96	05/09/2004	10:15	4.59	7:30
13/09/2004	0:15	4.51	13/09/2004	9:00	4.62	8:45
14/09/2004	5:15	5.23	14/09/2004	15:15	4.92	10:00
20/09/2004	4:00	4.98	20/09/2004	15:30	4.99	11:30

LLUVIA EN CUENCA RGSM vs TIEMPO DE RESPUESTA EN VILLERIAS

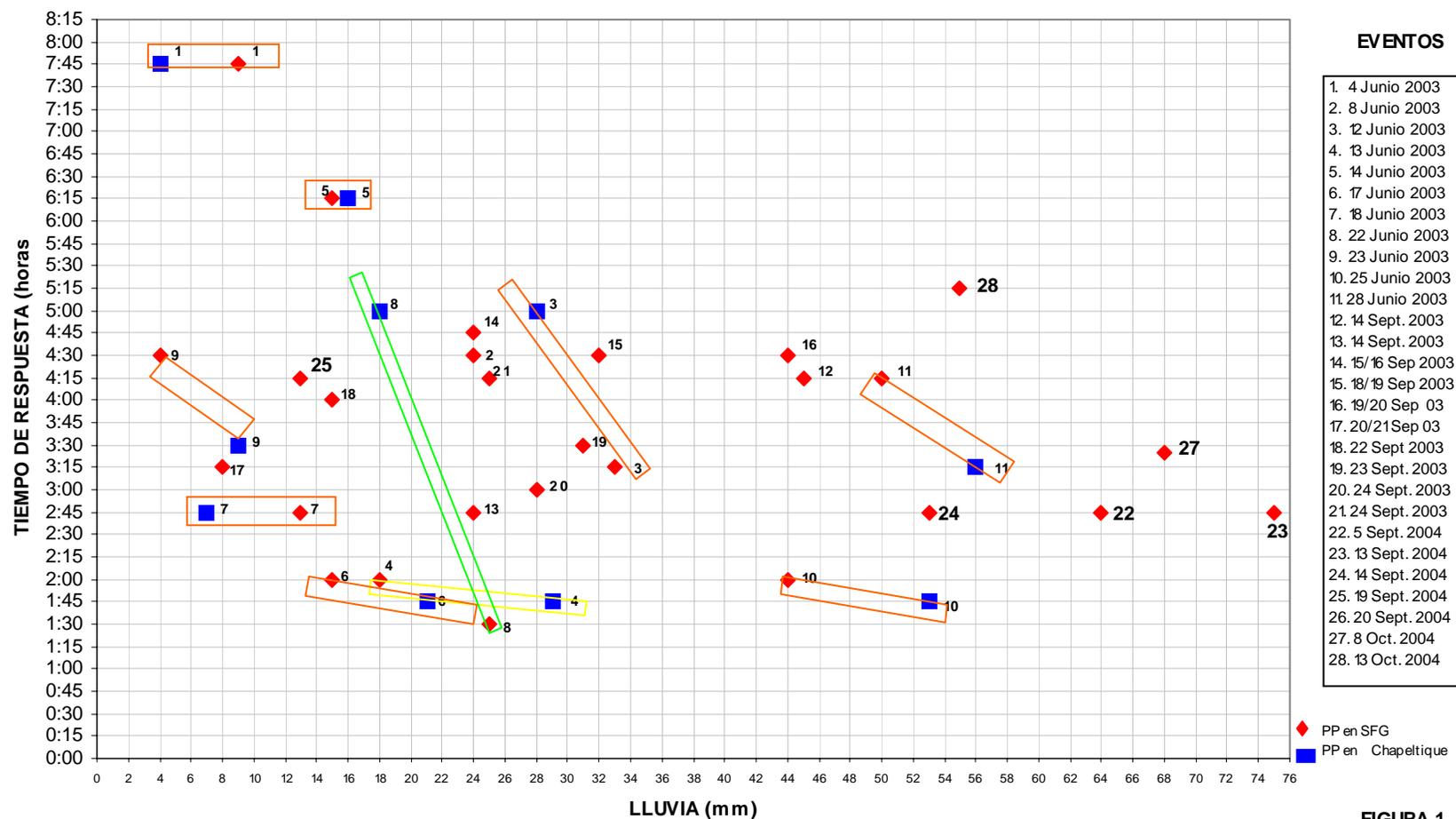


FIGURA 1

LLUVIA EN CUENCA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL vs INCREMENTO DE NIVEL EN VILLERIAS

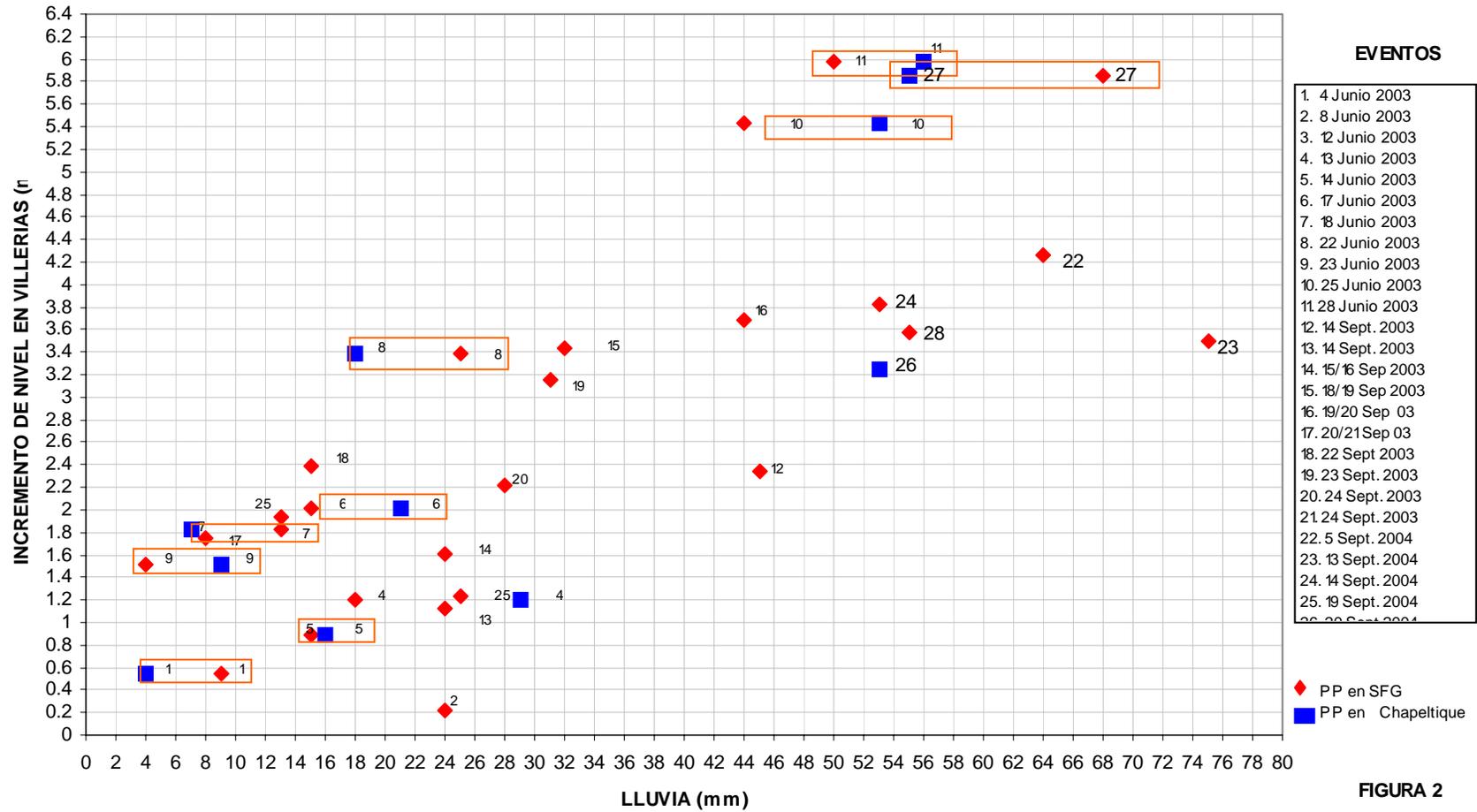
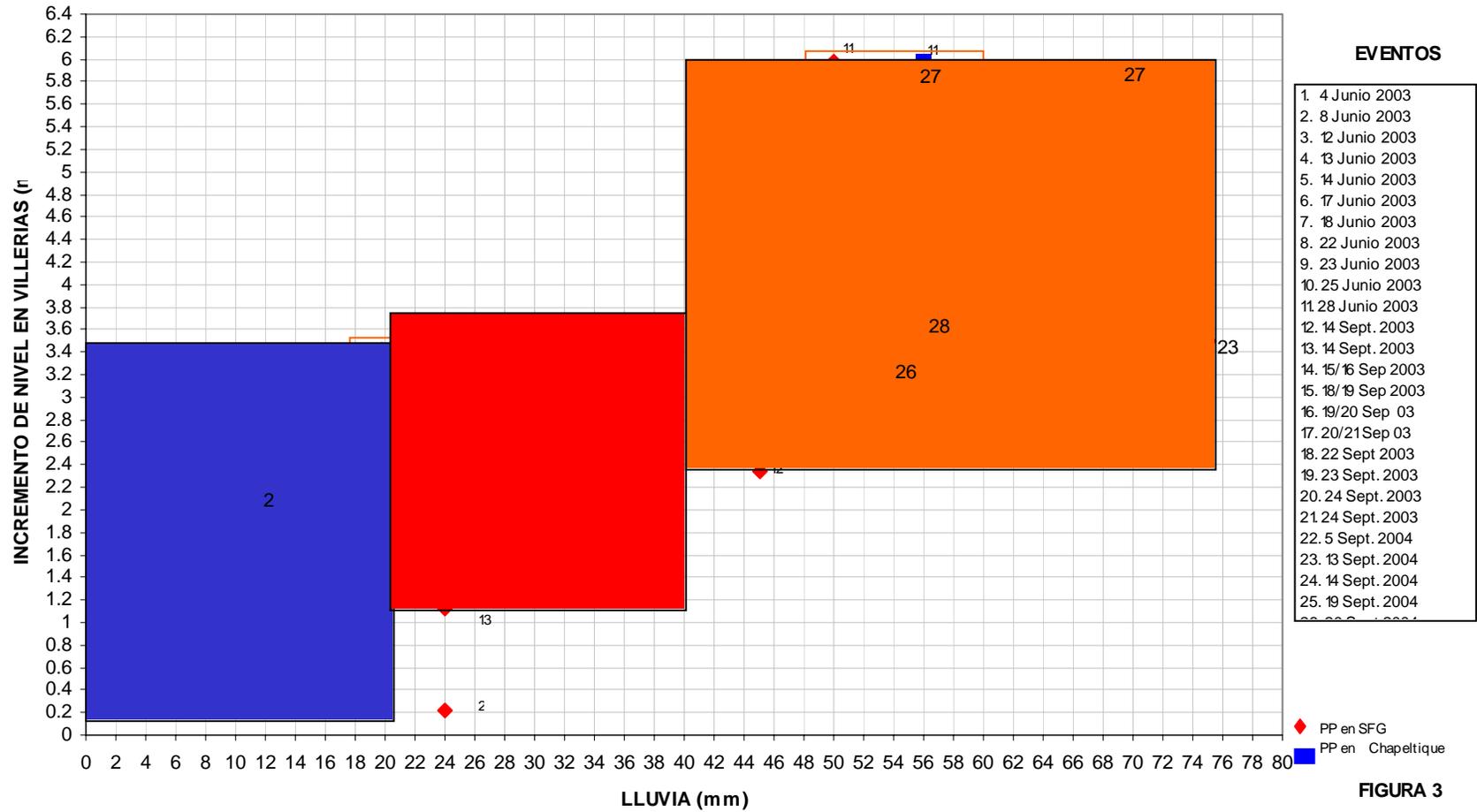


FIGURA 2

LLUVIA EN CUENCA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL vs INCREMENTO DE NIVEL EN VILLERIAS



RELACION DE NIVELES VILLERIAS - EL DELIRIO (NIVEL MAXIMO)
RIO GRANDE DE SAN MIGUEL

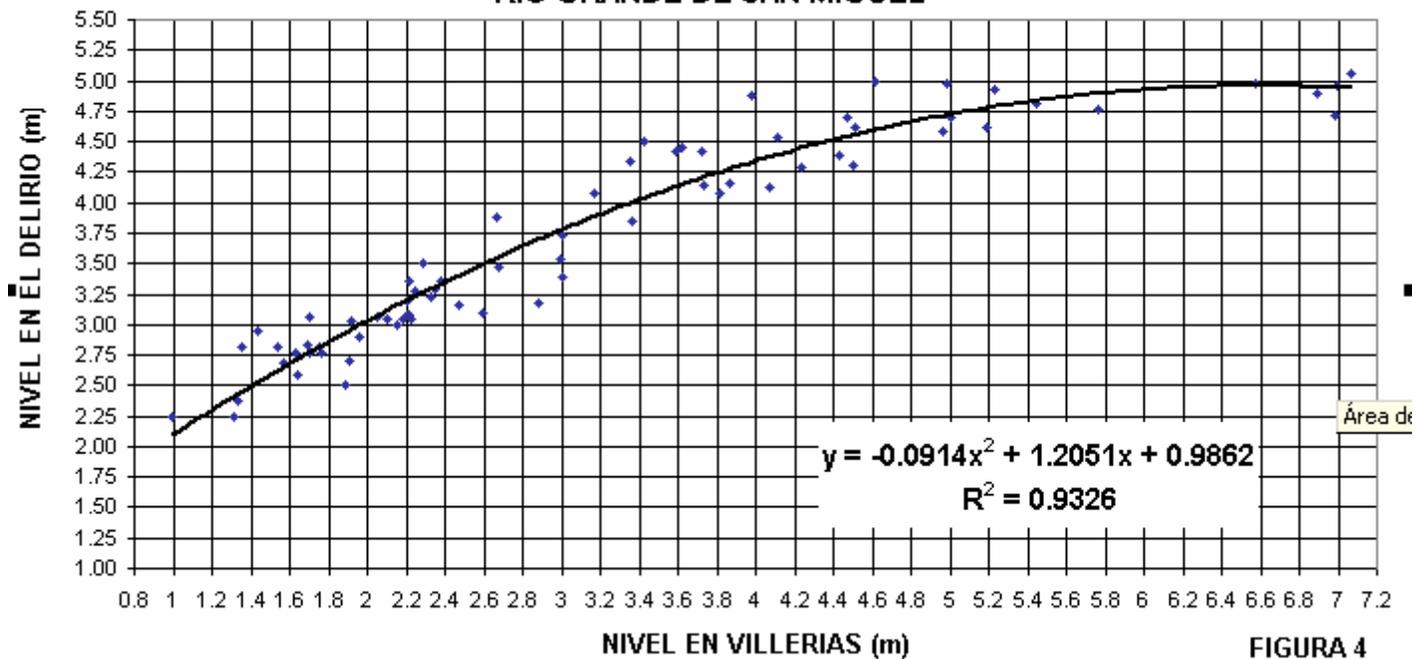


FIGURA 4

**TIEMPO DE TRANSITO VILLERIAS - EL DELIRIO (NIVEL MAXIMO)
RIO GRANDE DE SAN MIGUEL**

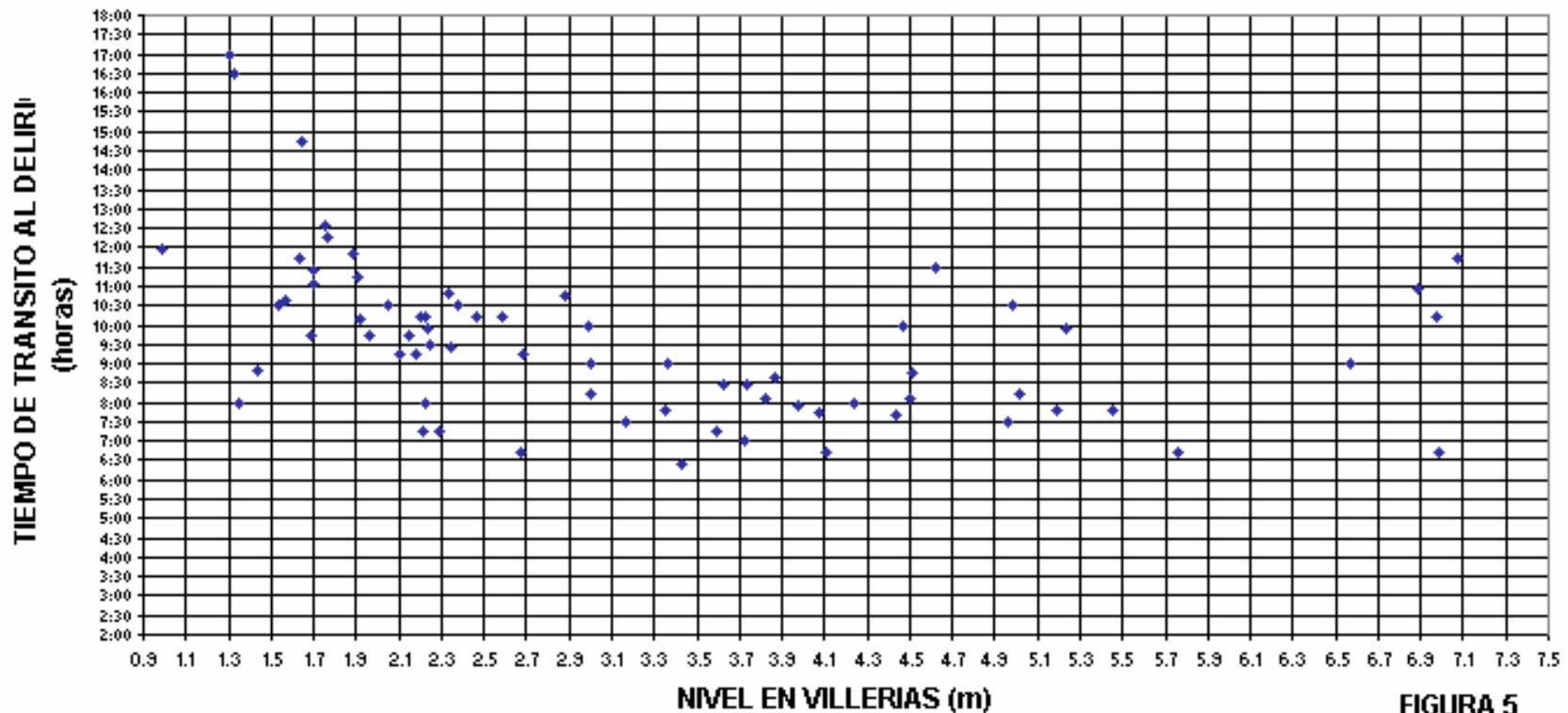


FIGURA 5

TIEMPO DE TRANSITO VILLERIAS - EL DELIRIO RIO GRANDE DE SAN MIGUEL

