

¿CRECIDA REPENTINA O ALUD TORRENCIAL? EL CASO DE LA CATÁSTROFE DEL RÍO LAS MERCEDES EL 21/08/2017

Rafael Navas^{1,4}, Alfredo Gil^{1,4}, María Andreina Pilloud¹, Laura Pereira¹, Aarón Omaña¹, Antonio Blanco²,
Josana Montes de Oca³, Zaira Machado³

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

¹Gerencia de Hidrología

²Coordinación Ejecutiva de Áreas Operativas

³Gerencia de Redes Hidrometeorológicas

⁴Universidad Central de Venezuela, Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica

RESUMEN

Este trabajo presenta una evaluación preliminar del evento catastrófico del 21/08/2017 del río las Mercedes (Aragua). Se realiza con el propósito de identificar el flujo como una crecida repentina o un alud torrencial. Se utiliza el modelo hidrológico HEC-HMS parametrizado con valores de referencia de la zona y validado con una medición indirecta de caudal en el dique de Choroní. A la par, se evaluó la posibilidad de ocurrencia de aludes torrenciales con el enfoque de umbrales (Courtel et al, 2010). Ambos métodos han sido alimentados con datos proveniente del radar de Jeremba y ajustados con una estación pluviométrica (Navas et al, 2015). Los resultados niegan la hipótesis de alud torrencial en toda la cuenca. Se plantea la hipótesis de que pudo haber ocurrido un flujo torrencial en sectores muy localizados aguas arriba de Romerito, el cual fue disipado aguas abajo debido a la incorporación de nuevas aguas con baja concentración de sedimentos y al efecto de tránsito y almacenamiento que induce el cauce al flujo.

Palabras clave: Alud torrencial, crecida repentina, Río Las Mercedes, Romerito, Choroní.

1. INTRODUCCIÓN

Durante la tarde del lunes 21 de agosto de 2017 el río Las Mercedes (también conocido como río Grande del Medio) de la localidad de Choroní (municipio Girardot, Aragua) presentó un aumento de sus niveles de forma súbita y repentina, ocasionando la pérdida de 4 vidas en el sector Romerito, además de daños en las vías de comunicación (deslizamientos y socavación de la calzada), afectación de viviendas y embarcaciones.

Las crecidas repentinas son crecientes de corta duración con un caudal máximo relativamente elevado que no necesariamente poseen alta concentración de sedimentos. Los aludes torrenciales (o flujos de lodo) son flujos con agua concentrada de sedimentos y detritos de forma tal que la masa fluyente es espesa y viscosa. Algunos autores comentan que flujos con concentración de sedimentos mayor al 20% pueden clasificarse como aludes torrenciales. En la simulación hidrológica es importante discernir entre un alud torrencial y una crecida repentina, ya que para la previsión deben

ser utilizados modelos adaptados a los procesos que ocurren en cada caso particular.

El presente trabajo busca responder la pregunta de si el evento catastrófico del 21 de agosto de 2017 en Choroní fue un alud torrencial o por el contrario fue una crecida repentina. Para ello se estudiarán las causas y se proporcionarán argumentos basados en: (1) la modelación lluvia – escorrentía para corroborar o negar la hipótesis de crecida repentina; y (2) el modelo de umbrales bajo la hipótesis de alud torrencial.

2. PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA

La cuenca del río Grande del Medio (Choroní - Aragua) presentó precipitación desde el día 17/08/2017. La Tabla 1 muestra la precipitación de los 5 días previos a la creciente del 21/08/2017, se observa que el valor acumulado total antecedente es de 107.4 mm.

Tabla 1. Precipitación antecedente (Castaño – Cabecera)

Fecha	Precipitación (mm)
16/08/2017	0
17/08/2017	55.2
18/08/2017	9
19/08/2017	6.4
20/08/2017	36.8
TOTAL	107.4

Para estimar la distribución espacio – temporal de la precipitación en la cuenca el día del evento, se utilizó la precipitación estimada por el radar de Jeremba, con la relación $Z=17.9R^{1.36}$ (Navas et al, 2015) y se ajustó la precipitación estimada con el coeficiente de 0.88, el cual fue calculado en función de la precipitación total registrada por el pluviómetro Castaño – Cabecera (59 mm) dividida entre la precipitación estimada por el radar en dicho punto (67.1 mm). La precipitación total del día 21 y la ubicación del pluviómetro Castaño – Cabecera se muestra en la Figura 1. La precipitación del 21 alcanzó un valor máximo local de 112 mm, que se localizó en la parte alta de la cuenca (cerro Chimborazo, cerro Piedra de Turca) que drena hacia la quebrada Romerito. A su vez, el río Grande del Medio recibió precipitación en la Fila Alta. La Figura 2 presenta precipitación horaria desde 13:00 hasta las 17:00 HLV con valores máximos locales (dentro de la cuenca) de 57.9, 70.5, 35.3 y 2.9 mm respectivamente (en las horas 13-14, 14-15, 15-16 y 16-17); se observó que los núcleos horarios de precipitación son dinámicos y cambian su posición según el movimiento de la tormenta. El núcleo de precipitación horaria se desplazó desde el Pico la Mesa (al suroeste de la cuenca) pasando por la fila Alta (al sur) antes de desplazarse al norte.

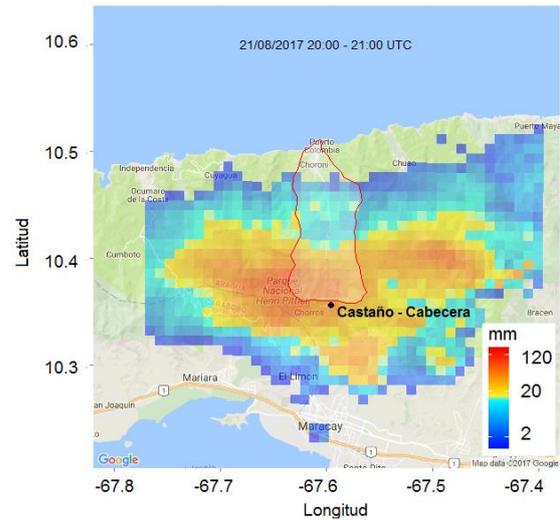


Figura 1. Precipitación total de la tormenta del 21/08/2017 13:00-17:00 HLV en la cuenca del río Grande del Medio (Choroní – Aragua).

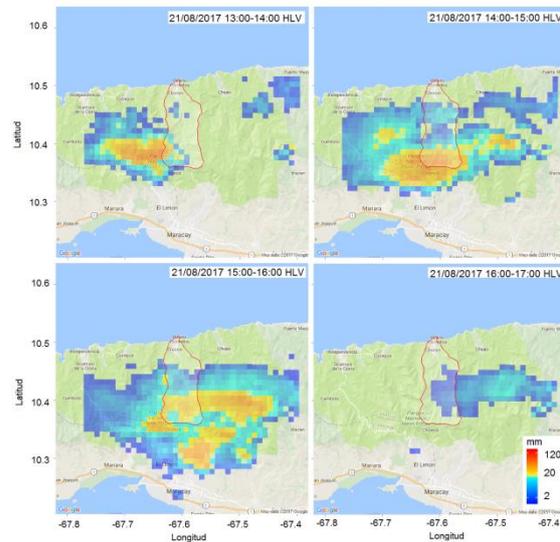


Figura 2. Precipitación horaria de la tormenta del 21/08/2017 en la cuenca del río Grande del Medio (Choroní – Aragua).

3. CAUDAL MÁXIMO DE LA CRECIENTE

Se estimó el caudal máximo de la crecienta del río Grande del Medio en la sección del dique de Choroni, cercano a la población de Uraca ($10^{\circ}25'48''N$; $67^{\circ}35'40''O$). Esta sección se encuentra ~3.8 km aguas abajo del poblado de Romerito (Figura 3) y fue seleccionada ya que la relación nivel – caudal puede ser aproximada mediante la ecuación de un vertedero (ecuación 1).

$$Q = 1.84LH^{1.5} \quad (1)$$

Donde Q es el caudal (m^3/s), L es el ancho del vertedero y H es la carga hidráulica (m).

La Figura 4 documenta en imágenes el dique tanto en condiciones de crecienta (29/08/2017) como en caudales bajos (07/09/2017). Según el testimonio de los lugareños, la crecienta del día 21/08/2017 sobrepasó las losas de concreto a ambos lados de la estructura.



Figura 3. Ubicación del sitio de medición indirecta del caudal.

Tabla 2. Sección transversal del dique

Punto	Progresiva (m)	Profundidad (m)
1	0	0
2	0.19	0.17
3	5.47	0.18
4	5.46	0.40
5	7.20	1.40
6	10.32	1.40
7	10.58	1.68
8	40.48	1.78
9	40.47	0.15
10	45.80	0.15
11	46.50	0

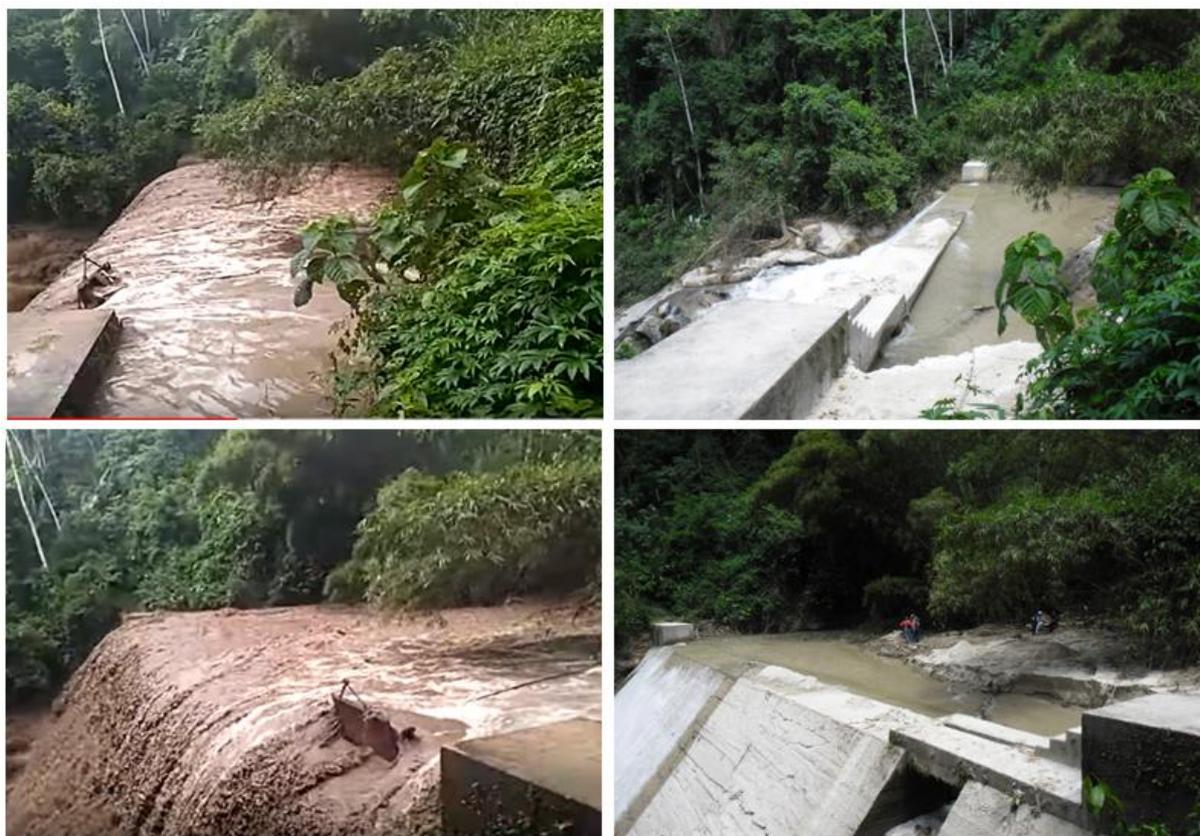


Figura 4. Dique de Choroni durante la crecida del 29/08/2017 (panel izquierdo, tomado de: https://www.youtube.com/watch?v=cImCnE_JwpM&t=9s) y en condiciones normales 07/09/2017 (panel derecho)

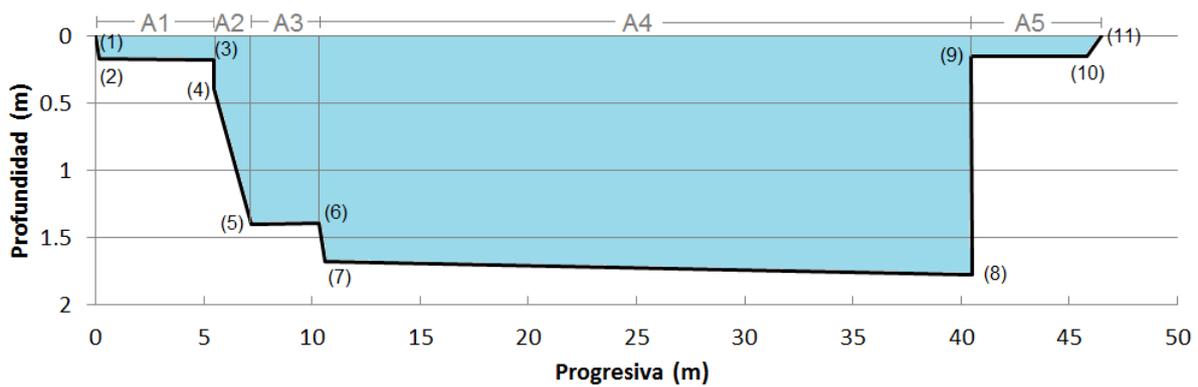


Figura 5. Sección transversal del dique de Choroni y sección mojada durante la creciente del 21/08/2017.

Tabla 3. Cálculo del caudal máximo de la creciente del 21/08/2017

Sección	Profundidad media (m)	Longitud (m)	Área parcial (m ²)	Caudal parcial (m ³ /s)	Velocidad media (m/s)
A1	0.17	5.37	0.94	0.7	0.77
A2	0.90	1.74	1.56	2.7	1.74
A3	1.39	3.12	4.35	9.4	2.17
A4	1.73	29.90	51.64	124.9	2.42
A5	0.15	5.68	0.83	0.6	0.70
Total	-	46.50	59.32	138.3	2.33

El día 07/09/2017 se realizó el levantamiento topográfico de la sección transversal del dique así como del nivel máximo al que llegó el agua (Figura 5, Tabla 2). El nivel del agua fue 16 cm por encima de las losas laterales de concreto alcanzando una profundidad máxima en el dique de 1.78 m. Se estimó el caudal de la creciente a través del cálculo en 5 secciones parciales. Se utilizó la ecuación 1 parametrizada con la información obtenida de la sección transversal. Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 3, donde el caudal total es de 138 m³/s y la velocidad media de 2.3 m/s.

4. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO DESDE LA PERSPECTIVA DE CRECIDAS REPENTINAS

Se estimó mediante simulación hidrológica el hidrograma de creciente del río Grande del Medio en el dique cercano a la población de Uraca (10°25'48"N; 67°35'40"O; Figura 3). La simulación fue realizada utilizando el modelo HEC-HMS con el método de número de curva para las pérdidas y el hidrograma unitario del SCS para el tránsito. El sitio de simulación fue seleccionado para hacerlo

coincidir con la estimación del caudal máximo de la creciente y verificar si el evento puede ser reproducido mediante simulación lluvia – escorrentía y ser clasificado como una crecida repentina.

El sitio seleccionado para la simulación hidrológica drena una superficie de 52km². El primer parámetro del modelo es el número de curva, su valor se estima considerando que la cuenca tiene vegetación compuesta principalmente por bosques con suelos con condiciones para la infiltración de tipo B y C (i.e. infiltración de moderada a lenta debido a la textura del suelo y la fuerte pendiente que exhibe el terreno). Además las condiciones de humedad antecedente mostraron ser de tipo III (precipitación antecedente de 5 días mayor a 53mm). Estas circunstancias sugieren que los valores del número de curva se ubican en el rango de 78 a 88. Para utilizar un único valor del número de curva se parametriza el modelo con el promedio de los dos valores anteriores, quedando en 83. El segundo parámetro del modelo es el tiempo de respuesta de la cuenca, dicho valor es estimado a partir de los testimonios recogidos por Protección Civil, donde se pudo conocer que el máximo de la creciente

ocurrió cerca de 16:20 y el dato de precipitación máxima instantánea de la cuenca ocurre a las 15:10. El tiempo de respuesta es la diferencia en tiempo de estos dos valores y es aproximado a 1 hora.

La Figura 6 muestra: (I) el resultado de la modelación hidrológica, (II) la precipitación media en la cuenca (hasta el dique, a intervalos de 10 minutos) y (III) el caudal máximo de la creciente calculado con el levantamiento topográfico. Se han estimado dos posibles caudales máximos en función de la carga total de sedimentos, el primero (línea superior) corresponde al 0% de concentración de sedimentos, donde todo el flujo es agua; y el

segundo (línea inferior) representa una aproximación para el caudal líquido a partir de un flujo con una concentración de 20% de sedimentos (se subtrae el 20% del caudal total aforado de forma indirecta). El valor de 20% se utiliza como límite ya que flujos con concentración mayor a dicho valor son definidos como aludes torrenciales, en los cuales los modelos lluvia – escorrentía así como la relación nivel – caudal del vertedero pierden validez. La Figura 6 deja ver que el modelo lluvia – escorrentía reproduce bien el caudal pico y sugiere que la creciente presenta características de crecida repentina en dicho punto de la cuenca.

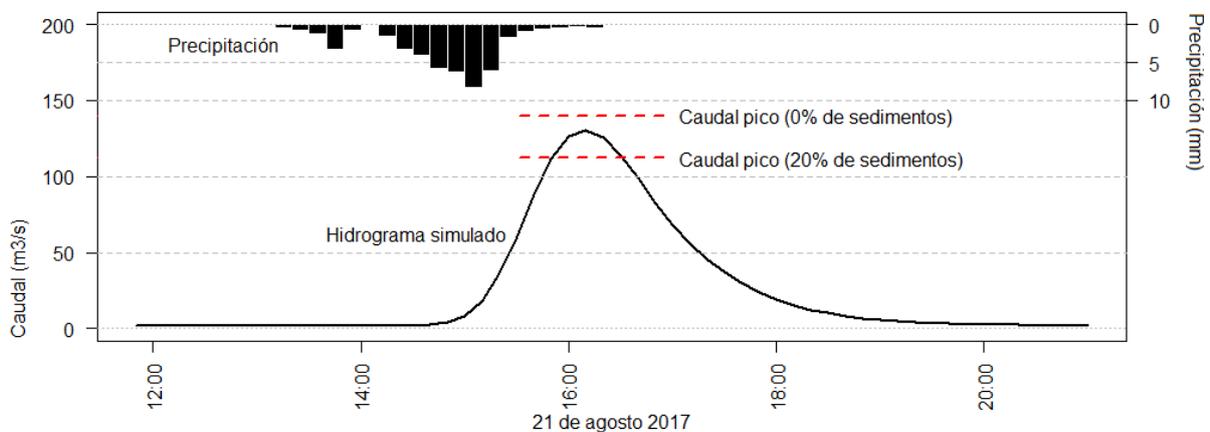


Figura 6. Hidrograma de la creciente del río las mercedes en el dique (52km²).

5. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO DESDE LA PERSPECTIVA DE ALUDES TORRENCIALES

La región norte –costera de Venezuela posee un modelo empírico para aludes torrenciales (Courtel et al, 2010). Con dicho modelo es posible evaluar si la cuenca posee condiciones favorables para producir un alud torrencial. El modelo trabaja en un plano de dos dimensiones, el eje X representa el impacto ponderado de la precipitación antecedente (en los últimos 20 días) y el eje Y el impacto ponderado de la precipitación reciente (en las últimas 12 horas), ambos con resolución temporal de 1 hora. El umbral es definido por una recta que intercepta ambos ejes en el valor de 210, donde los valores a la derecha de dicha recta tienen alta posibilidad de ser causantes de aludes torrenciales.

Por comodidad en este trabajo se presenta los resultados de dicho modelo con el índice de ocurrencia de alud torrencial (*IAT*, ecuación 2).

$$IAT = 1 + i \frac{d(t)}{148.5} \quad (2)$$

Donde $d(t)$ representa la distancia mínima en el instante de tiempo t del par de valores del impacto ponderado de la precipitación antecedente y la precipitación reciente hasta la línea umbral, i toma el valor de -1 y +1 cuando el punto se sitúa a la izquierda o a la derecha (respectivamente) de la recta umbral; y el valor de 148.5 es la distancia mínima del origen hasta la recta umbral. Con este enfoque los valores de *IAT* superiores a 1 tienen alta posibilidad de producir un alud torrencial ya que se ubican inmediatamente a la derecha de la recta umbral permitiendo una evaluación más clara en la dimensión espacio - temporal.

La Figura 7 presenta el índice de ocurrencia de aludes torrenciales del 21/08/2017 desde las 13:00 hasta las 17:00. Se observa que solamente la parte alta de la cuenca posee valores importantes; a partir de las 14:00 aumentan las condiciones para producirse aludes torrenciales, el máximo valor de *IAT* se obtiene entre las 15:00 y 16:00 con algunos valores (3 píxeles de 1x1 km) que sobrepasan ligeramente el umbral de 1. Estos valores se ubican en el cerro Chimborazo (subcuenca de la quebrada Romerito) y las laderas de la Fila Alta por las cuales pasa la carretera Maracay – Choróní. Luego de las 16:00 los valores del *IAT* comienzan a disminuir lentamente producto del cese de la tormenta y solamente un píxel en el cerro Chimborazo expone un valor superior a 1. Los valores de *IAT* explican la ocurrencia de deslizamientos de tierra muy localizados en la subcuenca del Romerito y en la parte alta de la carretera Maracay – Choróní.

Con la información disponible no es posible clasificar el evento como un alud torrencial, esto

debido a que no se tiene información precisa de la concentración de sedimentos. El uso del umbral de alud torrencial indica alta posibilidad de ocurrencia, pero no significa una ocurrencia 100% segura. A la par, se realizó un análisis de los videos en el sitio de catástrofe en Romerito y aguas abajo en el dique. Dicho análisis sugiere que el flujo predominante tenía una carga de sedimentos (piedras y troncos), sin embargo, dicha carga no es considerada (a priori) significativa como para ser clasificado alud torrencial. A su vez se observó que la deposición de sedimentos aguas abajo de Romerito fue moderada, el dique sólo tenía arena depositada, no se observaron cantos rodados. Aguas abajo en la desembocadura la playa se retiró unos escasos metros por la deposición de arena. Al comparar estos resultados con las experiencias vividas en Vargas (en 1999 y 2005) se observa (visualmente) que la granulometría del material desplazado en Choróní es muy inferior al de Vargas así como el desplazamiento hacia el norte de la línea de costa.

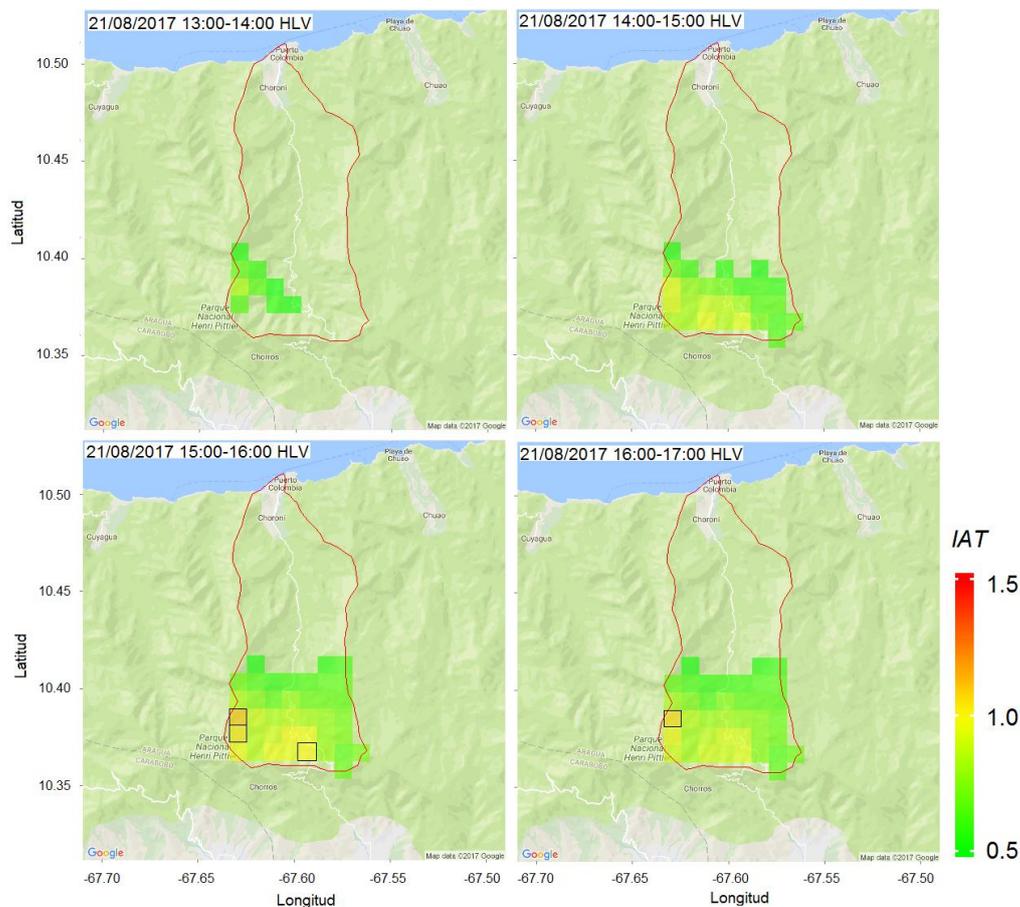


Figura 7. Índice de ocurrencia de aludes torrenciales (*IAT*) para la cuenca del río Grande del Medio hasta la desembocadura para el evento del 21/10/2017 (píxeles con valores mayores a 1 enmarcados por cuadrados negros).

6. CONCLUSIONES

Se evaluó el evento de creciente ocurrido el día 21 de agosto de 2017 en la cuenca del río Las Mercedes (también conocido como río Grande del Medio). La evaluación se realizó bajo las hipótesis de crecida repentina y alud torrencial. El enfoque de alud torrencial sólo mostró alta posibilidad de ocurrencia de dicho fenómeno en algunos puntos de la cuenca alta de la quebrada Romerito y en la Fila Alta. Estos resultados han sido corroborados en un recorrido realizado por la zona, el cual evidenció deslizamientos de tierra aislados y muy localizados; además de relativamente poca deposición de cantos rodados en el cauce del río y en la desembocadura. La simulación hidrológica deja claro que el evento puede ser representado aguas abajo del sector Romerito por modelos lluvia – escorrentía. Los resultados antes expuestos indican que el evento pudo haber contenido un flujo de lodo aguas arriba del sector Romerito y en la Fila Alta, sin embargo se subraya que ambos tendrían carácter muy localizado donde sus efectos serían disipados rápidamente en el trayecto hacia aguas abajo. Esta hipótesis está basada en la incorporación de nuevas aguas con menor concentración de sedimentos en el trayecto hacia la parte baja de la cuenca, aunado al efecto de tránsito y almacenamiento que induce el cauce al flujo.

REFERENCIAS

- COURTEL, Francois; LÓPEZ, José Luis y GASCON, Tania. Umbrales de lluvia para ocurrencia de aludes torrenciales en Catia La Mar. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia [online]. 2010, vol.33, n.3 [citado 2017-09-14], pp. 235-244 . Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702010000300006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0254-0770.
- NAVAS, Rafael; ARTIGAS, Jacinto y CARDENAS, Pedro. Estimación de precipitación por radar en la cuenca de Tacagua. Rev. Fac. Ing. UCV [online]. 2015, vol.30, n.1 [citado 2017-09-14], pp. 59-70 . Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652015000100007&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0798-4065