

Zonificación de amenaza por inundaciones en la parte baja de la subcuenca del Zanjón Pacayá, Retalhuleu, Guatemala

Fernando Luna

Maestría en Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala
fluna@aydconsultores.com

RESUMEN: La subcuenca del Zanjón Pacayá se localiza en el suroeste de Guatemala, posee un área de 476.76 km², y las comunidades: Izotales, Carrizales, Colonia Díaz, Chiquirines, Los Encuentros y El Pomal localizadas en la parte baja de la cuenca, son afectadas por efectos de las inundaciones provocadas por las lluvias que se producen en la parte alta y media de la subcuenca. Las causas de las inundaciones se deben a múltiples factores entre los cuales se consideran los siguientes: Las precipitaciones pluviales en la zona han sido más intensas en períodos cortos. La zona presenta muy poca pendiente haciendo muy lento el tránsito de la corriente hacia la desembocadura del río. Finalmente, el crecimiento de la población ha provocado que numerosas familias se asienten en zonas afectadas por inundaciones. La determinación de las zonas de amenaza de inundación se realizó por medio de la elaboración de un mapa de la geomorfología de la zona con la ayuda de diferentes técnicas utilizando un Sistema de Información Geográfica, la modelación de los caudales se hizo por medio de la metodología de estimación de caudales de referencia mediante el diagrama unitario, debido a la poca información hidrometeorológica disponible de la zona. Las inundaciones de la cuenca del Zanjón Pacayá, llegan a ocupar un área de 189.30 km² cubriendo el 39.7% del territorio. Esto afecta de manera directa a nueve comunidades con una población estimada de siete mil quinientos habitantes para el año 2012. El fenómeno de las inundaciones incide negativamente en el desarrollo de las personas que son afectadas por estas. Los resultados de la presente investigación a pesar de tener limitaciones debido a la falta de información detallada, pueden ser utilizados como una referencia básica al momento de realizar una planificación territorial en la Subcuenca del Zanjón Pacayá.

PALABRAS CLAVE: Geomorfología, inundación, caudales.

Zoning flood threat in the bottom of the basin of Zanjón Pacayá, Retalhuleu Guatemala.

ABSTRACT: The Pacayá Zanjón subbasin is located in the southwest of Guatemala, has an area of 476.76 km², and the communities: Izotales, Carrizales, Colonia Díaz, Chiquirines Los Encuentros and El Pomal located in the lower part of the basin, are affected by effects of flooding caused by the rains that occur in the upper half of the watershed. The causes of flooding are due to many factors among which are: rainfall in the area has been more intense in short periods; the area has very little slope making slow the traffic stream to the mouth of the river; the population growth has caused many families to settle in areas affected by floods. The determination of flood hazard zones was performed by means of the development of a map of the geomorphology of the area with the help of different techniques using a Geographic Information System; the flow modeling was done using the estimation reference flows through the unit diagram methodology, due to the limited information available in the hydrometeorologic area. Floods at Zanjón Pacayá basin, occupy an area of 189.30 km² covering 39.7% of the territory. This directly affects nine communities with an estimated population of seven thousand five hundred inhabitants by the year 2012. The flooding phenomenon negatively affects the development of people who are affected by them. The results of this investigation despite having limitations due to the lack of detailed information, can be used as a basic reference when making land-use planning in Pacayá Zanjón Subbasin.

KEYWORD: Geomorphology, flood and flows.

Introducción

La subcuenca del Zanjón Pacayá inicia en la Finca Las Casas, en la cabecera del municipio de Coatepeque en el departamento de Quetzaltenango y tiene su desembocadura en el océano Pacífico en la Barra de Tilapa en el municipio de Ocosingo. Geográficamente se encuentra entre los meridianos 91° 49' 28.1" a 92° 10' 58.58" longitud oeste entre los paralelos 14° 27' 26.2" a 14° 42' 54.52" latitud norte, localizada al suroeste del país. Posee una superficie de 476.76 km² (47,676.20 hectáreas) y el cauce principal tiene una longitud de 78.684 km.

Guatemala es un país que presenta una alta vulnerabilidad ante diferentes amenazas. Las amenazas de origen hidrometeorológico y climático han afectado considerablemente el territorio con repercusiones directas en los habitantes y en las actividades productivas y la infraestructura del país.

Una cuantificación preliminar de los daños causados por la Tormenta tropical Agatha (principalmente los efectos provocados por las inundaciones), permite dimensionar el impacto que los desastres tienen en el desarrollo, ya que los daños de esta tormenta llegaron a representar poco más del 2.2% del Producto Interno Bruto para el año 2010; el total de los daños fue de aproximadamente 982 millones de dólares (Cepal, 2010).

Además de los efectos materiales y económicos para el caso de Guatemala los fenómenos meteorológicos en general ponen al desnudo la vulnerabilidad social y ambiental del país, en donde la principal fuente de alimentos es la agricultura de subsistencia, con el cultivo de maíz principalmente. El ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-, reportó para la Depresión Tropical 12-E, la afectación de 66,911 familias entre pequeños y medianos productores, con una valoración de 24.36 millones de dólares (MAGA, SESAN, & PMA, 2011)

Guatemala es considerado un país vulnerable y de acuerdo con Castellanos y Guerra (2009) los principales factores que causan una vulnerabilidad de la población son: predominancia rural, dependencia de la lluvia para cultivar, falta de acceso a sistemas de salud, analfabetismo, baja escolaridad, falta de acceso al crédito.

En la subcuenca del Zanjón Pacayá, las comunidades: Izotales, Carrizales, Colonia Díaz, Chiquirines, Los Encuentros y El Pomal localizadas en la parte baja de la cuenca, cada año son afectadas por efectos de las inundaciones provocadas por las lluvias que se producen en la parte alta y media de la subcuenca del Zanjón Pacayá, ver Gráfica 1.

En el año 2002 fue publicado por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación –MAGA-, en conjunto con la agencia Japonesa de Cooperación Internacional–JICA- por sus siglas en inglés, un mapa de amenaza por inundaciones, el cual se desarrolló a una escala de 250,000 por lo tanto es un mapa de referencia a escala nacional, pero a nivel local de (cuenca) el nivel de detalle no es apropiado para el análisis.

En el marco de un programa regional de la UNESCO, para el desarrollo de capacidades nacionales para la reducción de desastres en Centro América, se realizó a una tesis doctoral en la cuenca del río Samalá, en donde se definió la geomorfología (De la Caridad V, 2003) y posteriormente, dicha información se utilizó de base para hacer un estudio para la zonificación de las amenazas naturales en dicha cuenca (Westen, 2003), en ambos casos se tuvo el respaldo técnico del ITC International Institute for geo-information science and earth observation, The Netherlands.

En el año 2011, la coordinadora para la reducción de desastres CONRED, publicó un mapa de inundaciones actualizado, sin embargo, este mapa lo han definido únicamente como "Mapa de Suceptibilidad a Nivel de Reconocimiento de las inundaciones en de Guatemala". Por lo tanto tampoco suministra información para hacer una interpretación a nivel de una cuenca es el caso del Zanjón Pacayá.

Materiales y Métodos

Se analizaron dos elementos básicos para la determinación de las inundaciones: 1) la geomorfología es decir conocer las diferentes unidades homogéneas del territorio y 2) la determinar los caudales característicos y de crecida que puedan afectar la zona a inundar.



Gráfica 1. Áreas del Zanjón Pacayá afectadas por inundaciones Octubre de 2011

Fuente: (Banasa-Guatemala, 2011).

El trabajo se organizó en tres etapas en las cuales se desarrolló tanto actividades en gabinete como comprobaciones en terreno. En todo momento se utilizó un sistema de información geográfico (Arcgis 10 ®); que es una herramienta diseñada para el análisis espacial que permite realizar interpretaciones de manera rápida y efectiva del territorio.

Se determinó que en los estudios previos realizados en la Subcuenca del Zanjón Pacayá, no había sido delimitada el área de la cuenca. Recientemente, (MAGA, 2009), hizo un esfuerzo por desarrollar un mapa de microcuencas a nivel nacional, publicado a escala 1:50,000, sin embargo a pesar de que la subcuenca del Zanjón Pacayá, es mediana (476.76 km²), no fue definida (Figura 1).

Para la delimitación de la cuenca del Zanjón Pacayá se procedió a generar un DEM (modelo de elevación digital), a partir de la información de base generada con las ortofotografías (del IGN en formato DWG). Usando esta información se derivó un mapa de curvas a nivel con un intervalo de 2 metros de altura, para el intervalo de los ≤ 0 hasta los 10 metros, de allí hasta llegar a la parte más alta (780 msnm), se utilizaron curvas cada 20 metros (esto para poder delimitar la subcuenca y sus microcuencas).

Con el DEM, y las capas de información disponible como lo es hidrografía, carreteras, curvas a nivel, uso de la tierra, se procedió a definir el mapa de unidades geomorfológicas, por medio de digitalización en pantalla, hasta construir una leyenda fisiográfica, con lo cual se pudo delimitar las unidades que son susceptibles a inundación.

Para el análisis hidrológico de la cuenca del Zanjón Pacayá, no existen registros de caudales, por lo tanto se utilizó el método de caudales de referencia Q, el cual se define para un punto en particular de la cuenca y de allí se estima el área en la que este tendrá influencia. (Villon 2004) cita la ecuación utilizada para la estimación de caudales:

$$Q = C A I/k$$

donde:

- C: el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.
- A: el área
- I: la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.
- K: un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A.

Se procedió a identificar las estaciones meteorológicas, distribuidas dentro de la cuenca y en la Zona de influencia (Cuadro 1). Se analizó la información disponible. Únicamente fue utilizada la información en donde se contara con un registro de al menos cinco años continuos.

Se analizaron las lluvias extremas de la estación de Retalhuleu, para la escorrentía de caudales máximos. La extrapolación de los datos se realizó utilizando la distribución Log-Pearson III, la cual tiene un buen nivel de ajuste para el análisis de lluvias extremas, además de ser ampliamente utilizada en hidrología (Phien & Ajirajah, 1984). El análisis fue realizado utilizando el programa Hidroesta, desarrollado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica y ampliamente conocido en los países de la región.

La fase de campo comprendió el recorrido general de la cuenca desde la parte alta, que inicia en el casco urbano del Municipio de Coatepeque, hasta la desembocadura de la bocanarra de Tilapa, localizada al sur (Figura 2).

El mapa de las zonas susceptibles a inundaciones se derivó de las áreas en las cuales las unidades geomorfológicas mostraron una alta evidencia de ser zonas naturales de inundación, esto se correlacionó con los caudales que se podrían esperar para eventos extremos.

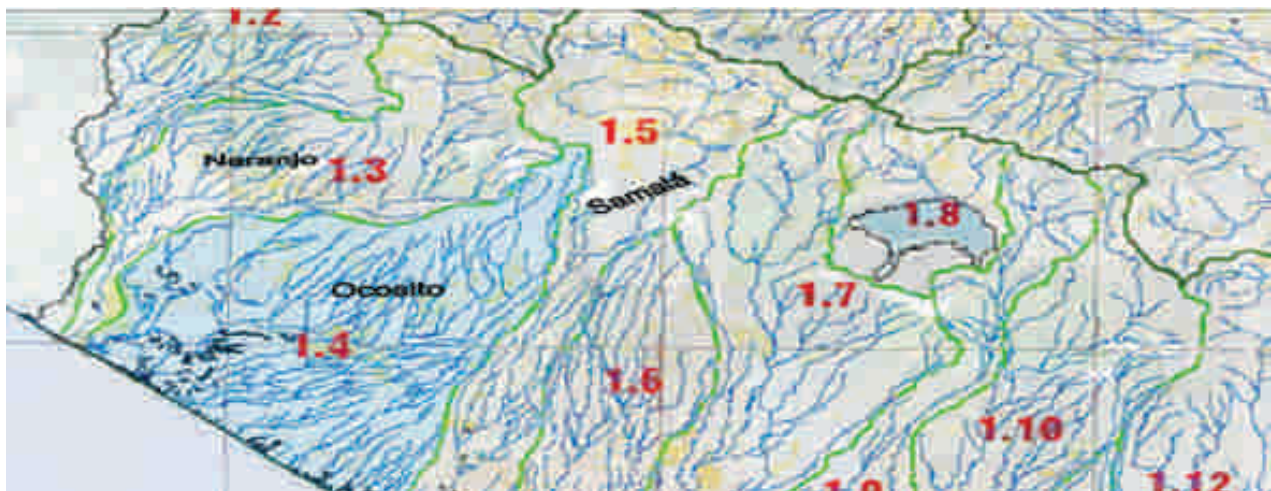


Figura 1. Sección del Mapa de Microcuencas de la región sur-oeste de Guatemala

Fuente: (MAGA, 2009)

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas y variables disponibles

No.	No. Estación.	Nombre de Estación	Departamento	Municipio	Altura (msnm)	Proyección GTM	
						X	Y
1	13.10.02	Santa Anita PHCA.	Quezaltenango	Flores Costa Cuca	470	355779.954	1621289.78
2	13.06.01	Coatepeque Fegua	Quezaltenango	Coatepeque	490	352815.968	1626010.1
3	13.07.01	Acultzingo	Quezaltenango	Colomba	1400	376123.407	1620348.1
	15.01.01	Retalhuleu	Retalhuleu	Retalhuleu	200	371033.982	1606111.0
4	15.01.02	La Esperanza	Retalhuleu	Retalhuleu	50	351076.107	1595653.58
5	15.02.01	Champerico Fegua	Retalhuleu	Champerico	5	347753.357	1581350.9
6	15.03.02	El asintal	Retalhuleu	El Asintal	340	368902.244	1613009.7
7	15.01.04	Las Delicias	Retalhuleu	Retalhuleu	640	376718.764	1619730.5
8	17.03.01	Catarina	San Marcos	Catarina	20	438117.862	1642851.6

Fuente: (INDE, 1990), (INSIVUMEH, 2012).

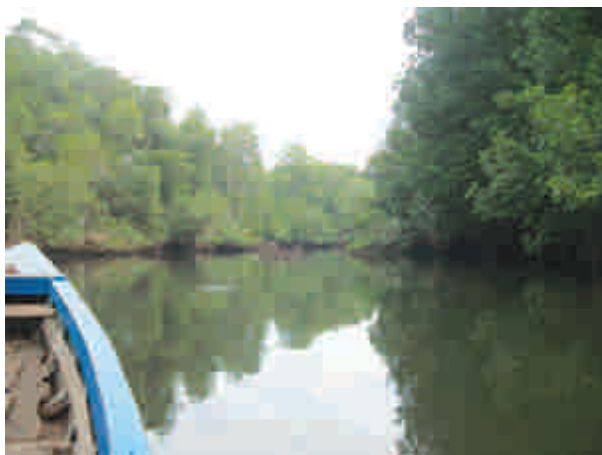


Figura 2. Desembocadura del Zanjón Pacayá en la boca barra de Tilapa

Resultados

El área de la Subcuenca del Zanjón Pacayá, es de 476.76 km², tiene un perímetro de 109.99 kilómetros, la longitud del cauce principal es de 78.014 kilómetros, la pendiente media de la cuenca es de 0.0404 m/m y la pendiente del canal es de 0.0007 m/m, es decir que la subcuenca tiene poca pendiente. La elevación máxima es de 780 msnm y la altitud media es de 325 msnm. Se delimitaron 8 microcuencas para un mejor análisis ver (Cuadro 2 y Figura 3).

Las microcuencas definidas para la subcuenca del Zanjón Pacaya (Cuadro 3), presentan un área individual pequeña, las dos microcuencas que tienen una mayor área son las del cauce principal (Pacayá Alta y Pacayá Bajo), en conjunto representan el 43% del área de la Subcuenca. Se observa una pendiente muy baja la cual va desde 4% para la microcuenca de Pacayá Alto, hasta 0.008% para la microcuenca La Botella.

Los criterios para la delimitación de las diferentes unidades geomorfológicas se realizaron con base a las observaciones realizadas sobre las curvas de nivel en pantalla, con verificaciones de imágenes de satélite en Google Earth, para diferentes períodos entre el año 2009 y 2012, la delimitación obedece

más a criterios y observaciones en las imágenes que a procedimientos determinísticos. Se delimito las geoformas con evidencia de procesos morfodinámicos estrechamente relacionados con zonas sujetas a inundación. En el Cuadro 4, se identifican las geoformas que tienen una evidencia alta a ser inundables debido a su naturaleza con una influencia fluvial. Esto se puede confirmar con la existencia de una alta densidad de drenajes agrícolas, (Figura 4) en la parte baja de la cuenca, los cuales se encuentran relacionados con actividades agrícolas (agricultura de agroexportación).

Los caudales estimados por el método de "caudales de referencia" (NRCS, 1993), indican el caudal máximo de que puede llegar a transportar una microcuenca para un evento extremo en base a una precipitación máxima dado en un período de tiempo. Para el cálculo de los caudales se utilizó como referencia la precipitación registrada en la estación de Retalhuleu para la tormenta tropical Stan, la cual llegó a 267 mm de lluvia en 24 horas, el coeficiente de escorrentía es igual a uno ya que el suelo al estar completamente saturado no tiene posibilidad de infiltrar el agua que escurre. Los caudales máximos para las ocho microcuencas varían de 85.08 a 361.45 m³/s, por lo tanto el caudal en el último tramo del río (Pacayá Bajo), llega a los 1,475.60 m³/s (Cuadro 5), el canal de inundación puede llegar a más de 5 kilómetros de ancho, en algunas secciones (Figura 5)

Cuadro 2. Área y porcentaje que cubren las microcuencas en el Zanjón Pacayá

Id	Microcuencas	Área (km2)	%
1	Zanjón Pacayá Alto	91.87	19.27%
2	Ríos Boboseña-Zin	78.74	16.52%
3	Río El Flor	51.28	10.76%
4	Río Seco	69.46	14.57%
5	Pampa El Jicaral	30.06	6.30%
6	Río La Botella	27.34	5.73%
7	El Corral	15.11	3.17%
8	Río Pacayá Bajo	112.91	23.68%
	Total	476.76	100.00%

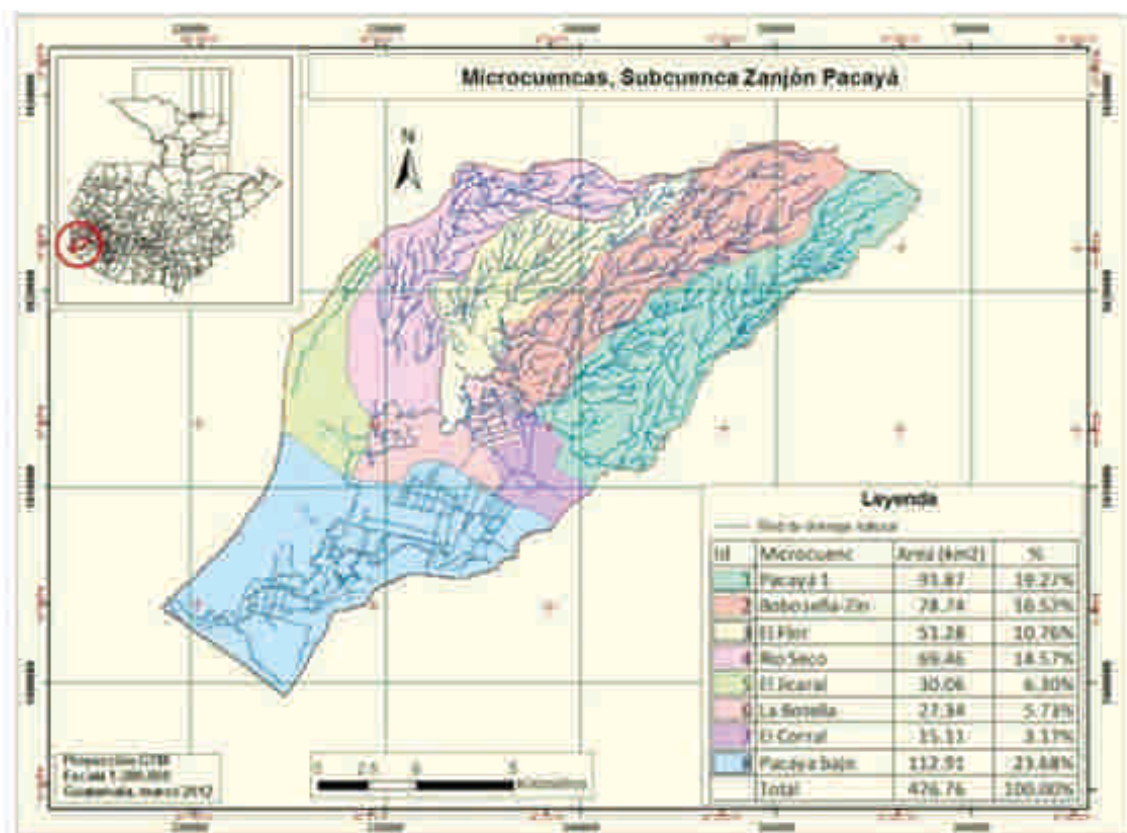


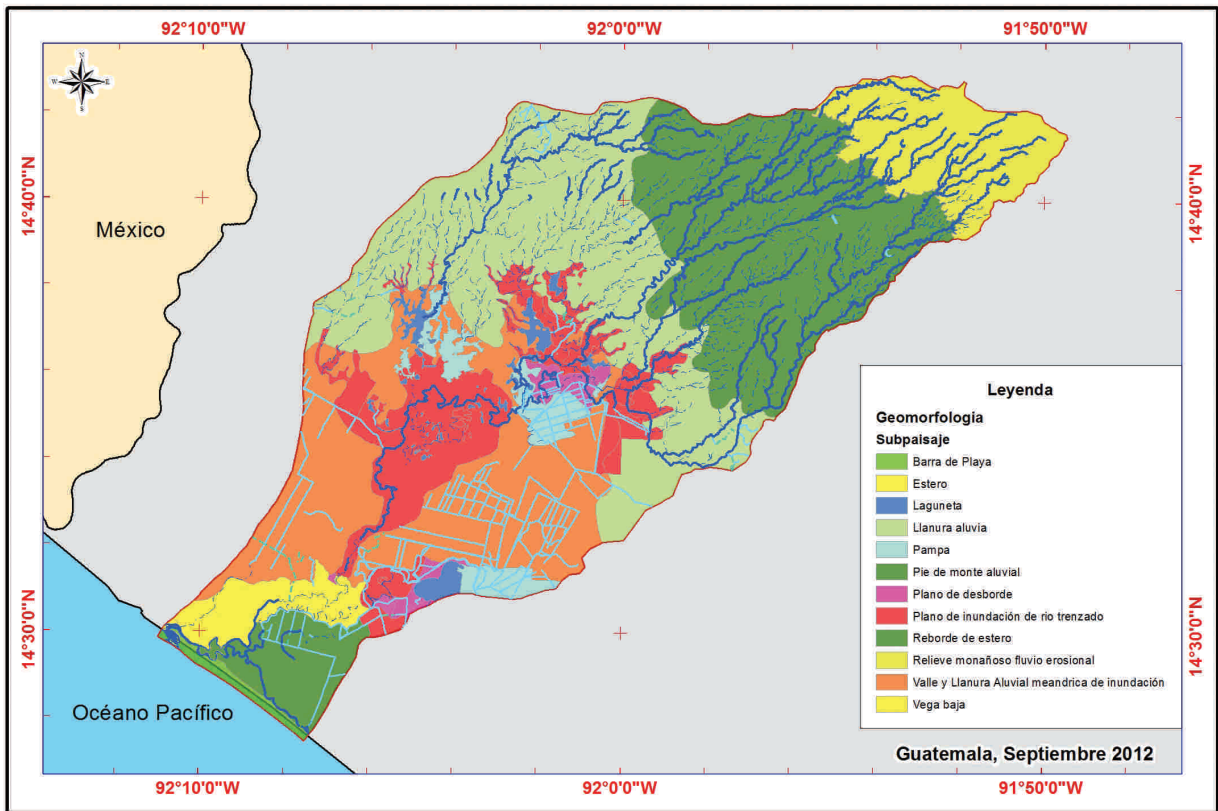
Figura 3. Mapa de microcuencas del Zanjón Pacayá

Cuadro 3. Características morfométricas de las microcuencas del Zanjón Pacayá

Aspecto morfométricos	Subcuenca Pacayá (Total)	Microcuencas								
		Pacayá Alto	Boboseña- Zin	El Flor	Río Seco	El Jicaral	La Botella	El Corral	Pacaya Bajo	
Área (km ²)	476.76	91.87	78.74	51.28	69.46	30.06	27.34	15.11	112.91	
Perímetro (km)	109.99	58.92	52.98	50.35	56.67	29.46	36.49	19.89	53.48	
Longitud del río (km)	78.014	28.65	21.88	15.40	20.21	9.52	24.09	5.67	49.37	
Densidad de drenaje (km/Km ²)	1.67	2.63	2.55	2.53	2.11	1.55	0.88	0.38	0.73	
Pendiente media de la cuenca (m/m)	0.04047	0.04047	0.025	0.025	0.019	0.004	0.00008	0.0003	0.00049	
Pendiente del canal (m/m)	0.007	0.041	0.025	0.025	0.019	0.004	0.00008	0.0003	0.000203	
Elevación media de la cuenca (msnm)	325	320	237.5	167.5	150	15	0.5	6	5	
Elevación máxima en la cuenca en msnm	780	780	485	345	310	40	10	22	10	
Elevación mínima en la cuenca	0	10	10	10	10	10	9	10	0	
Índice de compacidad	1.41	1.72	1.67	1.97	1.90	1.50	1.95	1.43	1.41	
Rectángulo equivalente	L (km)	44.21	29.92	23.08	22.94	25.62	12.29	16.60	8.08	21.49
	A (km)	10.78	3.55	3.41	2.24	2.71	2.45	1.65	1.87	5.25

Cuadro 4. Unidades Geomorfológicas determinadas para la subcuenca del Zanjón Pacayá

Provincia Fisiográfica	Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Area	Evidencia de inundación
Llanura Costera del Pacífico	Planicie Aluvial de los Ríos Naranjo Ocosito	Llanura Aluvial del Zanjón Pacayá	Laguneta	33.66	
			Llanura aluvial	11931.67	Alta
			Plano de inundación de río trenzado	1125.61	Alta
			Barra de Playa	309.7	
			Estero	108.33	
			Plano de inundación de río trenzado	0.71	Alta
	Superficie de Inundación	Llanura Aluvial de desborde del Zanjón Pacayá	Reborde de Estero	1866.28	
			Vega baja	1472.84	Alta
			Laguneta	656.66	
			Pampa	1424.61	Alta
			Plano de desborde	643.77	Alta
			Plano de inundación de río trenzado	4462.18	Alta
Tierras Volcánicas de la boca Costa	Relleno volcánico de El Tumbador, Coatepeque y Nuevo San Carlos	Relleno Volcánico de Coatepeque	Valle y Llanura aluvial meándrica de inundación	8949.77	Alta
			Pie de monte aluvial	10794.75	
			Relieve montañoso fluvio erosional	3895.76	



6 3 0 6 Kilometros

Figura 4. Mapa geomorfológico de la subcuenca del Zanjón Pacayá

Cuadro 5. Caudales estimados para las microcuencas de la subcuenca del Sanjón Pacayá

Variable	Pacaya Alto	Boboseña-Zin	El Flor	Río Seco	El Jicaral	La Botella	El Corral	Pacayá Bajo
Pendiente m/m	0.01000	0.01658	0.02175	0.01484	0.00315	0.00004	0.00018	0.00020
tiempo conc Horas	3.53	3.11	2.37	11.14	12.70	37.30	2.69	35.20
tiempo punta Horas	14.12	13.87	13.42	18.69	19.62	34.38	13.62	33.12
tiempo base Horas	37.69	37.02	35.84	49.89	52.39	91.79	36.36	88.44
Caudal de la punta m ³ /s	361.45	315.36	212.16	206.43	85.08	44.17	61.63	189.32

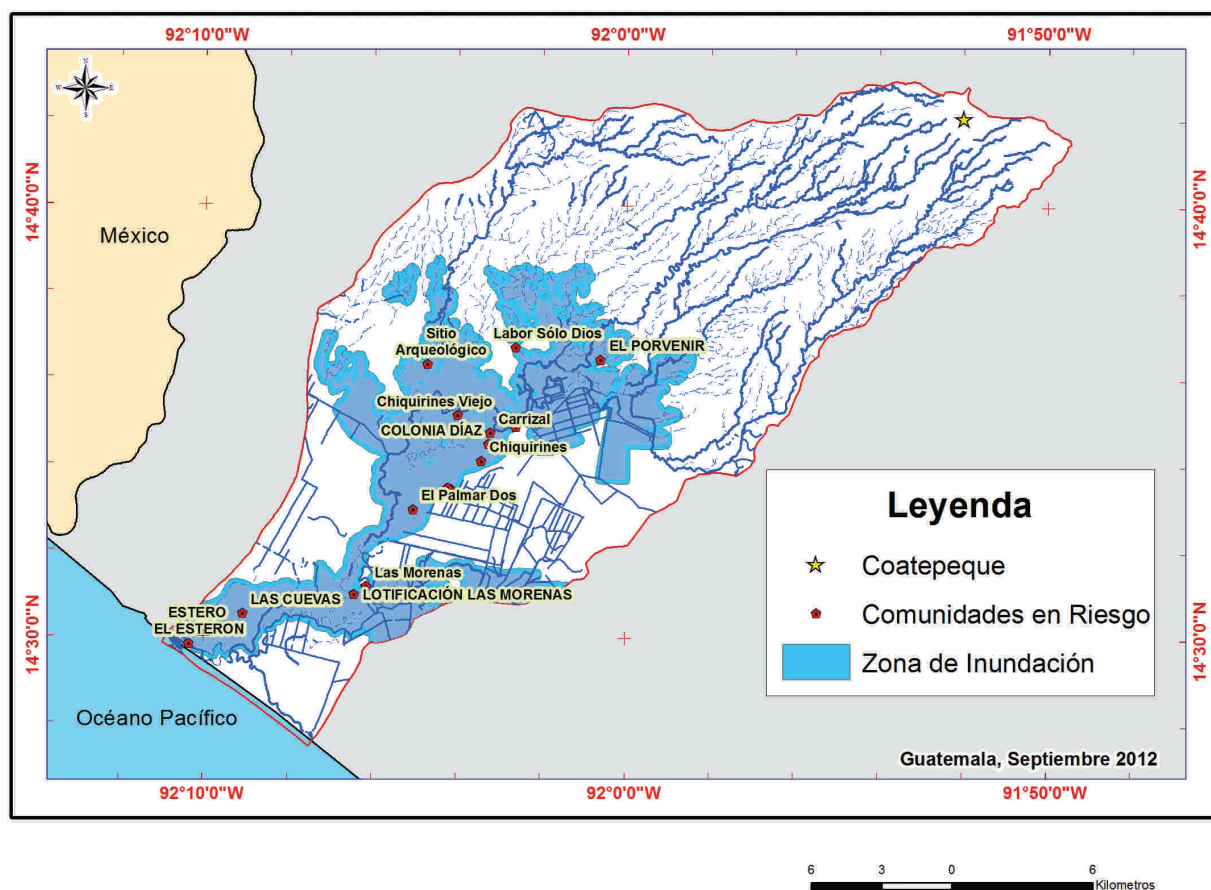


Figura 5. Mapa de Zonas Sujetas a Inundación

Se determinó que en la Subcuenca del Zanjón Pacayá, la zona sujeta a inundación corresponde a 189.30 km², es decir que el 39.70% de la cuenca se ve afectado con las inundaciones (Figura 5) La zona que se encuentra afectada se encuentra en la parte baja y una parte en la zona media de la subcuenca. Además se encuentran 9 comunidades localizadas directamente dentro del área que se inunda.

Las inundaciones en la subcuenca del Zanjón Pacayá tienen su origen en las lluvias extremas que se presentan con cierta periodicidad para su análisis se utilizó la distribución Log-Pearson tipo III, para diferentes períodos de retorno (considerado como el lapso de tiempo en años en el que puede ocurrir al menos un evento de igual o mayor magnitud), los valores para un período de dos años son de 117.18 milímetros en un día y en promedio cada quince años se pueden tener eventos que superen los 202.6 milímetros de lluvia en 24 horas (cuadro 6).

Cuadro 6. Precipitación máxima según distribución Log Pearson tipo III

Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima en mm
2	117.18
5	154.28
10	183.96
15	202.6
20	216.5
25	227.72
50	265.2
100	307.15
200	354.08
500	424.68

Discusión

La delimitación real de la subcuenca del Zanjón Pacaya, no se había considerado realizar en la presente investigación, ya que existían algunos estudios previos (PLAMAR, 1995), (PLAMAR, 2000), (Conagua, 2005), sin embargo en estos estudios al igual que en el mapa de microcuencas presentado por el MAGA en el año 2009 no se hizo la delimitación de esta cuenca, y aparece unida con la cuenca del río Ocosito (Figura 1). De acuerdo a la clasificación de cuencas (UICN, 2009), la cuenca hidrográfica es una unidad geográfica conformada por un río principal y todos los territorios comprendidos desde la naciente hasta la desembocadura, incluye todas las tierras y ríos menores que aportan agua al río principal, incluyendo su zona marino costera. La importancia de poder diferenciar su espacio geográfico radica en que de esta manera se puede definir un área específica y a la vez cuantificar la aportación de caudal para el cauce principal (Zanjón Pacayá). Por lo tanto, al contar con la determinación del área geográfica específica de la cuenca abre la posibilidad de realizar análisis espacial específico para su territorio, así como la modelación de caudales entre otros.

Para la delimitación de la cuenca del Zanjón Pacayá, se utilizó el mejor criterio cartográfico utilizando para tal efecto las curvas generadas con un nivel de detalle de dos metros y observaciones realizadas en las ortofotografías. Por lo tanto, es necesario realizar una mayor comprobación en terreno, especialmente en la parte baja, para hacer los ajustes necesarios, ya que es difícil determinar en la zona cerca a la desembocadura los límites entre esta subcuenca y las cuencas de los ríos Naranjo y Ocosito. Posiblemente una mejor alternativa sería la de utilizar tecnología de mayor precisión como lo es Lidar¹. Con la cual existe la posibilidad de contar con curvas de nivel a nivel de decimas de metro, logrando una mejor precisión en cuanto a la delimitación real de la cuenca.

El análisis de la geomorfología en la subcuenca del Zanjón Pacayá, evidencia la presencia de zonas que se inundan, por lo tanto su origen y naturaleza indica que dichas áreas se han inundado por años y se seguirán inundando al momento de haber lluvias intensas.

El conocimiento de la geomorfología también contribuye a una mejor planificación del territorio, evaluando las zonas y los riesgos a que las actividades económicas que se realicen sean susceptibles ante inundaciones.

La zona susceptible de inundación es de 189.30 km², conformada por un mosaico de usos del territorio en donde se encuentran áreas destinadas para el cultivo de granos básicos, nueve centros poblados de comunidades que son inundadas con las lluvias de cada invierno y cultivos de agroexportación los cuales son igualmente afectados.

La zona de amenaza a las inundaciones se encuentra generalmente por debajo de los 10 msnm, inclusive muchas de estas áreas se encuentran en sitios por debajo nivel del mar,

por lo tanto, también existe la posibilidad de delimitar estas zonas y evaluar su potencial restauración como humedales, destinados para la conservación de la biodiversidad, o incluso como zonas para la conservación de agua para ser utilizada en la época seca.

Las comunidades que son afectadas con las inundaciones son: Labor Solo Dios, El Porvenir, Chiquirines Viejo, Colonia Díaz, Carrizal, Chiquirines, El Palmar Dos, Las Morenas, Lotificación las Morenas y Las Cuevas. Estas comunidades albergan a una población de aproximadamente² 1000 familias (7500 habitantes).

Los resultados de la investigación confirman que la zona identificada como "susceptible de inundación" estará sujeta a inundaciones repetitivas cada vez que se tengan eventos extremos. De acuerdo al análisis de precipitaciones máximas utilizando el prueba Log Pearson tipo III, confirma que al menos cada dos años se tendrán eventos de lluvia en donde en un período de veinticuatro horas se superará los 100 milímetros de lluvia. Esta situación debe ser considerada por las autoridades municipales y de gobierno central a fin de considerar esta condición particular al momento de planificar opciones de desarrollo para las comunidades que se encuentran en dicha zona.

Otra característica que se puede emplear para determinar con una mayor exactitud las zonas sujetas a inundación es mapeando y diferenciado los suelos de humedales que de acuerdo con la clasificación de suelos mundiales (WRB, 2007), corresponde a los suelos Gleysols.

Los suelos Gleysols son suelos de humedales con claros signos de influencia del agua freática. Por lo tanto conforman un típico color gléyico. Este patrón se encuentra conformado por suelos de colores rojizos, parduzcos o amarillentos en las capas superficiales del suelo en combinación con colores grisáceos y azulados en las partes más profundas (WRB, 2007).

Conclusiones

Le geomorfología en la cuenca del Zanjón Pacayá, se encuentra conformada por unidades de pie de monte (parte alta de la cuenca) y unidades fluviales (parte baja), lo cual permite predecir la dinámica en el territorio especialmente en la interacción con efectos de lluvias intensas o torrenciales. Se determinaron catorce unidades geomorfológicas, de las cuales ocho presentan una amenaza a las inundaciones.

La capacidad de acumulación de escorrentía, en la subcuenca del Zanjón Pacayá es de 1,475.60 metros cúbicos, lo cual debido a la poca pendiente (menor al 4%), y limitado espacio del canal natural provoca inundaciones extensivas. Esto sin considerar otros fenómenos que ocurren en la desembocadura del Zanjón Pacayá y que pueden reducir la capacidad de conducción de agua hacia el océano Pacífico.

¹ LIDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*). Actualmente una de las mejores tecnologías disponibles para la realización de modelos digitales de terreno (entre otras varias aplicaciones).

² No se cuenta con información de población, ya que en el último censo de población, solamente se registraron tres de las nueve comunidades. En este municipio tampoco funciona el programa de extensión de cobertura del MSPAS.

Las inundaciones de la cuenca del Zanjón Pacayá, llega a ocupar un área de 189.30 km² cubriendo el 39.7% del territorio. Esto afecta de manera directa a nueve comunidades con una población estimada de siete mil quinientos habitantes.

La utilización del análisis geomorfológico al territorio es una herramienta que permite clasificarlo en espacios homogéneos que tienen un comportamiento muy similar en cuando su origen y aspectos de formación dinámica. Por lo tanto, esta técnica es útil para estudios de amenazas naturales como las inundaciones y en general para realizar análisis ambiental, planificación y ordenamiento del territorio. En Guatemala, es poco utilizada esta herramienta para el análisis del territorio a pesar de la información relevante y ventajas que presenta su aplicación en la ordenación del territorio, zonificación ambiental y otras aplicaciones relacionadas con la planificación espacial. Posiblemente se debe a que actualmente en los centros de generación de conocimiento no existe la formación profesional específica en geografía, la cual se auxilia de la geomorfología como una herramienta para organizar y dividir de manera natural el territorio. El conocimiento de la geomorfología como herramienta debiera ser considerado por diferentes especialistas: ciencias sociales, agrícolas, ambientales y biológicas entre otras con diferentes aplicaciones, pero con criterios básicos comunes entre sí.

Las inundaciones en la subcuenca del Zanjón Pacayá se deben a factores geomorfológicos propios de su territorio, ya que este se encuentra conformado en la parte baja por unidades típicas que son susceptibles de inundaciones.

Agradecimientos

Se agradece los aportes realizados al trabajo original por los doctores Edwin Castellanos y Doris Martínez del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad - CEAB de la Universidad del Valle de Guatemala y al doctor Alex Guerra del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático – ICC, Guatemala.

Bibliografía

- Banasa-Guatemala (2011) *Inundaciones en el Trifinio Sur*.
- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). El cambio climático y sus efectos en el desarrollo humano en Guatemala. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD- Guatemala
- Cepal (2010) *Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por el paso de la Tormenta Tropical Agatha y la erupción del Volcán Pacaya* Resumen preliminar
- Conagua (2005) *Estudio técnico de base sobre el control y monitoreo de las crecientes e inundaciones en el área de influencia de la cuenca media y baja, Zanjón Pacayá, Ocós, San Marcos* Versión para Socialización Guatemala Informe Interno Comisión Nacional del Agua
- De la Caridad V F (2003) *Geomorphology and natural hazards of the Samala river basin, Guatemala*. University of Amsterdam

- INDE (1990) *Base de datos meteorológica, digital* Instituto Nacional de Electrificación Guatemala
- INSIVUMEH (2012) *Variables Climáticas de Guatemala* Consultado 30-Jul-12 en www.insivumeh.org.gt
- MAGA (2009) *Memoria Técnica: Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50,000 de la república de Guatemala* Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo Maga
- MAGA SESAN PMA (2011) *Apreciación del impacto de la Depresión Tropical 12-E, en la seguridad alimentaria y nutricional del país* 17
- NRCS (1993) *Storm rainfall depth* Hidrology National Engineering Handbook
- Phien HN, TJ Ajirajah (1984) *Applications of the log Pearson type-3 distribution in hydrology* Journal of Hydrology **73** (3-4) 359-372 doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90008-8](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(84)90008-8)
- PLAMAR (1995) *Estudio de prefactibilidad: proyecto de drenaje y control de inundaciones parcelamiento la Blanca, Ocos San Marcos Guatemala*: Plamar
- PLAMAR (2000) *Estudio de drenaje superficial en la unidad de riego La Blanca Guatemala*: Plamar
- UICN (2009) *Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas Guatemala*: UICN
- Westen, C. v. (2003). Zonificación de amenazas naturales en la cuenca del río Samalá y análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián Retalhuleul, Guatemala Centro América. Programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA) Guatemala
- WRB (2007) *Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo* In 103 (Ed.) *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos* FAO, Roma Italia