

# Delimitación y caracterización de los abanicos aluviales en La Bajada de Aguas Zarcas, Costa Rica

Delimitation and characterization of alluvial fans in the bajada of Aguas Zarcas, Costa Rica

Rolando Mora Chinchilla

Universidad de Costa Rica (UCR), Escuela Centroamericana de Geología (ECG),  
Profesor pensionado, San José, Costa Rica  
[rmorach@gmail.com](mailto:rmorach@gmail.com)

(Recibido: 20/06/2024; aceptado: 25/08/2024)

**RESUMEN:** Los abanicos aluviales son formaciones sedimentarias típicas de regiones montañosas, donde el flujo de agua cargado de sedimentos sale de cañones estrechos a zonas más amplias y de menor pendiente, depositando los sedimentos y formando estructuras en forma de abanico. Estos abanicos pueden variar en actividad, siendo algunos muy dinámicos con frecuentes inundaciones y otros más estables debido a la configuración geológica y los procesos tectónicos. En la Bajada de Aguas Zarcas, ubicada en el Distrito Aguas Zarcas, Cantón de San Carlos, Alajuela, Costa Rica, se identificaron varios abanicos aluviales coalescentes. Entre estos, el abanico del río Aguas Zarcas es el más extenso, seguido por otros como el paleo-río Aguas Zarcas, el río San Rafael, y el río Negritos, entre otros. La morfología de estos abanicos muestra que los sedimentos se acumulan y esparcen, creando formas del terreno características. La composición de los abanicos en Aguas Zarcas varía desde bloques de dimensiones centimétricas a métricas en las zonas proximales, hasta estratos arenosos y cenizas en las áreas distales. La identificación de las áreas activas e inactivas de estos abanicos es crucial para evaluar los riesgos de inundación. Las áreas activas son aquellas donde la deposición y erosión son posibles, y pueden ser más propensas a futuras inundaciones. El estudio incluyó la utilización de mapas geológicos y topográficos, así como inspecciones de campo para verificar la actividad de los abanicos. Se determinó que los abanicos aluviales en la Bajada de Aguas Zarcas han sido influenciados por procesos tectónicos y volcánicos, afectando la deposición y el flujo de los sedimentos. Este análisis proporciona una base para la gestión de riesgos y el desarrollo sostenible en áreas propensas a inundaciones, destacando la importancia de comprender la dinámica sedimentaria y geomorfológica de los abanicos aluviales.

**Palabras clave:** abanico aluvial; amenaza de inundación; geomorfología fluvial; gestión del riesgo; desarrollo sostenible.

**ABSTRACT:** Alluvial fans are sedimentary forms typical of mountainous regions, where the flow of water loaded with sediments comes out of narrow canyons to wider and lower slope areas, depositing the sediments and forming fan-shaped structures. These



fans can vary in activity, with some being very dynamic with frequent flooding and others more stable due to the geological configuration and tectonic processes. In the Bajada de Aguas Zarcas, located in the Aguas Zarcas District, Canton of San Carlos, Alajuela, Costa Rica, several coalescent alluvial fans were identified. Among these, the Aguas Zarcas River fan is the most extensive, followed by others such as the Aguas Zarcas paleo-river, the San Rafael River, and the Negritos River, among others. The morphology of these fans shows that sediments accumulate and spread, creating characteristic landforms. The composition of the fans in Aguas Zarcas varies from blocks of centimeter to metric dimensions in the proximal areas, to sandy strata and ash in the distal areas. Identification of active and inactive areas of these fans is crucial for assessing flood risk. Active areas are those where deposition and erosion are possible, and may be more prone to future flooding. The study included the use of geological and topographic maps, as well as field inspections to verify the activity of the fans. It was determined that the alluvial fans in the Bajada de Aguas Zarcas have been influenced by tectonic and volcanic processes, affecting the deposition and flow of sediments. This analysis provides a basis for risk management and sustainable development in flood-prone areas, highlighting the importance of understanding the sedimentary and geomorphological dynamics of alluvial fans.

**Keywords:** alluvial fan; flood hazard; fluvial geomorphology; risk management; sustainable development.

## Introducción

Los abanicos aluviales son estructuras deposicionales prevalentes en entornos montañosos, generadas por procesos sedimentarios asociados al flujo hídrico, específicamente procesos aluviales (OWSC, 2023). Estos depósitos de configuración distintiva, adoptan una forma similar a un abanico, emergen cuando cursos de agua, confinados en valles o cañones estrechos de pendiente pronunciada, alcanzan áreas abiertas con pendientes más suaves (Fig. 1) (OWSC, 2023). En este punto, el flujo ya no está restringido por los confines del valle, expandiéndose lateralmente (Harvey 2018). Esta expansión conlleva una disminución en la velocidad del flujo y, por ende, a una reducción en la capacidad de transporte de sedimentos por el agua (OWSC, 2023). Los materiales transportados por el flujo tienden a depositarse, inicialmente, en la parte más alta del abanico (ápice), pero conforme este se extiende en longitud y anchura, los depósitos se distribuyen progresivamente a lo largo de su superficie (OWSC, 2023).

Cuando se observa un abanico aluvial desde una perspectiva elevada (vista en planta), su forma general se asemeja a un triángulo aproximadamente, con los bordes más alejados o la zona distal adquiriendo una geometría curvada o semicircular. No obstante, al examinar una sección transversal desde el punto más alto hasta la base, estos abanicos se asemejan más a un segmento de cono, con una superficie terrestre que presenta una pendiente recta o ligeramente cóncava hacia arriba. Esto significa que la pendiente es más pronunciada en el punto más alto y más suave en la base. El ápice del abanico representa típicamente la transición de un entorno erosivo en la parte superior a un ambiente de depósito en la parte inferior (OWSC, 2023).

Gran parte de los primeros estudios acerca de abanicos aluviales se enfocaron en ejemplos de características topográficas halladas en entornos áridos y semiáridos (Blissenbach 1954; Denny 1965; Eckis 1928; Melton 1965), donde la vegetación no cubre la morfología del abanico (OWSC, 2023). En estos lugares, arroyos efímeros (fluyen periódicamente o estacionalmente) procedentes de lechos de ríos y cañones encajados se expanden hacia valles o llanuras amplias y poco profundas (OWSC, 2023). Aunque existen diversas configuraciones topográficas que podrían propiciar la formación de abanicos aluviales, todas implican un cambio en la pendiente desde tramos empinados de arroyos en las partes altas hasta pendientes más suaves donde se acumulan los depósitos (OWSC, 2023).

Existe una extensa documentación acerca de los impactos ocasionados por los movimientos de las placas tectónicas y las variaciones en el nivel de base (la elevación más baja en la que fluye un río) en el desarrollo de abanicos aluviales (DeCelles et al. 1991; Fernández et al. 1993; Jansson et al. 1993; Viseras et al. 2003).y se pone especial atención a la presencia de abanicos aluviales en zonas asociadas a importantes fallas geológicas, donde se ha observado el levantamiento de bloques (por ejemplo, configuraciones estructurales como horst y graben, así como los frentes de montaña) (OWSC, 2023).

Las bajadas son pendientes extensas de depositación aluvial-detrítica y se manifiestan comúnmente en configuraciones múltiples de abanicos o conos aluviales coalescentes (Fairbridge, 1968). King (1942) emplea “piedemonte” como término intercambiable. Las bajadas son representativas de procesos de acumulación progresiva, no de erosión y se identifican típicamente en depresiones o áreas de cuencas al pie de los frentes montañosos (Fairbridge, 1968).

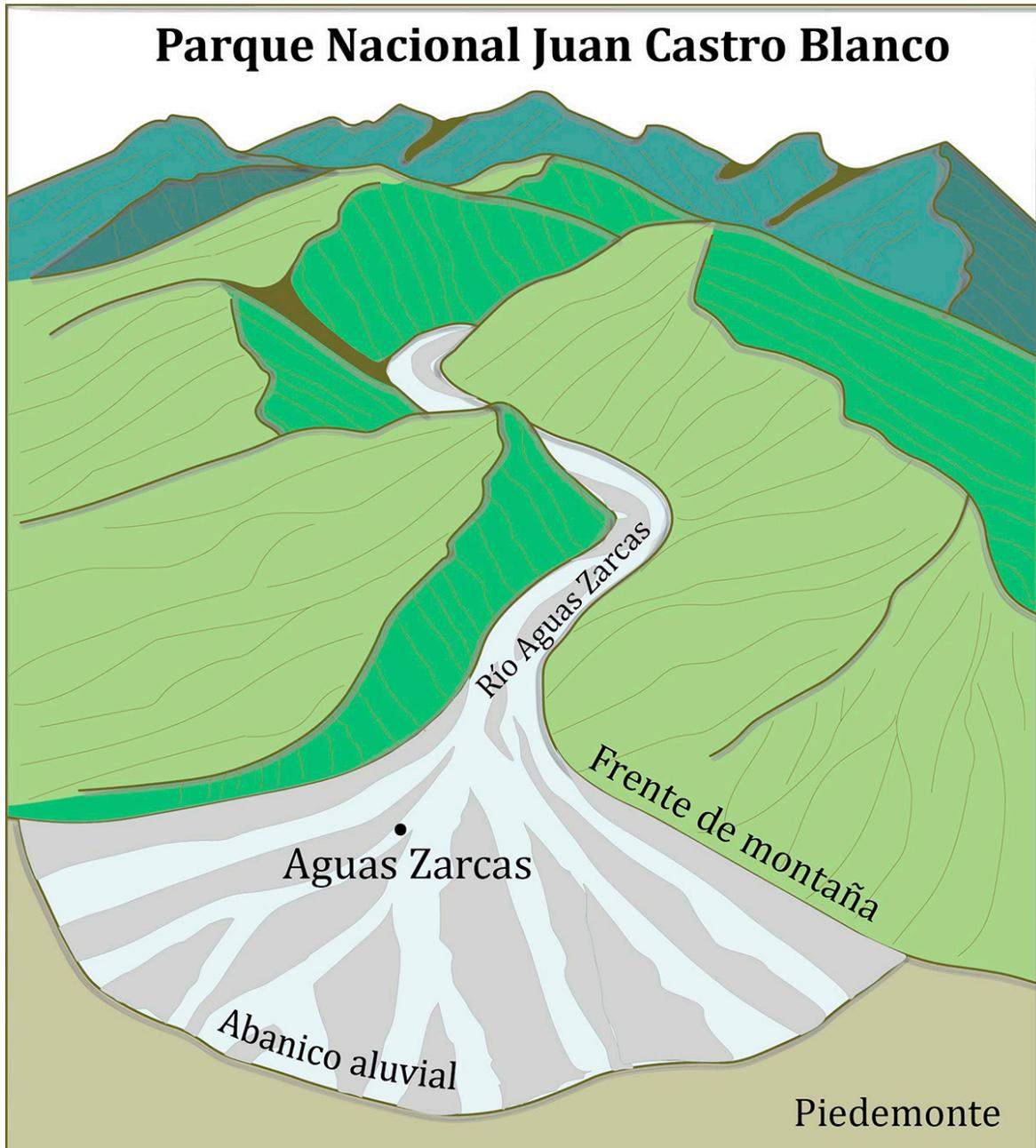


Fig. 1: Esquema de un abanico aluvial típico para Aguas Zarcas (modificado de Merriam-Webster, 2023).

Las inundaciones en abanicos aluviales se refieren a fenómenos de inundación que se producen en la superficie de un abanico aluvial o una forma del terreno similar que se originan en el ápice y se caracterizan por ser flujos de alta velocidad. Estas inundaciones están asociadas con procesos activos de erosión, transporte y deposición de sedimentos, así como con trayectorias de flujo impredecibles (FEMA, 2016).

Las inundaciones activas en abanicos aluviales se caracterizan por la presencia de una incertidumbre en la trayectoria del flujo que es tan significativa que no puede ser ignorada en evaluaciones realistas del riesgo de inundación o en la implementación confiable de medidas de mitigación del riesgo (FEMA, 2016). Los abanicos aluviales pueden exhibir una actividad muy intensa, donde las inundaciones, los flujos hiperconcentrados y los flujos de escombros pueden ocurrir de manera episódica en cualquier punto de la superficie del abanico, sin embargo, algunos abanicos aluviales presentan una actividad menos pronunciada, debido a la influencia de procesos como el levantamiento tectónico, la incisión u otros factores que han canalizado los flujos de manera que gran parte del abanico no se vea afectado durante eventos de alto escurrimiento (USGS, 2001).

La presencia de una amenaza activa de inundación en un abanico aluvial se determina mediante la consideración de los siguientes tres criterios interrelacionados: 1. Incertidumbre en la trayectoria del flujo bajo el ápice hidrográfico (FEMA, 2016): este criterio se refiere a la falta de certeza en cuanto a la dirección y el comportamiento del flujo de agua en la zona situada debajo del ápice del abanico aluvial. Esta incertidumbre puede ser considerable y debe tenerse en cuenta al evaluar la amenaza de inundación. 2. La deposición abrupta y la consiguiente erosión de sedimentos (FEMA, 2016): se trata de un fenómeno en el cual la acumulación repentina de sedimentos, en forma de corrientes o flujos de escombros, provoca la pérdida de su capacidad para transportar material erosionado desde áreas de mayor pendiente río arriba. Esto puede conducir a un aumento significativo de la amenaza de inundación en el abanico aluvial. 3. Un entorno ultrapeligroso: este criterio se refiere a un entorno donde la combinación de la disponibilidad de sedimentos, la pendiente y la topografía crea una condición extremadamente peligrosa (FEMA, 2016). En este caso, incluso la elevación de estructuras de contención o relleno no es suficiente para mitigar el riesgo de manera confiable. Esto implica que se requieren medidas adicionales y más exhaustivas para gestionar eficazmente el peligro de inundación en el abanico aluvial.

Las inundaciones en sectores inactivos de los abanicos aluviales presentan similitudes con las inundaciones fluviales convencionales, pero se restringen a los abanicos aluviales específicamente. Estas inundaciones, en sectores inactivos, se caracterizan por tener trayectorias de flujo que facilitan una evaluación más precisa de la amenaza de inundación y permiten una mitigación del riesgo de manera confiable. A diferencia de las inundaciones en sectores activos, donde las trayectorias de flujo pueden ser inestables, en las inundaciones en sectores inactivos se observan trayectorias relativamente estables. No obstante, al igual que en las áreas de inundación activa, las inundaciones en sectores inactivos pueden experimentar procesos de deposición de sedimentos y erosión, aunque estos fenómenos no generan inestabilidad ni incertidumbre significativa en la trayectoria del flujo (FEMA, 2016).

Un abanico aluvial puede exhibir tanto amenaza de inundación activa como inactiva. La naturaleza de estas amenazas puede variar tanto espacialmente como temporalmente, dependiendo de la magnitud del caudal del flujo de inundación. En términos espaciales, las áreas inactivas ubicadas aguas arriba en el abanico aluvial pueden dirigir el flujo de inundación hacia áreas activas situadas en la parte distal del mismo abanico aluvial. Las amenazas también pueden variar en un mismo punto, donde una trayectoria de flujo puede ser estable para flujos de menor magnitud, pero volverse inestable ante flujos de mayor magnitud (FEMA, 2016).

En la figura 2 se muestra un ejemplo de un abanico aluvial que exhibe inundaciones en sectores tanto activo como inactivo. En este ejemplo, el área entre el ápice topográfico y el ápice hidrográfico se consideraría inactiva, porque este tramo se caracteriza por un canal estable y atrincherado que puede transmitir la descarga de inundación con una probabilidad del 1% anual (100 años) sin desbordarse (FEMA, 2016). El área debajo del vértice hidrográfico se consideraría activa porque se caracteriza por la incertidumbre en la trayectoria del flujo, la deposición abrupta y la consiguiente erosión de sedimentos a medida que el canal pierde su competencia para transportar material erosionado desde un área de fuente más empinada y atrincherada aguas arriba (FEMA, 2016).

Este estudio se enfoca en el reconocimiento y la caracterización de los abanicos aluviales de la Bajada de Aguas Zarcas, con la finalidad de establecer sus áreas activas e inactivas. El objetivo principal es definir y caracterizar los sectores que podrían representar amenaza de inundación. La Bajada de Aguas Zarcas está ubicada en el distrito Aguas Zarcas, cantón de San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica (Fig. 3)

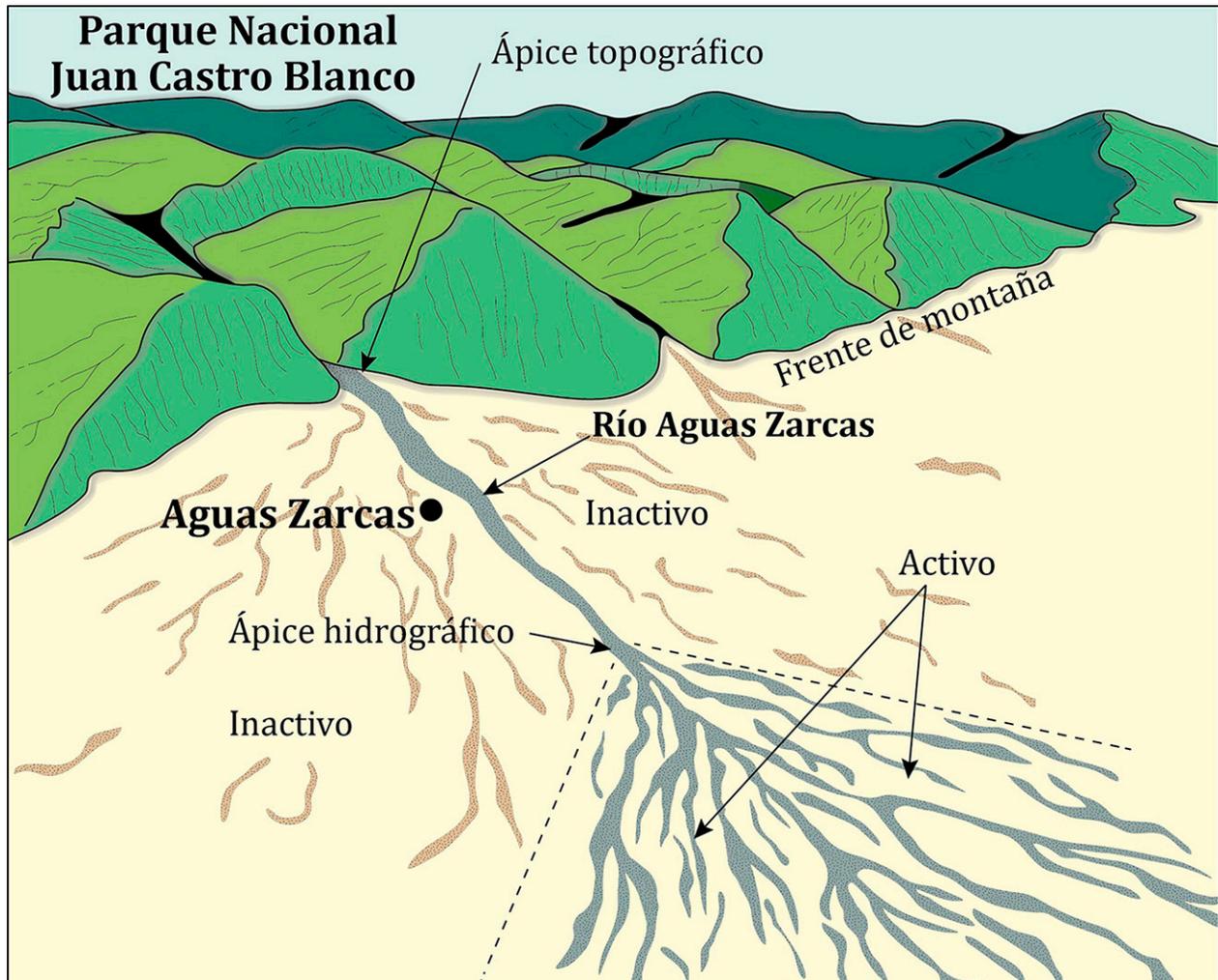


Fig. 2 Abanico aluvial con canal atrincherado que conduce a una deposición activa en la parte distal del abanico de Aguas Zarcas (Modificado de NRC, 1966).

## Reconocimiento y caracterización de la Bajada de Aguas Zarcas y sus abanicos aluviales coalescentes

### Morfología

Los abanicos aluviales coalescentes de la Bajada de Aguas Zarcas son formas de relieve fascinantes, se forman por la deposición de sedimentos transportados por los ríos y quebradas, cuando estos salen de cañones estrechos o del frente montañoso hacia una llanura más amplia y de pendiente baja. Los sedimentos se acumulan y se esparcen, creando estructuras en forma de abanico. Las redes de drenaje irradian hacia los bordes de los abanicos, lo cual es característico del agua cargada de sedimentos que se dispersa sobre una llanura.

La figura 4 exhibe la representación de la Bajada de Aguas Zarcas junto con sus abanicos aluviales coalescentes, mientras que el cuadro 1 detalla las extensiones espaciales individuales de dichos abanicos aluviales.

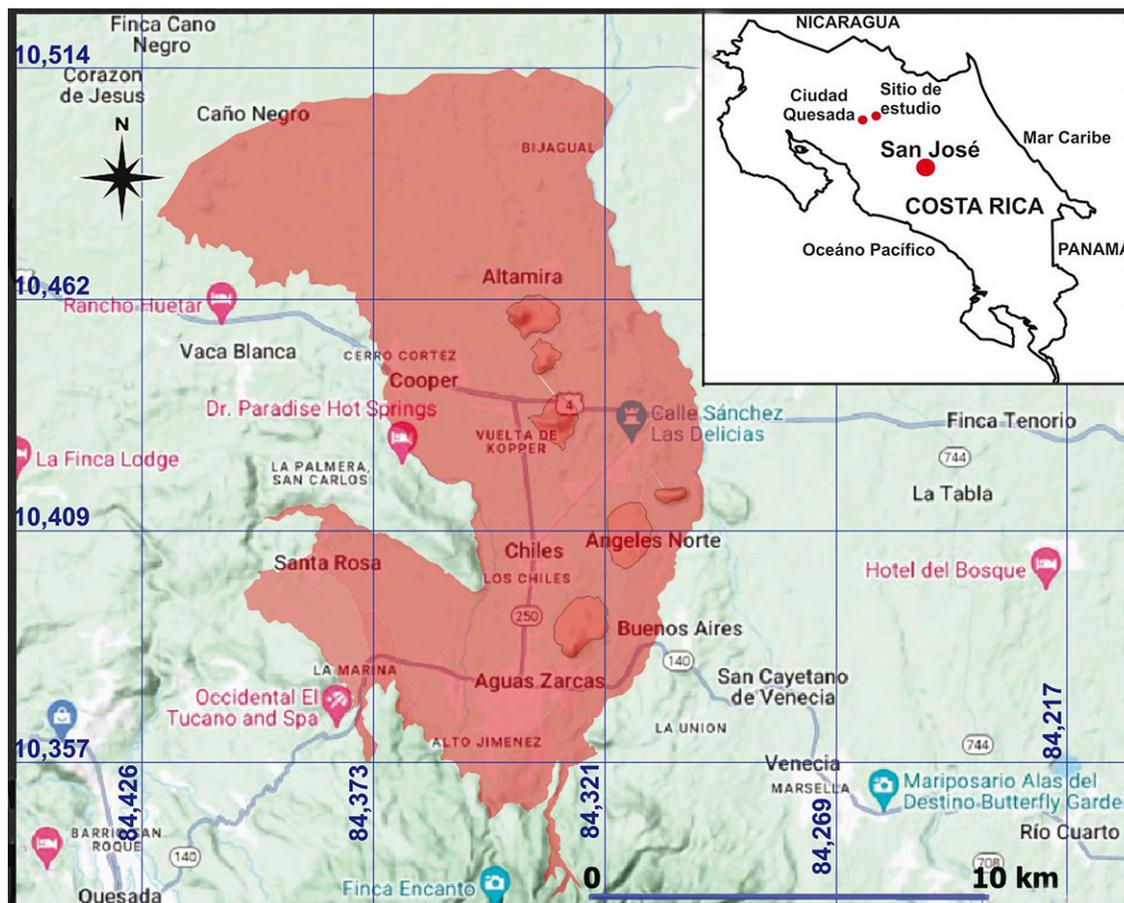


Fig. 3: Ubicación de la Bajada de Aguas Zarcas.

El abanico aluvial del río Aguas Zarcas destaca como el de mayor extensión dentro de los abanicos ubicados en la bajada. Su configuración morfológica se caracteriza por una disposición en dos sectores. El sector derecho se extiende aproximadamente a lo largo de 19 km hasta las proximidades de la hacienda Altamira (Figs. 4 y 5A), donde su límite distal lo define la pendiente baja de la llanura del piedemonte. El sector izquierdo presenta una longitud cercana a los 9 km. En este último sector, los sedimentos enfrentan barreras topográficas conformadas por lomas y colinas en el área de La Palmera y Santa Rosa, que constituyen límites distales y laterales confinantes.

En las cercanías del ápice del abanico aluvial del río Aguas Zarcas, particularmente entre la calle Garabito, ubicada en la población de Aguas Zarcas, y el lecho principal del río, se constata la presencia de un cauce antiguo asociado al río Aguas Zarcas (Fig. 5B). Este cauce abandonado ha fungido como precursor y fuente de origen para el desarrollo del abanico aluvial del paleo río Aguas Zarcas, el cual se extiende a lo largo de una longitud aproximada de 13 km hasta alcanzar las proximidades de la localidad de Santa Fe

El abanico aluvial asociado al río San Rafael posee una longitud cercana a los 4 km. En su porción distal, se encuentra confrontado por una barrera topográfica compuesta por lomas y colinas presentes en el sector que abarca desde San Rosa hasta el cauce mismo del río, que también constituyen límites distales y laterales confinantes (Fig. 5C).

El abanico aluvial asociado al río Negritos tiene su origen en la región superior del frente montañoso y está correlacionado con procesos de remoción en masa de magnitud considerable. Su extensión alcanza aproximadamente los 9 km, abarcando hasta las cercanías de la localidad de Pitalito.

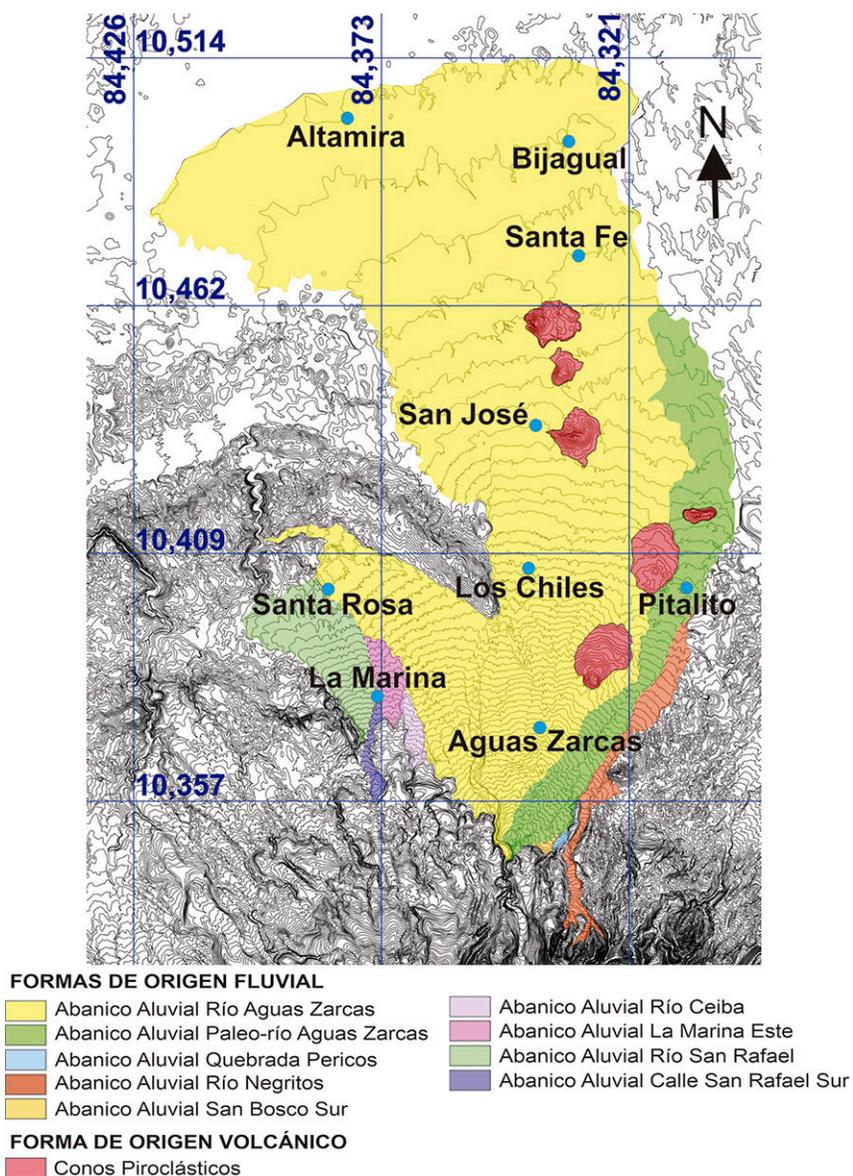


Fig. 4: Abanicos aluviales coalescentes de la Bajada de Aguas Zarcas, elaboración propia.

El abanico aluvial denominado La Marina Este, con una longitud de 2,5 kilómetros, está situado en el sector de La Marina de San Carlos. Este abanico se caracteriza por ser de dimensiones reducidas, tanto en su extensión como en el tamaño de su cuenca de drenaje.

El abanico aluvial denominado Río Ceiba posee una longitud de 2 kilómetros y exhibe dimensiones reducidas, destacando la predominancia de procesos de remoción en masa en su cuenca de drenaje.

El abanico aluvial designado como Calle San Rafael Sur (Fig. 4), con una longitud de 2,5 kilómetros, tiene su origen en la base de un escarpe de un deslizamiento de grandes proporciones.

Las quebradas Pericos y San Bosco Sur (Fig. 4) constituye dos abanicos aluviales de dimensiones reducidas, los cuales tienen su génesis en cuencas de drenaje de pequeña escala asociadas a afluentes de la cuenca del río Negritos.



Fig. 5: A) Sector derecho del abanico aluvial del Río Aguas Zarcas; B) cauce antiguo asociado al paleo-río Aguas Zarcas; y C) límites distales del abanico del Río San Rafael.

Cuadro 1

Área cubierta por cada uno de los abanicos aluviales de la Bajada de Aguas Zarcas.

Abanico Aluvial	Área [Ha]
Río Aguas Zarcas	10794.1
Paleorio Aguas Zarcas	1311,4
Río San Rafael	528.4
Río Negritos	232.1
La Marina Este	112.4
Río Ceiba	51.5
Calle San Rafael Sur	51,3
Quebrada Pericos	9,5
San Bosco Sur	8,6

Los abanicos aluviales denominados Río Aguas Zarcas y Río San Rafael exhiben una característica distintiva, ya que están caracterizados por la presencia de una corriente fluvial atrincherada. Además, su actividad de inundación se manifiesta únicamente después de sobrepasar el punto de intersección entre la corriente y la superficie topográfica. En contraste, los demás abanicos aluviales carecen de un canal principal con características de atrincheramiento. Estos patrones de drenaje reflejan la compleja dinámica del transporte y deposición de sedimentos, influenciada por factores como la topografía, el flujo de agua y la naturaleza del material depositado.

Adicionalmente, la Bajada de Aguas Zarcas exhibe una peculiaridad distintiva marcada por la presencia de cinco conos piroclásticos y un remanente de cono volcánico (Fig. 4), notables elementos que destacan en el contexto del paisaje local. Los procesos volcánicos responsables de la configuración del terreno precedieron a la deposición de los materiales que constituyen los abanicos aluviales. En el proceso de formación de estos abanicos aluviales, los flujos de materiales se encontraron con obstáculos topográficos de origen volcánico, lo que implicó su desviación y contorno forzado.

## Composición

En las zonas proximales la composición de los abanicos coalescentes de la Bajada de Aguas Zarcas está caracterizada por bloques de dimensiones que varían desde centimétricas hasta métricas, presentando formas subangulares a redondeadas (Jarquín-Sánchez, 2020; Alfaro et al., 2013). Estos bloques, de composición lávica, se encuentran inmersos en una matriz de granulometría que oscila entre arena media y gruesa, con una tonalidad café-naranja (Alfaro et al., 2013). La disposición de los bloques se manifiesta tanto en contactos puntuales como en contactos directos entre bloques y la matriz circundante (Alfaro et al., 2013).

En las porciones distales de los abanicos aluviales se evidencian estratos arenosos de tonalidad marrón, acompañados ocasionalmente por lentes de limo y arcilla de color amarillo (Jarquín-Sánchez, 2020). Estos estratos exhiben características sedimentarias notables, como laminación tanto paralela como cruzada, además, se observa la presencia de materia orgánica y troncos de dimensiones decimétricas (Jarquín-Sánchez, 2020). Paralelamente, se identifican estratos de ceniza de tonalidad gris, con un espesor máximo de 10 cm (Jarquín-Sánchez, 2020). La interpretación de estos depósitos sugiere su origen como resultante de procesos fluviales o flujos hiperconcentrados, con la intercalación de capas de caída piroclástica (Jarquín-Sánchez, 2020).

# Definición de las áreas activas e inactivas de los abanicos coalescentes de la Bajada de Aguas Zarcas

## Identificación de áreas activas y pasivas

En algún momento de su historia geológica, todas las áreas de un abanico aluvial han experimentado inundaciones activas que contribuyeron a modelar su forma actual, sin embargo, esto no implica que todas las áreas sean igualmente susceptibles a inundaciones activas en la actualidad, además, es posible que se produzcan inundaciones en zonas que actualmente se consideran inactivas dentro del abanico aluvial (FEMA, 2016).

Un cambio en la tasa de levantamiento tectónico a lo largo de un frente montañoso puede resultar en el abandono de partes del abanico aluvial, por ejemplo, una disminución en la tasa de elevación del frente montañoso en relación con el abanico aluvial podría provocar que el río se profundice en el frente montañoso o en el ápice del abanico durante un período de tiempo, como consecuencia, la parte superior del abanico aluvial se atrincheraría y el área activa de deposición se desplazaría hacia niveles inferiores (FEMA, 2016) (Fig. 2).

El término activo se refiere a esa porción de un abanico aluvial donde son posibles la deposición, la erosión y las trayectorias de flujo inestables. Si se han producido inundaciones y deposiciones en una parte de un abanico aluvial en los últimos 100 años, claramente se puede considerar que esa parte del abanico está activa (FEMA, 2016). Si se han producido inundaciones y deposiciones en una parte de un abanico aluvial en los últimos 1000 años, por ejemplo, esa parte del abanico puede estar sujeta a futuras inundaciones también (FEMA, 2016).

En este trabajo no se ha empleado una técnica analítica para establecer las estimaciones de la extensión espacial de la inundación, lo cual implicaría la aplicación sistemática de juicios y la combinación de cálculos hidráulicos, con interpretaciones cualitativas de evidencia geomorfológica relacionada con la historia reciente y la probable evolución futura del canal, las formas del terreno, así como los procesos de inundación y sedimentación. Por lo anterior, es importante considerar que la intención de este enfoque es reducir el área de preocupación en relación con la deposición activa, la erosión y las trayectorias de flujo inestables durante un período que generalmente excede los 100 años. Por lo tanto, la combinación de análisis geomorfológicos y de ingeniería hidráulica, tanto cualitativos como cuantitativos, proporcionará una indicación de la extensión espacial aproximada de una posible inundación durante un período de tiempo relativamente largo (es decir, varios miles de años). Este aspecto es sumamente importante de abordar en un futuro cercano para contribuir a la reducción del riesgo en la región.

Las áreas inactivas pueden estar sujetas a inundaciones, especialmente en los canales atrincherados. La evidencia de áreas inactivas puede incluir barreras a lo largo del margen que limita con las áreas activas, vegetación más antigua y la ausencia de cambios en las rutas del flujo observadas en el registro fotográfico aéreo, sin embargo, estas evidencias no impiden que el área sea potencialmente clasificada como activa debido a cambios o condiciones dentro de las áreas activas adyacentes (FEMA, 2016). Las superficies de abanicos aluviales más antiguas se consideran activas si se cumple alguna de las siguientes condiciones (FEMA, 2016): 1. La zona de sedimentación recientemente activa está migrando hacia la superficie más antigua. 2. La diferencia de elevación entre la zona de sedimentación recientemente activa y la superficie más antigua es pequeña en relación con las profundidades de inundación, deposición y escombros concebibles en el régimen actual de clima, hidrología o uso del suelo en el área de origen. 3. Aguas arriba del sitio, existe la posibilidad de avulsiones que podrían dar lugar a canalizaciones o inundaciones repentinas a lo largo de la superficie más antigua.

## Proceso de identificación

Una vez elegido el período de tiempo relativo (por ejemplo, < 1000 años) para evaluar las áreas activas de un abanico aluvial, se deben determinar las edades relativas de las características morfológicas del abanico. En este caso, los indicadores de edad se basan en criterios de edad relativa, ya que las técnicas de datación absoluta (numérica), como la datación por radiocarbono, están fuera del alcance de este estudio.

Se han consultado los mapas geológicos superficiales disponibles (Jarquín-Sánchez, 2020; Alfaro et al., 2013), los cuales proporcionan una delimitación útil de las unidades geológicas y sus edades. Se ha realizado un examen de campo de las características morfológicas en la superficie de los abanicos aluviales, observando particularmente evidencia de actividad humana prehispanica, características de meteorización y texturas de los clastos. La densidad y el tipo de vegetación han proporcionado pistas útiles sobre la edad de la superficie de los abanicos aluviales. La textura y composición del sedimento, además de la capacidad de retención de agua, se han relacionado con la vegetación superficial. En términos generales, las características superficiales de los abanicos aluviales pueden correlacionarse de un abanico a otro, como es el caso de la Bajada de Aguas Zarcas, lo cual establece la necesidad de una futura investigación sobre la estratigrafía de los abanicos aluviales que componen la Bajada de Aguas Zarcas.

Los mapas topográficos a escala 1:25 000 del Instituto Geográfico Nacional han sido fundamentales para identificar áreas potenciales de avulsión y delinear los límites de áreas sujetas a diferentes profundidades de inundación, deposición y flujo de escombros. Estos mapas también se han utilizado para identificar superficies aluviales más antiguas dentro de zonas activas que no están sujetas a inundaciones.

Las áreas cuestionables detectadas durante el análisis de mapas y fotografías aéreas se han examinado minuciosamente durante la inspección de campo. Se han recorrido todos los canales de flujo para verificar las áreas activas e inactivas que habían sido delineadas. Este proceso se ha considerado completo una vez que todas las áreas activas e inactivas de deposición, erosión, inundación, y de trayectoria de flujo inestable, así como las áreas adyacentes de abanicos inactivos, han sido definidas y delineadas.

En la figura 6 se puede apreciar la delimitación de los sectores activos de los abanicos aluviales que componen la Bajada de Aguas Zarcas. Los flujos y avalanchas de detritos, que se han desarrollado recientemente en el río Aguas Zarcas, se han depositado en el área representada como activa, donde también se puede advertir el establecimiento de área pobladas y negocios comerciales. Es de esperar que la magnitud de estos eventos sea muy similar a la de los eventos que en el pasado dieron forma al abanico del río Aguas Zarcas, pues los mismos se han originado en extensas zonas inestables en la parte superior de la cuenca.

## Conclusiones

El estudio sobre la delimitación y caracterización de los abanicos aluviales en la Bajada de Aguas Zarcas, Costa Rica, ha permitido obtener importantes conclusiones sobre su morfología, composición y actividad, así como sobre las amenazas de inundación asociadas.

Se identificaron varios abanicos aluviales coalescentes en la Bajada de Aguas Zarcas, siendo el abanico del río Aguas Zarcas el más extenso. La configuración geomorfológica y la distribución espacial de estos abanicos fueron mapeadas, mostrando la variabilidad en la extensión y en las características morfológicas de cada uno.

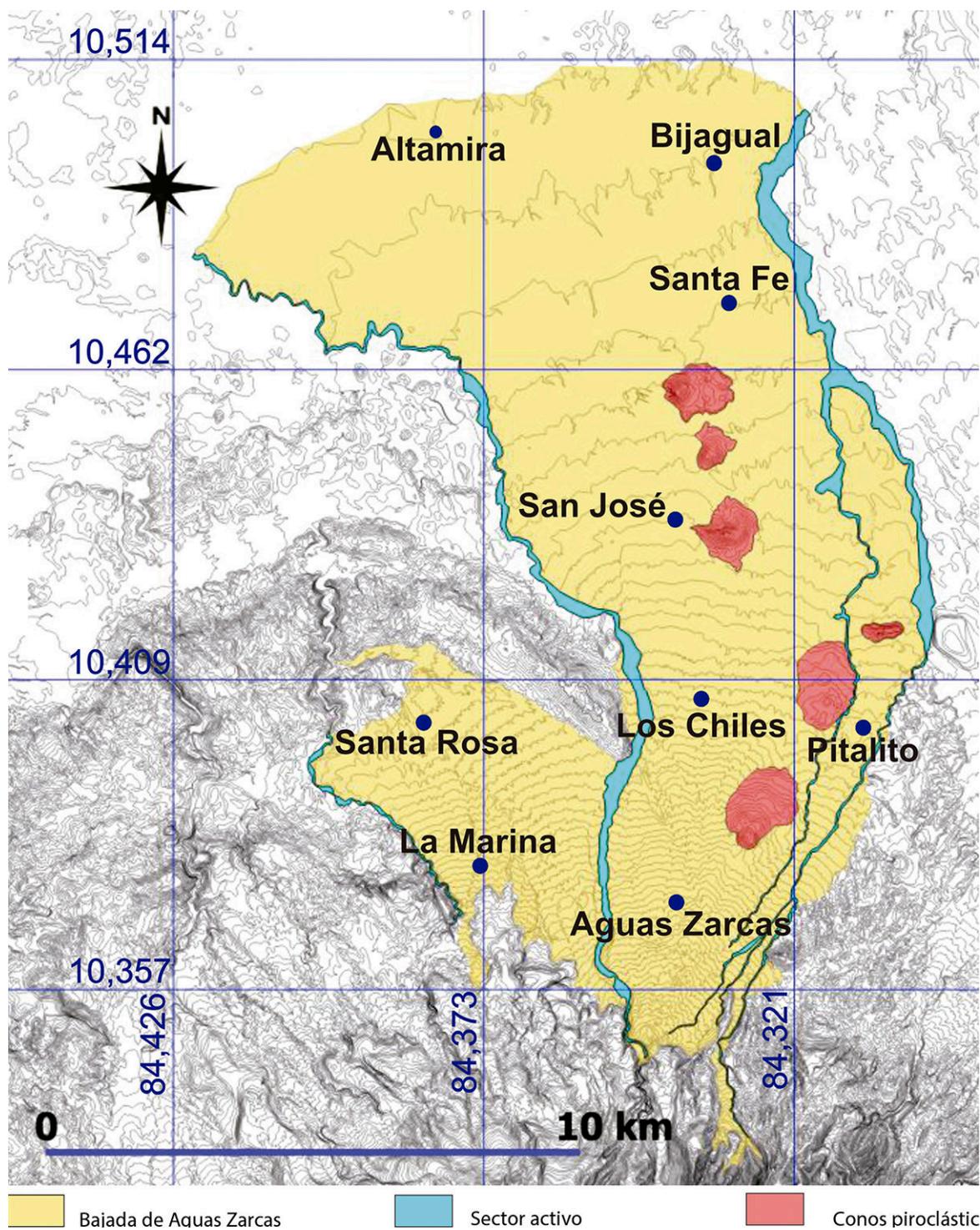


Fig. 6: Sectores activos de los abanicos aluviales que componen la Bajada de Aguas Zarcas. La combinación de análisis geomorfológicos y de ingeniería hidráulica, tanto cualitativos como cuantitativos, es esencial para proporcionar una indicación de la extensión espacial aproximada de posibles inundaciones en períodos de tiempo prolongados.

En las zonas proximales, los abanicos presentan una composición de bloques de dimensiones que varían desde centimétricas hasta métricas, inmersos en una matriz arenosa de color café-naranja. En las zonas distales, se observan estratos arenosos con lentes de limo y arcilla, así como capas de ceniza volcánica, indicando procesos deposicionales complejos influenciados por flujos aluviales y caídas piroclásticas.

Mediante esta investigación se ha establecido una base para la planificación y mitigación del riesgo de inundación, resaltando la necesidad de estrategias integrales que consideren la evolución geomorfológica y los procesos sedimentarios en la región.

El estudio de los abanicos aluviales en la Bajada de Aguas Zarcas ha aportado un conocimiento primario sobre su morfología, composición y dinámica, proporcionando una base esencial para la gestión del riesgo y el desarrollo sostenible en esta área de Costa Rica.

## Referencias bibliográficas

- Alfaro, A., Araya, M., Cambronero, L., Carmona, T., Cascante, A., Fernández, D., Gómez, C., Martínez, A., Montero, A., Murillo, F., Oviedo, J., Rodríguez, J.M., Santamaría, R., Sojo, D., Ureña, G., y Vargas, L. (2013). *Informe geológico integral de una parte de la hoja topográfica Aguas Zarcas, escala 1:50000*. [Campaña Geológica (G-5216)]. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela Centroamericana de Geología.
- Blissenbach, E. (1954). Geology of alluvial fans in semi-arid regions. *Geological Society of America Bulletin*, 65, 175-190.
- Denny, C. S. (1965). *Alluvial fans in the Death Valley region, California and Nevada*. United States Geological Survey Professional Paper 466.
- DeCelles, P. G., Gray, M. B., Ridgway, K. D., Cole, R. B., Pivnik, D. A., Pequera, N., y Srivastava, P. (1991). Controls on synorogenic alluvial-fan architecture, Beartooth Conglomerate (Palaeocene), Wyoming and Montana. *Sedimentology*, 38, 567-590.
- Eckis, R. (1928). Alluvial fans in the Cucamonga District, Southern California. *Journal of Geology*, 36(3), 224-247.
- Fairbridge, R.W. (1968). *Geomorphology. Encyclopedia of Earth Science* [Bajada, bahada (proluvium)]. Springer.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2016). *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping. Alluvial Fans*. FEMA
- Fernández, J., Bluck, B. J., y Viseras, C. (1993). The effects of fluctuating base level on the structure of alluvial fan and associated fan delta deposits: an example from the Tertiary of the Betic Cordillera, Spain. *Sedimentology*, 40, 879-893.
- Harvey, A. M. (2018). *Alluvial fans*. Earth Systems and Environmental Sciences.
- Jansson, P., Jacobson, D., y Le Hooke, R. B. (1993). Fan and playa areas in southern California and adjacent parts of Nevada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18(2), 109-119.
- Jarquín-Sánchez, E. (2020). *Conos piroclásticos de Aguas Zarcas: evidencia de la transición de un régimen magmático de arco a trasarco*. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Melton, M.A. (1965). The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in Southern Arizona. *Journal of Geology* 73, 1-38.
- Merriam-Webster. (2023). In *Merriam-Webster Dictionary* [Alluvial fan]. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/alluvial%20fan>
- Okanagan Water Stewardship Council (OWSC). (2023). Okanagan alluvial fan hydrology: a primer. Okanagan Basin Water Board. <https://www.obwb.ca/alluvial>
- U.S. Geological Survey (USGS). (2001). *Natural hazards on alluvial fans: the debris flow and flash flood disaster of december 1999, Vargas State, Venezuela, FS 103 01, Guaynabo, PR*. USGS.
- Viseras, C., Calvache, M. L., Soria, J. M., y Fernández, J. (2003). Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*, 50, 181-202.